

# **Silniki tłokowe**

Dr inż. Robert JAKUBOWSKI

Katedra Inżynierii Lotniczej i Kosmicznej

**POLITECHNIKA RZESZOWSKA**

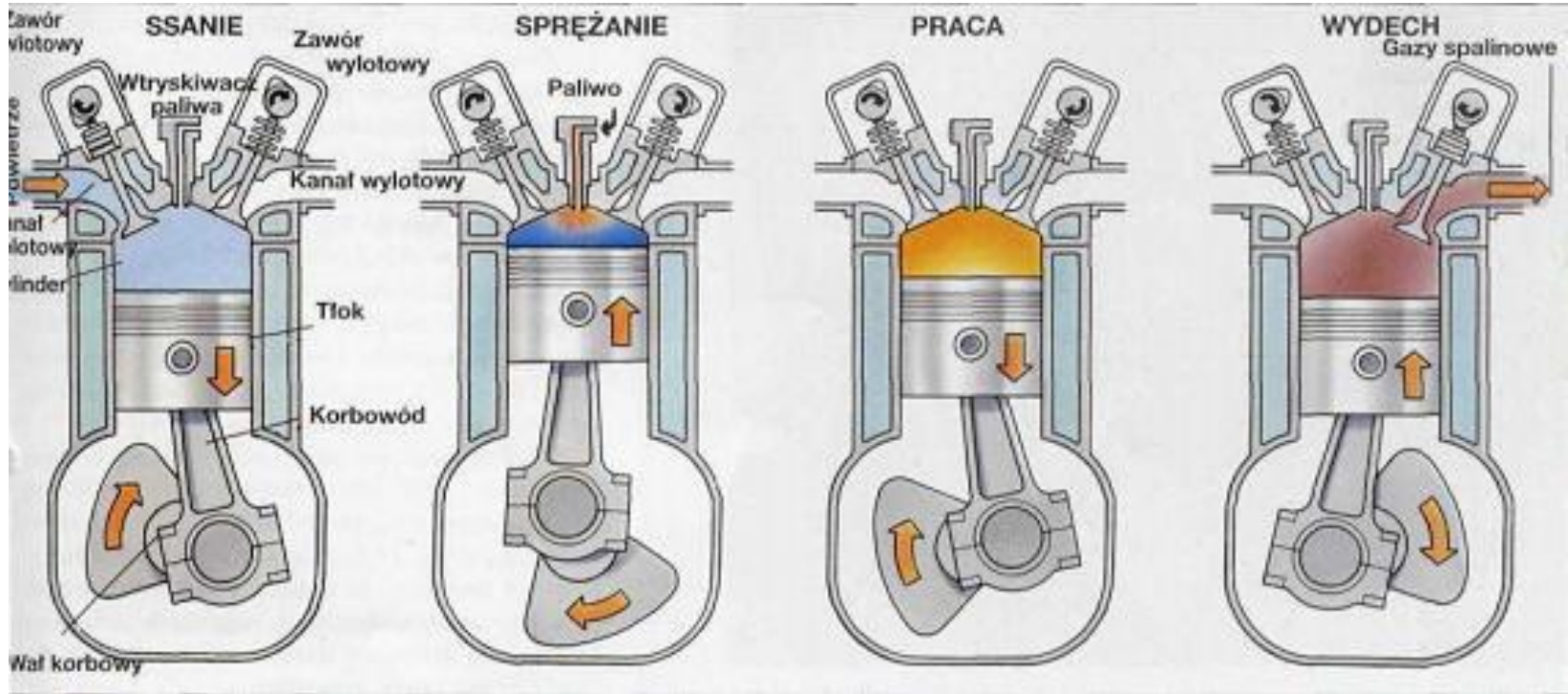
# Literatura przedmiotu:

- *Dzierżanowski P. i.in:* **Silniki Tłokowe** z serii Napędy lotnicze, WKŁ. Warszawa 1981
- *Borodzik F.:* **Budowa silnika** z serii Aeroklub polski szkolenie samolotowe, WKŁ Warszawa 1973
- *Ambrozik A.:* **Wybrane zagadnienia procesów cieplnych w tłokowych silnikach spalinowych**, Wyd. Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2003
- *Cheda W., Malski M.:* **Techniczny poradnik lotniczy, Silniki**, WKŁ, Warszawa 1984
- Wender J. Wajand J.: **Silniki spalinowe małej mocy**, WNT, Warszawa 1983

