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 temat Was zainteresował.

Dodatkowym materiałem, który może być dla Was przydatny w dalszej nauce i egzaminach są oznaczenia i symbole elementów występujących w hydraulice.
Na pocieszenie podam, że nie musicie przerysowywać ich do zeszytu, ale warto się z nimi zapoznać.

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 spóźnialskim pełnej mobilizacji i owocnej pracy.
Karol Pec

Wykonał: Jędrzej Adaszek 1Tb1

Silniki rakietowe

Silnik rakietowy 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 rakiet.

Fizyka silnika

Silnik rakietowy 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 przyśpieszenie, zgodnie z trzecią zasadą dynamiki Newtona.

Im ciśnienie większe tym rozprężający się gaz osiąga większą prędkość, a co za tym idzie nadaje nam większe przyśpieszenie. Jednakże im większe ciśnienie tym potrzebujemy wytrzymalszy zbiornik, w przeciwnym razie ten eksploduję, 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 objeść ten problem we wszystkich silnikach rakietowych stosowane są turbo-pompy (turbo-sprężarki) zwiększające przepływ i ciśnienie substancji roboczej. Pompa taka napędzana jest przez mniejszy silniczek rakietowy, nazywany „Preburner”, którego gazy wylotowe popychają łopatki wirnika, który po przez wał przekazuję 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 mieszance 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 paruję 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 rakietowy 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 rakieta 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 rakietą 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 uszkodzeń. Silnik rakietowy jest silnikiem chemicznym o sprawności ok 70%, czyli mimo wszystko pewna energia gazów wylotowych jest tracona na wskutek 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:

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

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 rakietowe

Możemy wyróżnić kilka najpopularniejszych paliw rakietowych 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 Litrów 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_20 , inne zanieczyszczenia	CO_2 , H_20	H_20
8	Produkcja na Marsie	Nie	Tak	Tak

Najgorsze	Średnie	Najlepsze

1. Gęstość

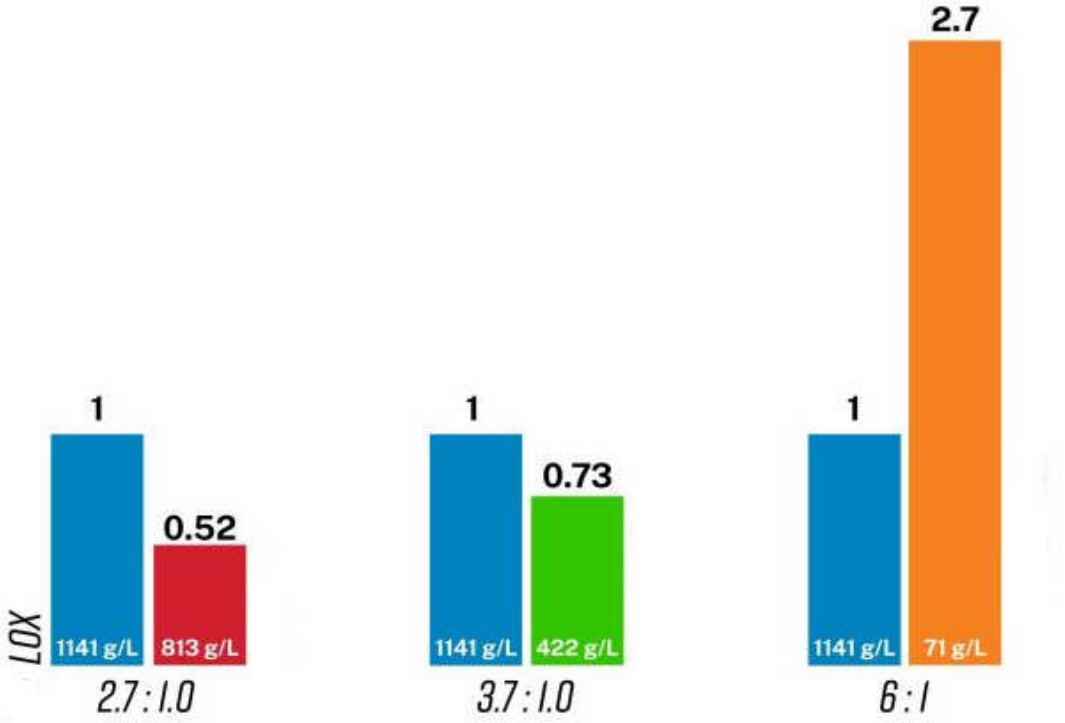
Im większa gęstość paliwa tym lepiej, ponieważ jesteśmy w stanie wziąć więcej tego paliwa przy jego mniejszej objętości. Co pozwala zebrać nam ze sobą znacznie więcej paliwa, zwiększyć ciąg oraz zasięg rakiety.

2. Tlen : Paliwo (stosunek)

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

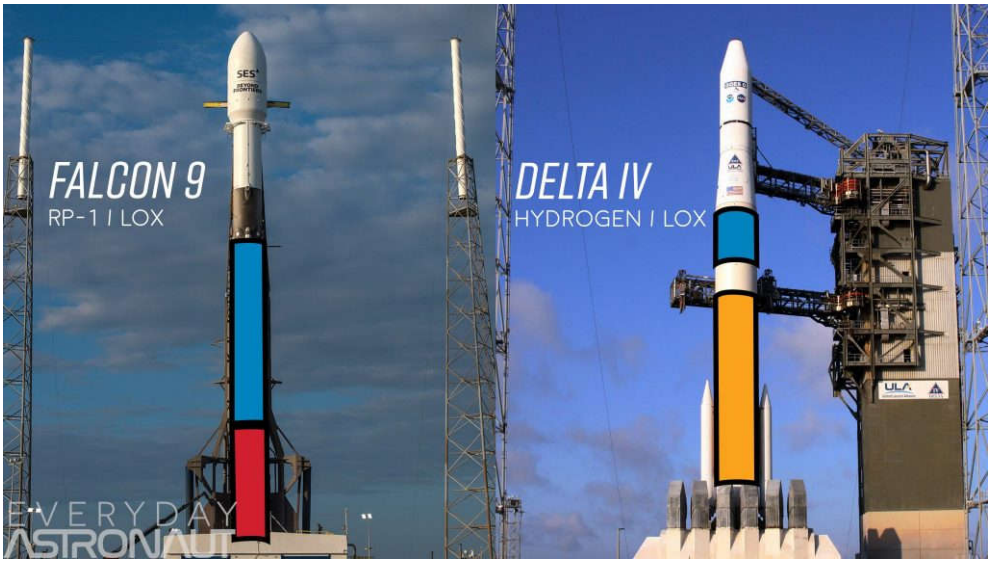
3. 1 Litr LOX : X Litrów Paliwa

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.



RP-1 Metan Wodór

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 rakietowych 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 staję 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 rakietowe 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 rakietowych.

Rodzaje silników rakietowych

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

- Silnik w cyklu otwartym

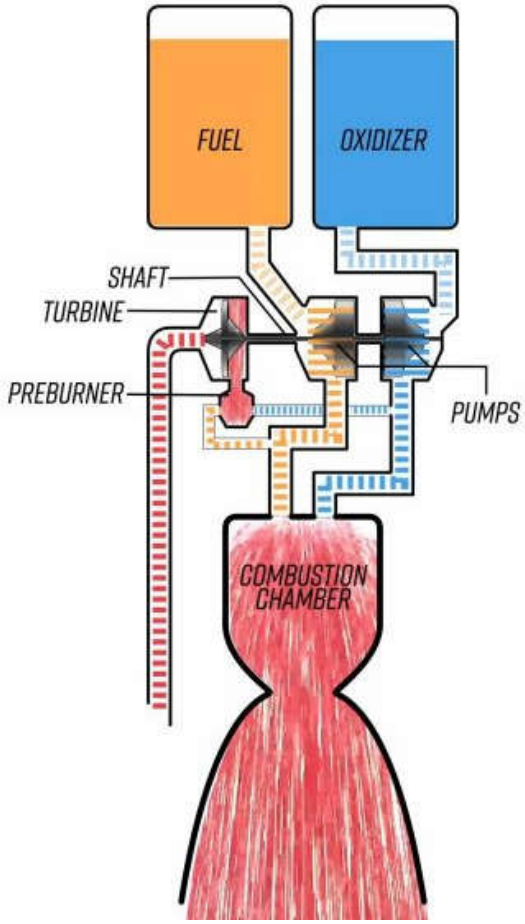
- Silnik w cyklu zamkniętym

- Silnik w cyklu zamkniętym z dwoma wałami

- Silnik pełnoprzepływowy.

