

# Kapitola 11 – Spalovací motory

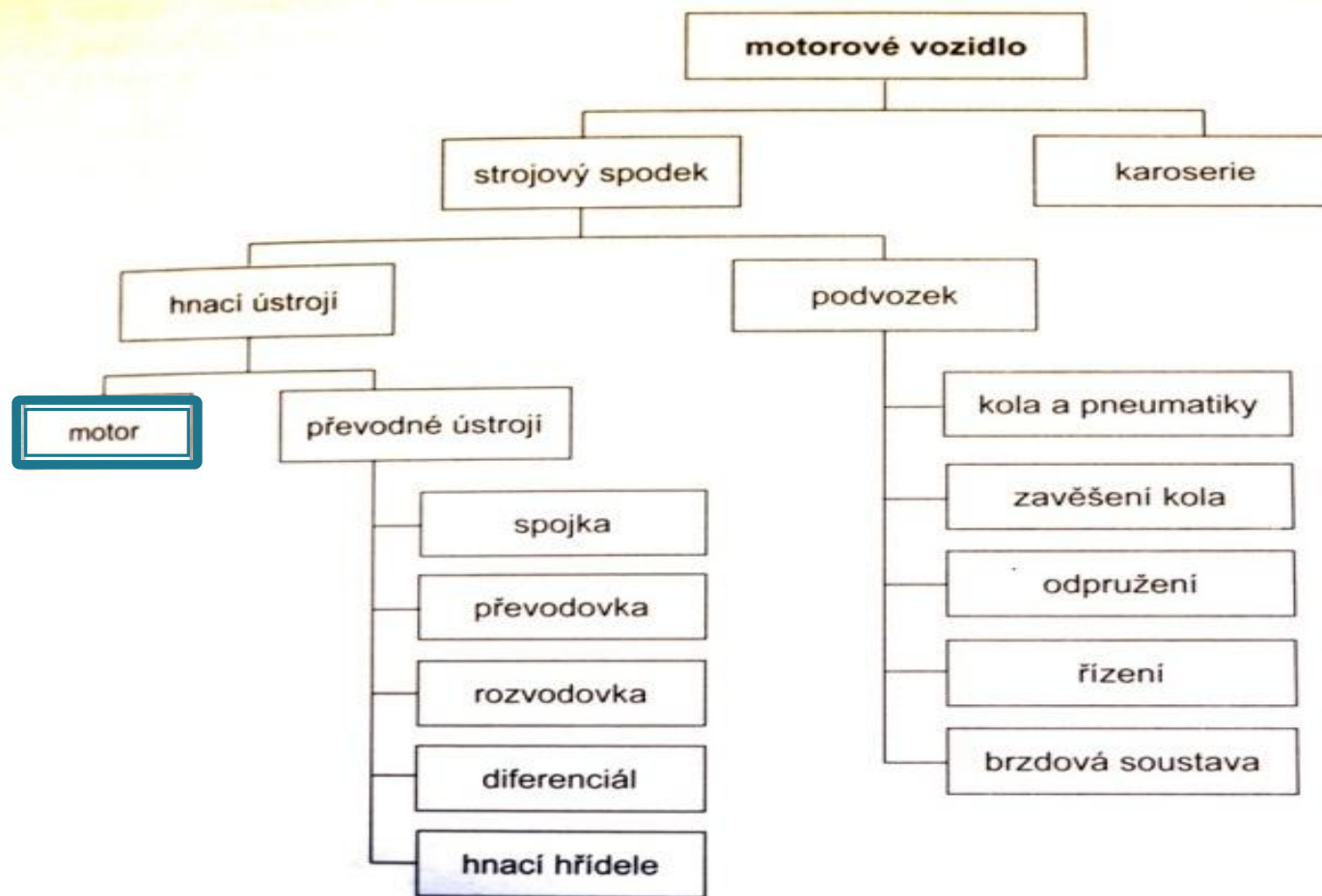
**Předmět:** Stavba a provoz strojů

**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

# Základní části silničních vozidel



Obr. 1: Základní části silničních vozidel [1]

# Motor

- ▶ Slouží k **přeměně energie paliva na pohyb vozu.**
- ▶ Obvykle **spalovací** s vratným pohybem pístu
  - **Zážehový** (palivem je benzín)
  - **Vznětový** (palivem je motorová nafta)
- ▶ Motor s rotačním pohybem pístu tzv. Wankelův motor se vyskytuje zřídka (např. Mazda RX-8)
- ▶ Palivem u spalovacího motoru může být i plyn
  - LPG (zkapalněný propan-butan)
  - CNG (stlačený zemní plyn, tzn. methan)



Obr. 2: Mazda RX-8 (s Wankelovým motorem) [x]

# Alternativní pohony

## ▶ Elektrický

- O pohon se stará elektromotor napájený z akumulátorů nebo palivových článků.