# Podstawowe typy silnika tłokowego ze względu na zasadę realizacji obiegu

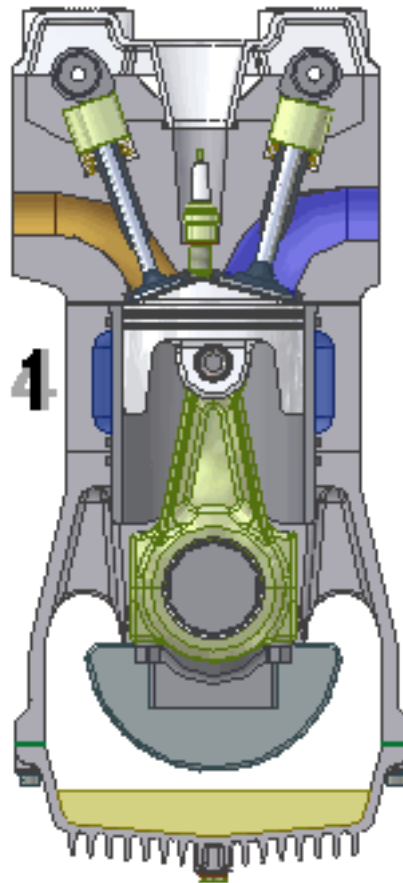
- Silnik czterosuwowy
- Silnik dwusuwowy
- Silnik z wirującym tłokiem - silnik Wankla

# Zasada pracy silnika czterosuwowego



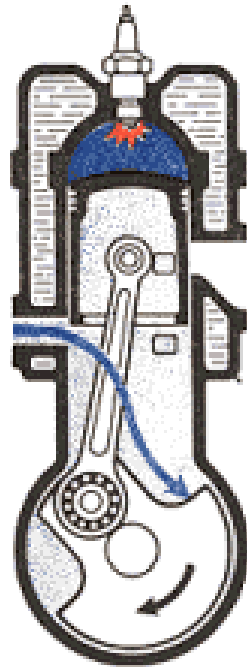
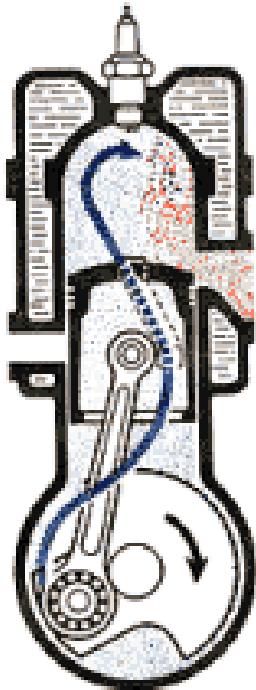
- Silnik na zrealizowanie pełnego cyklu pracy potrzebuje 4 suwów (2 – obroty wału korbowego)
- Wymagany jest system zaworów do sterowania procesem wymiany ładunku w cylindrze

# Zasada pracy silnika czterosuwowego

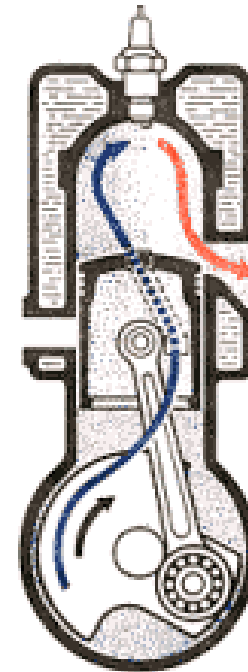
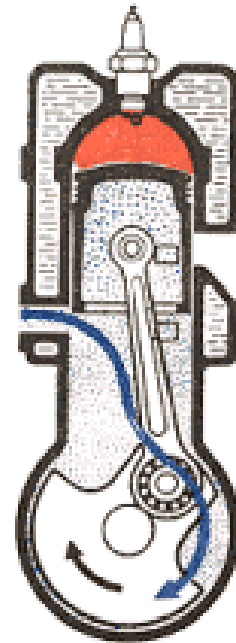