Silnik w cyklu otwartym

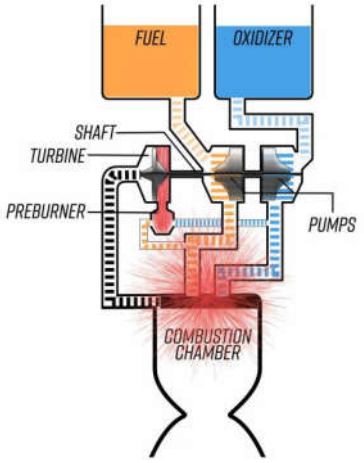
Jest to najstarszy, najpopularniejszy i najtańszy w produkcji silnik rakietowy. Napędza dziesiątki rakiet nośnych. Przykładem takiego silniku jest Merlin na paliwo RP-1, napędzający rakiety SpaceX takie jak Falcon9 oraz Falcon Heavy.



Budowa i działanie

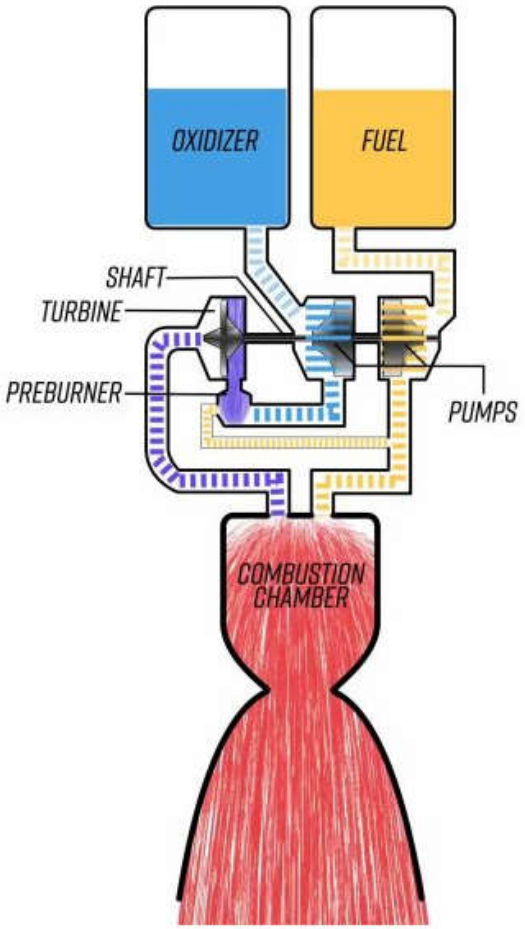
LOX i Paliwo częściowo kierowane są do komory preburnera gdzie spalają się, a wylatujące z niego gazy napędzają turbinę a następnie gazy te odprowadzane są na zewnątrz silnika. Turbina po przez wał, przekazuję swoją energię obrotową na pompy, które zwiększają przepływ oraz ciśnienie LOX i Paliwa. Kiedy 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

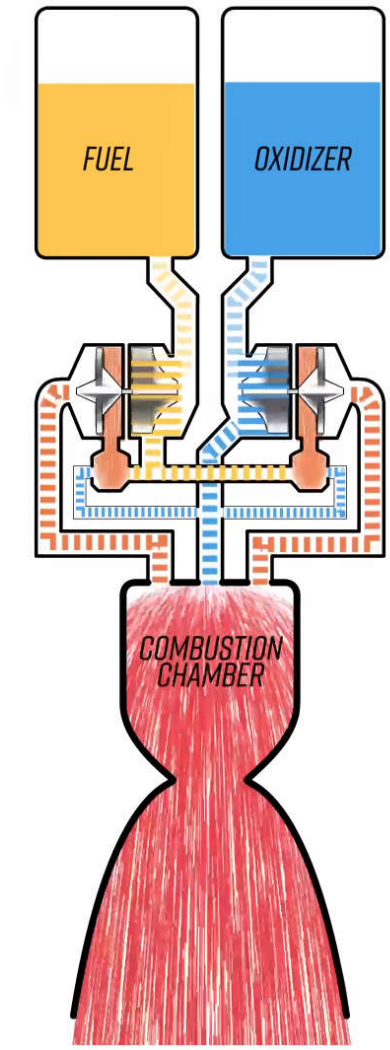


Rosjanie jednak obeszli i ten problem. Przekierowali oni cały LOX do preburnera do którego trafia również pewna część paliwa. W preburnerze dochodzi do zapłonu i podobnie jak w silniku w układzie otwartym, turbina napędzana gazami wylatującymi z preburnera przekazuję swoją energię obrotową przez wał na pompy. Tutaj jednak kierowane do komory preburnera jest znacznie więcej LOX, którego jest tak dużo, że wtłaczane tam paliwo spala się całkowicie, a LOX zostaje wciąż bardzo dużo. Następnie całość gazów wylotowych z preburnera oraz paliwo wtłaczane 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 otwarto 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 rakietowe dla USA, a przynajmniej niektóre silniki).

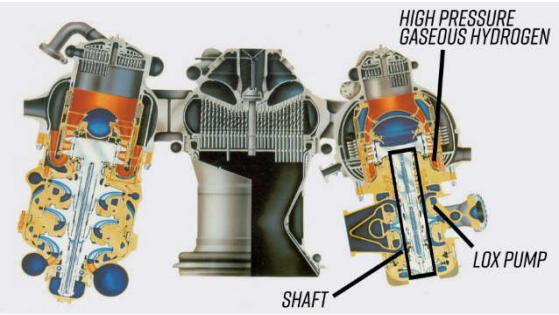
Silnik zamknięto przepływowy o dwóch wałach

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 obsługuję 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 tłoczone 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 spalanie 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.



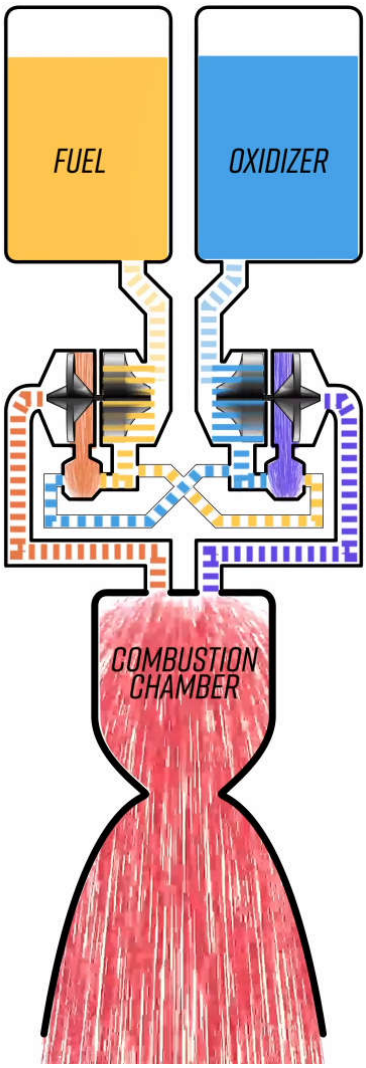
Silnik RS-25 można by nazwać istnym arcydziełem gdyby nie jego gigantyczne wady. Silnik Jest niesamowicie skomplikowany a co za tym idzie wyprodukowanie takiego pochłania niebotyczną ilość czasu i pieniędzy. Jeden silnik RS-25 kosztuję tyle samo co ponad 50 silników Merlin.

