

# Kapitola 11 – Spalovací motory

**Předmět:** Stavba a provoz strojů

**Ročník:** 4.

**Anotace :** Tento digitální učební materiál poskytuje ucelený přehled o základních typech spalovacích motorů používaných v současné době. Jedná se především o konvenční zážehové a vznětové motory, ovšem věnováno je i Wankelově motoru. Důraz je kladen především na princip funkce a konstrukci jednotlivých typů.

**Klíčová slova:** spalovací motory, vznětový motor, zážehový motor

# Vznětové motory

- ▶ Jde o spalovací motor s **vlastním zapalováním**.
- ▶ Obvykle **čtyřdobý** (dvoudobý se vyskytuje zřídka)
- ▶ Palivem je **motorová nafta**, která je do motoru dopravována oddělené od vzduchu.
- ▶ Použití převážně v **nákladních automobilech, lokomotivách** a v dnešní době hojně v osobních automobilech.
- ▶ Nutnost použití **kvalitnějších materiálů** při výrobě (vyšší teploty a tlaky než u zážehového motoru)
- ▶ Jiné označení pro tento typ motoru, resp. i pro motorovou naftu je **DIESEL** (podle vynálezce vznětového motoru Rudolfa Diesla)

# Hlavní rozdělení

- ▶ Podle pracovního cyklu:
  - **Pouze čtyřdobé** (jeden oběh na dvě otáčky kliky)
- ▶ Podle počtu válců:
  - **Obvykle sudý počet válců** (u lichého nutnost použití vyvažování!)
- ▶ Podle otáček motoru:
  - **Menší motory** (osobní automobily) dosahují otáček cca 5 000 ot./min.
  - **Velké motory** (lodě, lokomotivy) jsou pomaloběžné (cca 100 ot./min)
- ▶ Podle objemu motoru:
  - **Závisí na typu poháněného prostředku** (udáváno v ccm=cm<sup>3</sup>)

# Historie

- ▶ **1892** – Rudolf Diesel získává patent na Vznětový motor
- ▶ **1897** – První prototyp Dieselového motoru
- ▶ **1902** – MAN vyrábí první stacionární dieselový motor
- ▶ **1905** – Dr. Buchi zkouší první přeplňování
- ▶ **1912** – První dieselová lokomotiva
- ▶ **1922** – První traktor (Benz) se vznětovým motorem
- ▶ **1923** – První dieselový nákladní automobil (MAN/Benz)
- ▶ **1937** – Dieselový motor pohání sovětské tanky T-34.
- ▶ **1946** – Clessie Cummins - Patentován Common-rail
- ▶ **1980** – První turbodiesel pro osobní vůz (Mercedes 300 SD)
- ▶ **1989** – První motory TDI Volkswagen

# Průběh cyklu vznětového motoru

## ▶ **Sání:**

- Nejprve je ve fázi sání nasát sacím ventilem vzduch.

## ▶ **Komprese:**

- Po uzavření sacího ventilu se vzduch pohybem pístu nahoru stlačuje a při kompresi je zahřát na cca 600 °C. Tlak dosahuje až 3 MPa.

## ▶ **Vznícení:**

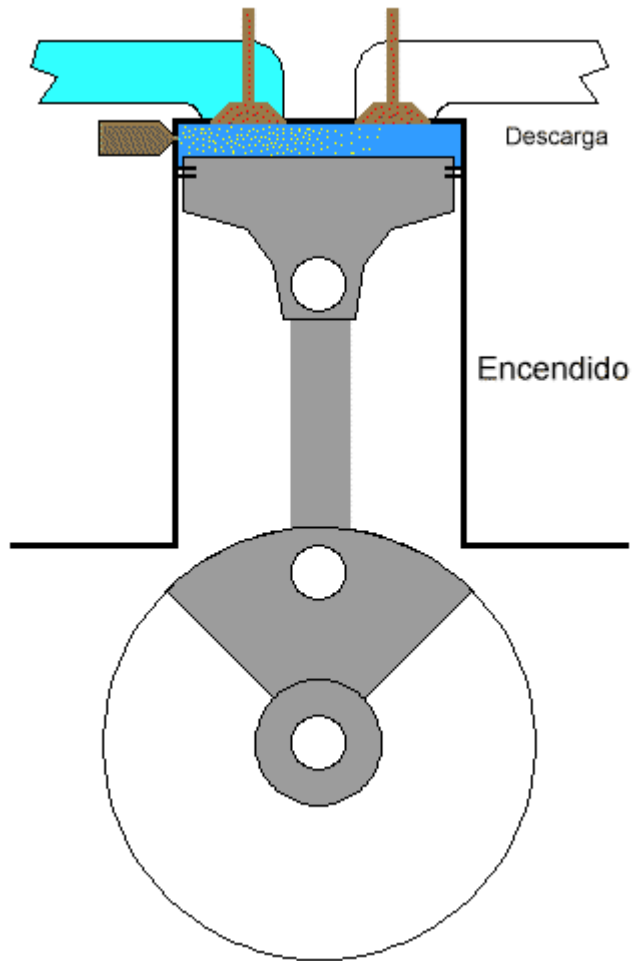
- Do horkého vzduchu je vstříknuto přesně odměřené palivo (motorová nafta), které je při vhodném rozprášení ihned vzníceno.

