

POGLAVJE 8 – Toplota, termodinamika in toplotni stroji

Heat and temperature: <https://www.youtube.com/watch?v=LL54E5CzQ-A>

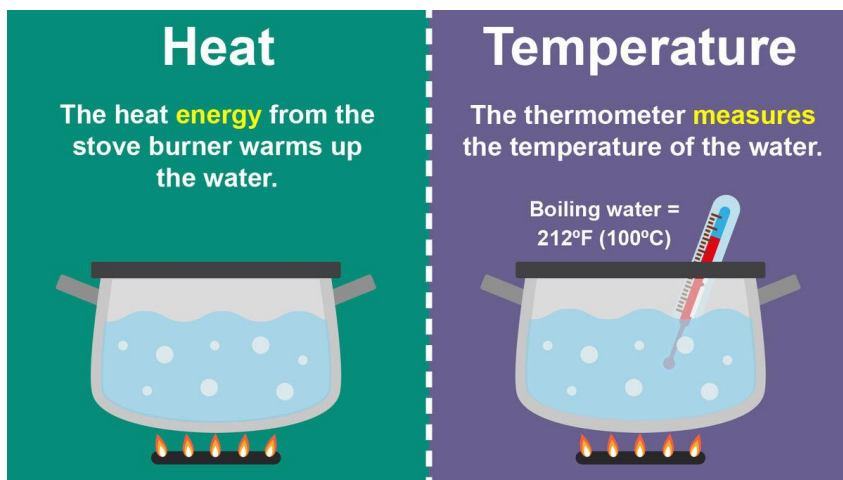
Osnovni pojmi toplote in termodinamike

Toplota in termodinamika sta ključna pojma v fiziki, ki igrata pomembno vlogo tudi v kmetijstvu. Razumevanje teh pojmov nam pomaga pri učinkoviti uporabi energije, izboljšanju energetske učinkovitosti in optimizaciji procesov, kot so ogrevanje rastlinjakov, sušenje kmetijskih pridelkov in delovanje motorjev v kmetijski mehanizaciji.

Razlika med toploto in temperaturo

Toplota in temperatura sta pogosto zamenjevana pojma, vendar imata različne fizikalne pomene:

- **Temperatura** je fizikalna količina, ki opisuje toplinsko stanje telesa. Je mera povprečne kinetične energije delcev v telesu. Višja kot je temperatura, hitreje se gibljejo delci.
- **Toplota** je energija, ki se prenaša med telesi zaradi temperaturne razlike. Vedno se prenaša s toplejšega na hladnejše telo, dokler se ne doseže toplotno ravnovesje.



Differences between heat and temperature

Heat	Temperature
It is a form of energy	It is the degree of hotness or coldness of a body
It is measured in joules	It is measured in Kelvin
it is not determined directly by an instrument	it is directly determined by a thermometer
it is a derived quantity	It is a fundamental quantity

Merske enote temperature

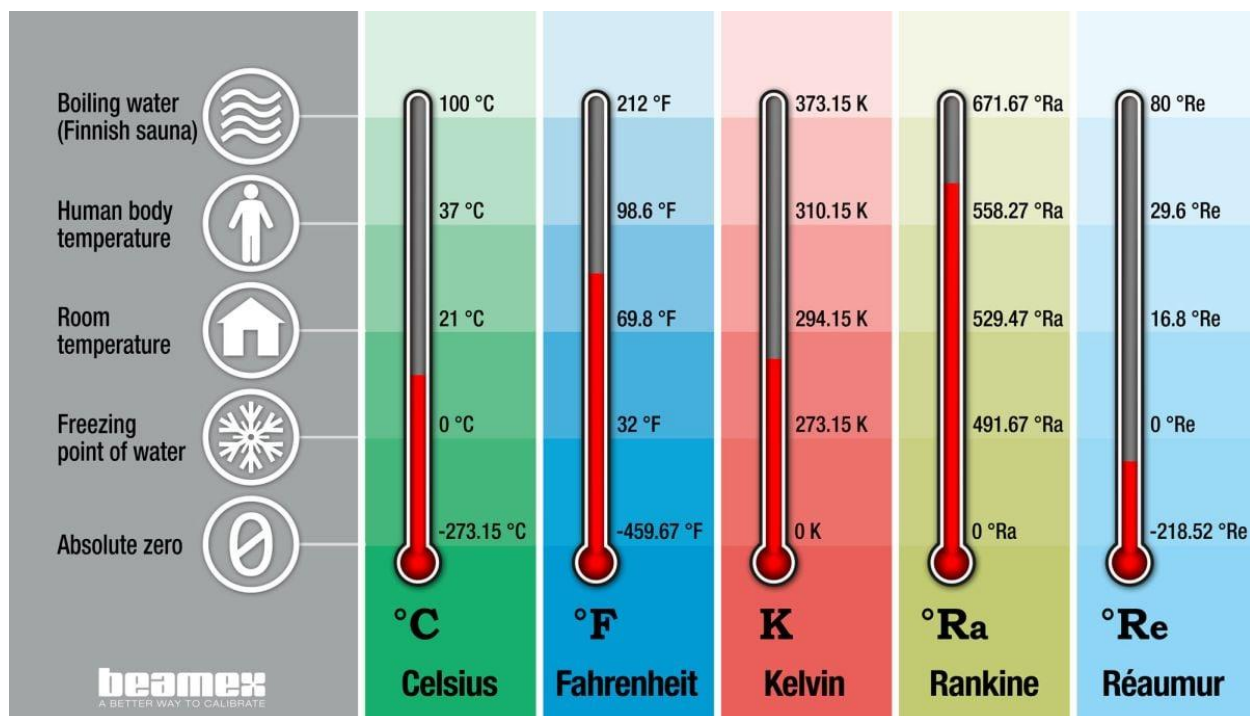
Temperaturo merimo v različnih merskih sistemih:

Pretvorba med enotami:

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$$

$$T(^{\circ}F) = \frac{9}{5}T(^{\circ}C) + 32$$

- **Kelvin (K)** – osnovna enota v mednarodnem sistemu enot (SI). Absolutna ničla (0 K) je najnižja možna temperatura, pri kateri se ustavi gibanje delcev.
- **Celzijeva lestvica (°C)** – uporablja se v vsakdanjem življenju in znanosti. Voda zmrzne pri 0 °C in vre pri 100 °C.
- **Fahrenheitova lestvica (°F)** – uporablja se v ZDA. Voda zmrzne pri 32 °F in vre pri 212 °F.



Toplotna kapaciteta in specifična toplota

Heat capacity: <https://www.youtube.com/watch?v=yhNHJ7WdT8A>

Kadar telo prejme ali odda toploto, se njegova temperatura spremeni. Koliko toplote je potrebno, da se telo segreje ali ohladi, določa njegova **toplotna kapaciteta**.

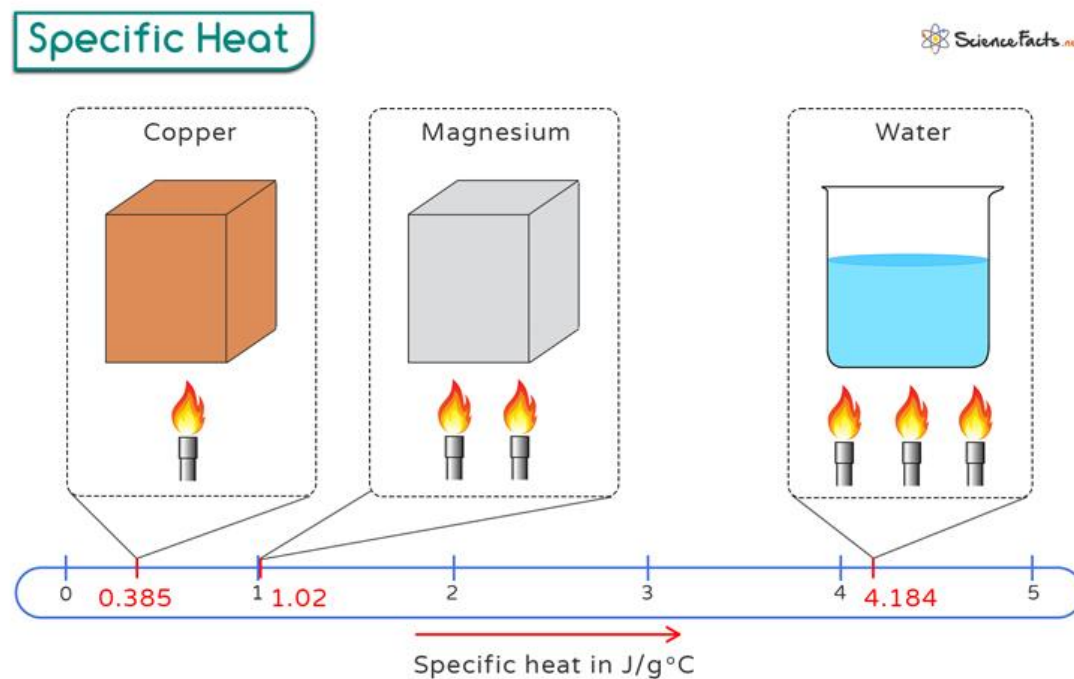
- **Toplotna kapaciteta (C)** je količina toplote, potrebna za spremembo temperature telesa za 1 K.
- **Specifična toplota (c)** je količina toplote, potrebna za segrevanje 1 kg snovi za 1 K. Njena enota je **J/(kg·K)**.

$$q = m \times C_s \times \Delta T$$

Heat (J) → q ← Mass (g) → m ← Specific heat capacity (J/g·°C) → C_s ← Temperature change (°C) → ΔT

Različne snovi imajo različne specifične toplote. Na primer:

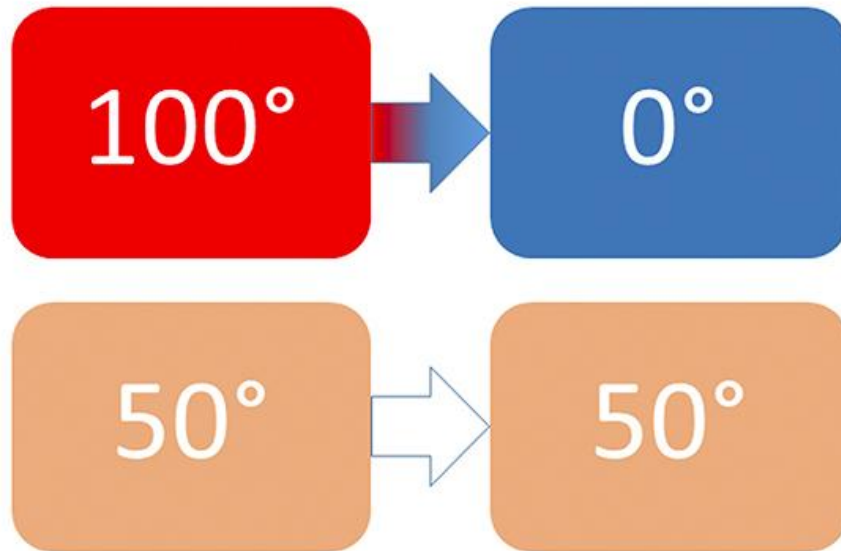
Snov	Specifična toplota (J/kg·K)
Voda	4184
Led	2090
Suh zrak	1005
Železo	450
Les	1700



Heat Capacity vs Specific Heat

<i>Heat capacity</i>	<i>Specific heat capacity</i>
1). Heat capacity (H_c) is defined as the amount of heat absorbed (Q) in order to increase the temperature (ΔT) by 1 unit .	1). Specific heat capacity (C) is defined as the amount of heat absorbed (Q) in order to increase the temperature (ΔT) by 1 unit, of a unit mass(m) .
2). Heat capacity is the ratio of heat supplied (Q) to the body to the change in it's temperature (ΔT).	2). Specific heat capacity is the ratio of heat capacity (H_c) of the body to the unit mass (m) of that body.
3). The formula for heat capacity is given by; $H_c = Q/\Delta T$	3). The formula for specific heat capacity is given by; $C = Q/m\Delta T$
4). The unit of heat capacity is J/K .	4). The unit of specific heat capacity is $J/kg\ K$.

What is **Thermal Equilibrium**?



Thermal equilibrium refers to the condition in which two or more objects in thermal contact reach the same temperature and no longer experience a net transfer of heat between them.

In this state, the rates of heat transfer in both directions are equal, resulting in a uniform distribution of thermal energy.

This concept is fundamental in thermodynamics and is observed in natural and artificial systems, from everyday objects to planets in space, when they attain a common temperature.