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.

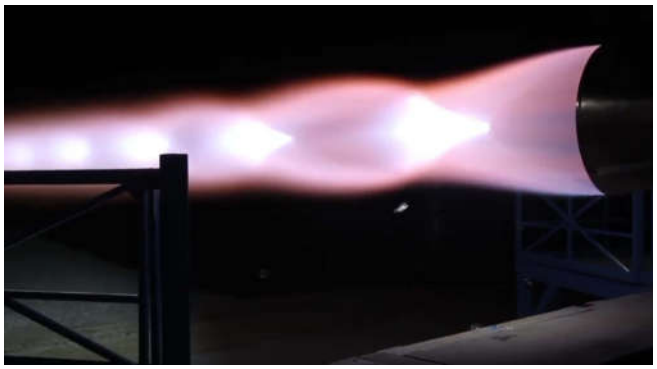
Budowa i działanie

Jest to uproszczona wersja silnika zamknięto przepływowego z dwoma wałami. Pozbyto 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.

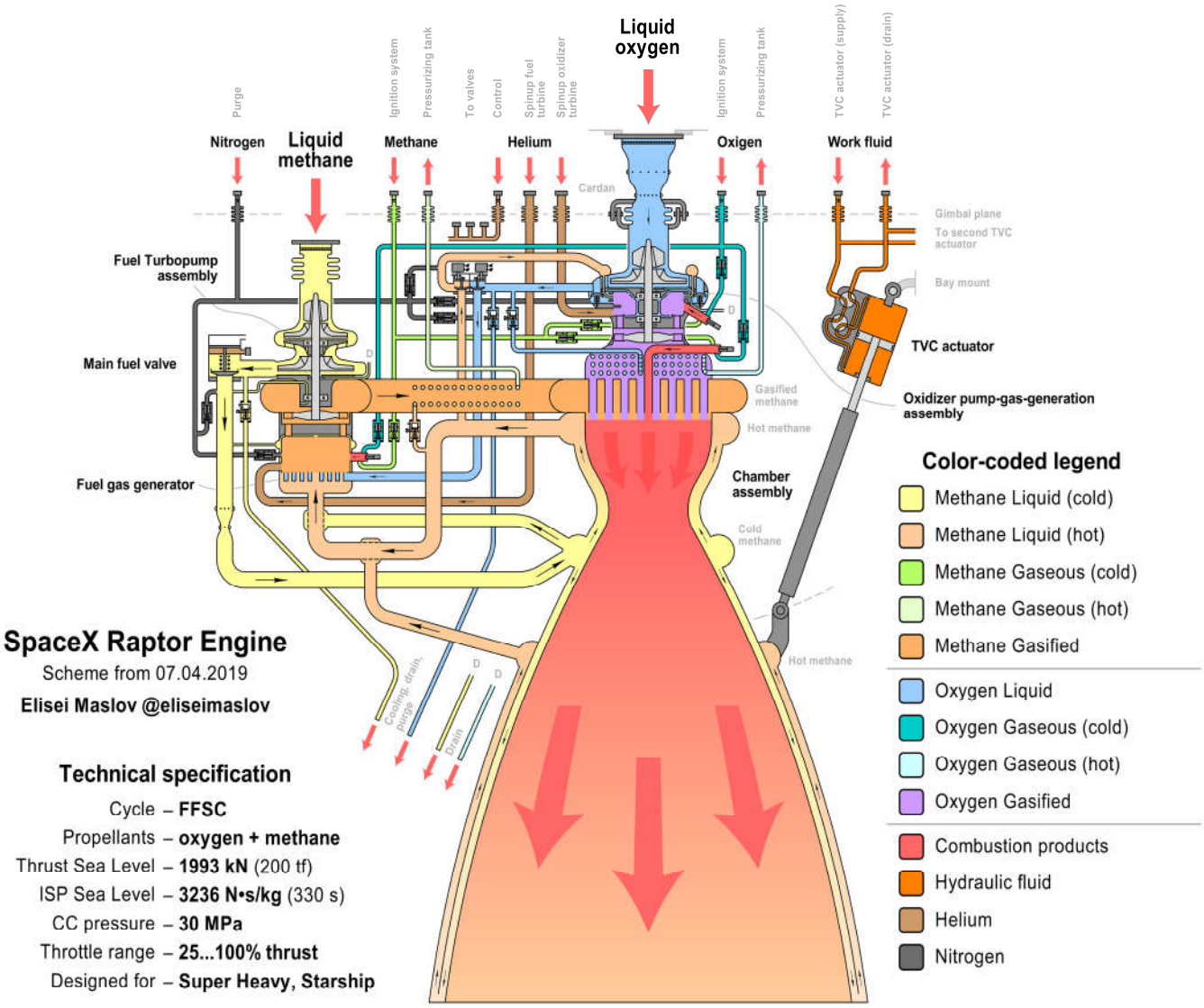


Jest to znacznie uproszczona konstrukcja względem silnika RS-25, co znacznie zmniejsza cene. Poprawia to również znacznie osiągi i mimo iż silnik ten korzysta z paliwa o znacznie niższym maksymalnym teoretycznym impulsie właściwym od silnika RS-25 to jego inpuls właściwy wciąż jest inponujący. Silnik 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.



Dokłądniejszy schemat silnika Raptor



Dlaczego silnik Raptor to król silników

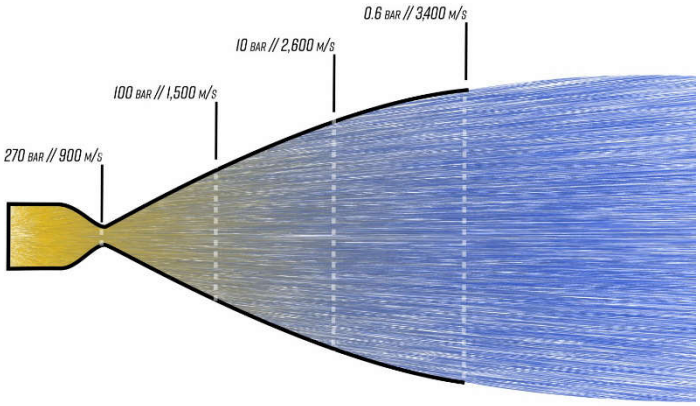
Aby to zrozumieć musimy spojrzeć na parametry silników:

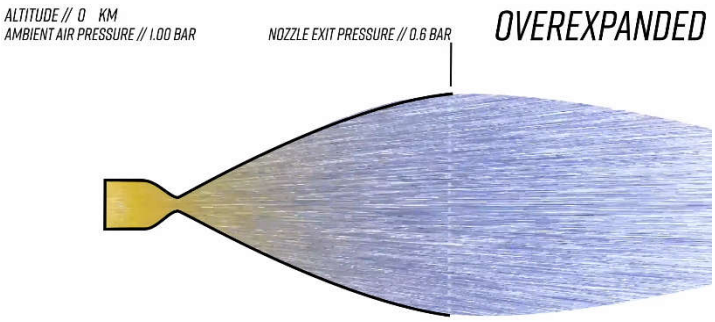
	Merlin	RD-180	F-1	Raptor	BE-4	RS-25
Cykl	Otwarty	Zamknięty	Zamknięty	Pełny	Zamknięty	Zamknięty (z dwoma wałąmi)
Typ paliwa	RP-1	RP-1	RP-1	Metan	Metan	Wodór
Całkowity ciąg	0.84 MN	3.83 MN	**6.77 MN**	2.00 MN	~2.40 MN	1.86 MN
Ciąg : Masa	**198 : 1**	78 : 1	94 : 1	107 : 1	~80 : 1	73 : 1
ISP	282s sl 311s 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%