## ▶ **Expanze:**

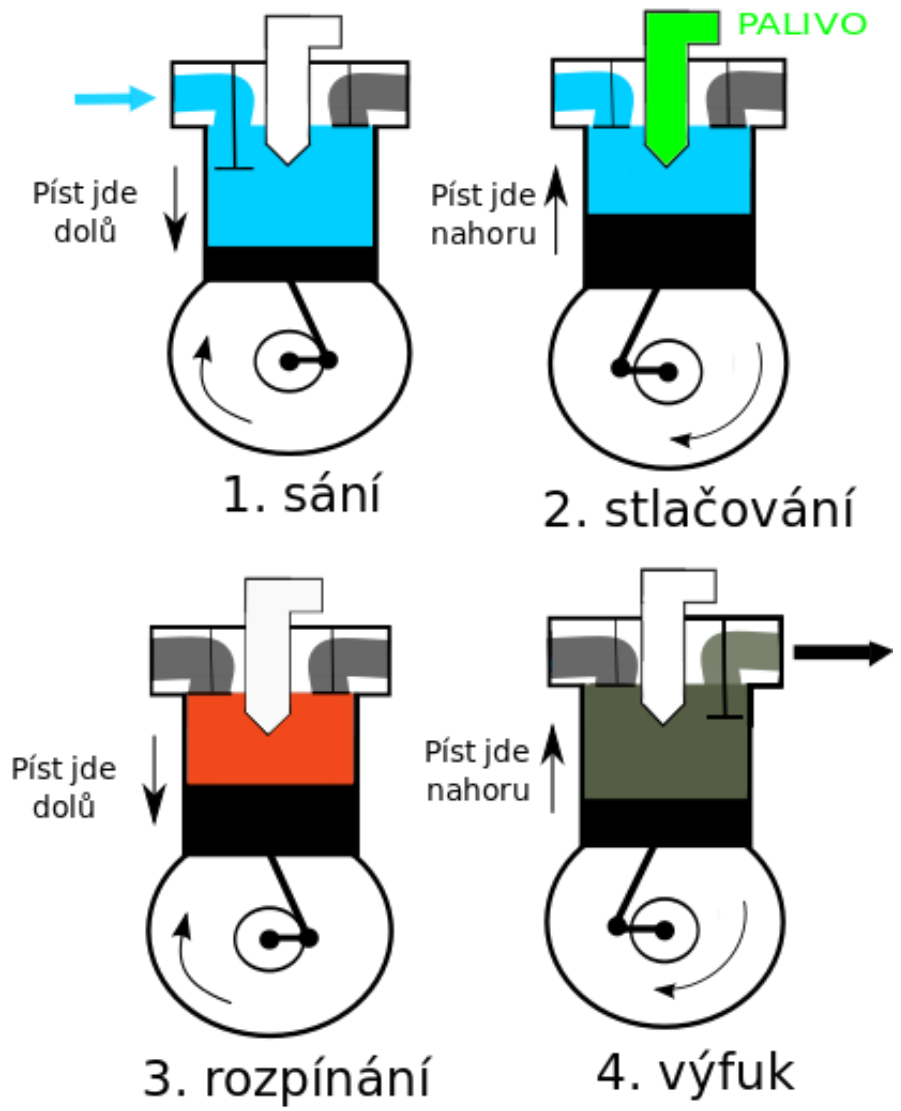
- Po vznícení dochází k expanzi a vzniklá uvolněná energie je převedena na mechanickou práci.

## ▶ **Výfuk:**

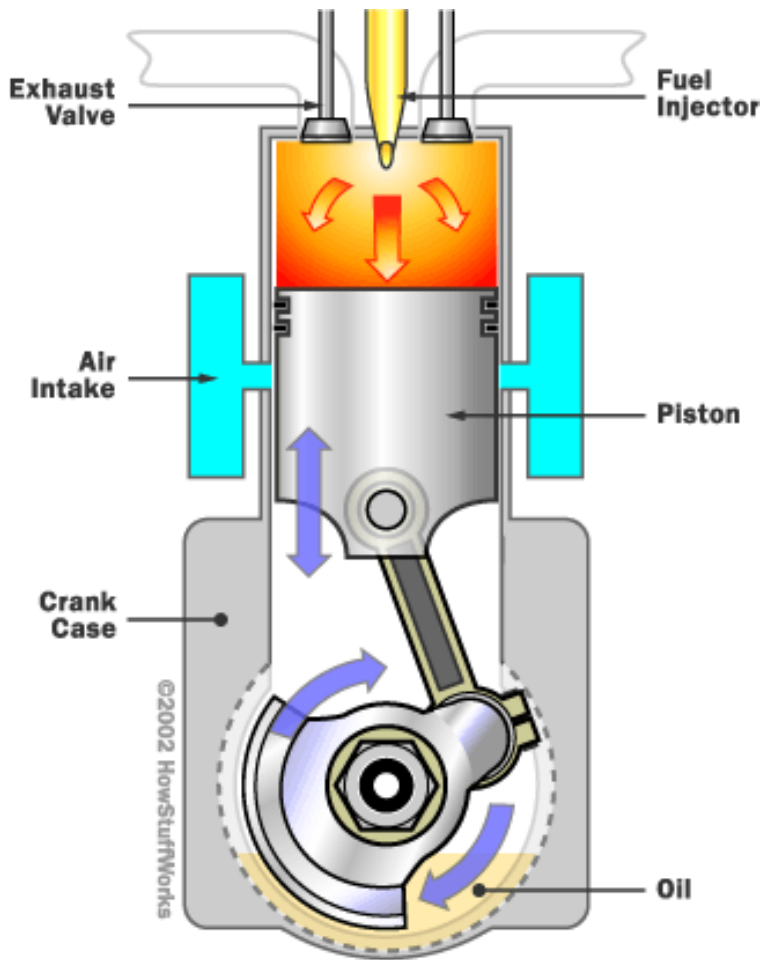
- V poslední fázi se otevírá výfukový ventil a spaliny jsou vytlačeny ven do výfukového potrubí.