# Zasada pracy silnika dwusuwowego

SUW W GÓRĘ

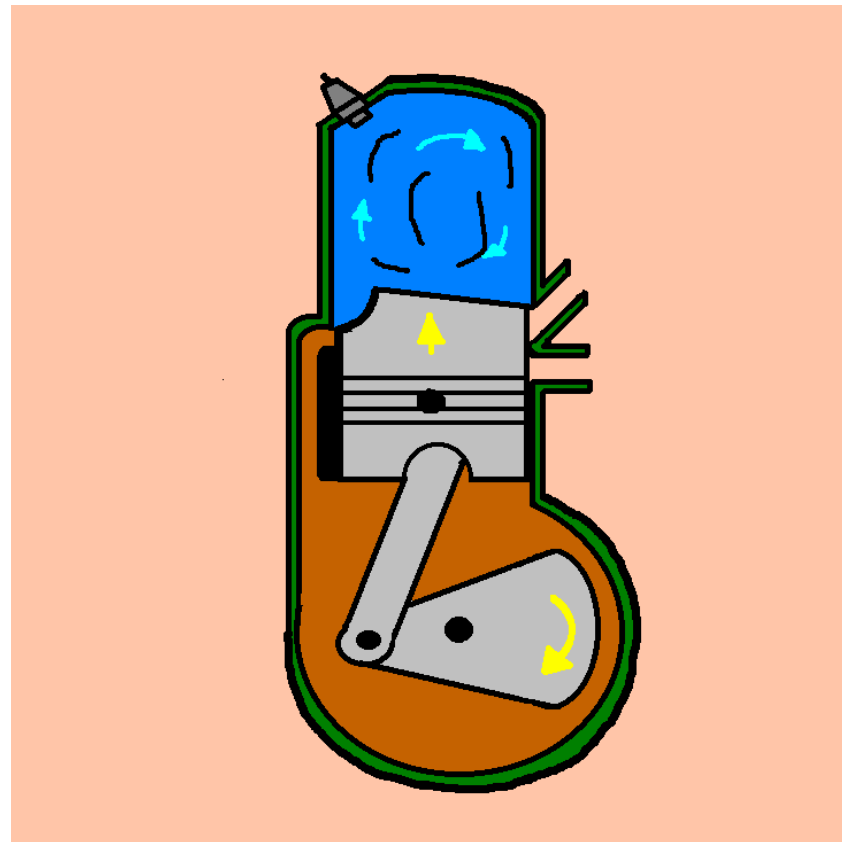


SUW W DÓŁ

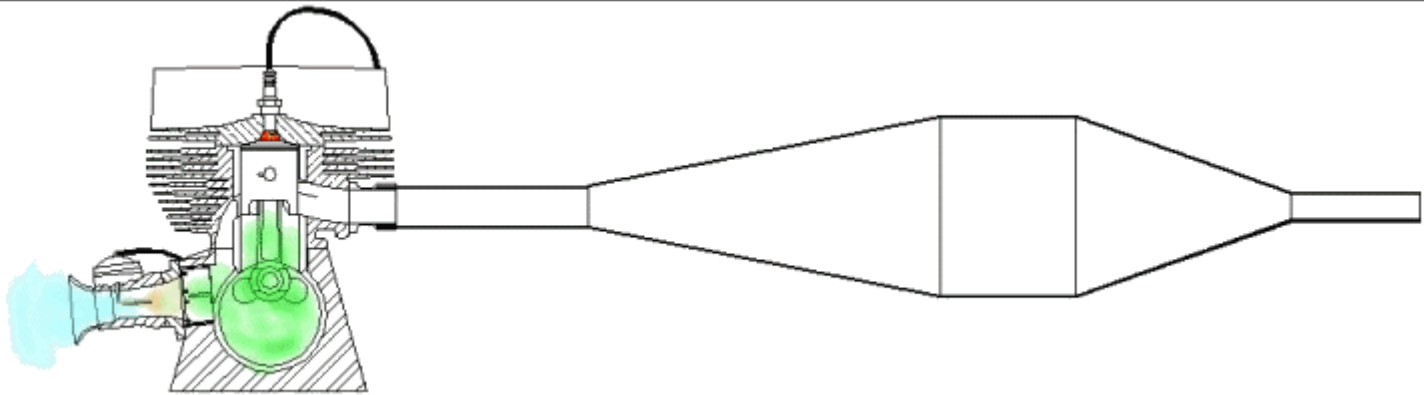


- Silnik na zrealizowanie pełnego cyklu pracy potrzebuje 2 suwów (1 – obrót wału korbowego)
- Nie jest wymagany system zaworów do sterowania procesem wymiany ładunku w cylindrze