Agregatna stanja in fazni prehodi

Liquid crystal display: <https://www.youtube.com/watch?v=TyUA1OmXMXA>

<https://www.youtube.com/watch?v=Gx-JVoOFYhs>

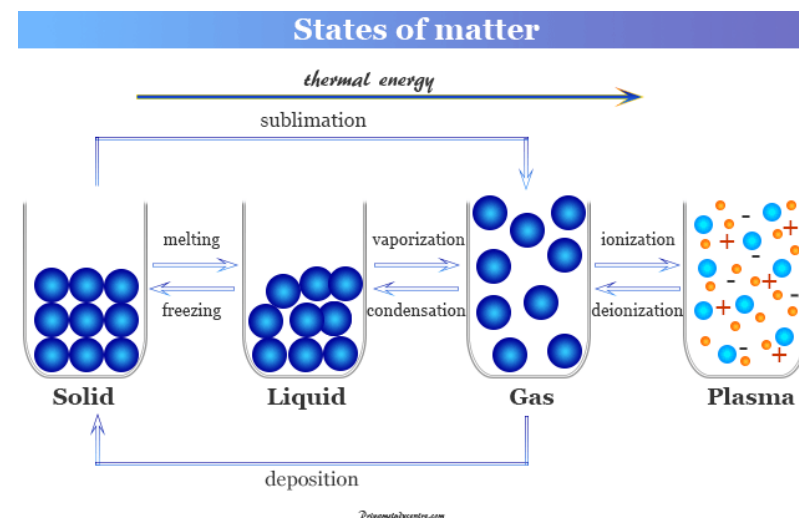
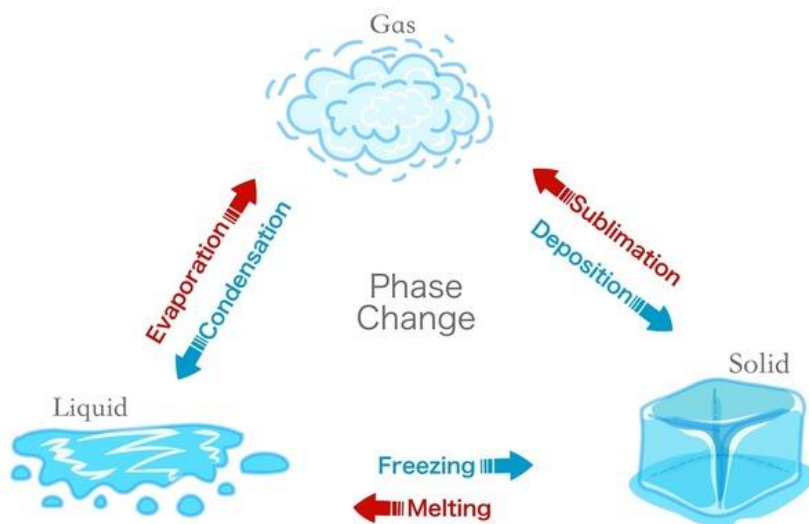
Agregatna stanja snovi so fizikalna stanja, v katerih lahko obstaja snov, in so odvisna od temperature in tlaka.

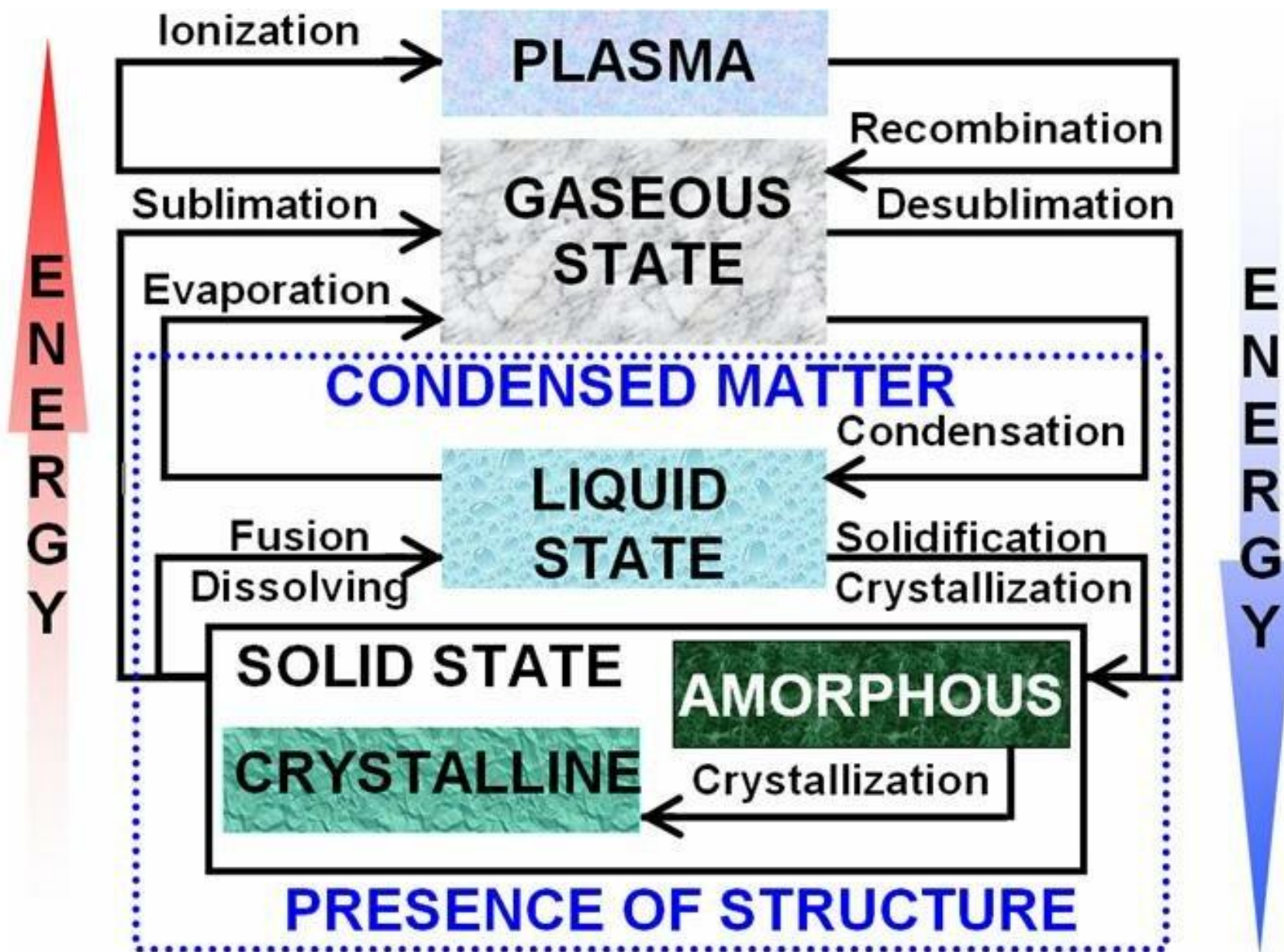
Ločimo **tri osnovna** in **dva posebna** agregatna stanja:

1. **Trdno stanje** – delci so tesno povezani v urejeni strukturi (kristalni ali amorfni obliki). Snov ima določen volumen in obliko.
2. **Tekoče stanje** – delci so povezani, a se lahko gibljejo, kar omogoča pretakanje. Snov ima določen volumen, a ne določene oblike.
3. **Plinasto stanje** – delci so razporejeni naključno in se prosto gibljejo. Snov zavzema celoten volumen posode.

Poleg osnovnih agregatnih stanj poznamo tudi:

4. **Plazma** – ioniziran plin, v katerem so elektroni ločeni od atomov. Prisoten je v Soncu, zvezdah in streli.
5. **Bose-Einsteinov kondenzat** – stanje, ki nastane pri ekstremno nizkih temperaturah, ko se atomi združijo v kvantno superpozicijo.





Talilna toplota in izparilna toplota

Pri prehodih med agregatnimi stanji snov absorbira ali oddaja toploto, ne da bi se njena temperatura spremenila.

Talilna toplota (Q_t)

Talilna toplota je količina toplote, ki je potrebna, da se 1 kg trdne snovi pri tališču spremeni v tekočo snov, ne da bi se spremenila temperatura.

$$Q_t = mL_t$$

kjer je:

- Q_t – talilna toplota (J),
- m – masa snovi (kg),
- L_t – specifična talilna toplota (J/kg).



Primer: Specifična talilna toplota vode je **334 kJ/kg**, kar pomeni, da je potrebno 334 kJ toplote, da 1 kg ledu pri 0 °C postane voda pri 0 °C.

Izparilna toplota (Q_i)

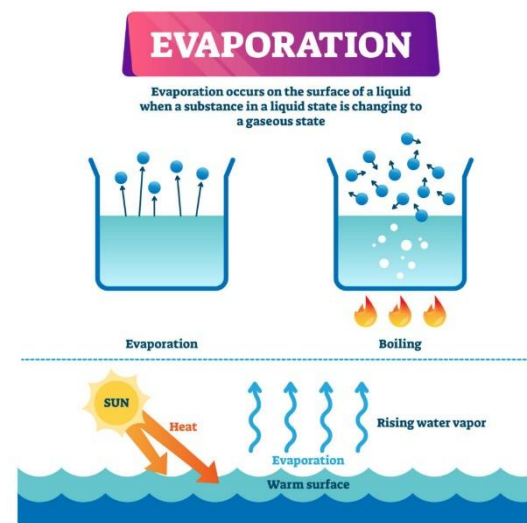
Izparilna toplota je količina toplote, ki je potrebna, da se 1 kg tekočine pri vrelišču spremeni v plinasto snov, brez spremembe temperature.

$$Q_i = mL_i$$

kjer je:

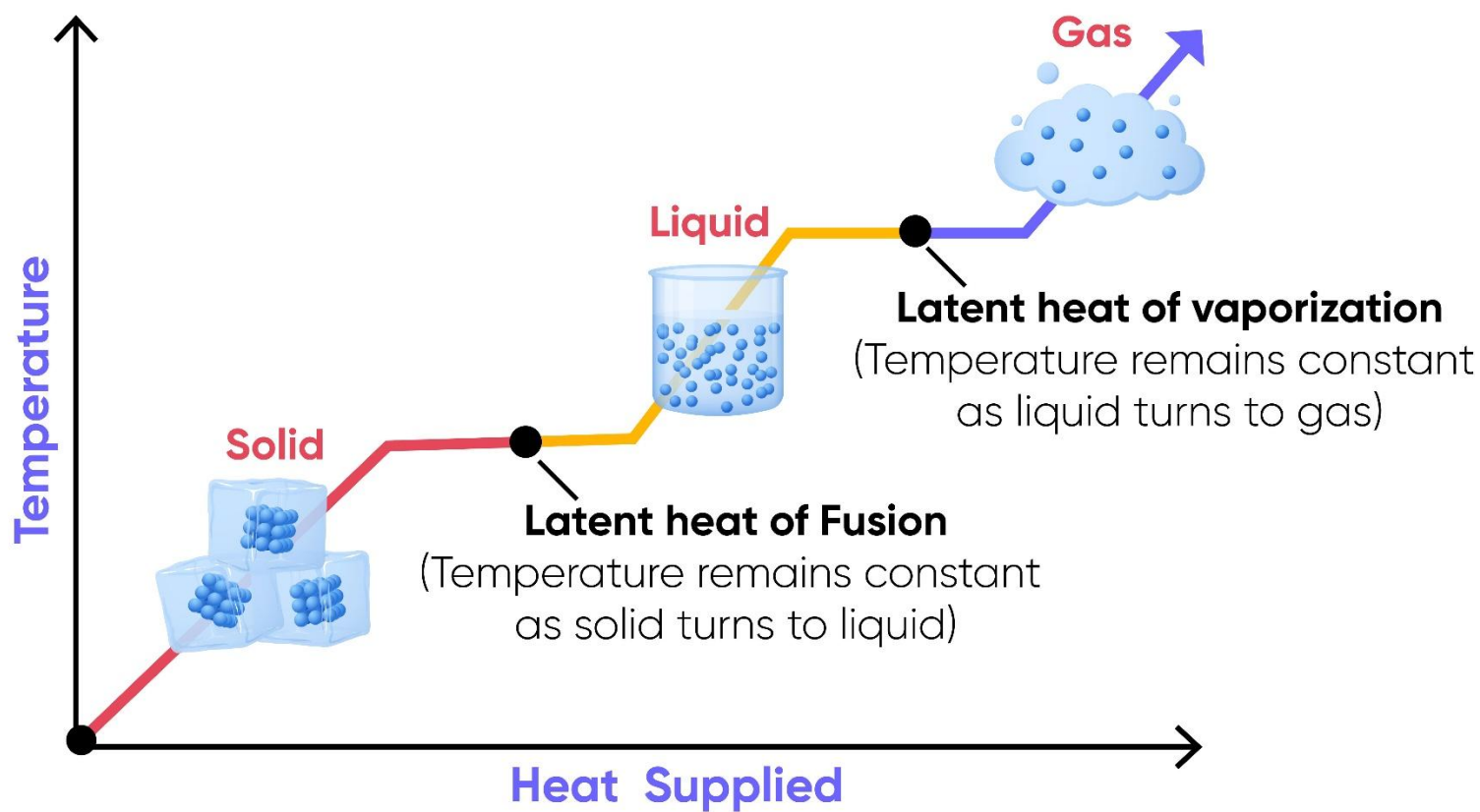
- Q_i – izparilna toplota (J),
- m – masa snovi (kg),
- L_i – specifična izparilna toplota (J/kg).