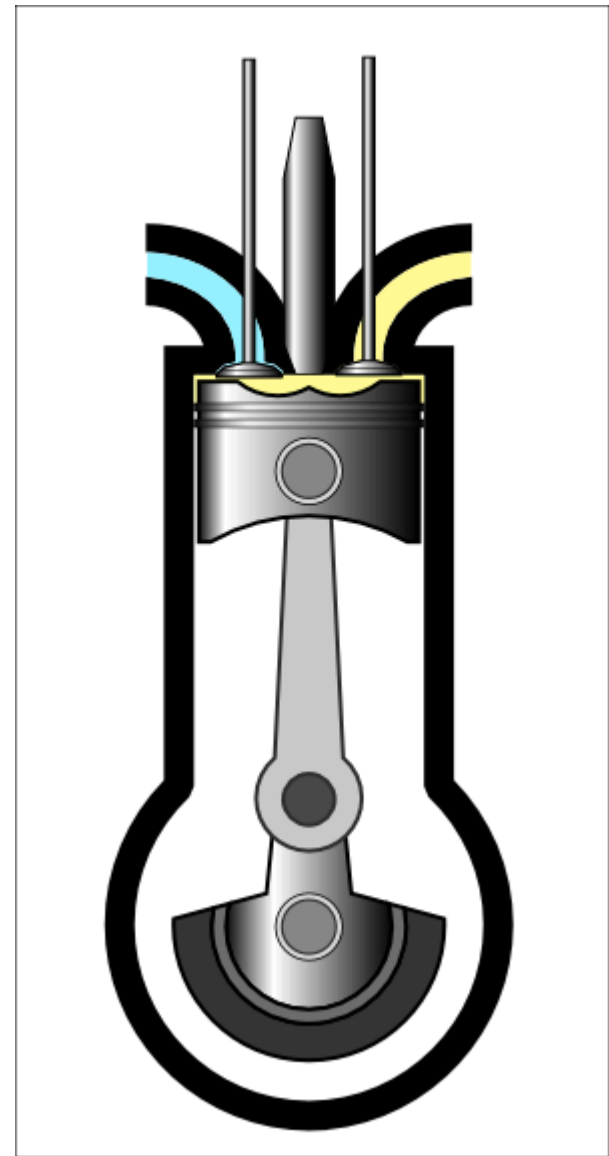
Obr. 1: Pracovní cyklus vznětového motoru [x]



Obr. 2: Pracovní cyklus vznětového motoru [x]



Obr. 3: Pracovní cyklus vznětového motoru [x]



Obr. 4: Pracovní cyklus vznětového motoru [x]

# Palivová soustava

## Vstřikování paliva

► Podle vstřikování paliva

**1. Řadová vstřikovací čerpadla**

- Pro každý válec jeden element čerpadla (válec a píst).

**2. Rotační vstřikovací čerpadla**

- Jeden element čerpadla pro všechny válce.
- Axiální nebo radiální písty.

**3. Samostatná vstřikovací čerpadla (PLD – Pumpe Leitung-Düse)**

- Nemají samostatný vačkový hřídel

**4. Sdružené vstřikovače (např. PD – Pumpe-Düse, tzn. „čerpadlo-tryska“)**

- Vstřikovací čerpadlo a vstřikovací jednotka tvoří jednu jednotku pro každý válec.

**5. Vstřikovací soustava s tlakovým zásobníkem (Common-Rail)**

- Moderní systém pro motory s přímým vstřikem.
- Je zde odděleno vytváření tlaku a vstřikování.
- Vyšší tlak (až 180 MPa)



# 1) Řadová vstřikovací čerpadla

- ▶ Mají pro každý válec motoru **jeden element čerpadla** (píst a válec).
- ▶ **Píst je poháněn vačkovým hřídelem** s elektromotorem a **pohyb zpět zajišťuje pružina**.
- ▶ **Zdvih pístu je neměnný**, regulace dávky je zajišťována **pootočením pístu** pomocí posuvné regulační tyče.
- ▶ Mezi vysokotlakým čerpadlem a začátkem vstřikovacího potrubí jsou umístěny **výtlačné ventily**, které zajišťují **přesné ukončení vstřiku**, **zamezují dostřiku** a zajišťují **rovnoměrné pole charakteristik** čerpadla.
- ▶ Varianty:
  - **Standardní řadová vstřikovací čerpadla**
    - Počátek dodávky určen sacím otvorem a hranou pístu.
    - Přesnou dávku vstřiku určuje šikmá hrana pístu.
  - **Řadová čerpadla se zdvihovými šoupátky**
    - Liší se tím, že mají na pístu kluzně umístěná zdvihová šoupátka, kterými lze měnit úvodní zdvih a tím řídit počátek dodávky.

## 2) Rotační vstřikovací čerpadla

- ▶ Mají mechanický regulátor otáček nebo elektronický regulátor s integrovaným posuvníkem vstřiku.
- ▶ Má pouze **jeden element čerpadla** pro všechny válce
- ▶ Varianty:
  - **S axiálními písty**
    - Palivo je dopravováno lopatkovým čerpadlem do prostoru vstřikovacího čerpadla s axiálními písty, kde centrálně umístěný rozdělovací píst vytváří tlak a rozděluje jej k jednotlivým válcům.
  - **S radiálními písty**
    - Palivo je dopravováno lopatkovým čerpadlem do prostoru vstřikovacího čerpadla s radiálními písty, které vytváří tlak a dodávku paliva.
    - Elektromagnetický ventil dávkuje vstřikované množství.

# 3) PLD (Pumpe Leitung-Düse)

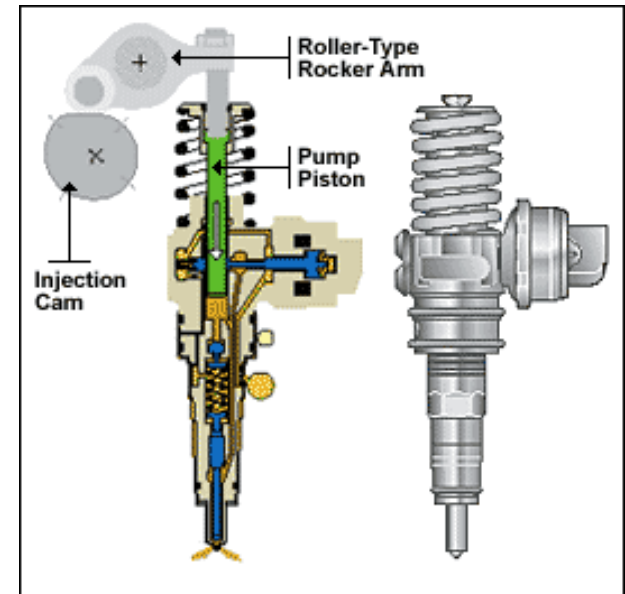
- ▶ Jde o **samostatná jednoválcová vstřikovací čerpadla.**
- ▶ Používají se u **motorů lokomotiv, lodí a stavebních strojů.**
- ▶ **Nemají samostatný vačkový hřídel.**
- ▶ Podobají se řadovým vstřikovacím čerpadlům.
- ▶ U velkých motorů je mechanicko-hydraulický nebo elektronický **regulátor montován přímo na blok motoru.**
- ▶ **Poháněcí vačky** pro jednotlivá čerpadla jsou umístěny **přímo na hřídeli motoru**, určené pro ovládání ventilů motoru.
- ▶ Nelze zde použít změnu přestavení vstřiku pomocí pootočení vačkového hřídele, ale je nutné použít mezičlenu.