# Zasada pracy silnika dwusuwowego

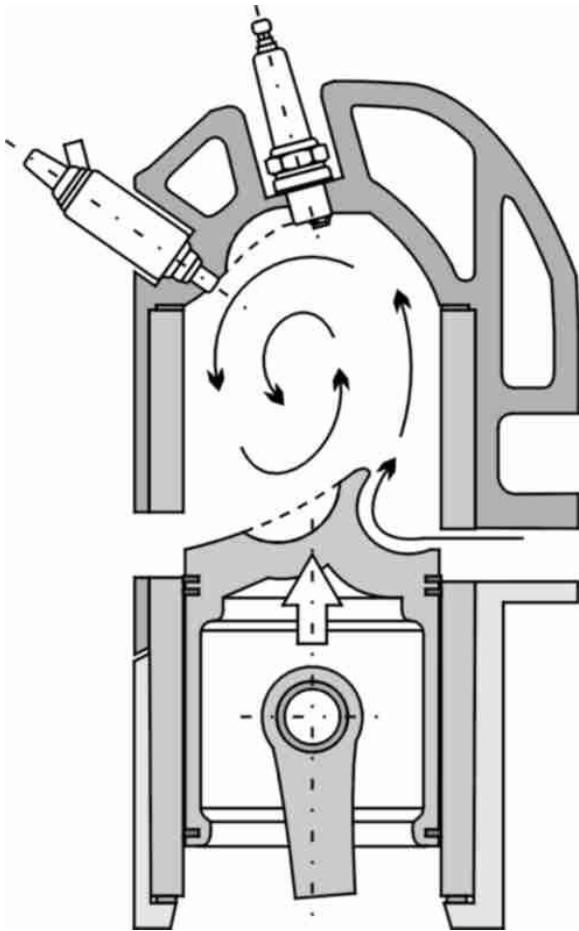


# Zasada pracy silnika dwusuwowego z wykorzystaniem doładowania przez układ wylotowy





# Przepłukiwanie cylindra poprzez ukształtowanie denka tłoka



w odniesieniu do silnika czterosuwowego

## Zalety

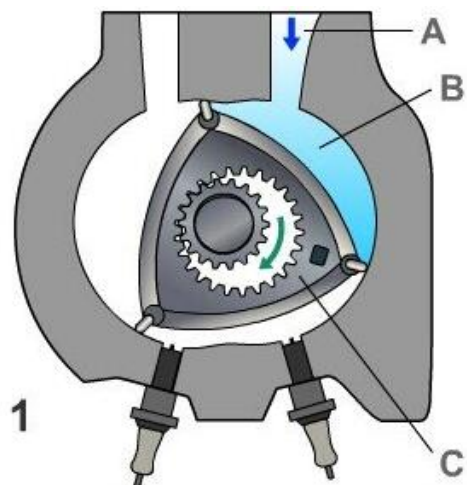
- Cykl pracy przypada na 2 razy mniej obrotów, przez co przy tej samej objętości silnik dwusuwowy ma większą moc
- Prostsza konstrukcja poprzez brak układu do sterowania wymianą ładunku

## Wady

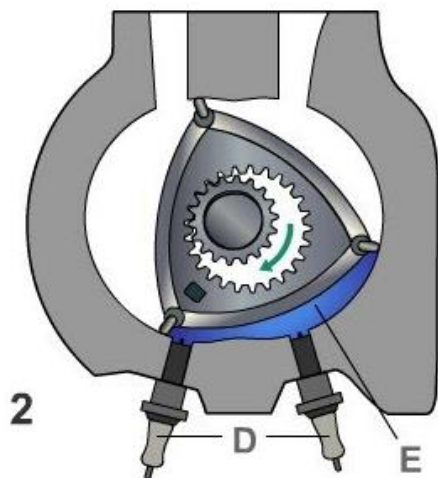
- Mniejsza precyzja wymiany ładunku – więcej zanieczyszczeń wyrzucanych do otoczenia – także przez system smarowania w paliwie
- Większe zużycie paliwa