Primer: Specifična izparilna toplota vode je 2260 kJ/kg, kar pomeni, da je potrebno 2260 kJ toplote, da 1 kg vode pri 100 °C izpari v vodno paro pri 100 °C.



LATENT HEAT

teachoo



Sežigna toplota premoga in nafte

Sežigna toplota (ali kurilna vrednost) je količina energije, ki se sprosti pri popolnem zgorevanju 1 kg goriva. Izražamo jo v J/kg ali MJ/kg.

Sežigna toplota premoga

Premog je fosilno gorivo, sestavljeno predvsem iz ogljika, vodika in nekaj nečistoč. Njegova sežigna toplota je odvisna od vrste premoga:

Vrsta premoga	Sežigna toplota (MJ/kg)
Antracit	30–35
Črni premog	25–30
Rjavi premog	10–20
Šotni premog	5–15

- Antracit ima najvišjo kurilno vrednost, saj vsebuje največ ogljika in najmanj vlage.
- Rjavi premog in šotni premog imata nižjo kurilno vrednost zaradi večje vsebnosti vlage in nečistoč.



Sežigna toplota nafte

Nafta je tekoče fosilno gorivo, sestavljeno iz kompleksne mešanice ogljikovodikov. Njena povprečna sežigna toplota je:

- 42–46 MJ/kg za surovo nafto
- 44–46 MJ/kg za dizelsko gorivo
- 42–44 MJ/kg za bencin

→ Dizelsko gorivo ima višjo kurilno vrednost kot bencin, kar pomeni večjo energijsko gostoto in daljši doseg motorjev na liter goriva.

→ Kurilno olje (uporablja se za ogrevanje) ima podobno sežigno toploto kot dizelsko gorivo.



Toplotni cikli

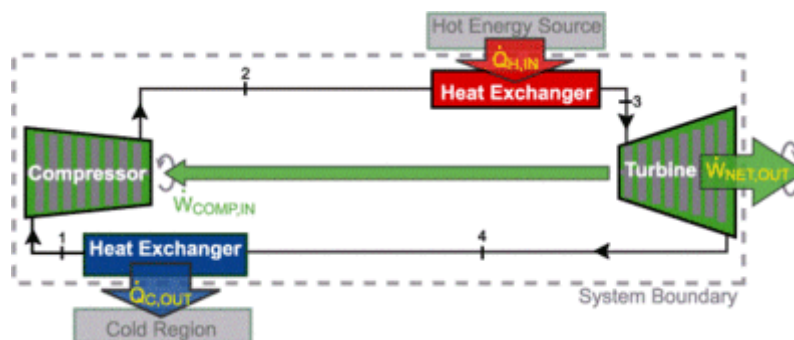
Toplotni cikli so procesi, pri katerih se toplota pretvarja v mehansko delo in obratno. Ti cikli so osnova delovanja motorjev, ki poganjajo traktorje, kombajne, črpalke in druge kmetijske stroje. Razumevanje toplotnih ciklov je ključno za učinkovito rabo goriva in optimizacijo delovanja kmetijske mehanizacije.

Osnovni koncept toplotnega cikla

Toplotni cikel je sestavljen iz štirih glavnih faz:

1. **Dovod toplote** – gorivo ali drug vir toplote segreje delovno snov (zrak, paro, gorivne pline).
2. **Raztezanje in opravljanje dela** – segreta snov se razširi, kar povzroči gibanje bata ali turbine.
3. **Odvzem toplote** – delovna snov odda toploto okolici.
4. **Stiskanje in priprava za nov cikel** – delovna snov se stisne in pripravi na ponovni dovod toplote.

Vsak cikel deluje po določenem **termodinamičnem načelu**, ki opisuje, kako se energija prenaša in pretvarja.

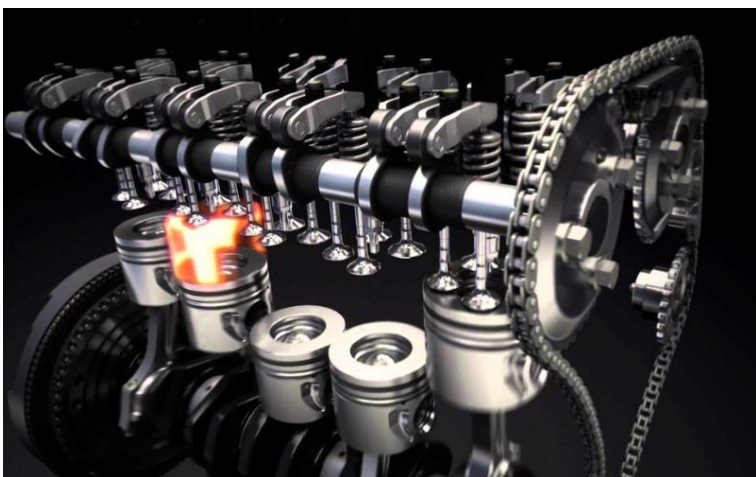


Uvod v motorje z notranjim izgorevanjem

Motorji z notranjim izgorevanjem (MZI) so stroji, ki kemično energijo goriva pretvarjajo v mehansko energijo prek procesa zgorevanja, ki poteka znotraj delovnega prostora motorja. Ta vrsta motorjev ima ključno vlogo v sodobnem transportu, industriji in kmetijstvu, saj poganja avtomobile, tovornjake, traktorje, motorna kolesa, ladje in celo nekatere letalske stroje.

Zgodovinski razvoj

- Prvi pomembni koraki v razvoju motorjev z notranjim izgorevanjem segajo v 19. stoletje, ko je Étienne Lenoir razvil enega prvih praktičnih **plinskih motorjev**.
- Kasneje je **Nikolaus Otto** izpopolnil štiritaktni motor, znan kot **Ottov cikel**, ki še danes predstavlja osnovo za delovanje večine **bencinskih motorjev**.
- **Rudolf Diesel** je nato konec 19. stoletja razvil dizelski motor, ki deluje na principu samovžiga goriva zaradi visokega tlaka in temperature



Osnovni principi delovanja

V MZI gorivo in zrak vstopita v valj, kjer se mešanica stisne in nato vžge (z iskrico pri bencinskih motorjih ali s samovžigom pri dizelskih motorjih). Nastala eksplozija povzroči pomik bata, ki prek ojnice in ročične gredi pretvori linearno gibanje v rotacijsko gibanje, ki se nato prenese na pogonski sistem vozila ali stroja.

How does an internal combustion motor works:

<https://www.youtube.com/watch?v=Y32gDgLq6hE>

How a car engine works: <https://www.youtube.com/watch?v=ZQvfHyfgBtA>

Osnovna načela delovanja motorjev z notranjim izgorevanjem

Motorji z notranjim izgorevanjem (MZI) pretvarjajo kemično energijo goriva v mehansko delo prek procesa izgorevanja, ki poteka v notranjosti delovnega prostora motorja. Ključni elementi delovanja so dovod goriva, zgorevanje, pretvorba energije v mehansko gibanje ter odstranjevanje izpušnih plinov.

Termodinamični principi delovanja

Osnova delovanja MZI temelji na termodinamičnih ciklih, ki določajo način prenosa in izkoriščanja energije:

- **Ottov cikel** – uporablja se pri bencinskih motorjih in temelji na zunanjih vžigalnih sistemih (svečka vžge gorivo)
- **Dieslov cikel** – uporablja se pri dizelskih motorjih in temelji na samovžigu zaradi visoke kompresije zraka.
- **Atkinsonov in Millerjev cikel** – posebni cikli, ki se uporabljajo za izboljšanje učinkovitosti in zmanjšanje porabe goriva.

V obeh osnovnih ciklih (Ottov in Dieslov) poteka proces izgorevanja v zaporedju štirih osnovnih faz, ki se imenujejo **delovni takti motorja**.

Otto cycle: <https://www.youtube.com/watch?v=q5vgBPb8gSc>

Otto cycle: <https://www.youtube.com/watch?v=fNcZDrfT498>

Diesel cycle: <https://www.youtube.com/watch?v=TMAJMGCI-tI>

Diesel cycle: <https://www.youtube.com/watch?v=88T8m4c7BxA>

Diesel cycle: <https://www.youtube.com/watch?v=qeGQgPQsJJI>

Atkinson cycle: https://www.youtube.com/watch?v=WKKILW3Zj_Y

Atkinson cycle: <https://www.youtube.com/watch?v=gD2AQuhbHdk>



Štiritaktni motor

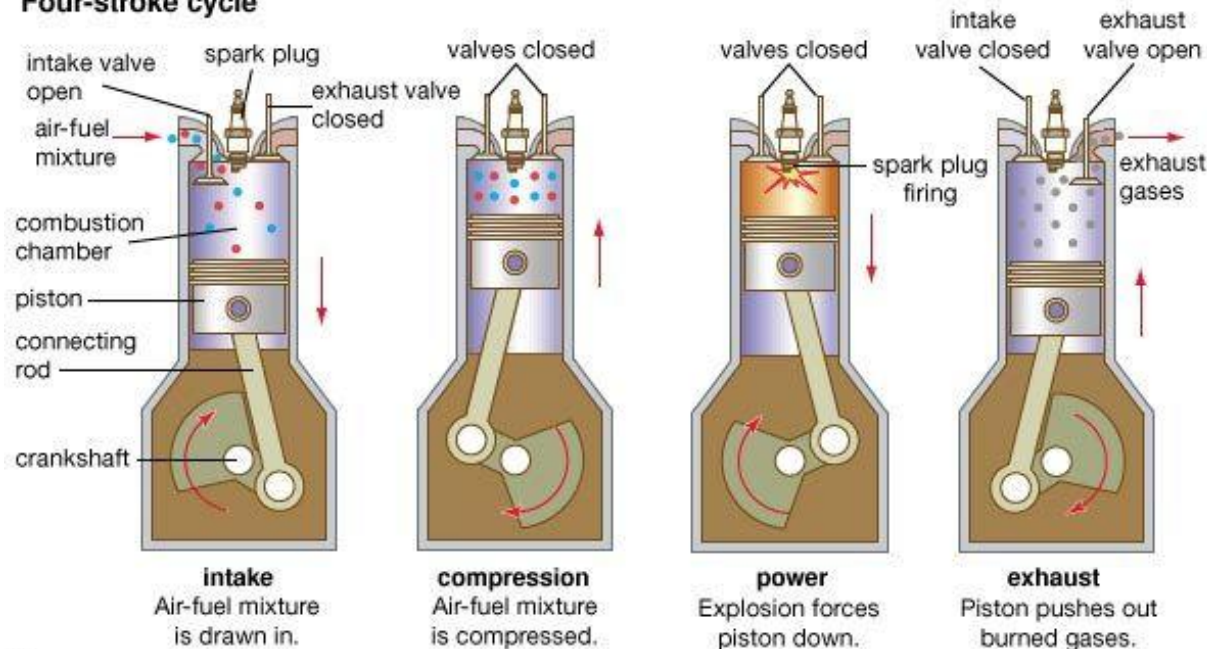
Večina sodobnih motorjev z notranjim izgorevanjem deluje po štiritaktnem principu, ki vključuje naslednje faze:

1. **Sesanje (vnos zraka in goriva):** Bat se pomika navzdol in v valj skozi sesalni ventil vstopa zrak (pri dizelskih motorjih) ali mešanica zraka in goriva (pri bencinskih motorjih). Pri bencinskih motorjih ta mešanica nastane v uplinjaču ali sistemu za vbrizg goriva.
2. **Stiskanje (kompresija):** Bat se pomika navzgor in stiska zrak (pri dizelskih motorjih) ali mešanico goriva in zraka (pri bencinskih motorjih). Povečanje tlaka in temperature izboljša učinkovitost zgorevanja.
3. **Izgorevanje (ekspanzija ali delovni takt):** Pri bencinskem motorju svečka vžge stisnjeno mešanico, pri dizelskem motorju pa se gorivo samovžge zaradi visokega tlaka in temperature. Nastali plini ustvarijo visok tlak, ki potisne bat navzdol in proizvaja mehansko energijo.
4. **Izpuh (odstranjevanje izpušnih plinov):** Bat se ponovno pomakne navzgor in skozi izpušni ventil iztisne izpušne pline iz valja. Ti plini nato potujejo skozi izpušni sistem, kjer se lahko obdelajo s katalizatorjem in filtrom za delce.