## ▶ Hybridní

- Jde o kombinaci různých druhů pohonu, dnes jde zpravidla o spalovací motor doplněný elektromotorem s dobíjecími akumulátory.

## ▶ Vodíkový

- Vodík v kapalném stavu (podchlazený ve speciální nádobě) je použit jako palivo spalovacího motoru.

## ▶ Solární

- Principem je převod slunečního záření na elektrickou energii pomocí solárních článků.

# Spalovací motor

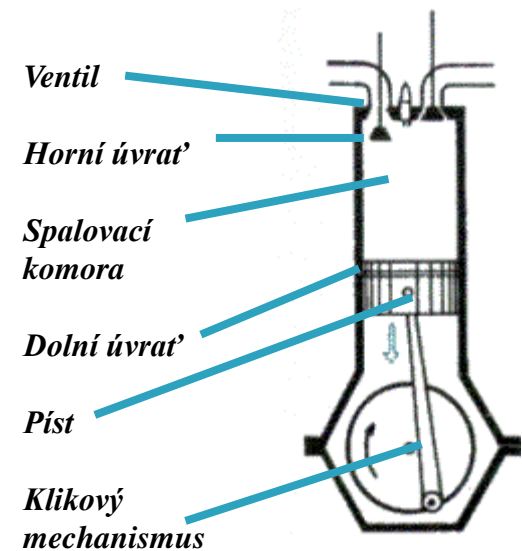
- ▶ Jde o **tepelný stroj**, kde se chemická **energie paliva mění** ve spalovací komoře v energii tlakovou a pomocí klikového mechanismu je tato energie přeměněna **na mechanickou práci**.
- ▶ Hořením paliva ve spalovací komoře dochází k **expenzi horkých zplodin**, které vykonávají práci

## Pozn.

Z tepla obsaženého v palivu motor přemění na užitečnou práci pouze **25 – 40 %** (účinnost).

Hodnota závisí na typu motoru, na přeplňování apod.

Zbytek se ztrácí chlazením, odvodem výfukových plynů, třením apod.



Obr. 3: Popis hlavních prvků čtyřdobého zážehového motoru

[x]

## Základní výkonnostní charakteristika motoru:

### Počet válců:

10 (zde v uspořádání do V)