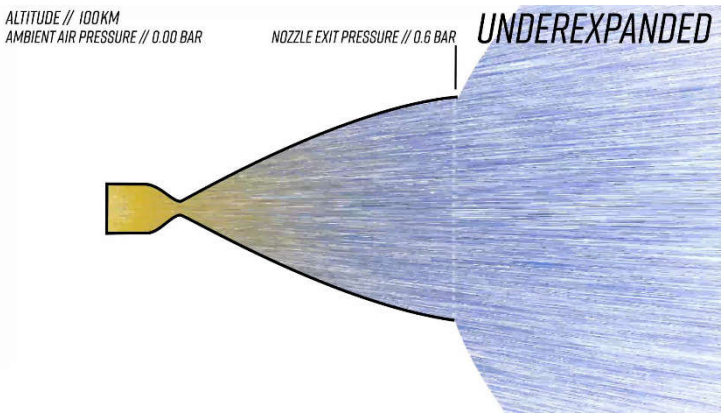
Patrząc po parametrach silników to silnik Raptor albo jest najlepszy albo przyzwoity. Ten silnik w zasadzie nie ma żadnych większych wad. Silnik jest jak AK-47, tani, dobry, o dużej sile - tutaj i tutaj grzebały radzieckie umysły.

Dysze

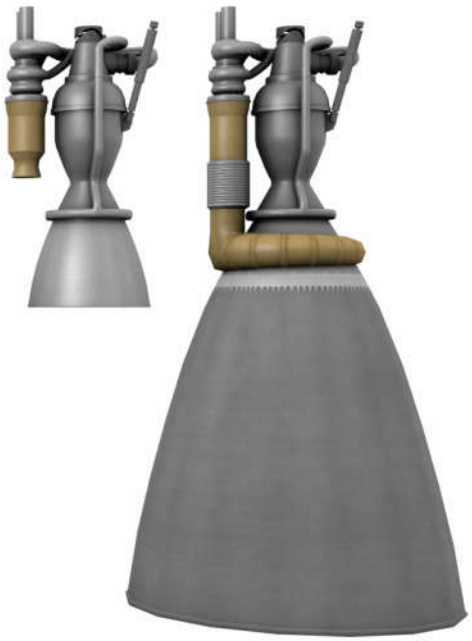
Dysza a dokładniej jej kształt znacznie wpływa na działanie silnika. Jej kształt ogranicza obszar w którym gazy wylotowe rozprężają się w kontrolowany sposób. Im dysza dłuższa oraz jej promień przy wylocie większy, tym gazy mają więcej miejsca gdzie rozprężając mogą nabrać prędkości. Jednak silnik o 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.



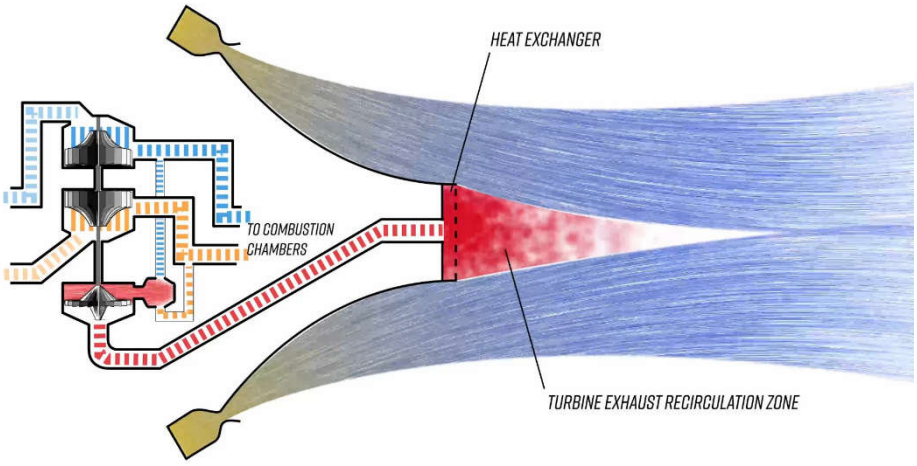




Rakiety takie jak Falcon9 używają 9 silników Merlin o krótkiej dyszy do startowania (oraz lądowania ponieważ jest to rakieta wielokrotnego użytku). Natomiast do rozpędzania się w próżni rakieta stosuje jeden silnik Merlin w wersji próżniowej czyli z długą dyszą.

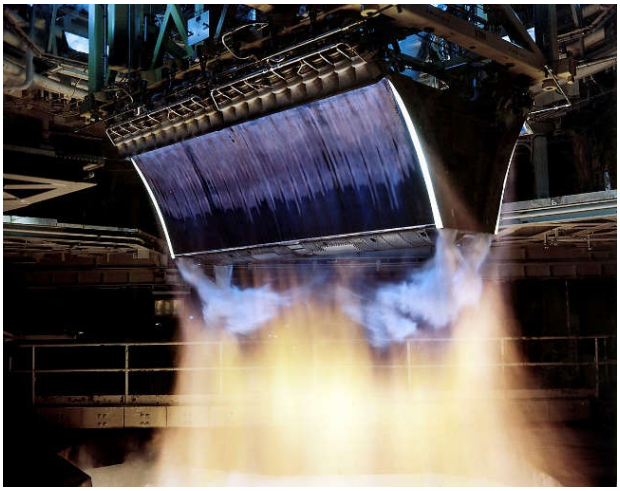


Istnieje też bardzo specyficzny kształt dyszy. Silnik z taką dyszą nosi nazwę Areospike i jego ciąg oraz impuls właściwy są niemal niezależne od ciśnienia. Dopiero w próżni parametry silnika lekko się zmieniają. Jednak żadna rakieta nigdy nie była napędzana takim silnikiem. Jedynym pojazdem który był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

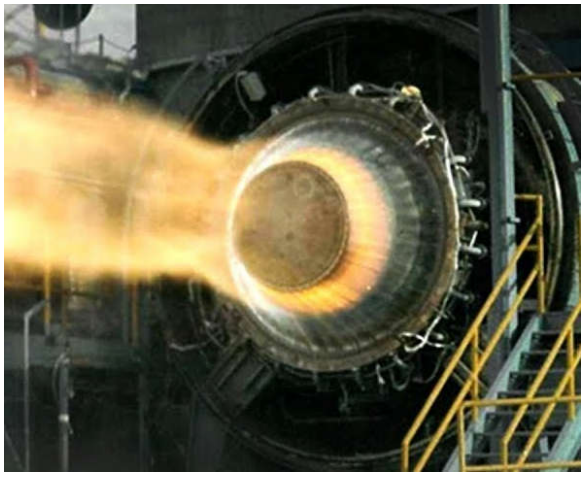


Silnik taki możemy spotkać w dwóch wersjach:

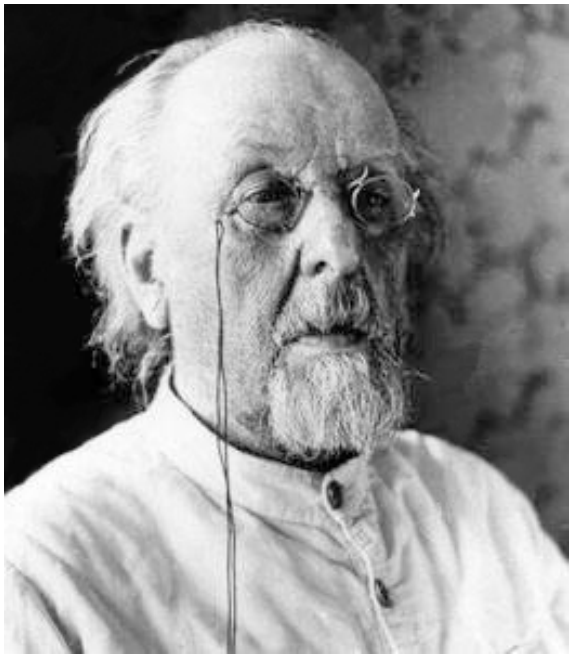
Prostokątnej



Kolistej



Ciekawostki



- Zasadę działania silników rakietowych 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 rakietowe (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 rakietą 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/