# 4) PD (Pumpe-Düse)

- ▶ Systém, v němž **vstřikovací čerpadlo** a **vstřikovací tryska** tvoří jednu jednotku, pro každý válec jednu.
- ▶ Každá jednotka je **poháněna přímo přes zdvihátko** nebo **nepřímo přes vahadlo** z vačkového hřídele motoru.
- ▶ Výhodou umístění přímo na válci je **absence vysokotlakého vedení a tím možnost použití vyššího tlaku**.
- ▶ Pomocí přesné elektrické regulace lze **snížit emise škodlivin**.
- ▶ Dříve populární u motorů koncernu **VW – TDI PD**



Obr. 5: Sdružené jednotky Čerpadlo-Tryska [x]



Obr. 6: Schéma systému PD [x]

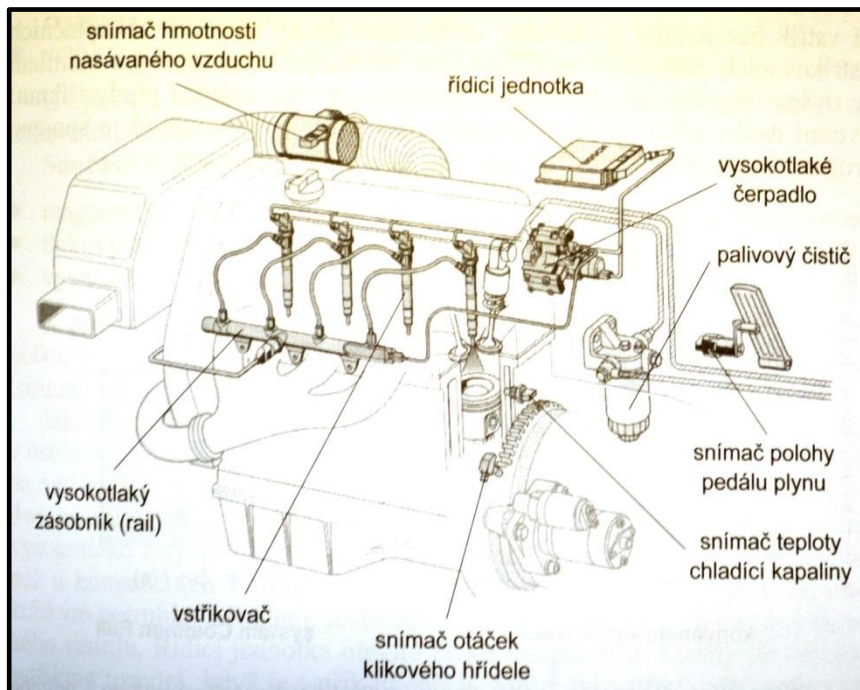
Video: [VW PD](#)

# 5) CR (Common Rail)

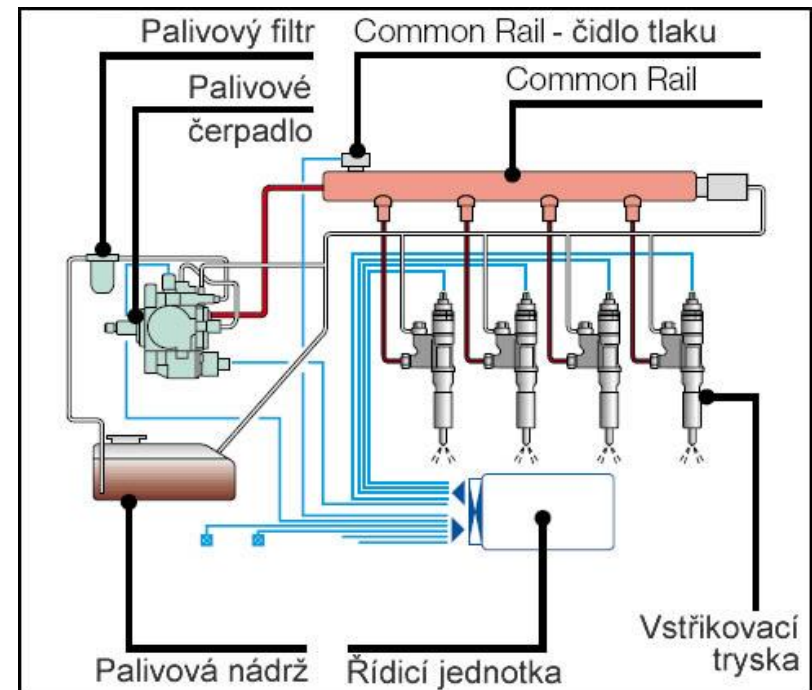
- ▶ **Jde o vstříkovací soustavu s tlakovým zásobníkem (Common Rail).**
- ▶ Vhodné pro moderní motory s **přímým vstřikem.**
- ▶ Je zde **odděleno vytváření tlaku a vstřikování.**
- ▶ Vstříkovací **tlak** (až 18 MPa) je **vytvářen nezávisle** na otáčkách a vstřikované dávce.
- ▶ Palivo je připraveno pro vstřikování ve **vysokotlakém zásobníku** paliva (tzv. **Railu**).
- ▶ Hodnoty vstřikované dávky, okamžiku vstřiku a tlaku jsou **vypočítány řídicí jednotkou** na základě řady senzorů (otáčky, poloha pedálu, atd.)
- ▶ Vstřik je realizován **vstříkovací jednotkou** do každého válce pomocí **elektromagneticky řízených ventilů.**
- ▶ Jde o **časově řízené vstřikování** (množství paliva je úměrné době otevření elektromagnetického ventilu).
- ▶ Lze provádět i **úvodní vstřik** – nedochází k potom k takovému nárůstu tlaku a tím se snižuje hluk motoru.