Four-stroke engine: <https://www.youtube.com/watch?v=Pu7g3uIG6Zo>

Four-stroke engine: <https://www.youtube.com/watch?v=ZSkB3zrU8T4>

Four-stroke cycle



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

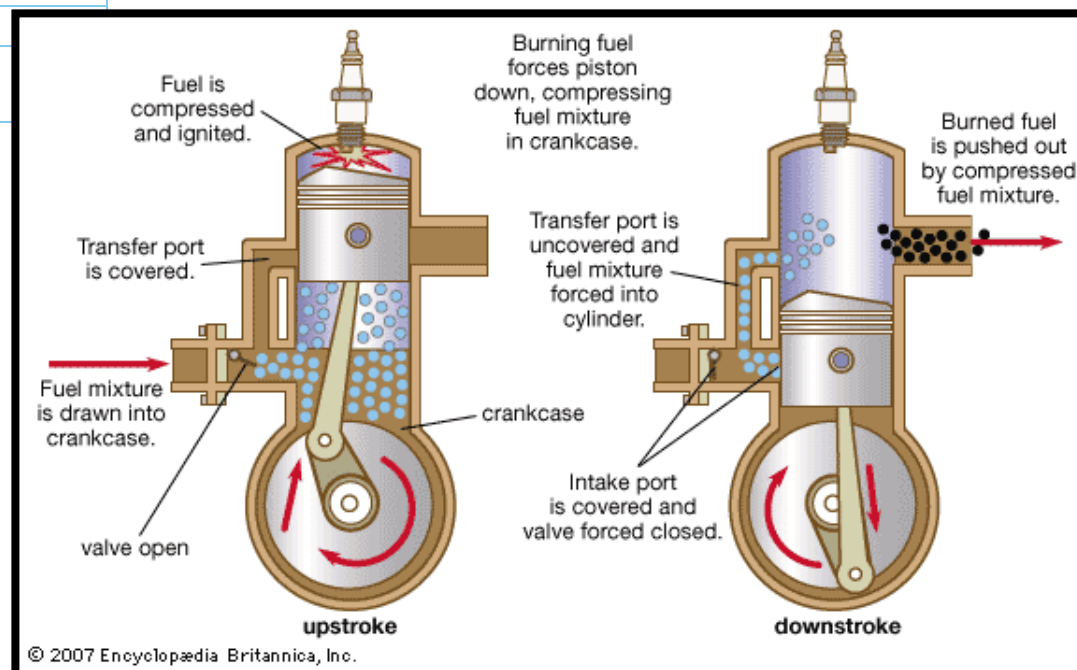
Dvotaktni motor

Dvotaktni motorji delujejo na enakem principu, vendar združijo sesanje in stiskanje v enem gibu bata ter izgorevanje in izpuh v drugem gibu. To pomeni:

- Večjo moč pri enaki prostornini, saj vsak vrtljaj ročične gredi proizvaja delovni takt.
- Preprostejšo zgradbo in manjše število gibljivih delov.
- Višjo porabo goriva in večje emisije zaradi slabšega izkoristka goriva.

Razlika med bencinskimi in dizelskimi motorji

Značilnost	Bencinski motor	Dizelski motor
Sistem vžiga	Vžig s svečko	Samovžig zaradi kompresije
Kompresijsko razmerje	8:1 do 12:1	14:1 do 24:1
Gorivo	Bencin	Dizelsko gorivo
Poraba goriva	Višja	Nižja
Navor pri nizkih vrtljajih	Nižji	Višji
Uporaba	Osebni avtomobili, motorna kolesa	Tovornjaki, traktorji, industrijski stroji



Konstrukcija motorjev z notranjim izgorevanjem

Motorji z notranjim izgorevanjem so sestavljeni iz več ključnih komponent, ki skupaj omogočajo učinkovito delovanje. Konstrukcija motorja se razlikuje glede na vrsto motorja (bencinski, dizelski, dvotaktni, štiritačni), vendar si vsi delijo osnovne strukturne elemente.

1. Glavne sestavine motorja

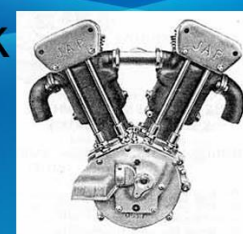
1.1. Blok motorja

Blok motorja je osnovna struktura, v katero so vgrajeni valji, batni sklop, ročična gred in drugi pomembni deli. Običajno je izdelan iz:

- **Litoželeza** (odpornost proti obrabi, visoka vzdržljivost)
- **Aluminijevih zlitin** (manjša teža, boljše odvajanje toplote)

V bloku motorja so nameščene hladilne kanale in oljne poti, ki skrbijo za odvajanje toplote in mazanje gibljivih delov.

- **vodno hlajene valje** (monoblok ima izdelane pretočne kanale za vodo),
- **zračno hlajene valje** (blok je izdelan z zunanjimi rebri, zato so običajno valji med seboj ločeni, da lahko povečamo površino reber, ki odvajajo toploto okoliškemu zraku).



1.2. Valji

Valji predstavljajo delovni prostor, v katerem se premikajo bati. Njihova notranja površina mora biti izredno gladka, da omogoča čim manj trenja in boljše tesnjenje. Število valjev določa zmogljivost in uravnoveženost motorja. Najpogostejše konfiguracije valjev so:

- **Vrstni motor (I)** – valji so razporejeni v ravni črti (npr. 4-valjni vrstni motor v avtomobilih).
- **V-motor (V)** – valji so razporejeni v dveh vrstah pod kotom (npr. V6, V8 motorji).
- **Boksterski motor (H ali B)** – valji so nameščeni vodoravno (npr. Subaru in Porsche).

1.3. Batni sklop

Batni sklop sestavljajo:

- **Bat** – se giblje v valju in prenaša tlak plinov na ojnico.
- **Batni obročki** – zagotavljajo tesnjenje in zmanjšujejo uhajanje plinov med batom in stenami valja. Običajno so trije: dva kompresijska in en oljni obroček.
- **Batična zatičnica** – povezuje bat z ojnico.

Materiali batov vključujejo aluminijeve zlitine zaradi nizke mase in dobrega toplotnega prevajanja.



1.4. Ojnica

Ojnica povezuje bat z ročično gredjo in pretvarja linearno gibanje bata v rotacijsko gibanje. Običajno je izdelana iz jekla ali titana zaradi visoke mehanske trdnosti.



1.5. Ročična gred (gred ročice)

Ročična gred je ključni del motorja, ki pretvarja gibanje batov v rotacijsko gibanje. Ima protiuteži za zmanjšanje vibracij in ležaje, ki omogočajo gladko delovanje.

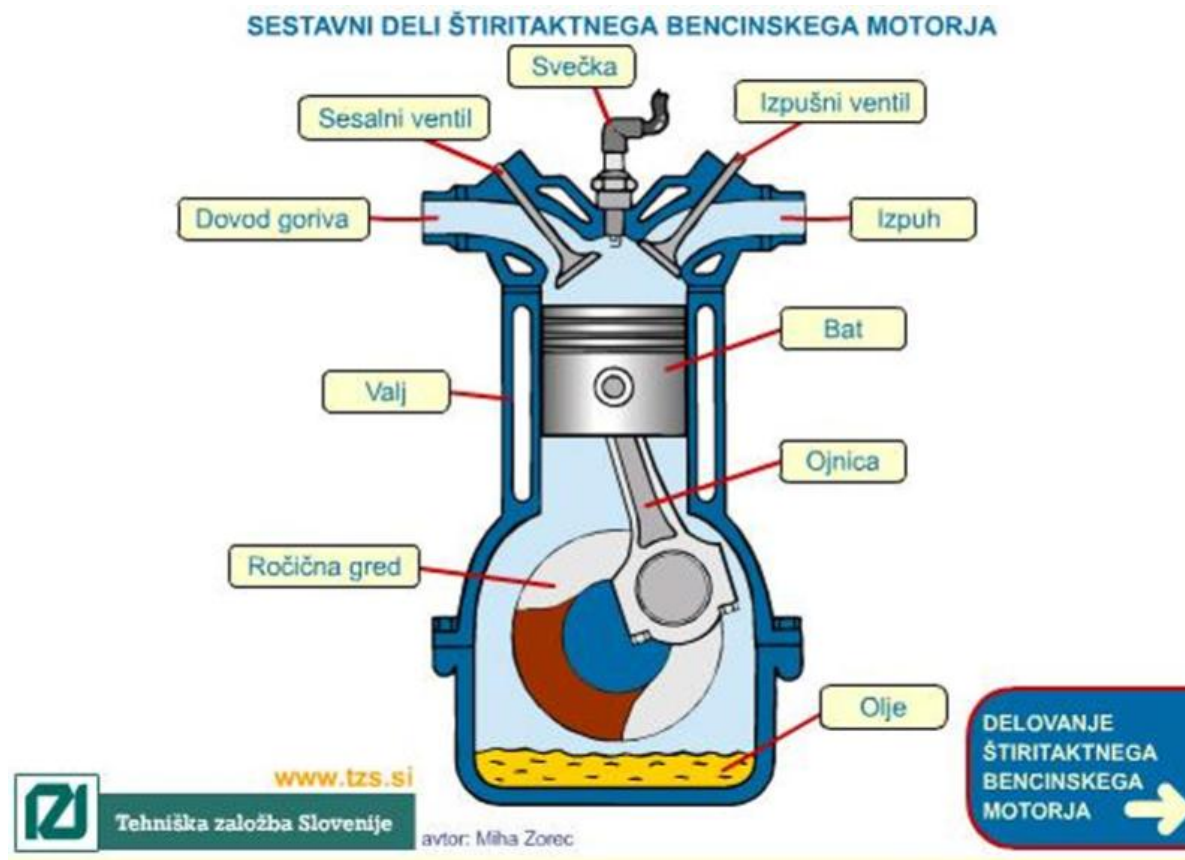


1.6. Glava motorja

Glava motorja je nameščena na bloku motorja in vsebuje:

- **Ventile** – uravnava dovoz zraka in goriva ter odvod izpušnih plinov.
- **Odmikalno gred** – odpira in zapira ventile.
- **Svečke** (pri bencinskih motorjih) ali **vbrizgalne šobe** (pri dizelskih motorjih).

Materiali glave motorja so aluminijeve ali železne zlitine, ki zagotavljajo dobro toplotno prevodnost in odpornost na visoke temperature.



2. Pomožni sistemi motorja

2.1. Sesalni sistem

Skrbi za dovod zraka v valje. Sestavljajo ga:

- Zračni filter
- Sesalni kolektor
- Loputa za plin (pri bencinskih motorjih)

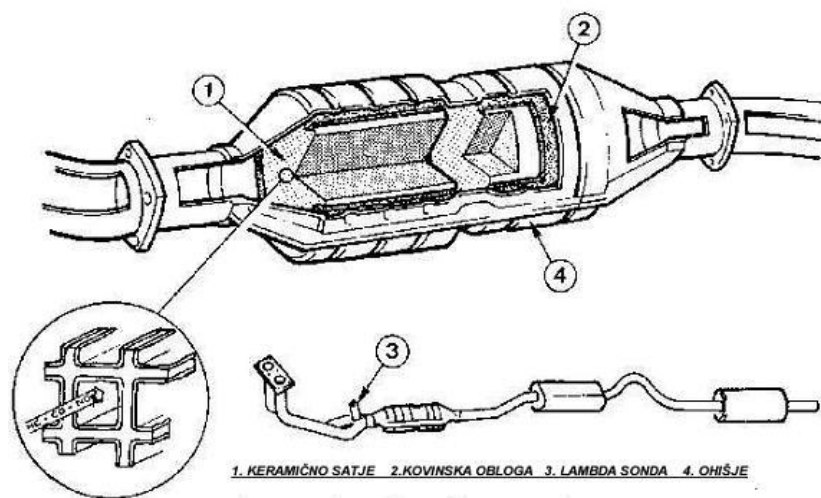
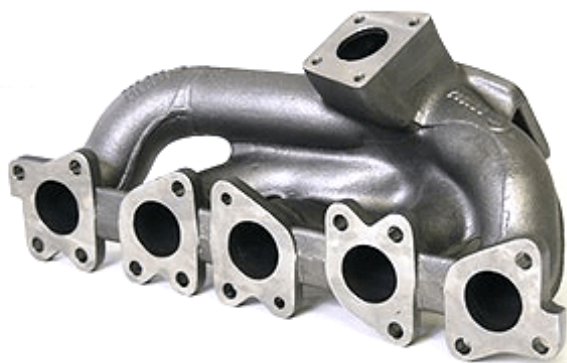
Pri sodobnih motorjih se uporablja **prisilno polnjenje** (turbopolnilnik ali kompresor), ki poveča količino zraka in s tem moč motorja.