### Zdvihový objem válců:

5,2 l = 5 204 cm<sup>3</sup>

### Výkon motoru:

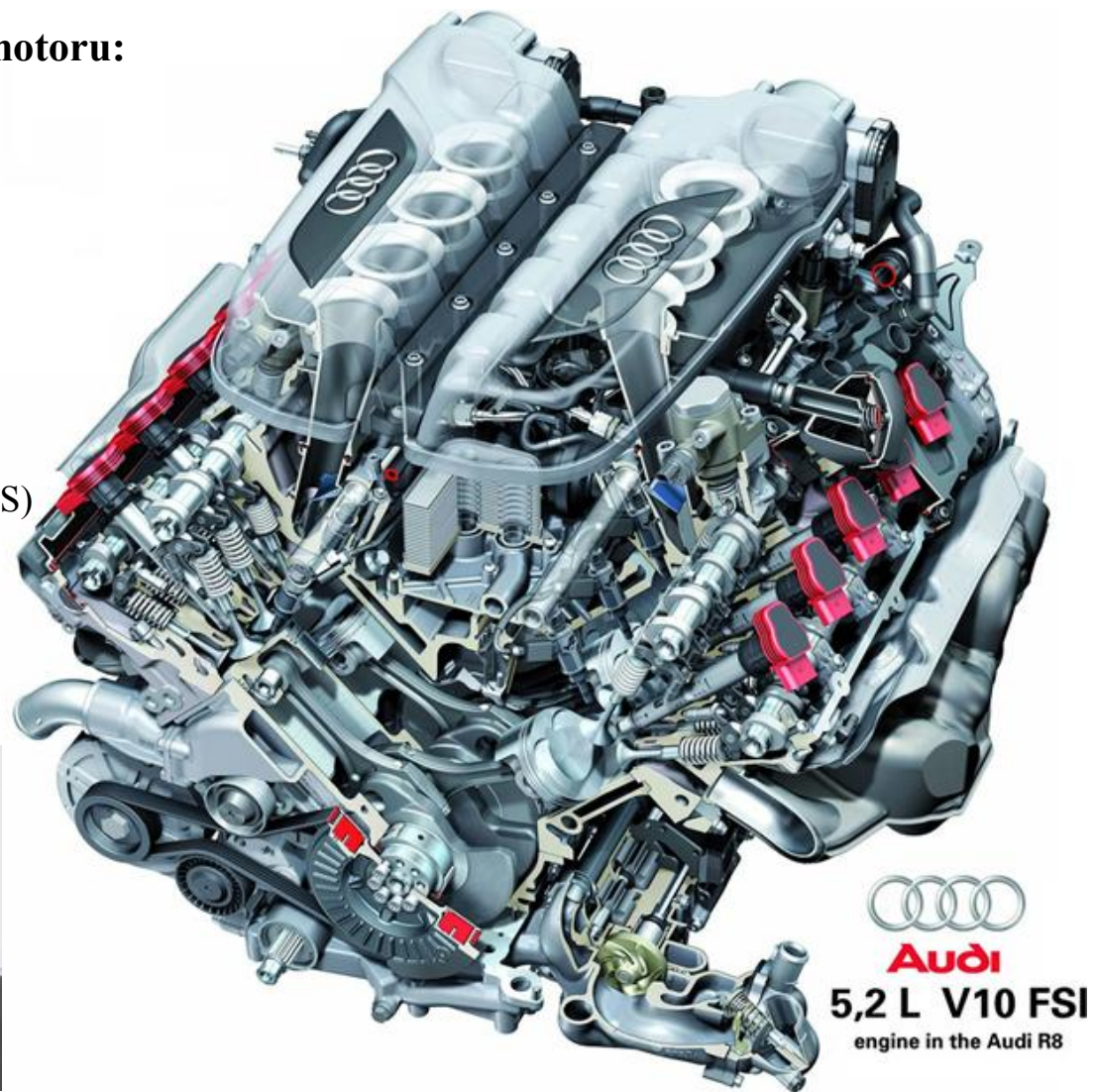
386 kW = 525 koňských sil při 8 000 ot/min  
(kdy 0,746 kW = 1 koňská síla, značeno HP či PS)

### Točivý moment:

530 Nm při 6 500 ot/min



Obr. 4: Audi R8 – 5.2 V10 FSI [x]



Obr. 5: Příklad zážehového (čtyřdobého) spalovacího motoru Audi [x]

# Historie

- ▶ **1786** – Lebonův motor (**Phillipe Lebon**)
  - Dvojčinný motor na svítiplyn – vůbec první spalovací motor.
- ▶ **1807** – První použití spalovacího motoru (**Isaac de Rivaz**)
  - První automobil poháněný spalovacím motorem.
- ▶ **1816** – Stirlingův motor (**Robert Stirling**)
  - Motor s vnějším spalováním, tzv. teplovzdušný motor
- ▶ **1876** – Ottův motor (**Nikolaus August Otto**)
  - První zážehový čtyřdobý motor
- ▶ **1886** – Tříkolka Daimler a Maybach (**Karl Benz**)
- ▶ **1887** – Dieselův motor (**Rudolf Diesel**)
- ▶ **1900** – Zdokonalení dieselového motoru (**Charles Kettering**)

# Rozdělení

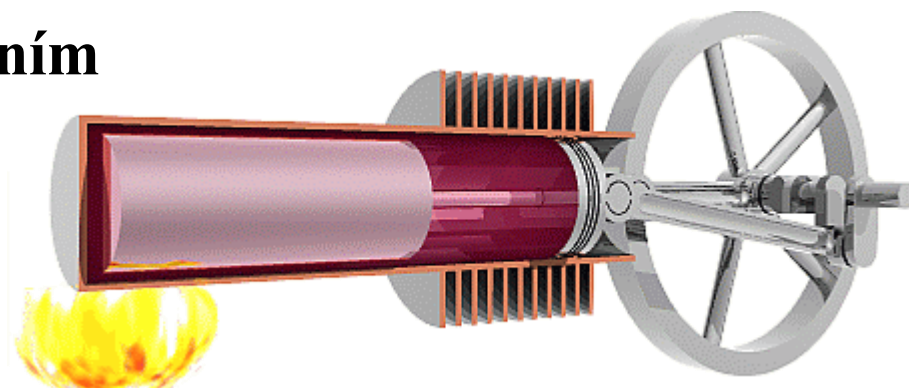
- ▶ **Základní rozdělení podle druhu spalování paliva:**