# Konstrukce Common Rail

- ▶ Celková konstrukce je dělena na **nízkotlakou** (nádrž, dopravní čerpadlo, filtr, potrubí) a **vysokotlakou část** (vysokotlaké čerpadlo s radiálními písky, zásobník vstřikovače s tryskami) v **kombinaci s elektronikou** (řídící jednotka, nezbytné senzory a akční členy – regulátory, atd.)



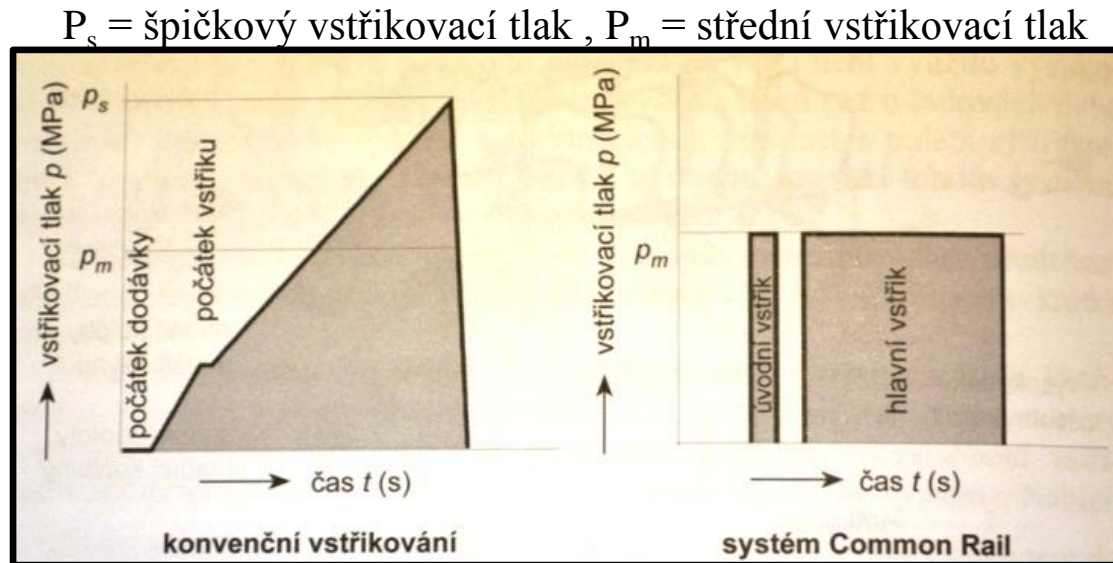
Obr. 7: Schéma systému Common Rail [1]



Obr. 8: Palivová soustava systému Common Rail [x]

# Konstrukce Common Rail

- ▶ Porovnání managementu tlaků systému Common Rail s klasickými konvenčními systémy



Obr. 9: Porovnání vstřikovacích tlaků u konvenčních systémech a u systému CR [x]

- **VIDEO: [AUDI COMMON RAIL](#)**

# Přepřňování

## ► Princip činnosti:

- Základní myšlenkou použití přepřňování je možnost **přívodu většího množství vzduchu** (kyslíku) do spalovací komory pro lepší spalování.
- Tato metoda přináší **větší účinnost motoru** a při zachování stejné nebo nižší spotřeby poskytuje vysoký nárůst výkonu a točivého momentu.
- Dmychadlo dosahuje **vysokých otáček** (až 300 000 ot/min)
- Možnost **naklápění lopatek turbodmychadla** (variabilní geometrie - VGT) pro plynulejší regulaci výkonu.



Obr. 10: Porsche 911 Turbo (997) [x]



Obr. 11: Technologie VGT [x]



# Součinitel plnění

- ▶ **Vyjadřuje poměr mezi skutečným objemem vzduchu ve válci a objemem válce na jeden oběh.**
- ▶ U dvoudobých motorů jde o hodnoty **0,5 – 0,7**
- ▶ U čtyřdobých motorů o **0,7 – 0,9**
- ▶ U přeplňovaných motorů o hodnoty **1,2 – 1,6**
  
- ▶ **Válce motorů jsou tedy přeplňované vzduchem (resp. kyslíkem).**
- ▶ **Další možností přeplňování v extrémní formě je systém NOS.**

# Historie přeplňování

- ▶ **1905** – Švýcarský inženýr **Dr. Büchi** využil energii proudu výfukových plynů, aby zvýšil účinnost spalovacích motorů.
  - ▶ **1925** – První použití na lodních dieslových motorech
  - ▶ **1954** – Použití turbodmychadel u vznětových motorů nákladních automobilů (Volvo)
  - ▶ **1973** – První ropná krize - první zmínky o **downsizeingu**.
  - ▶ **1974** – Na Pařížském autosalonu byl představen první model **Porsche 911 turbo** s turbodmychadlem.
  - ▶ **1978** – Představen první osobní automobil s **přeplňovaným vznětovým motorem** (Mercedes-Benz 300 SD)
  - ▶ **2004** – VW koncern přechází na menší a přeplňované motory TSI a TDI (z 1.9/2.0 na 1.2-1.6)
- 
- **Downsizeing** (*ang.*) – snižování objemu motoru s cílem nižší spotřeby paliva a emisí. Nižší výkon je pak kompenzován přeplňováním.



Obr. 12: Sedm generací Porsche 911 Turbo (přeplňované 3.0l motory (930), 3.3l (964) a 3.6l (ostatní))[x]

# Typy přeplňování

## ► Dělení dle pohonu a zapojení:

- **Výfukové turbodmychadlo (turbo)**
  - Pohonem jsou vlastní výfukové plyny.
  - Značný turboefekt.
  - V současnosti nejpoužívanější metoda (VW)
  
- **Rootsovo dmychadlo (kompresor)**
  - Ke zvýšení tlaku vzduchu v sání slouží dva do sebe zapadající rotující píсты, poháněné mechanicky zpravidla od klikové hřídele.
  - Dnes na ústupu, dříve hojně používán ve vozech Mercedes-Benz a Jaguar



Obr. 13: Turbodmychadlo Garrett z vozu Škoda Octavia I – 1,9 TDI (81 kW) [x]