# Silnik z wirującym tłokiem (Wankla)

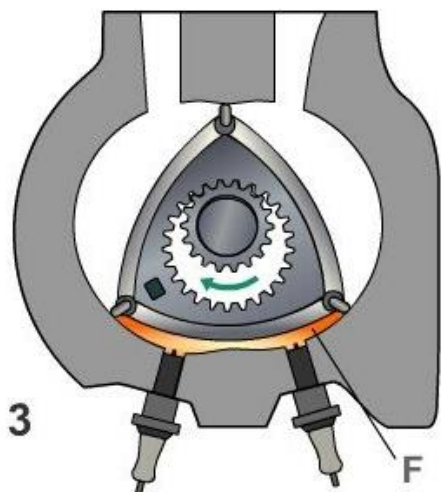
## Ssanie



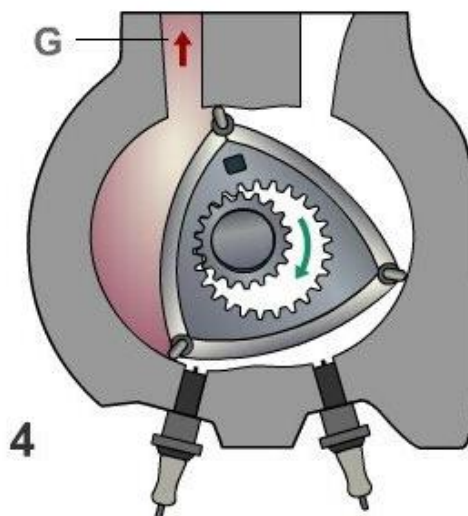
## Sprężanie



## Spalanie



## Wydech



A- kolektor dolotowy

B – przestrzeń robocza silnika

C – wirujący tłok

D – świece zapłonowe

E – sprężone powietrze

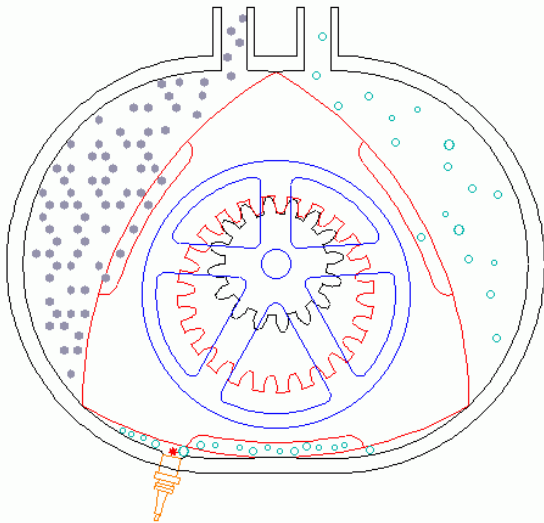
F – minimalna objętość robocza

G – kolektor wylotowy

# Zasada pracy silnika Wankla

## Zalety:

- Trzy cykle pracy w czasie jednego obrotu powodują większą moc z określonej objętości
- Brak konwersji ruchu posuwisto-zwrotnego na obrotowy generuje mniejsze obciążenia dynamiczne konstrukcji silnika i mniejsze drgania
- Nie wymaga systemu zaworowego do sterowania wymianą ładunku



Copyright 2000, Keveney.com

## Wady

- Wysokie zużycie paliwa
- Problemy z uszczelnieniem

# **Podział silnika tłokowego ze względu na doładowanie**

- Silniki wolnossące
- Silnik doładowane

# Silnik wolnossący

W kolektorze dolotowym nie ma sprężarki.  
Zassysanie powietrza odbywa się poprzez podciśnienie wywołane ruchem tłoka powodującym zwiększenie objętości w cylindrze