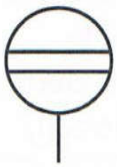
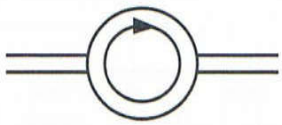
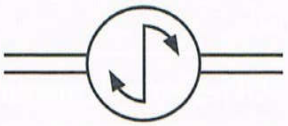
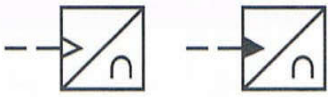
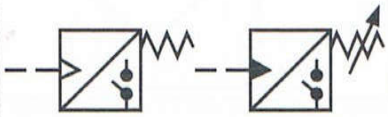
https://pl.wikipedia.org/wiki/Silnik_rakietowy

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

https://www.nasa.gov/

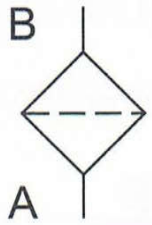
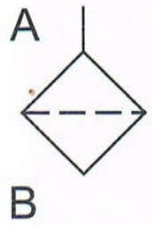
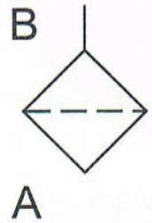
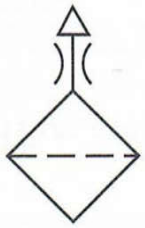
https://www.youtube.com/watch?v=LbH1ZDImaI8

Własna wiedza

132		wskaźnik poziomu cieczy
133		wskaźnik przepływu
134		przepływomierz
135		przepływomierz całkujący
136		obrotomierz do pomiaru częstości obrotów
137		miernik momentu obrotowego
138		przetwornik analogowo-ciśnieniowy generujący sygnał elektryczny odpowiednio do wartości ciśnienia wejściowego
139		przetwornik ciśnienia (np. przetwornik pneumoelektryczny) generujący sygnał elektryczny po przekroczeniu uprzednio nastawionego ciśnienia (o stałej wartości lub nastawialny)

SPRAWDŹ SWOJĄ WIEDZĘ

1. Do czego służą akumulatory hydrauliczne?
2. Jak zbudowane są akumulatory hydrauliczne?
3. Wymień rodzaje akumulatorów hydraulicznych.

124		filtr symbol ogólny; a-b kierunek przepływu cieczy przez filtr (kierunek filtracji)
125		filtr wlewowy; a-b kierunek przepływu cieczy przez filtr (kierunek filtracji)
126		filtr ssawny; a-b kierunek przepływu cieczy przez filtr (kierunek filtracji)
127		filtr powietrza

Przyrządy pomiarowe i czujniki

Lp.	Symbol	Określenie elementu
128		wskaźnik ciśnienia
129		manometr
130		manometr różnicowy
131		termometr

117		zawór dławiąco-zwrotny jednokierunkowy, z nastawialnym dławieniem, ze swobodnym przepływem w jednym kierunku i dławionym przepływem w przeciwnym kierunku
118		regulator przepływu 2-drogowy ze zmiennym wyjściowym natężeniem przepływu; strzałka na drodze przepływu w symbolu uproszczonym oznacza wyrównanie ciśnień bez wyrównania temperatury
119		regulator przepływu 2-drogowy z wyrównaniem temperatury ze zmiennym wyjściowym natężeniem przepływu; strzałka na drodze przepływu w symbolu uproszczonym oznacza wyrównanie ciśnień z wyrównaniem temperatury
120		regulator przepływu 3-drogowy, ze zmiennym wyjściowym natężeniem przepływu, z drogą obejściową do zbiornika, bez wyrównywania temperatury

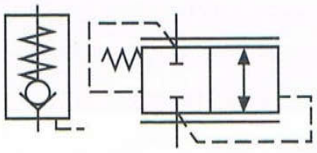
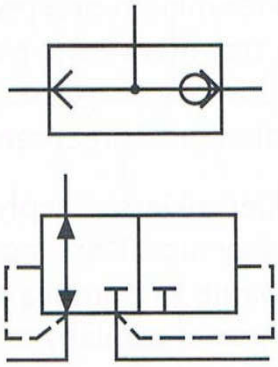
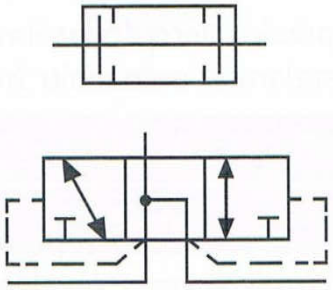
Gromadzenie, przygotowanie i utrzymanie właściwości płynu

Lp.	Symbol	Określenie elementu
121		zbiornik otwarty do atmosfery, z przewodem obiegu powrotnego poniżej poziomu płynu, z filtrem powietrza
122		zbiornik otwarty do atmosfery, miejscowe odprowadzenie przecieków wewnętrznych albo powrót
123		zbiornik zamknięty pod normalnym ciśnieniem albo zamknięty z przewodami poniżej poziomu płynu, bez połączenia z atmosferą

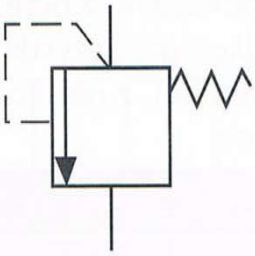
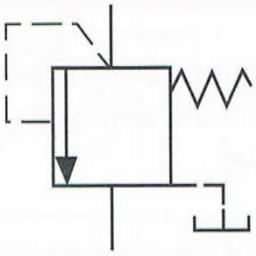
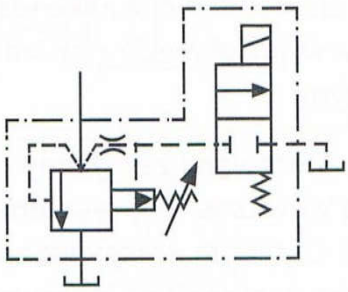
110		regulator ciśnienia (zawór redukcyjny) 2-drogowy 1-stopniowy, nastawiany sprężyną
111		regulator ciśnienia (zawór redukcyjny) 3-drogowy 1-stopniowy, nastawiany sprężyną
112		zawór redukcyjny 2-stopniowy, nastawiany sprężyną, z odprowadzeniem cieczy sterującej
113		zawór redukcyjny z upustem; jeżeli ciśnienie wyjściowe przewyższy ciśnienie nastawiane, to nastąpi swobodny wylot powietrza do atmosfery

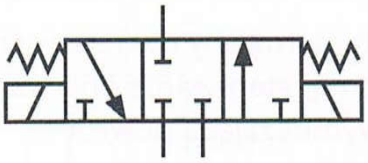
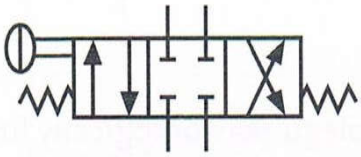
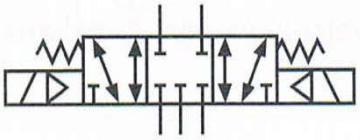
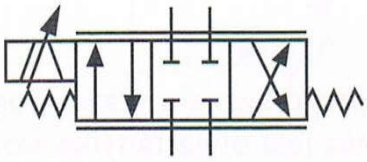
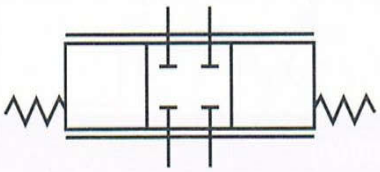
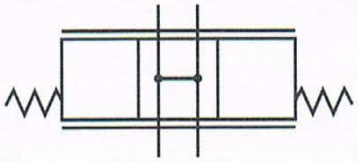
Zawory sterujące natężeniem przepływu