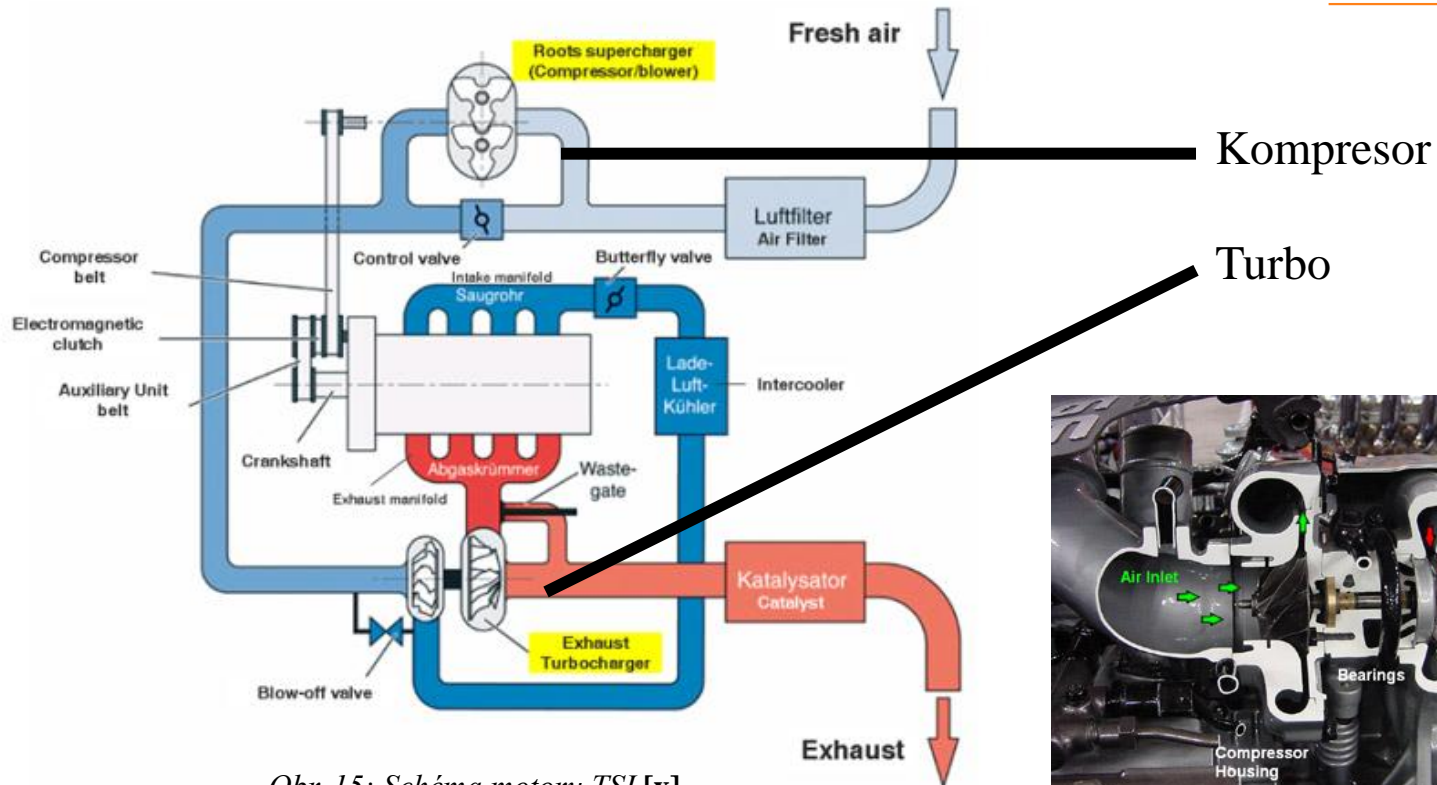
Obr. 14: Rootsovo dmychadlo Easton [x]

# Přepřňování

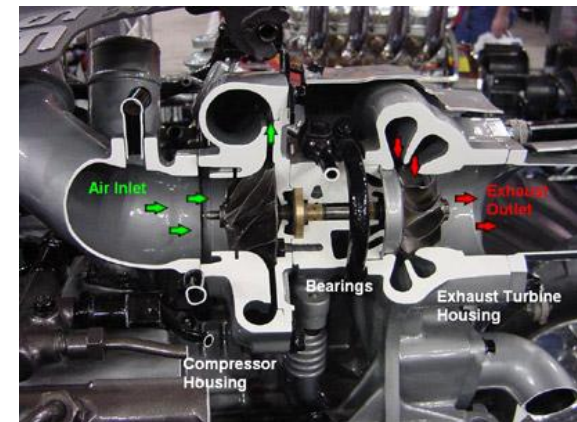
- **Kombinované** (zapojení kompresoru a turba – např. VW TSI)

## Air Flow in the VW Twincharged TSI

VIDEO: [VW TSI](#)