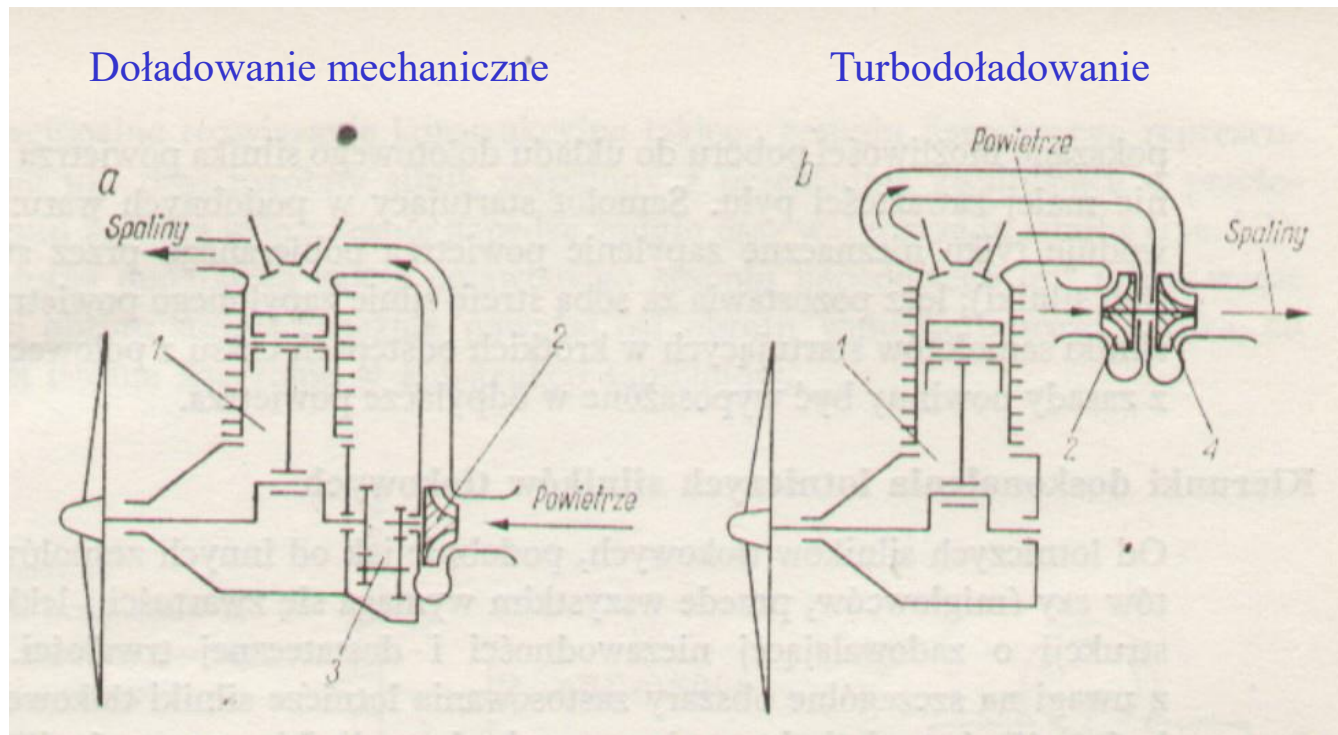
# Silnik doładowany

Ma sprężarkę w kolektorze dolotowym sprężającą wstępnie powietrze. Poprawia to proces napełniania cylindra, przez co zwiększa się ilość powietrza w silniku i moc uzyskiwana z objętości roboczej silnika.

Wszystkie z wymienionych wcześniej rozwiązań silnika mogą być silnikami wolnossącymi lub doładowanymi

# Podział doładowania

- Doładowanie mechaniczne
- Turbodoładowanie



# Porównanie doładowania mechanicznego z turbodoładowaniem

## Doładowanie mechaniczne

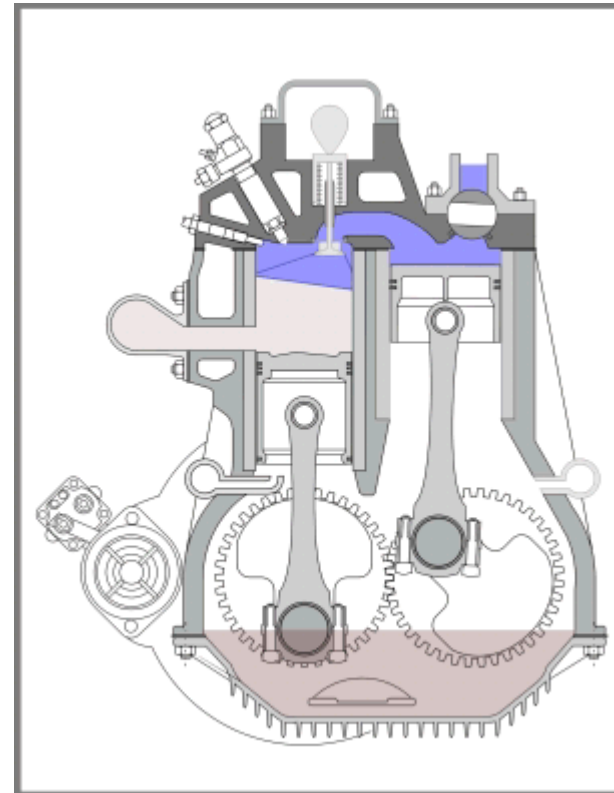
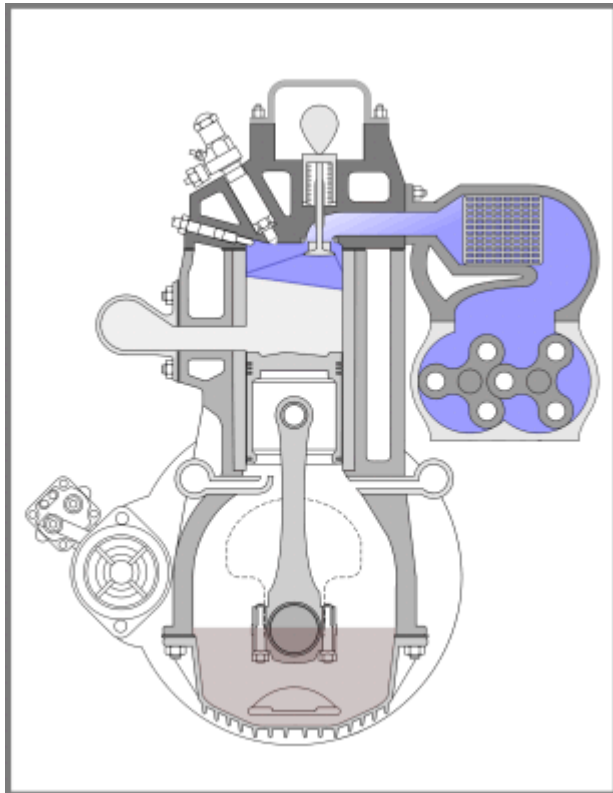
- Sprężarka pobiera moc od wału napędowego silnika
- Stopień sprężania jest bezpośrednio skorelowany z prędkością obrotową wirnika
- Proces opróżniania cylindra odbywa się do ciśnienia otoczenia – moc generowana przez sam silnik jest przez to nieco większa