Lp.	Symbol	Określenie elementu
114		zawór dławiący nastawialny, bez wskazania sposobu sterowania albo stanu zaworu, normalnie bez położenia całkowicie zamkniętego
115		zawór zasuwowy odcinający, normalnie z jednym położeniem całkowicie zamkniętym
116		zawór dławiący nastawialny, sterowany mechanicznie za pomocą rolki, obciążony sprężyną

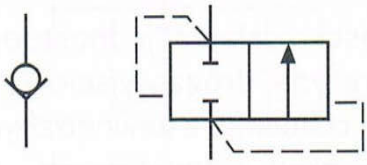
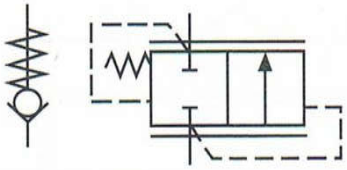
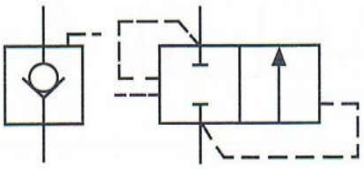
104		zawór zwrotny sterowany otwierany ciśnieniem, obciążony sprężyną, sterowanie otwieraniem zaworu ze sprężyną wymuszającą powrót
105		przełącznik obiegu (zawór logiczny lub); droga wejściowa połączona z wyższym ciśnieniem automatycznie łączona z drogą wyjściową w chwili, gdy druga droga wejściowa jest zamykana
106		zawór podwójnego sygnału (zawór logiczny i); droga wyjściowa jest otwarta tylko wówczas, gdy obydwie drogi wejściowe są pod ciśnieniem

Zawory sterujące ciśnieniem

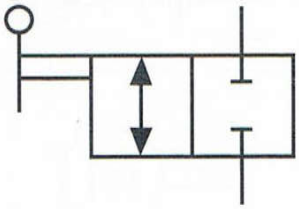
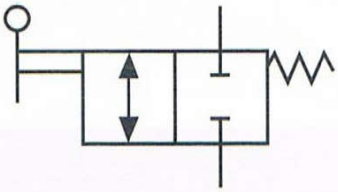
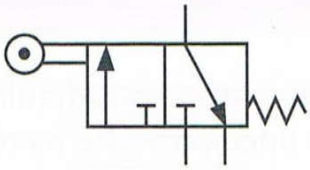
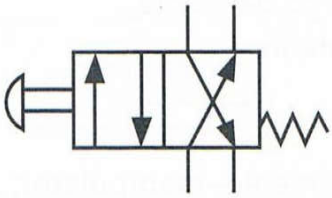
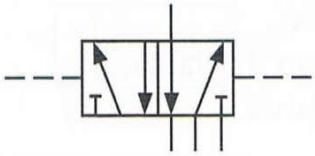
Lp.	Symbol	Określenie elementu
107		zawór ograniczający ciśnienie, maksymalny jednostopniowy; ciśnienie wejściowe regulowane przez otwarcie drogi obiegu powrotnego albo drogi wylotowej, położonej naprzeciwko przyłożonej siły (np. sprężyny)
108		zawór kolejności działania, jednostopniowy, obciążony sprężyną, droga wyjściowa pozwala na podtrzymanie ciśnienia, z zewnętrznym odprowadzeniem przecieków wewnętrznych
109		zawór ograniczający ciśnienie, sterowany elektrycznie

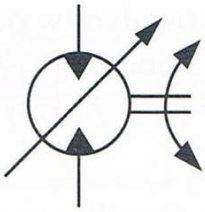
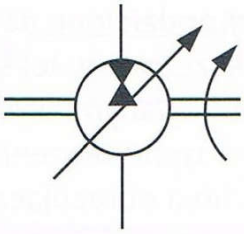
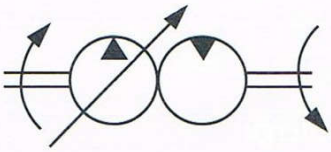
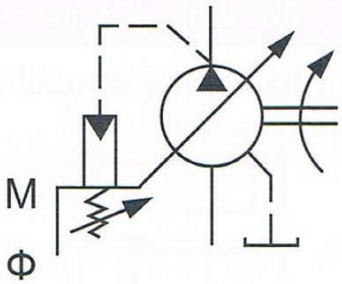
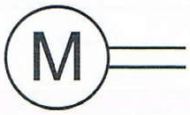
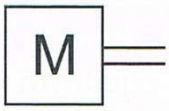
95		zawór sterujący kierunkiem przepływu 3/3 (trzy drogi przepływu, trzy niezależne położenia) sterowany za pomocą elektromagnesów, ustalany w położeniu środkowym sprężynami
96		zawór sterujący kierunkiem przepływu 4/3 (cztery drogi przepływu, trzy niezależne położenia) sterowany ręcznie za pomocą przycisku, ustalany w położeniu środkowym sprężynami
97		zawór sterujący kierunkiem przepływu 5/3 (pięć dróg przepływu, trzy niezależne położenia), dwustopniowe sterowanie za pomocą elektromagnesów oraz wzrostu ciśnienia, ustalany w położeniu środkowym sprężynami
98		serwozawór z przekryciem dodatnim w położeniu środkowym, ustalany w położeniu środkowym sprężynami, sterowany elektromagnesem z dwoma cewkami
99		zawór sterujący kierunkiem przepływu 4/3 zamknięty w położeniu środkowym, z przekryciem dodatnim (w położeniu środkowym wszystkie drogi przepływu odcięte), z nieskończoną liczbą położeń pośrednich
100		zawór sterujący kierunkiem przepływu 4/3 zamknięty w położeniu środkowym, z przekryciem ujemnym (w położeniu środkowym wszystkie drogi przepływu połączone wewnętrznie), z nieskończoną liczbą położeń pośrednich

Zawory zwrotne i logiczne

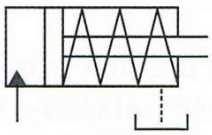
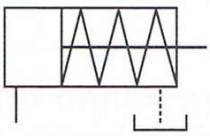
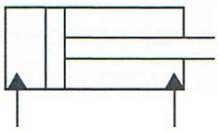
Lp.	Symbol	Określenie elementu
101		zawór zwrotny nieobciążony, otwierający się wówczas, gdy ciśnienie wejściowe jest wyższe niż ciśnienie wyjściowe
102		zawór zwrotny obciążony sprężyną, otwierający się wówczas, gdy ciśnienie wejściowe jest wyższe od sumy ciśnienia wyjściowego i ciśnienia wynikającego z siły sprężyny
103		zawór zwrotny sterowany zamykany ciśnieniem, otwierający się wówczas, gdy ciśnienie wejściowe jest wyższe niż ciśnienie wyjściowe, przy sterowaniu wstępnym może następować sterowanie zamykaniem zaworu bez sprężyny powodującej powrót

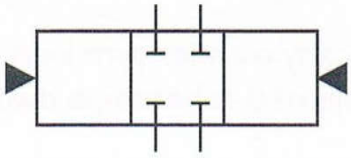
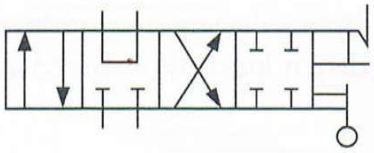
Gromadzenie energii		
Lp.	**Symbol**	**Określenie elementu**
88		akumulator (tylko w położeniu pionowym), bez wskazania rodzaju obciążenia
89		akumulator hydrauliczny gazowy, ciecz jest utrzymywana pod ciśnieniem za pomocą sprężonego gazu