- ▶ **Motory s vnitřním spalováním**

- Motory s vratným pohybem pístu
- Rotační motory s kruhovým pohybem pístu (Wankel)
- Reakční motory (spalovací turbíny, raketové motory)

- ▶ **Motory s vnějším spalováním**

- Stirlingův motor
- Parní stroj
- Parní turbína



Obr. 6: Animovaný model Stirlingova motoru [x]



# Rozdělení dle paliva

- ▶ Podle tvorby směsi:
  - **Zážehové** (směs vzduchu a paliva se zapálí elektrickým výbojem)
  - **Vznětové** (vstřík paliva do stlačeného vzduchu ohřátého kompresí)
- ▶ Používaná paliva (dnes převážně kapalná):
  - **Benzín** (lehká kapalina ropného původu získaná frakční destilací ropy)
  - **Nafta** (těžší kapalina ropného důvodu získaná frakční destilací ropy)
  - **CNG** (stlačený zemní plyn)
  - **LPG** (zkapalněný propan-butan)
  - **Bionafta** (motorová nafta obohacená o methylestery mastných kyselin získané z přírodních zdrojů – např. řepka olejka)
  - **Bioethanol** (kvasný líh)
  - **Alternativní paliva** (např. oleje, surová lehká ropa)

# Rozdělení

- ▶ Podle způsobu plnění:
  - **Atmosférické motory**
  - **Přepřňované motory** (turbodmychadlo, kompresor)
- ▶ Podle pracovního cyklu:
  - **Čtyřdobé** (jeden oběh na dvě otáčky kliky)
  - **Dvoudobé** (jeden oběh na jednu otáčku kliky)
- ▶ Podle účelu:
  - **Stacionární** (záložní zdroje)
  - **Mobilní** (automobily, lokomotivy, lodě, letadla)
- ▶ Podle počtu válců:
  - **Obvykle sudý počet válců** (u lichého nutnost použití vyvažování!)
- ▶ Podle objemu motoru:
  - **Závisí na typu poháněného prostředku** (udáváno v  $\text{cm}^3$  či  $\text{dm}^3$ )



Obr. 7: Stacionární záložní motor [x]

# Rozdělení

► Podle uspořádání válců:

**A. Řadové**

**B. Dvojřadové**

**C. S válci do H (dvojitě dvouřadové)**

**D. Invertované**

**E. S protilehlými válci**

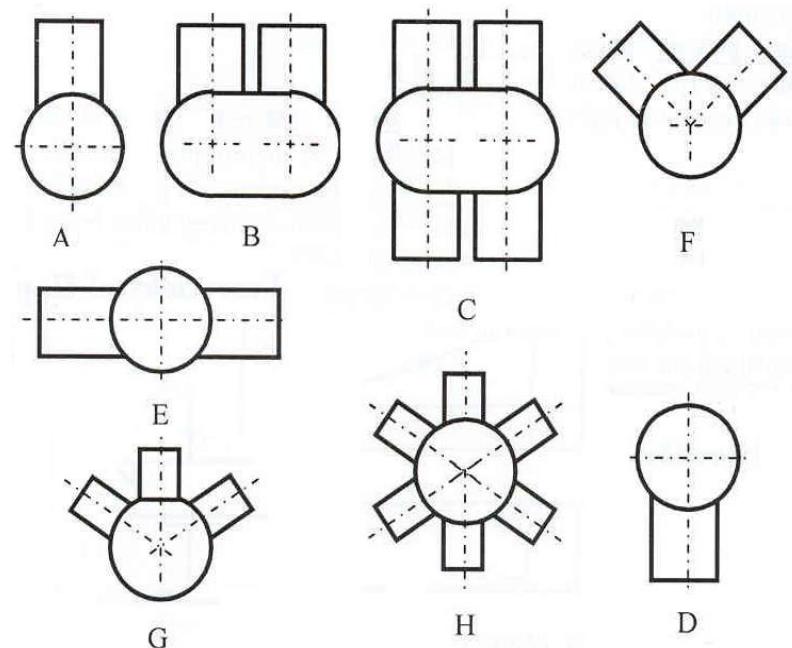
- boxer – písty se vyvažují navzájem
- vidlicový motor s otevřením  $180^\circ$