## Turbodoładowanie

- Sprężarka pobiera moc z turbiny umieszczonej w kolektorze wylotowym
- Stopień sprężania jest zależny od energii wylotowej spalin (turbodziura przy niskich prędkościach obrotowych)
- Turbina w kolektorze wylotowym utrudnia proces opróżniania cylindra



# Nowe koncepcje silnika dwusuwowego z doładowaniem



# **Podział silnika tłokowego ze względu na inicjowanie procesu spalania**

- **Silniki o zapłonie iskrowym**
  - Proces spalania jest inicjowany przez iskrę ze świecy zapłonowej. Silnik jest zasilany benzyną
- **Silniki o zapłonie samoczynnym (Diesla)**
  - Proces spalania jest wywoływany samoczynnie przez odpowiedni przyrost ciśnienia i temperatury mieszanki paliwowo-powietrznej wspomagany świecą żarową. Silnik jest zasilany olejem napędowym lub metanolem (modele lotnicze)

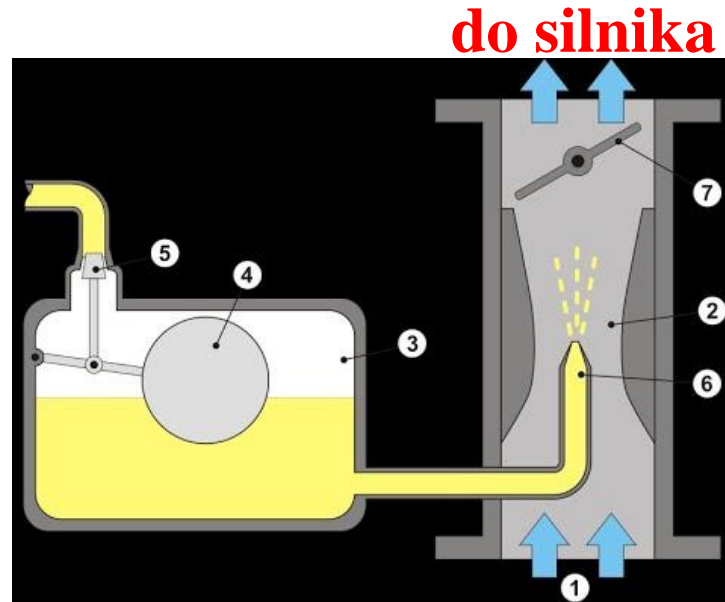
# Podział silnika tłokowego ze względu na sposób podawania paliwa

- Silniki gaźnikowe
  - Proces spalania jest inicjowany przez iskrę ze świecy zapłonowej
- Silniki z wtryskiem paliwa
  - Z wtryskiem pośrednim do kolektora dolotowego
  - Z wtryskiem bezpośrednim do cylindra



# Schemat układu gaźnikowego

1. Wlot powietrza do gaźnika
2. Zwężka gaźnika
3. Zbiornik z paliwem
4. Pływak zaworu dolotowego paliwa
5. Zawór paliwowy
6. Dysza rozpylacza paliwa
7. Przepustnica