Sterowanie i regulacja		
Lp.	**Symbol**	**Określenie elementu**
90		zawór sterujący kierunkiem przepływu 2/2 (dwie drogi przepływu, dwa niezależne położenia) sterowany dźwignią; zawór odcinający
91		zawór sterujący kierunkiem przepływu 2/2 (dwie drogi przepływu, dwa niezależne położenia) sterowany dźwignią, powrót wymuszony sprężyną
92		zawór sterujący kierunkiem przepływu 3/2 (trzy drogi przepływu, dwa niezależne położenia) sterowany mechanicznie za pomocą rolki, powrót wymuszony sprężyną
93		zawór sterujący kierunkiem przepływu 4/2 (cztery drogi przepływu, dwa niezależne położenia) sterowany ręcznie za pomocą przycisku, powrót wymuszony sprężyną
94		zawór sterujący kierunkiem przepływu 5/2 (pięć dróg przepływu, dwa niezależne położenia) sterowany za pomocą ciśnienia w obu kierunkach

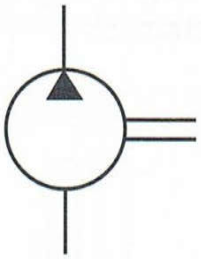
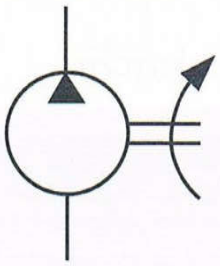
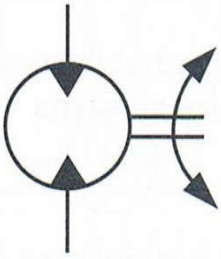
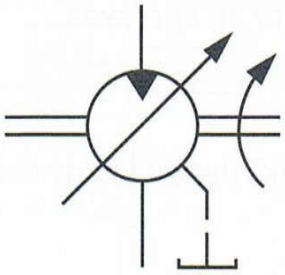
71		silnik hydrauliczny o zmiennym kierunku przepływu, o zmiennej objętości roboczej, o dwóch kierunkach obrotów
72		pompa-silnik hydrauliczny o zmiennej objętości roboczej, o jednym kierunku obrotów
73		przekładnia hydrauliczna zwarta, o zmiennej prędkości, o jednym kierunku obrotów, z pompą o zmiennej objętości roboczej
74		pompa o zmiennej objętości roboczej, z wyrównaniem ciśnienia, o jednym kierunku obrotów, nastawiana sprężyną. z odprowadzeniem na zewnątrz przecieków wewnętrznych
75		silnik elektryczny
76		napęd główny nieelektryczny

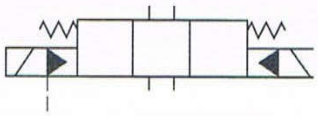
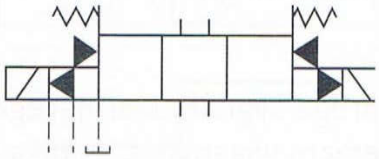
Przetwarzanie energii, ruch liniowy

Lp.	Symbol	Określenie elementu
77		cylinder (siłownik) hydrauliczny jednostronnego działania pchający ze sprężyną
78		cylinder (siłownik) hydrauliczny jednostronnego działania pchający ze sprężyną
79		cylinder (siłownik) hydrauliczny dwustronnego działania

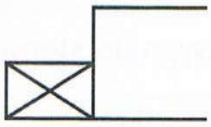
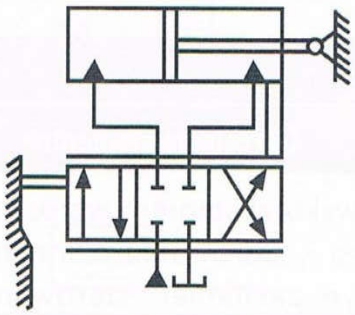
64		element sterowany ustalany w położeniu środkowym, neutralnym za pomocą ciśnienia – należy dorysować dwa odrębne trójkąty na obu skrajnych ściankach symbolu
65		listwy mechanizmu zapadkowego powinny być tak rysowane, aby były podzielone na taką samą liczbę segmentów i umieszczone w tej samej kolejności jak w elemencie sterowanym; wycięcia powinny być zaznaczone tylko w tych położeniach, w których następuje ustalanie; linia obrazująca zapadkę powinna być rysowana na segmencie listwy odpowiednim do przedstawionego na symbolu graficznym położenia zaworu sterującego

Przetwarzanie i gromadzenie energii

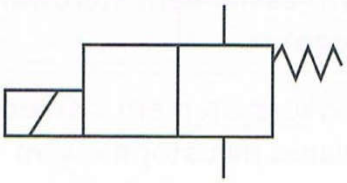
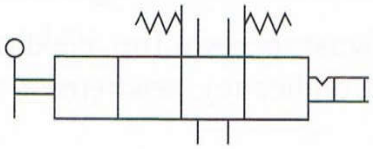
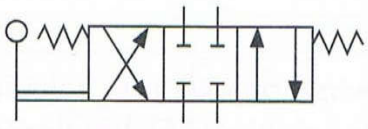
Lp.	Symbol	Określenie elementu
66		źródło energii hydraulicznej, symbol ogólny uproszczony
67		pompa hydrauliczna
68		pompa hydrauliczna o jednym kierunku przepływu, o stałej objętości roboczej i o jednym kierunku obrotów
69		silnik hydrauliczny o zmiennym kierunku przepływu, o stałej objętości roboczej, o dwóch kierunkach obrotów
70		silnik hydrauliczny o jednym kierunku przepływu, o zmiennej objętości roboczej, nieokreślonym mechanizmie i sposobie sterowania, z odprowadzeniem (na zewnątrz) przecieków wewnętrznych, o jednym kierunku obrotów, z dwustronnym wałem końcowym

57		sterowanie dwustopniowe (np. elektromagnesy i ciśnienia hydrauliczne), zawór główny ustalany w położeniu środkowym sprężynami, zewnętrzne zasilanie sterowania
58		sterowanie dwustopniowe (np. elektromagnesy i ciśnienia hydrauliczne), zawór główny ustalany w położeniu środkowym za pomocą ciśnień, zewnętrzne zasilanie sterowania, zewnętrzne odprowadzenie cieczy sterującej, zewnętrzne odprowadzenie przecieków

Sprzężenie zwrotne

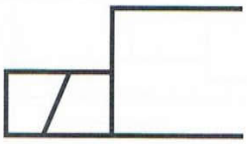
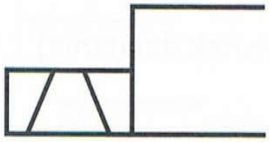
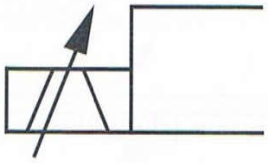
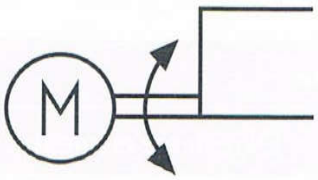
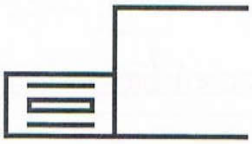
Lp.	Symbol	Określenie elementu
59		sprzężenie zwrotne zewnętrzne (symbol ogólny); wartość zadana i wartość mierzona wielkości regulowanej sprawdzane poza zaworem
60		sprzężenie zwrotne wewnętrzne z zastosowanym połączeniem mechanicznym między ruchomą częścią konstrukcji a ruchomą częścią elementu sterującego (sterującej przetwarzaniem energii); wartość zadana i wartość mierzona wielkości regulowanej sprawdzane wewnątrz zaworu

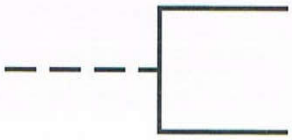
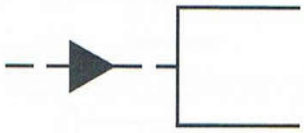
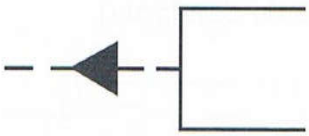
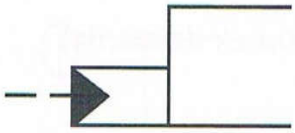
Zastosowanie symboli mechanizmów i sposobów sterowania złożonych w symbolach urządzeń