2.2. Izpušni sistem

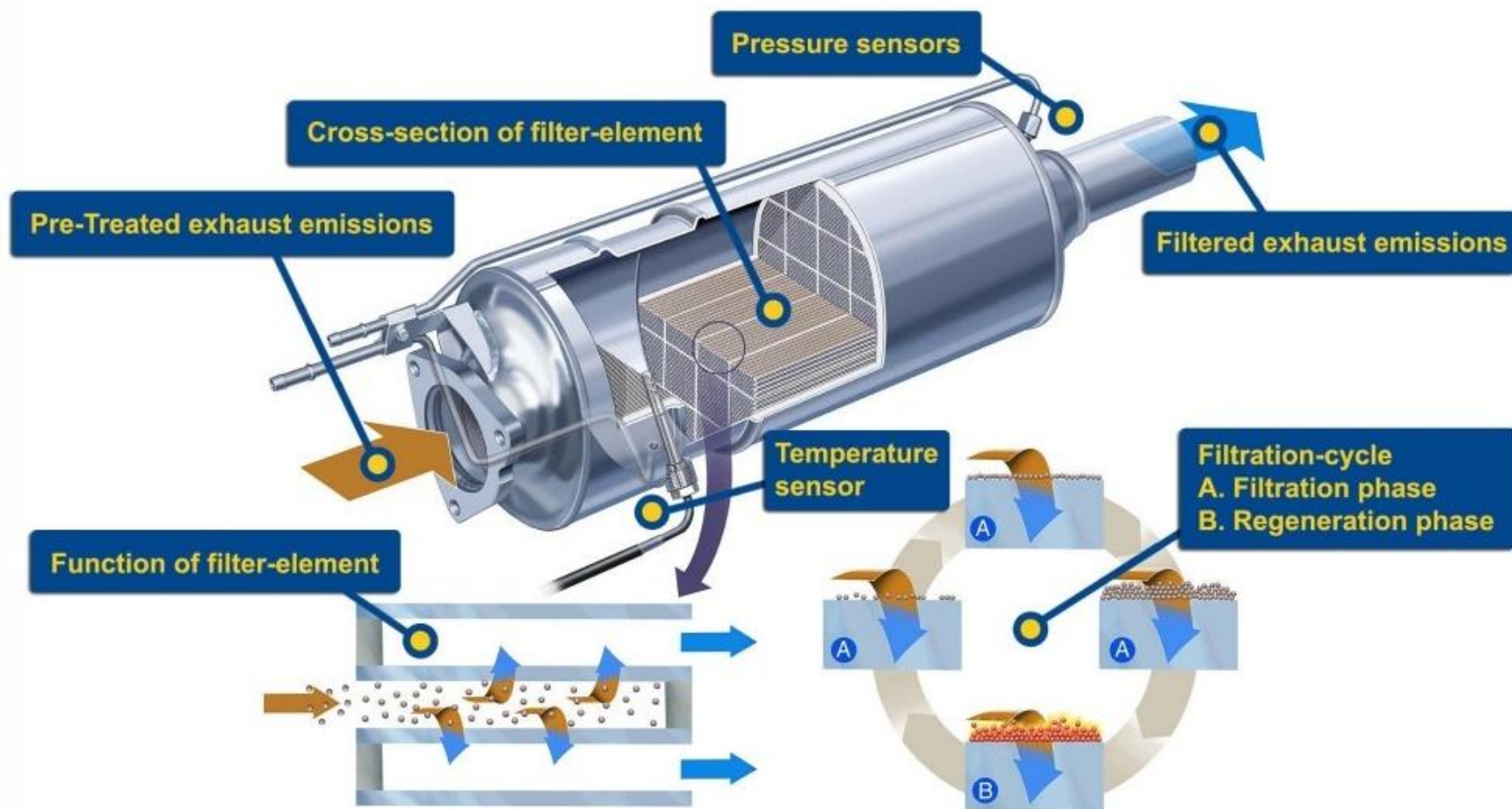
Skrbi za odstranjevanje izpušnih plinov in zmanjšanje emisij. Glavne komponente so:

- Izpušni kolektor
- Katalizator (pretvori škodljive pline v manj škodljive spojine)
- DPF (filter trdnih delcev pri dizelskih motorjih)
- Dušilec zvoka (izpušni lonec)



DPF je kratica za »Diesel Particulate Filter«, kar pomeni filter trdih delcev in je sestavni del izpušnega sistema pri dizelskih motorjih. Njegova naloga je čiščenje izpuha motorja in zmanjševanje onesnaževanja zraka, ki ga dihamo. Čeprav je njegova naloga hvalevredna, pa pogosto povzroča težave, ki niso ravno poceni za reševanje. DPF je tako »blagoslov in prekletstvo«.



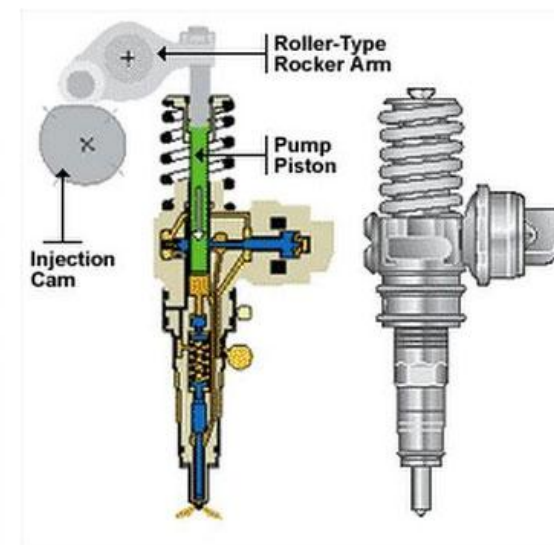


2.3. Gorivni sistem

Skrbi za shranjevanje, filtriranje in dovod goriva. Sestavljajo ga:

- Gorivni rezervoar
- Gorivna črpalka
- Gorivni filter
- Vbrizgalni sistem (mehanski ali elektronski)

Pri dizelskih motorjih je vbrizg goriva pod visokim tlakom (Common Rail sistem), pri bencinskih motorjih pa je bodisi neposreden vbrizg bodisi klasičen vbrizg v sesalni kolektor.



2.4. Mazalni sistem

Mazalni sistem zmanjšuje trenje in hladi motorne dele. Sestavljajo ga:

- Olje
- Oljna črpalka
- Oljni filter
- Oljni hladilnik

Mazanje je lahko tlačno, razpršilno ali kombinirano.



Disen from 01811 Oilwell Srl



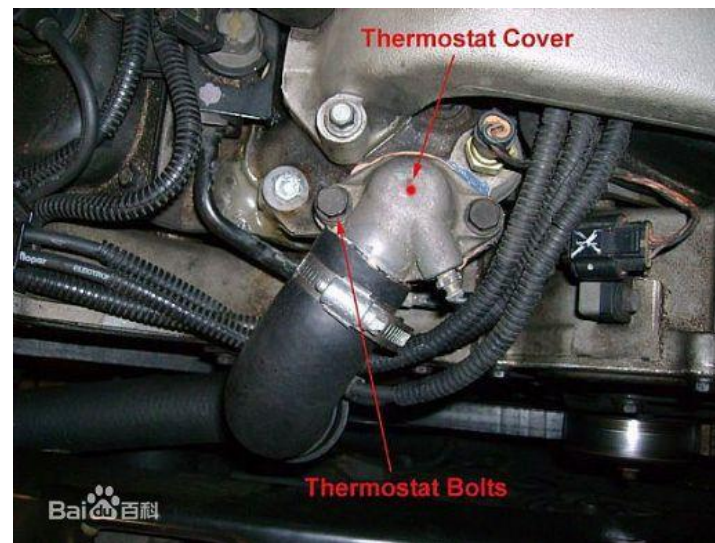
2.5. Hladilni sistem

Skrbi za vzdrževanje optimalne delovne temperature motorja. Sestavljajo ga:

- Hladilna tekočina (mešanica vode in antifriza)
- Hladilnik
- Vodna črpalka
- Termostat
- Ventilator



Pri nekaterih motorjih se uporablja **zračno hlajenje**, kjer toploto odvaja tok zraka (npr. pri motornih kolesih).



2.6. Vžigalni sistem (pri bencinskih motorjih)

Sestavljen je iz:

- Svečk
- Tuljav
- Elektronske enote za nadzor vžiga (ECU)

Dizelski motorji vžigalnega sistema ne potrebujejo, ker se gorivo samovžge zaradi visokega tlaka in temperature.



3. Skupna konstrukcija in postavitve motorja

Motorji se lahko v vozila vgrajujejo na različne načine:

- **Vzdolžna postavitve** – običajno pri zadnjem pogonu ali 4x4 vozilih.
- **Prečna postavitve** – običajna pri avtomobilih s prednjim pogonom.

Odvisno od uporabe so motorji lahko **suhokarterni** (za običajne avtomobile) ali **mokrokarterni** (pri športnih in letalskih motorjih).



Vrste motorjev glede na gorivo

Motorji z notranjim izgorevanjem lahko uporabljajo različna goriva, kar vpliva na njihovo delovanje, učinkovitost, emisije in način zgorevanja. Glede na uporabljeno gorivo jih delimo na več glavnih skupin:

Primerjalna tabela vrst motorjev

Vrsta motorja	Gorivo	Emisije CO ₂	Emisije NO _x in trdnih delcev	Izkoristek (%)	Uporaba
Bencinski	Bencin	Visoke	Nizke	25-30 %	Osebna vozila, motorna kolesa
Dizelski	Dizelsko gorivo	Srednje	Višje	30-40 %	Tovornjaki, traktorji, ladje
Plinski (LPG/CNG)	Plin	Nižje	Nizke	20-30 %	Avtobusi, dostavna vozila
Bio-goriva	Bioetanol, biodizel	Nizke	Srednje	20-35 %	Kmetijstvo, transport
Vodikov (H₂ ICE)	Vodik	0	Nizke	25-35 %	Poskusni avtomobili, tovornjaki
Sintetična goriva	eFuels, GTL, BTL	Nevtralne	Srednje	25-40 %	Letala, tovornjaki

Sistemi vbrizgavanja goriva

Sistem vbrizgavanja goriva je ključna komponenta motorjev z notranjim izgorevanjem, saj skrbi za natančen dovod goriva v valje ali sesalni kolektor. Različni tipi motorjev uporabljajo različne tehnologije vbrizga, odvisno od vrste goriva, načina delovanja in zahtev glede učinkovitosti ter emisij.

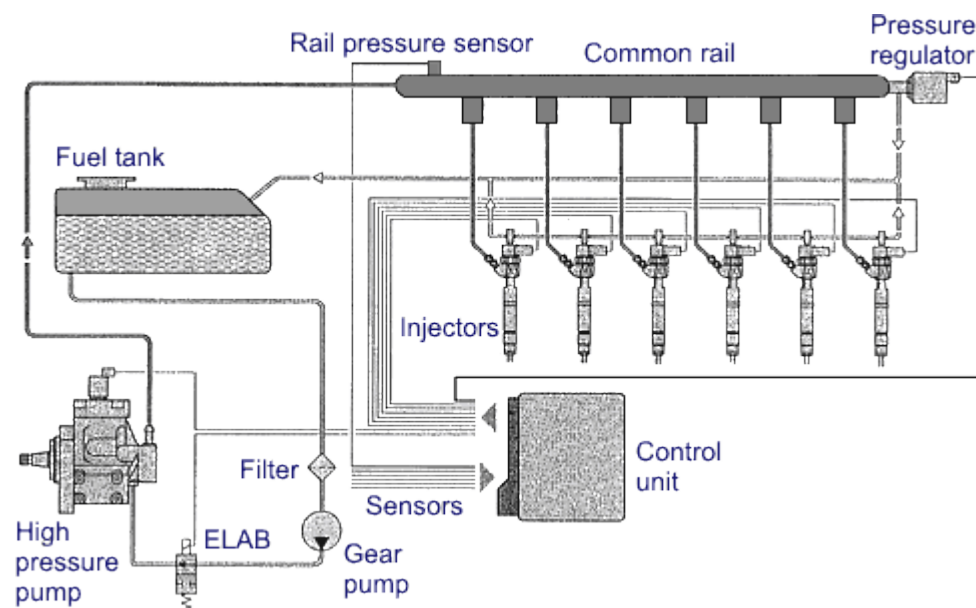
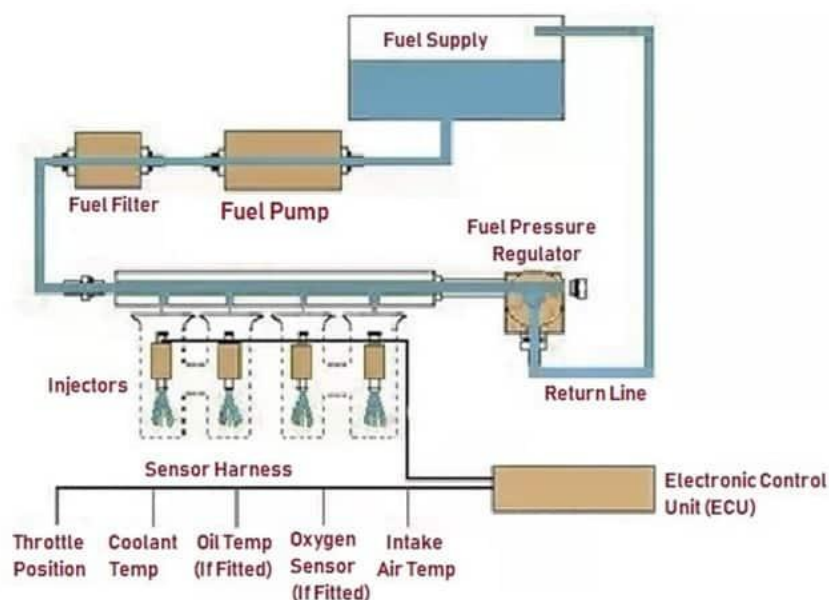
Razvoj sistemov vbrizgavanja goriva:

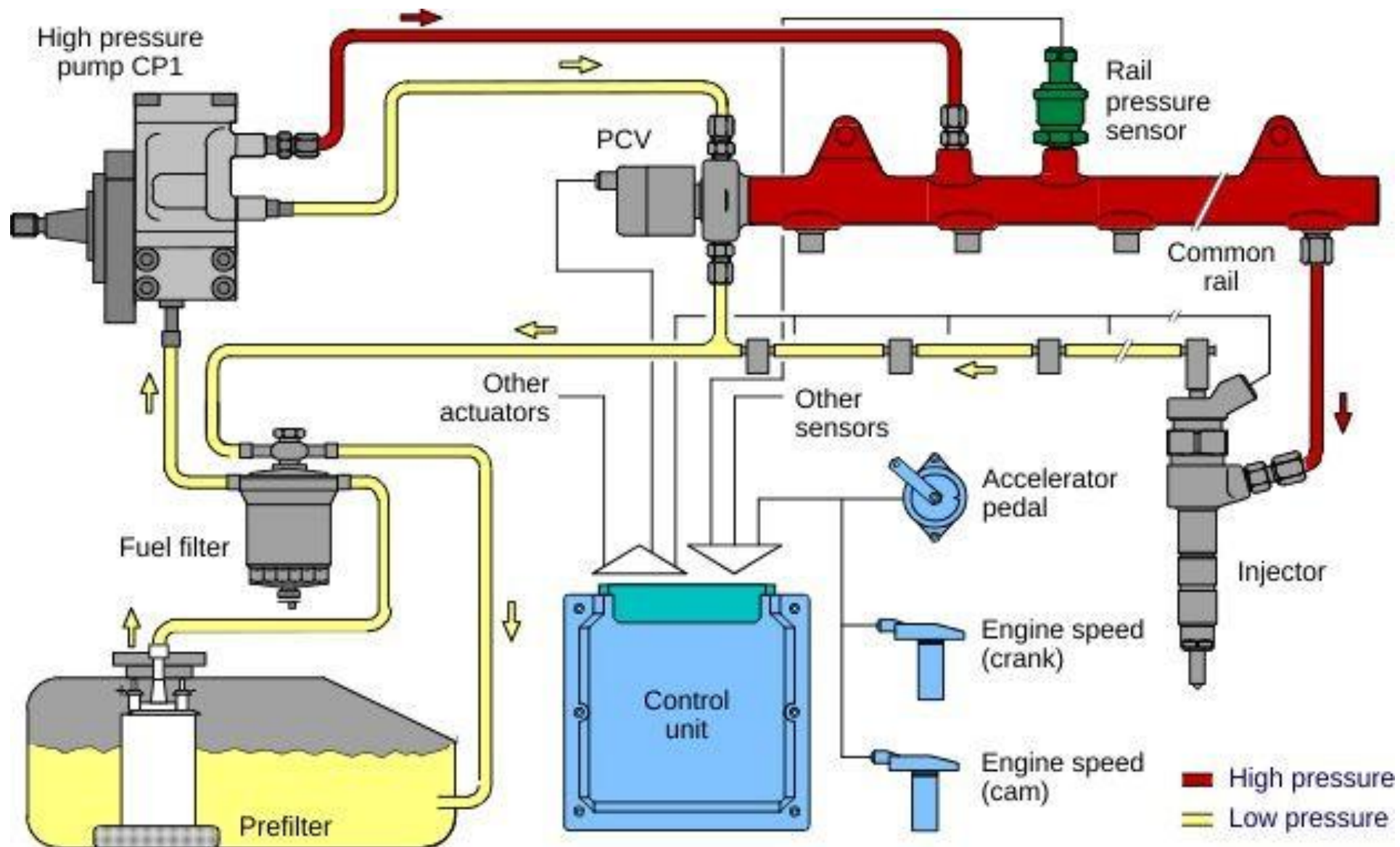
https://www.youtube.com/watch?v=qms_9ZP6ORo

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

V zgodovini so motorji uporabljali različne načine dovajanja goriva:

- **Uplinjači** (do 1980-ih) – uporabljali se v bencinskih motorjih za mešanje goriva in zraka pred vstopom v valje.
- **Mehanski sistemi vbrizga** (starejši dizelski motorji) – gorivo je bilo dovajano prek visokotlačnih črpalk in mehanskih injektorjev.
- **Elektronski sistemi vbrizga** (sodobni motorji) – računalniško nadzorovan vbrizg omogoča večjo natančnost in zmanjšanje emisij.



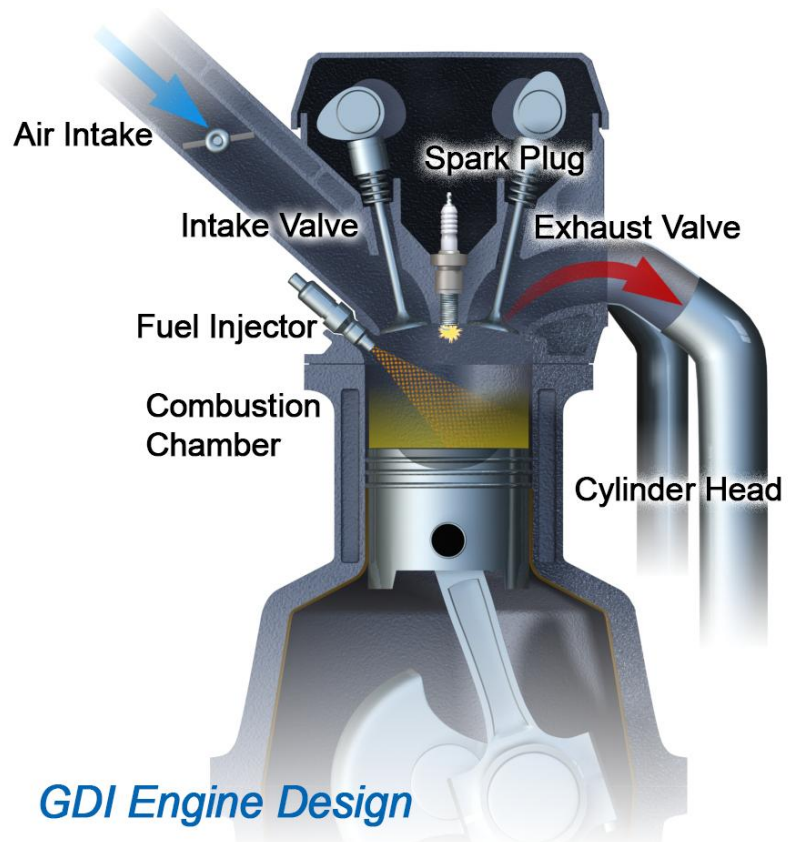
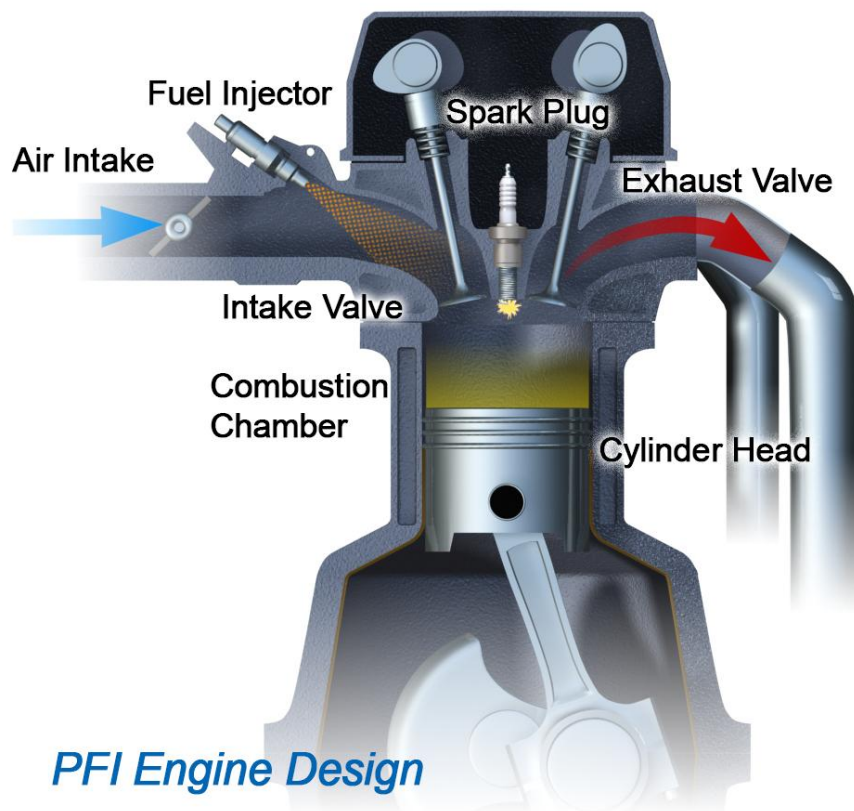


Vrste sistemov vbrizgavanja goriva

Primerjalna tabela sistemov vbrizgavanja goriva

Vrsta vbrizga	Gorivo	Lokacija vbrizga	Tlak vbrizga	Prednosti	Slabosti
Posredni vbrizg (PFI)	Bencin	Sesalni kolektor	3-5 bar	Enostaven, zanesljiv	Večja poraba goriva
Neposredni vbrizg (GDI)	Bencin	Valj	100-350 bar	Večja moč, manjša poraba	Več trdnih delcev
Common Rail	Dizel	Valj	1500-2500 bar	Natančen, manj emisij	Kompleksnost, cena
Pumpe-Düse	Dizel	Valj	1800-2300 bar	Visok tlak, učinkovitost	Hrup, zapleten sistem
Posredni plinski vbrizg	LPG/CNG	Sesalni kolektor	5-10 bar	Enostaven, cenejši	Nižja moč
Neposredni plinski vbrizg	LPG/CNG	Valj	20-200 bar	Večja učinkovitost	Višja cena

Sistem vbrizgavanja goriva močno vpliva na učinkovitost, moč in emisije motorja. Medtem ko so se mehanski sistemi umaknili elektronskim, napredne tehnologije, kot so **Common Rail**, **GDI** in **vodikov vbrizg**, omogočajo boljše izgorevanje in manjšo porabo goriva. V prihodnosti bodo sistemi vbrizga še bolj optimizirani za alternative, kot so vodik in sintetična goriva.