- Proste rozwiązanie, jednak wymaga dodatkowych modyfikacji dla samolotów wykonujących lot odwrócony.
- Do cylindra trafia od razu mieszanka paliwowo-powietrzna, co sprzyja lepszemu zmieszaniu paliwa z powietrzem (dłuższy czas mieszania)
- Ograniczony stopień sprężania w cylindrze ze względu na samozapłon (gaźnik miał zastosowanie głównie w silnikach o zapłonie iskrowym i niskim stopniu sprężania do ok 6)
- Mała precyzja dawkowania paliwa

# Wtrysk bezpośredni

Wtrysk paliwa odbywa się bezpośrednio do cylindra w końcowej fazie sprężania

- Wymaga zaawansowanego wysokociśnieniowego układu paliwowego z systemem sterowania
- Pozwala na precyzyjne sterowanie dawką wtryskiwanego paliwa – mniejsze zużycie oraz produkcja zanieczyszczeń



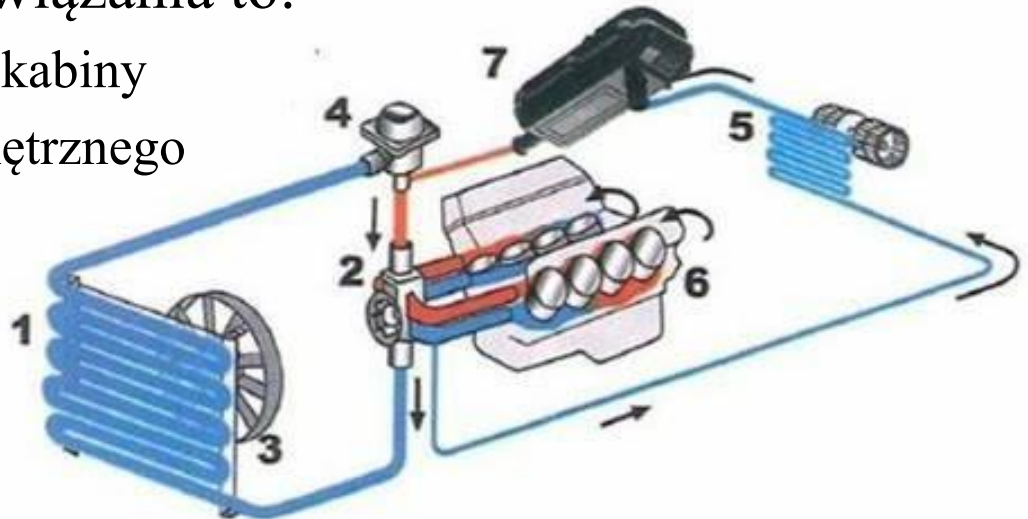
# Podział silnika tłokowego ze względu na sposób chłodzenia

- **Silniki chłodzone cieczą**
  - Wymagany jest układ chłodzący oraz obudowa silnika z kanałami na przepływ czynnika chłodzącego
- **Silniki chłodzone powietrzem**
  - Jedynym wymogiem jest odpowiednie uźebrowanie cylindrów oraz sysemy naprowadzenia powietrza do omywania cylindrów o obudowy silnika



# Chłodzenie cieczą

- Składa się z obiegu cieczy do chłodzenia silnika, wymagającego układu regulacji i chłodnicy do wymiany ciepła
- Obudowa silnika zawiera kanały do przepływu cieczy chłodzącej
- Całość zwiększa masę zespołu napędowego
- Aspekt pozytywny rozwiązania to:
  - Możliwość ogrzewania kabiny
  - Tłumienie hałasu wewnętrznego silnika przez podwójne ścianki karteru



# Podział silników ze względu na układ cylindrów

- Silniki jednocylindrowe
- Silniki wielocylindrowe
  - W układzie rzędownym
  - W układzie gwiazdowym



# Silniki Rzędowe

- Silnik rzędowy - 2-8 cylindrów
- Silnik o cylindrach przeciwległych typu bokser (2,4,6,8 cylindrów)
- Silnik widlasty w układzie V
- Silniki w układzie X (4, 8, 12, 16, 32 cylindry)
- Silnik w układzie H



# Silniki Gwiazdowe

- W układzie pojedynczej gwiazdy (3, 5, 7, 9 cylindrów)
- W układzie podwójnej gwiazdy
- W układzie poczwórnej gwiazdy (największy silnik Pratt & Whitney R-4360 Wasp Major – 28 cylindrów)



Dziękuję za uwagę