(pokud jsou ojnice protilehlých válců na stejném ojničním čepu)

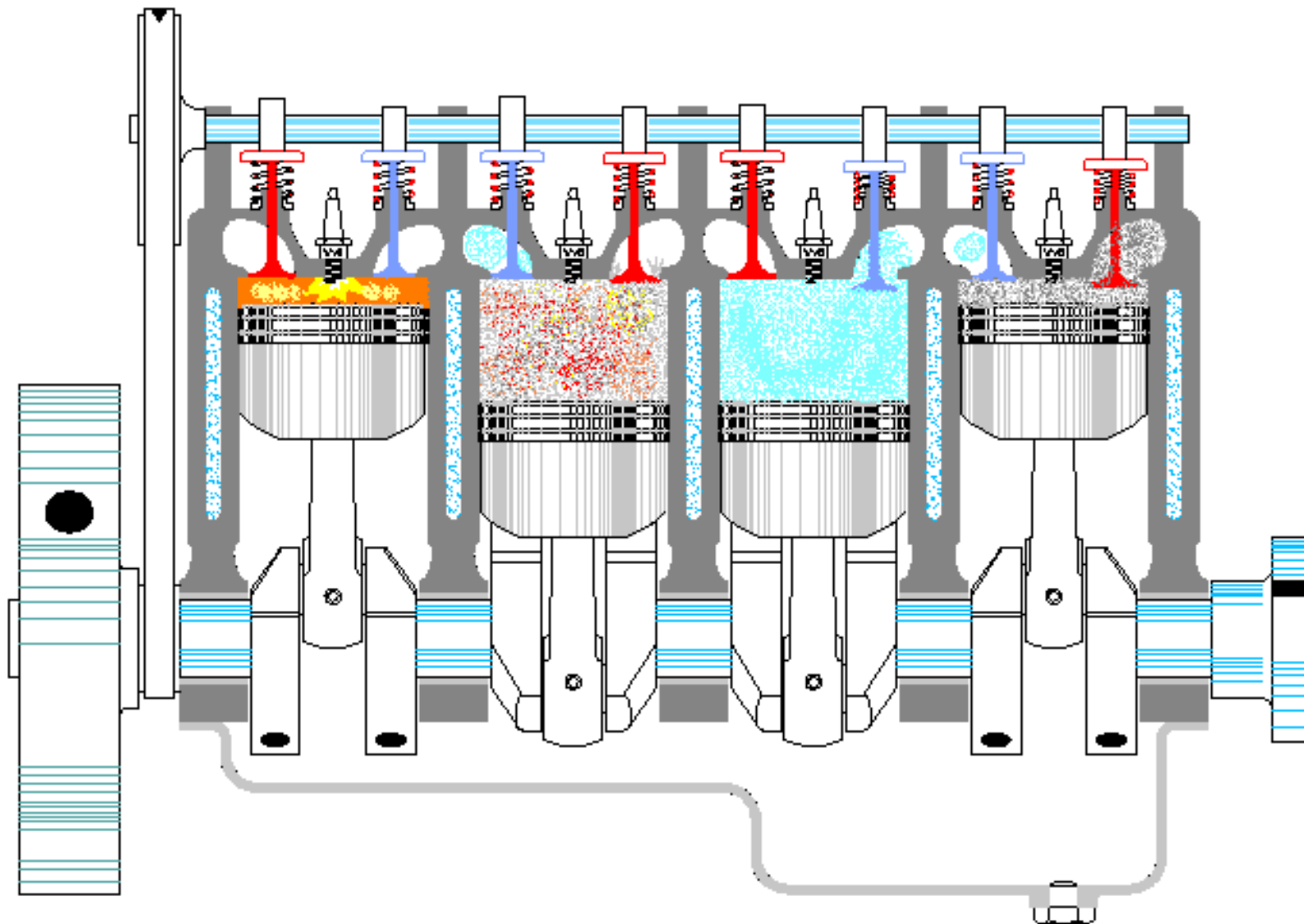
**F. Vidlicové (s válci do V, zpravidla  $90^\circ$ )**

**G. Vějířovité**

**H. Hvězdicové (letectví)**



Obr. 8: Různé varianty uspořádání válců [x]



Obr. 9: Animovaný model činnosti čtyřdobého zážehového motoru [x]