Lp.	Symbol	Określenie elementu
61		symbole sposobów sterowania o jednym kierunku działania rysowane obok symbolu graficznego elementu, którym sterują, w taki sposób, jakby urojone siły na symbolu graficznym elementu przesuwały go w inne położenie
62		dla zaworów o trzech lub więcej położeniach sterowanie położeniami wewnątrz symbolu może być wyraźnie pokazane przez przeciągnięcie wewnętrznych linii granicznych symbolu graficznego zaworu w górę lub w dół i przez dodanie do tych linii odpowiednich symboli sterowania
63		jeżeli objaśnienie nie jest wystarczające, to dla zaworów o trzech położeniach symbole mechanizmów sterujących dla położenia środkowego można umieszczać na skrajnych ściankach prostokątów symboli

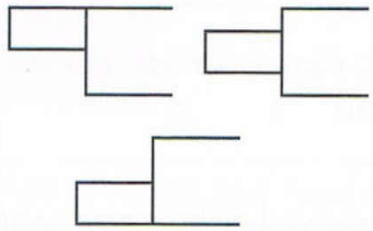
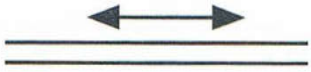
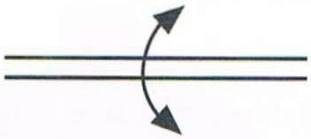
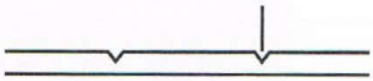
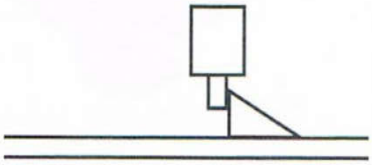
47		sterowanie ze wspomaganiem przez spadek ciśnienia
48		sterowanie różnicowe (z wykorzystaniem różnicy powierzchni przeciwległych)
49	45°	wewnętrzna droga sygnału sterującego (sterowanie zaworu ciśnieniem własnym czynnika przepływającego przez zawór)
50		zewnętrzna droga sygnału sterującego

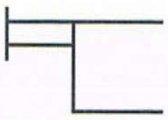
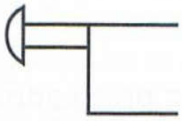
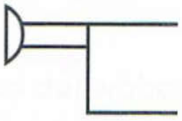
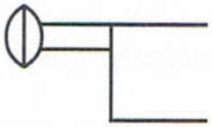
Sterowanie pośrednie		
Lp.	**Symbol**	**Określenie elementu**
51		sterowanie z wykorzystaniem wzrostu ciśnienia hydraulicznego w sterowaniu jednostopniowym (z wewnętrznym zasilaniem sterowania, bez sterowania wstępnego)
52		sterowanie z wykorzystaniem spadku ciśnienia hydraulicznego w sterowaniu jednostopniowym (z wewnętrznym zasilaniem sterowania, bez sterowania wstępnego)
53		sterowanie z wykorzystaniem ciśnienia hydraulicznego w sterowaniu dwustopniowym (z wewnętrznym zasilaniem sterowania i odprowadzeniem cieczy sterującej, bez sterowania wstępnego)
54		sterowanie dwustopniowe (np. elektromagnes i ciśnienie hydrauliczne), zewnętrzne zasilanie sterowania
55		sterowanie dwustopniowe (np. elektromagnes i ciśnienie hydrauliczne), wewnętrzne zasilanie sterowania
56		sterowanie dwustopniowe (np. kolejno ciśnienie pneumatyczne i ciśnienie hydrauliczne), wewnętrzne zasilanie sterowania, zewnętrzne odprowadzenie cieczy sterującej, uprzednie sterowanie wstępne

Sterowanie elektryczne		
Lp.	**Symbol**	**Określenie elementu**
38		element elektryczny liniowy (np. elektromagnes) z jedną cewką (jeden kierunek działania)
39		element elektryczny liniowy (np. elektromagnes) z dwiema cewkami w jednym zespole, działającymi w kierunkach przeciwnych
40		element elektryczny liniowy (np. silnik momentowy) z dwiema cewkami o zmiennych charakterystykach w jednym zespole (dwa kierunki działania) działającymi w kierunkach przeciwnych
41		silnik elektryczny
42		element piezoelektryczny

Sterowanie bezpośrednie		
Lp.	**Symbol**	**Określenie elementu**
43		sterowanie za pomocą ciśnienia, symbol ogólny
44		sterowanie za pomocą ciśnienia przez wzrost ciśnienia
45		sterowanie za pomocą ciśnienia przez spadek ciśnienia
46		sterowanie ze wspomaganiem przez wzrost ciśnienia

30		dźwignia
31		pedał (jeden kierunek działania)
32		pedał dwukierunkowy (dwa kierunki działania)
Sterowanie mechaniczne		
Lp.	**Symbol**	**Określenie elementu**
33		popychacz lub trzpień (jeden kierunek działania)
34		popychacz z nastawną długością (jeden kierunek działania)
35		sprężyna (dwa kierunki działania)
36		rolka (dwa kierunki działania)
37		rolka (jeden kierunek działania)

Mechanizmy i sposoby sterowania.		
Lp.	**Symbol graficzny**	**Objaśnienie symbolu**
20		symbole sposobów sterowania zaworem, rysowane w dowolnym dogodnym położeniu, prostopadle do skrajnej ścianki prostokąta symbolu zaworu
21		tłoczysko – ruch liniowy w dwóch kierunkach (strzałka nie jest obowiązująca)
22		wał – ruch obrotowy o dwóch kierunkach (strzałka nie jest obowiązująca)
23		zapadka o dwóch kierunkach działania – mechanizm do ręcznego utrzymywania określonego położenia, stałego do granicznej wartości siły
24		blokada o jednym kierunku działania – mechanizm do blokowania urządzenia (odblokowanie dokonuje się za pomocą niezależnego sposobu sterowania); symbol sposobu sterowania umieszczony w prostokącie
25		przerzutka o dwóch kierunkach działania – mechanizm zabezpieczający przed zatrzymywaniem w środkowym martwym położeniu

Sterowanie ręczne		
	Symbol graficzny	**Objaśnienie symbolu**
26		symbol ogólny, bez wskazania sposobu sterowania; nieokreślona liczba kierunków działania
27		przycisk wciskany (jeden kierunek działania)
28		przycisk wyciągany (jeden kierunek działania)
29		przycisk wciskany i wyciągany (dwa kierunki działania)

7		ruch obrotowy w danym kierunku
8		zmienność lub nastawialność pompy, sprężyny lub elektromagnesu
9		element lub przewód elektryczny występujący w układzie.
10		zamknięcie drogi przepływu lub odcięcie kanału
11		oddziaływanie elektryczne liniowe występujące w przeciwnych kierunkach
12		napęd główny układu
13		sprężyna
14		dławienie czynnika roboczego
15	90°	miejsce dla uproszczonego symbolu zaworu zwrotnego

Przewody

Lp.	Symbol	Określenie elementu
17		przykłady połączenia przewodów lub kanałów
18		skrzyżowanie przewodów lub kanałów bez połączenia
19		przewód giętki, elastyczny (zwykle łączący części ruchome)

[redacted]

Tabela 8.1. Symbole elementów stosowanych w hydrauliczne

Lp.	Symbol	Określenie elementu
1		przewód roboczy, zasilania, powrotny lub elektryczny
2		przewód sygnału sterowania lub odprowadzania przecieków wewnętrznych
3		obrysowanie symboli elementów funkcjonalnych stanowiących zespół danego urządzenia
4		element mechaniczny urządzenia, taki jak wał, dźwignia lub tłoczysko
5		kierunek przepływu czynnika roboczego
6		kierunek przepływu czynnika roboczego przez zawór lub ruch prostoliniowy