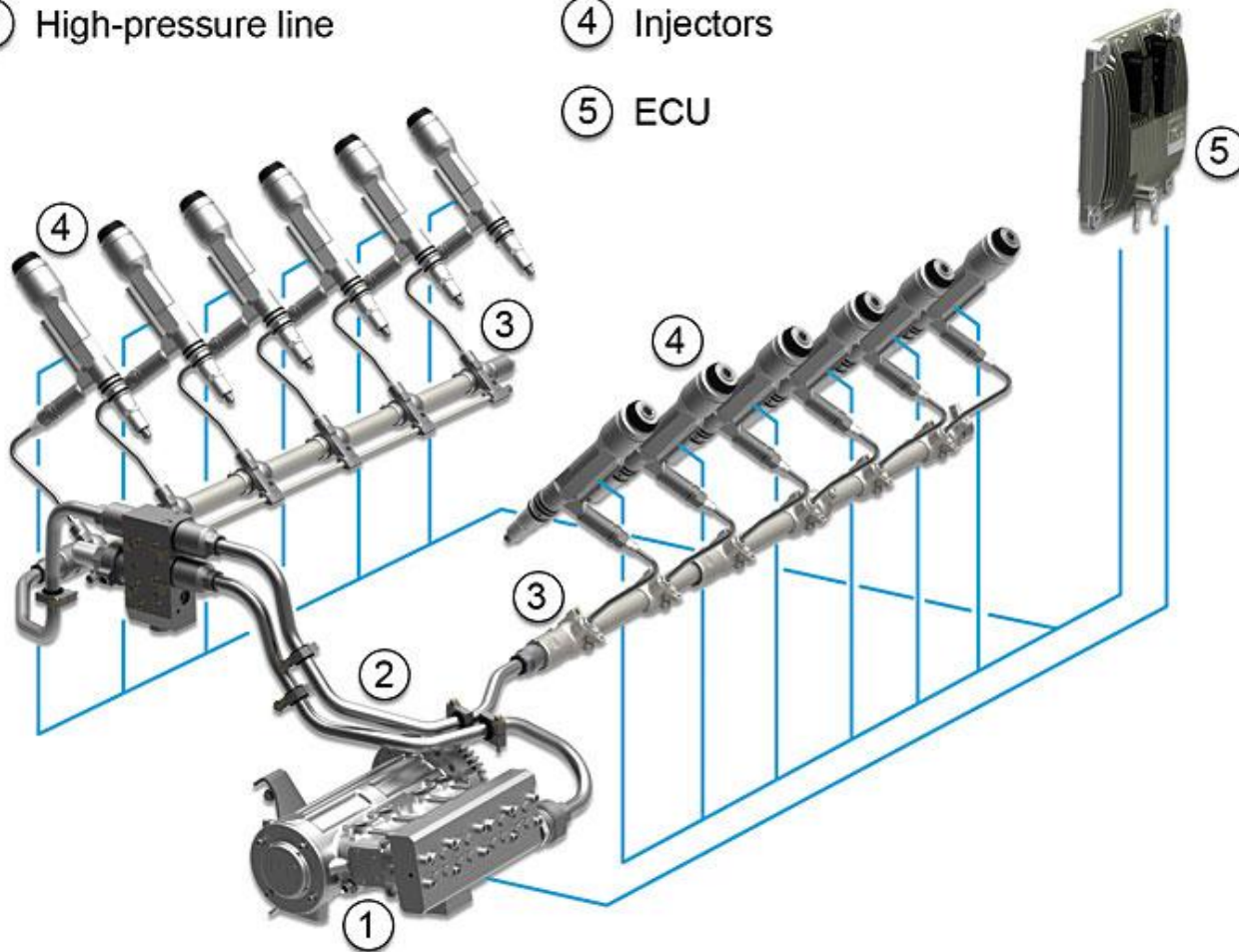
① High-pressure pump

② High-pressure line

③ Rail system

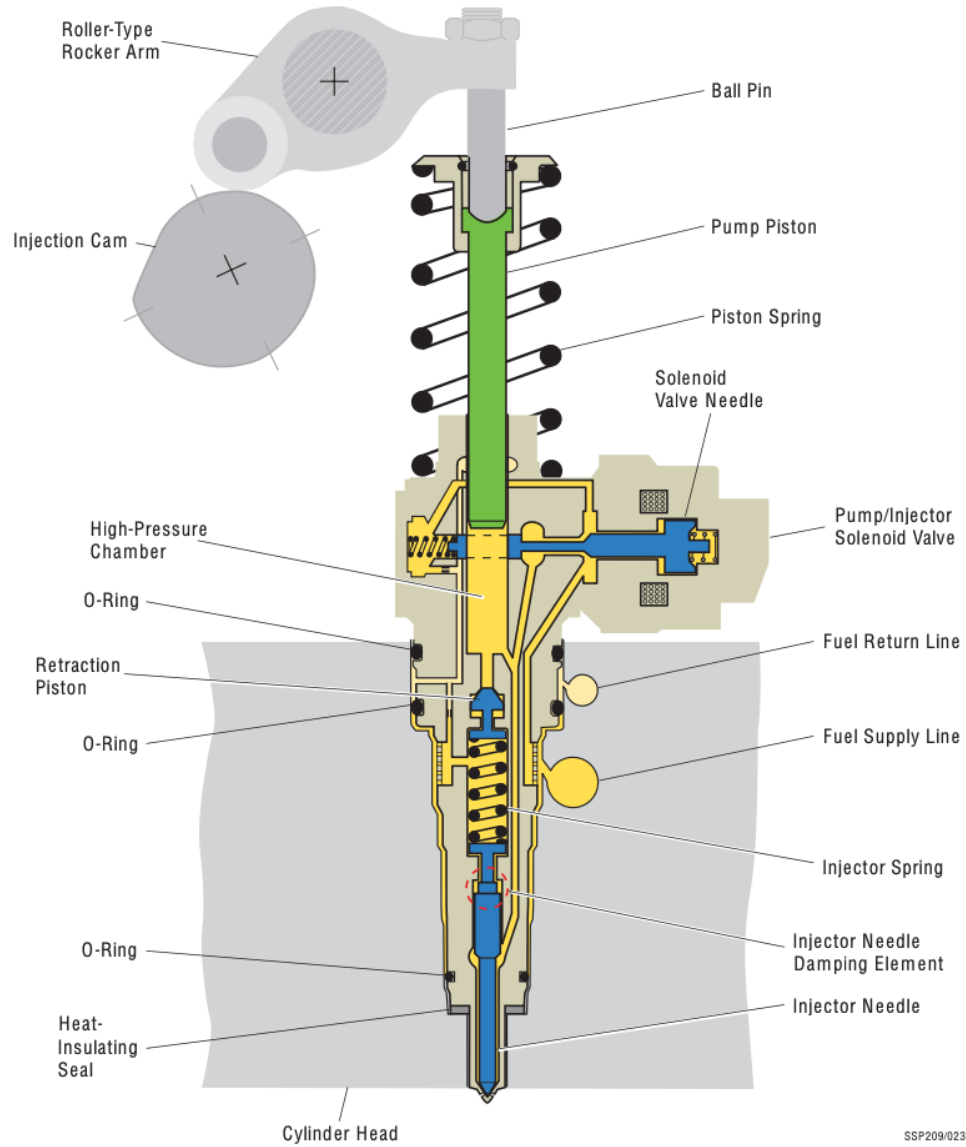
④ Injectors

⑤ ECU

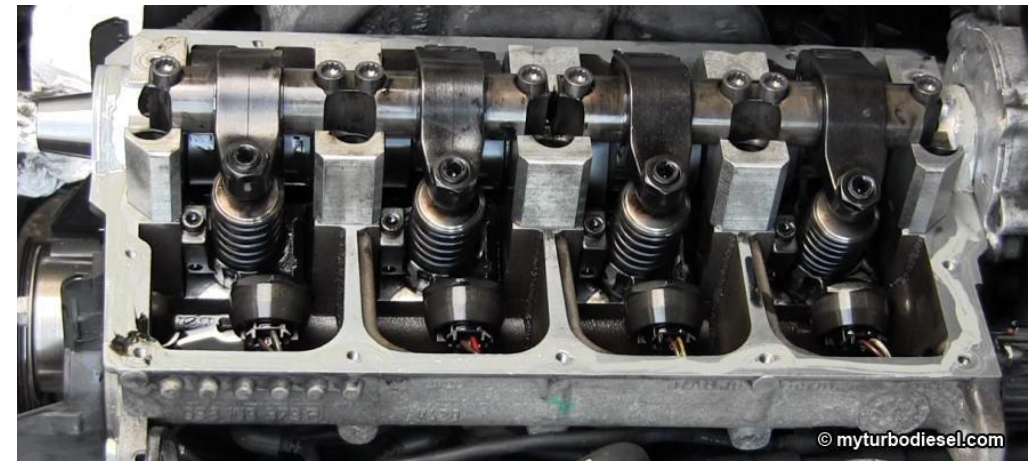
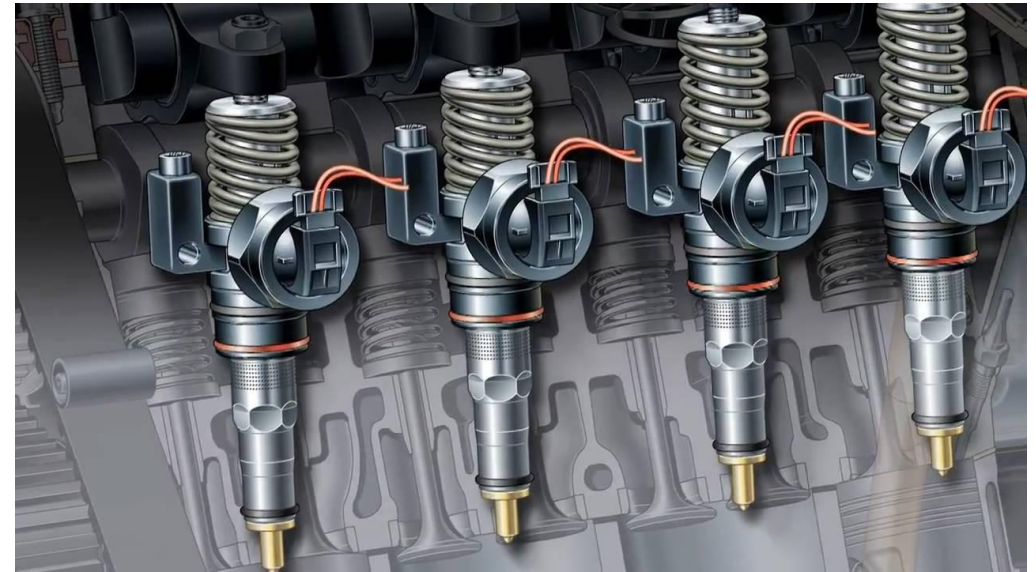


Common rail injection system

Design



SSP209/023



© myturbodiesel.com

Pumpe düse engines

Elektronska krmilna enota motorja (ECU - Engine Control Unit)

Elektronska krmilna enota (ECU) je srce sodobnega motorja in nadzoruje delovanje vseh ključnih komponent, kot so sistem vbrizgavanja goriva, vžig, turbopolnilnik in izpušni sistem.

<https://www.youtube.com/watch?v=C8ZuE-ttMoA>

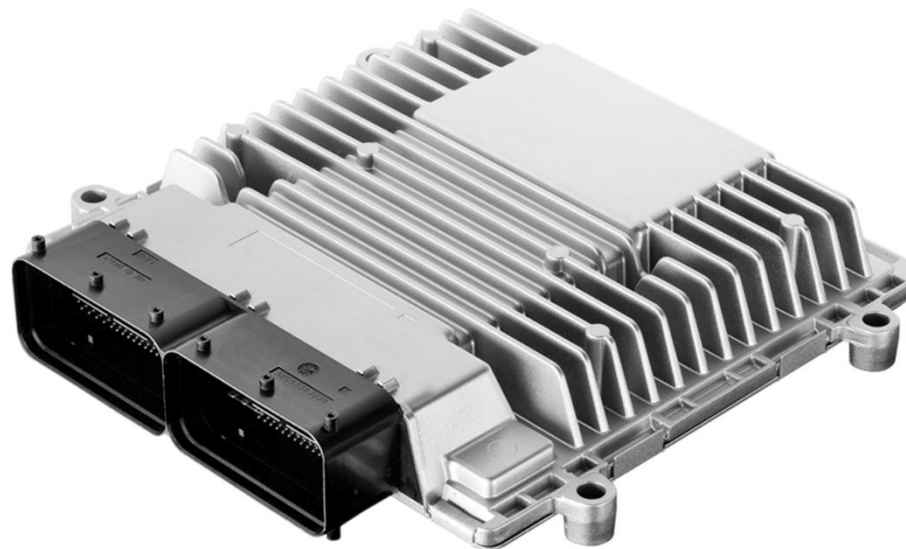
https://www.youtube.com/watch?v=w_ENU0rE5DI

Glavne funkcije ECU:

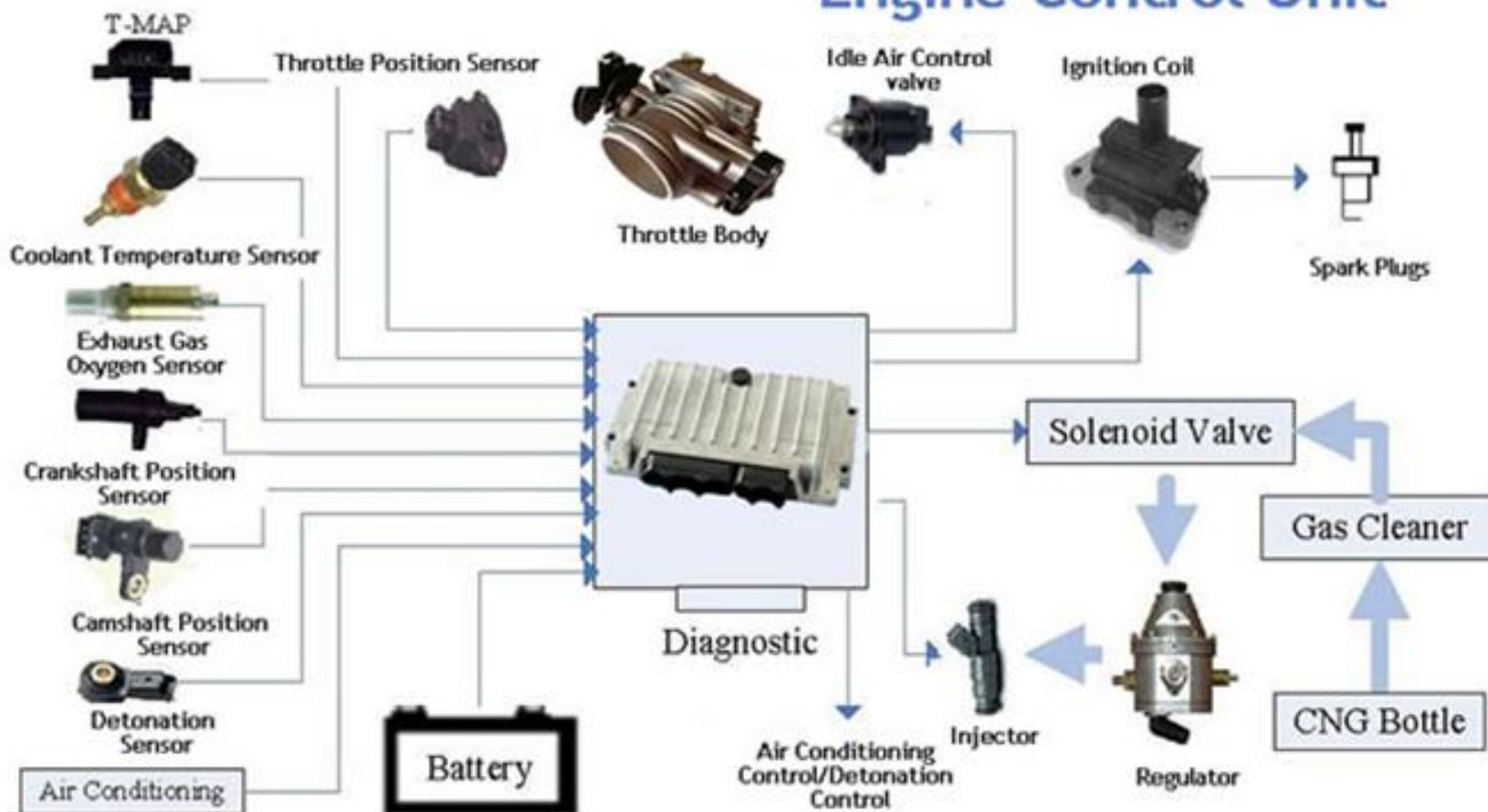
- **Upravljanje vbrizgavanja goriva** – izračunava optimalno količino goriva glede na vrtljaje, obremenitev in temperaturo.
- **Nadzor vžiga** – pri bencinskih motorjih določa točen čas vžiga, pri dizelskih pa nadzoruje vbrizg.
- **Upravljanje delovanja ventilov** – v motorjih s spremenljivim krmiljenjem ventilov (VVT).
- **Upravljanje turbopolnilnika** – prilagaja tlak glede na potrebe motorja.
- **Upravljanje izpušnega sistema** – nadzoruje delovanje katalizatorja, filtra trdnih delcev (DPF) in sistema za zmanjšanje NO_x (SCR).
- **Opozorilni in diagnostični sistem** – zaznava napake in shranjuje podatke v OBD (On-Board Diagnostics) sistem.

Prednosti ECU:

- Povečana učinkovitost motorja
- Optimizacija porabe goriva
- Zmanjšanje emisij
- Možnost nadgradnje programske opreme



Engine Control Unit



Senzorji v sodobnih motorjih

All sensors video: <https://www.youtube.com/watch?v=dK4mb1yS0dY&t=1447s>

Senzorji igrajo ključno vlogo pri zaznavanju in prilagajanju delovanja motorja. Nekateri ključni senzorji vključujejo:

Senzor	Funkcija
Senzor pretoka zraka (MAF)	Meri količino zraka, ki vstopa v motor.
Senzor tlaka v sesalnem kolektorju (MAP)	Spremlja tlak zraka v sesalnem kolektorju.
Lambda sonda (O₂ senzor)	Meri vsebnost kisika v izpušnih plinih in prilagaja mešanico goriva.
Senzor temperature hladilne tekočine	Nadzoruje temperaturo motorja za pravilno delovanje hlajenja.
Senzor položaja ročične gredi	Zaznava položaj gredi in sinhronizira vžig.
Senzor položaja odmične gredi	Prilagaja čas odpiranja ventilov pri sistemih VVT.
Senzor tlaka goriva	Spremlja tlak v sistemu za optimalen vbrizg.

Napredni motorji uporabljajo kombinacijo več senzorjev za prilagajanje delovanja v realnem času, kar omogoča boljšo odzivnost in nižjo porabo goriva.



Mass Air Flow (MAF) sensor



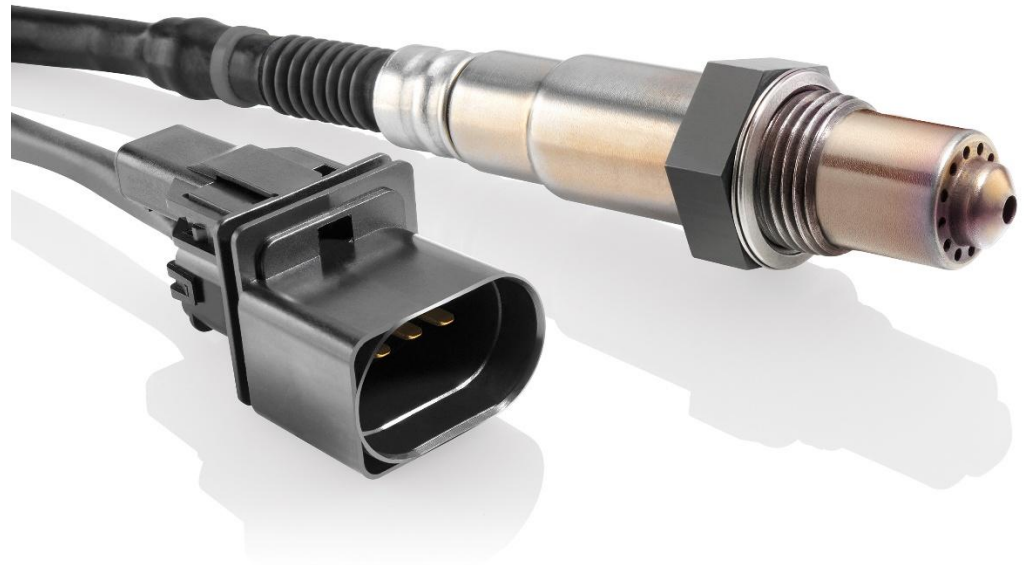
MAP Sensor

The manifold absolute pressure sensor reads the amount of pressure or vacuum (also called "engine load") in the intake manifold, where outside air is divvied up in proper amounts and distributed to each cylinder.





Lambda O2 sensor

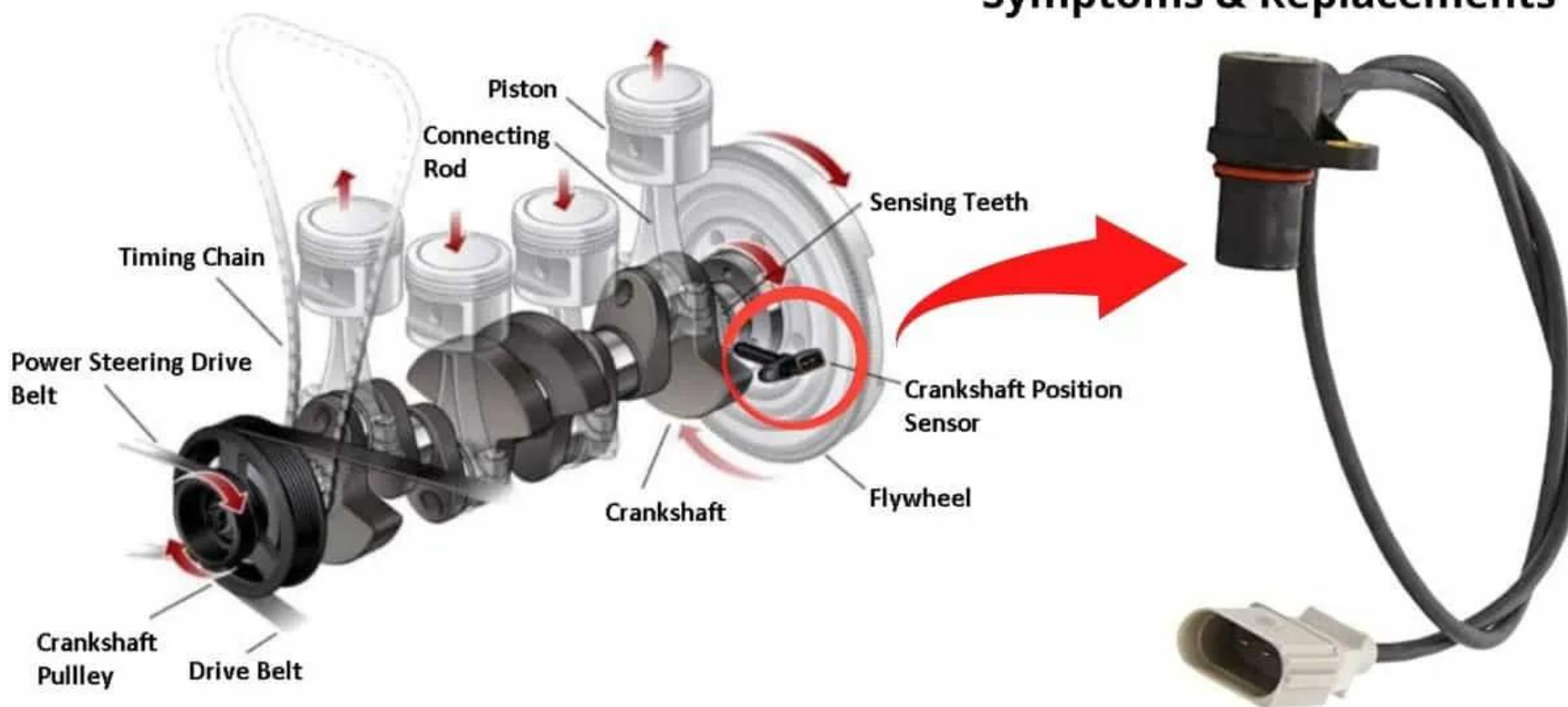




What is

CRANKSHAFT POSITION SENSOR?

Symptoms & Replacements





Fuel Pressure Sensor

OE:

904-309 5297641

3949988 028100293 0281006325

5093112AA 0281002851 0281006425

Ostali moderni sistemi

1. Sistemi za krmiljenje ventilov

Sodobni motorji uporabljajo spremenljivo krmiljenje ventilov (VVT, VVL) za prilagajanje časa in višine odpiranja ventilov glede na obremenitev motorja. To omogoča boljše izgorevanje, večjo moč pri visokih vrtljajih in manjšo porabo goriva pri nizkih vrtljajih.

2. Sistem prisilnega polnjenja (Turbo in Supercharger)

Turbopolnilnik uporablja energijo izpušnih plinov za povečanje količine zraka v valjih, medtem ko mehanski kompresor poganja jermen in zagotavlja takojšen pritisk zraka. Oba sistema povečujeta moč motorja, a turbo izboljšuje učinkovitost, medtem ko kompresor zagotavlja hitrejši odziv.

3. Sistemi za optimizacijo izgorevanja

Neposreden vbrizg goriva (GDI, Common Rail) omogoča natančnejše doziranje mešanice in izboljša termični izkoristek motorja. Napredne tehnologije, kot so HCCI in Lean Burn, zmanjšujejo porabo goriva ter emisije s prilagajanjem razmerja goriva in zraka.

4. Sistemi za zmanjšanje emisij

Sistemi, kot so EGR, DPF in SCR, zmanjšujejo količino škodljivih snovi (NO_x , CO_2 , trdni delci) v izpušnih plinih. Katalizatorji in AdBlue pretvorijo strupene pline v manj škodljive snovi ter pomagajo pri doseganju strogih emisijskih standardov.

5. Sistemi za zmanjšanje porabe goriva

Start-stop sistem izklopi motor pri mirovanju, medtem ko deaktivacija valjev zmanjša porabo goriva pri nizkih obremenitvah. Blagi hibridni sistemi (MHEV) z majhnim elektromotorjem podpirajo pospeševanje in regeneracijo energije.

6. Hlajenje in termična učinkovitost

Napredni hladilni sistemi, kot so električne vodne črpalke in variabilni termostati, optimizirajo temperaturo motorja za večjo učinkovitost. Intercooler hladi stisnjen zrak iz turbopolnilnika, kar izboljša izgorevanje in zmanjša obremenitev motorja.

7. Pametni nadzorni sistemi

Elektronska enota motorja (ECU) upravlja delovanje motorja s senzorji in algoritmi za optimalno zmogljivost in porabo goriva. Sistemi, kot so Drive-by-Wire in V2X, izboljšujejo nadzor plina in omogočajo komunikacijo vozila z okolico za varnejšo in učinkovitejšo vožnjo.