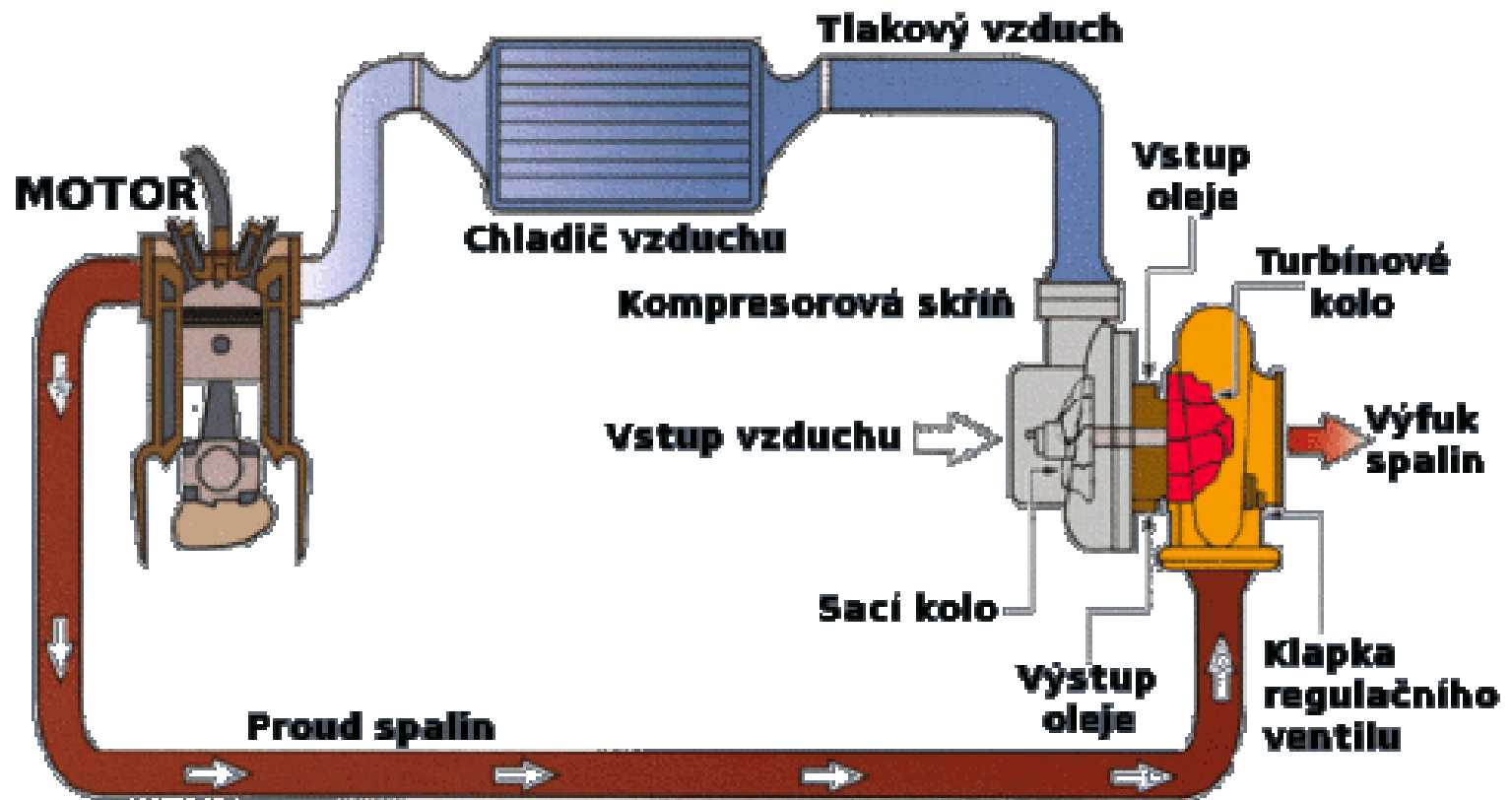


Obr. 15: Schéma motoru TSI [x]



Obr. 16: Schéma turbodmychadla [x]

# Model přeplňování motoru



Obr. 17: Schéma turbodmychadla [x]

# Přepřňování



Obr. 18 a 19: Zanesené a čisté turbodmychadlo (čištěno ultrazvukem) [x]

## Jak jezdit s Turbem?

Hlavní nebezpečí spočívá v náhlém vypnutí rozžhavené turbíny, kdy dochází k deformaci turbíny. Poté se v dalším provozu začne projevovat nevyvážení a začne se zvětšovat vůle v ložisku dmychadla, olej začne pronikat do motoru, případně se ulomí lopatky. Motor je nejlepší dochlazovat jízdou s minimální zátěží motoru cca 3 až 5 minut dlouhou, případně nechte motor dochladit cca 2 min na volnoběh.

# Označení přeplňovaných motorů

(závisí na výrobci motoru)

## *VW/Audi/Seat/Škoda*

- ▶ *TDI (Turbocharged Direct Injection) – naftový motor s přímým vstřikem paliva s turbodmychadlem*
- ▶ *TFSI (Turbo Fuel Stratified Injection) – s přímým vstřikem a přeplňováním turbodmychadlem*
- ▶ *TSI (Twincharged Stratified Injection) – s přímým vstřikem a (dvojitým) přeplňováním (závisí na verzi)*

## *Ford*

- ▶ *TDDi (Turbo Diesel Direct Injection) – vznětový agregát s přímým vstřikováním a turbodmychadlem*
- ▶ *TDCi (Turbo Diesel Common Rail Injection) – vznětový agregát, Common Rail a turbodmychadlo*

## *PSA*

- ▶ *HPI (High Precision Injection) – přímé vstřikování, kompresor, DOHC a proměnné časování ventilů (THP - Turbo High Pressure)*

# Volkswagen TDI



**Diesellový motor TDI**

*Obr. 20: Motor TDI [x]*



*Obr. 21: Motor Audi V6 3.0 TDI [x]*



*Obr. 22: Zkratka motoru TDI [x]*



# Historie Volkswagen TDI

- ▶ Jeden z **nejúspěšnějších motorů posledních 20 let**.
- ▶ **První vznětový motor TDI** od koncernu Volkswagen se objevil v roce **1989** pod kapotou **Audi 100 Avant** – šlo o řadový pětiválec **2.5 TDI s výkonem 88 kW** osazený podélně.
- ▶ V roce **1991** následovala zdaleka **nejrozšířenější a nejúspěšnější varianta 1.9 TDI** (v té době o výkonu 66 kW) v modelu Audi 80, která se v roce 1993 dostal i do VW Golf III.
- ▶ V **1995** následovala silnější verze s výkonem 81 kW a variabilní geometrií lopatek turbodmychadla (VGT).
- ▶ Od roku **1996** se obě varianty začali montovat i do **první generace Škody Octavia**, kde si vysloužily svůj úspěch (používají **rotační vstřikovací čerpadlo**)
- ▶ Od roku **2000** se také začalo do všech modelů TDI průběžně montovat vstřikování **PD**.
- ▶ V letech **2006, 2007 a 2008** třikrát po sobě vyhrál závodní vůz **Audi R10 TDI v závodě 24 hodin Le Mans**. Vůz byl osazený dvanáctiválcem TDI o výkonu 480 kW.
- ▶ Průběžně v letech **2007-2010** se z nabídky koncernu VW vytratily motory TDI PD a pozvolna byly nahrazeny systémem Common Rail. Jde o 1.6 TDI CR ve výkonech 55, 66 a 77 kW, tříválcová 1.2 TDI CR 55 kW a 2.0 TDI CR 103 kW.
- ▶ Motorickou lahůdkou byl desetiválec **5.0 V10 TDI** montovaný například do **VW Touareg**, který však musel být pro nesplnění emisních norem Euro IV nahrazen osmiválcem 4.2 V8 TDI.

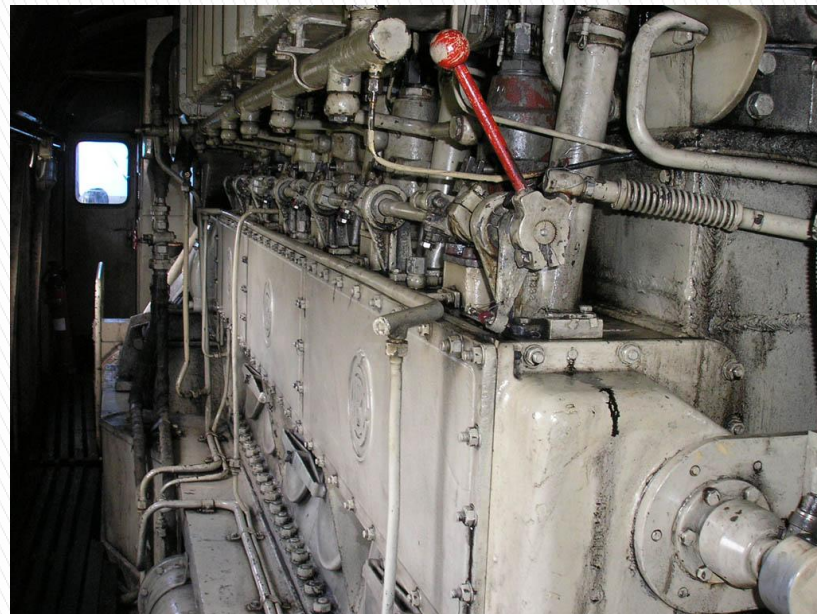
**VIDEO: [AUDI TDI](#)**

# Lokomotivy

- ▶ Motorové lokomotivy používají výhradně **dieselové motory**.
- ▶ Jde o velké **nízkootáčkové varianty** obvykle přeplňované **turbodmychadlem**.
- ▶ U výkonných lokomotiv motory zabírají velké množství místa a pro celé další pomocné mechanismy mají vyhrazenou **strojovnu**.
- ▶ V ČR jde např. o vozy řady
  - 751(749) – řadové šestiválce (až 1 100 kW)
  - 750(754) – vidlicové dvanáctiválce (až 1 460 kW)



Obr. 23: Lokomotiva řady 751 (ČKD Praha)[x]



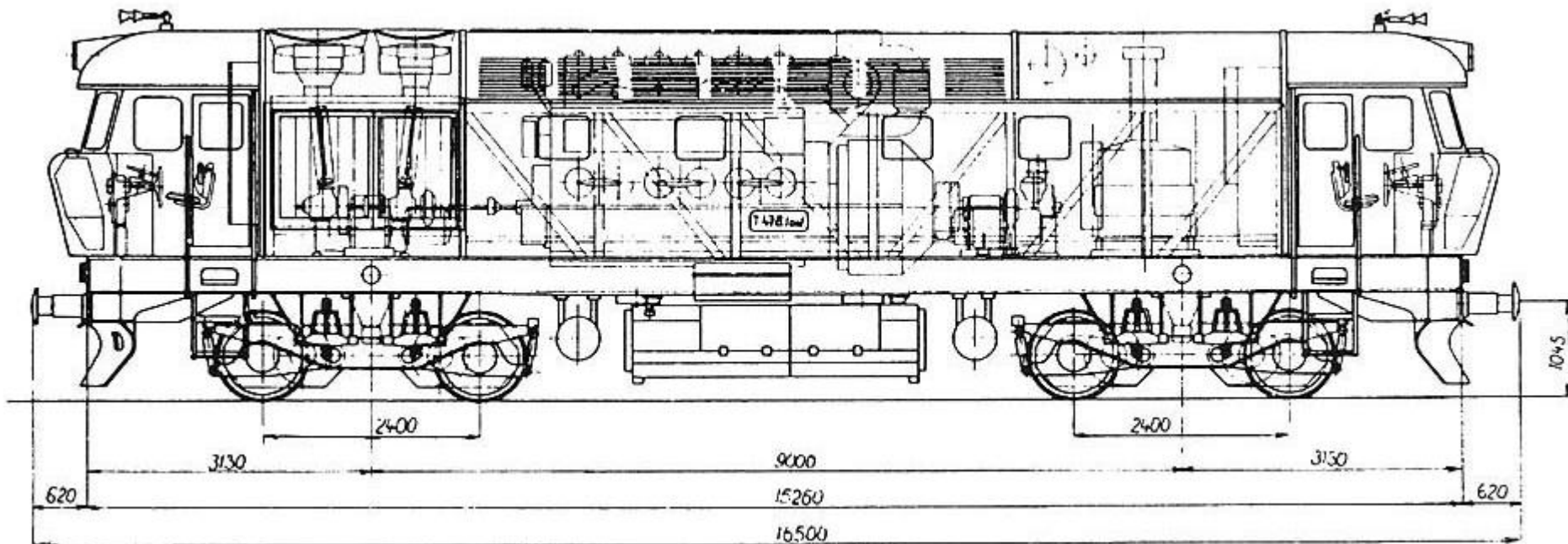
Obr. 24: Spalovací motor je typu ČKD K 6 S 310 DR (až 1 100 kW) [x]



Obr. 25: Lokomotiva řady 754 (ČKD Praha)[x]



Obr. 26: Spalovací motor je typu ČKD K 12 V 230 DR (až 1 400 kW) [x]



Obr. 27: Lokomotiva 751 (ČKD Praha) [x]

### **Spalovací motor typ ČKD K 6 S 310 DR**

- ▶ Vznětový pomaluběžný čtyřdobý řadový šestiválec.
- ▶ Stojaté uspořádání.
- ▶ Vstřík paliva je přímý.
- ▶ Přepřívání turbodmychadlem PDH 50 V.
- ▶ jeden vačkový hřídel (rozvod OHV).
- ▶ 24 ventilů
- ▶ Výkon 1 100 kW



Obr. 28: Turbodmychadlo PDH 50 V [x]