# Ventilové rozvody

- ▶ **Ventilový rozvod** je typ rozvodového mechanismu využívající ventily na řízení toku pracovních plynů skrz pístový motor. Jde o nejčastější typ mechanických rozvodů, používaných ve čtyřdobých spalovacích motorech.
- ▶ **Princip řízení ventilů:**
  - **Otevírání ventilů** řídí příslušná vačka vačkové hřídele nebo zřídka výstředník výstředníkového hřídele, který je poháněn přímo klikovkou.
    - U čtyřdobých motorů se vačkový hřídel otáčí přesně **2x pomaleji** než hřídel klikový, protože jeden pracovní cyklus motoru trvá dvě otáčky klikovky.
    - Pohyb vačky se na ventily přenáší v závislosti od typu rozvodu zdvihátky, zdvihacími tyčkami a vahadly. Pohyb výstředníku ojnicemi a vahadly.
    - Pro snížení tření v mechanismu bývají zařazeny kladky, které mění smykové tření na valivé.
  - **Zavírání ventilů** je zabezpečeno nejčastěji pružinami.

# Ventilové rozvody

## ► Pohon rozvodů:

- Energie na pohon rozvodu je odebrána z klikové hřídele a pohon může být řešen:
- **1) ozubeným řemenem** s vnitřním ozubením
- **2) řetězem** (nejčastěji víceřadým)
- **3) ozubeným převodem** (s čelním ozubením) nebo tzv. *královským hřídelem* - se dvěma páry kuželových nebo šroubových soukolí



Obr. 10: Pohon ozubeným řemenem [x]



Obr. 11: Pohon řetězem [x]

# Typy ventilových rozvodů

## ▶ OHV

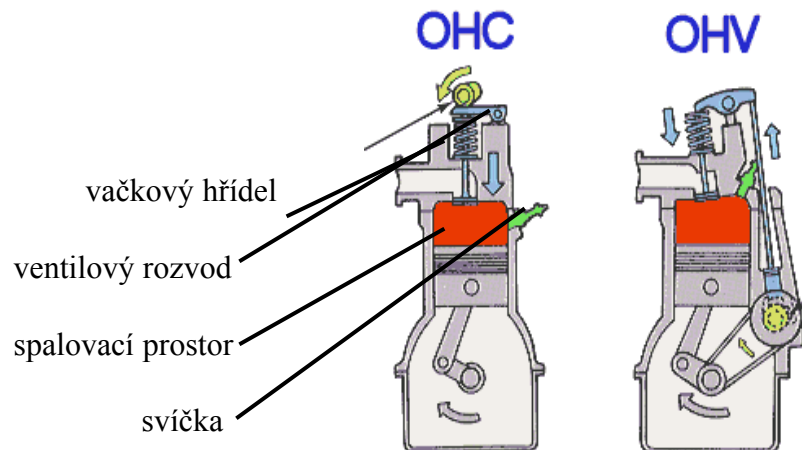
- Starší typ ventilového rozvodu **OHV** (= Over Head Valves) má vačkový hřídel v bloku motoru a visuté ventily (v hlavě) ovládá pomocí zdvihátek a vahadel.

## ▶ OHC

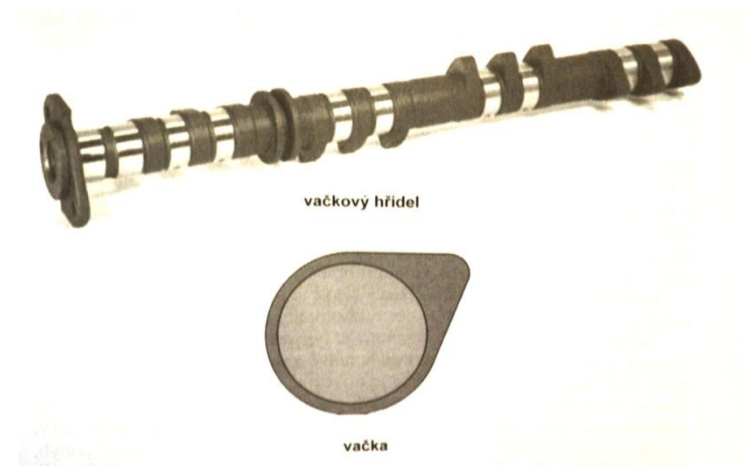
- Nejmodernější řešení **OHC** (= Over Head Camshaft) nebo **SOHC** (= Single Over Head Camshaft) má ventily řízené vačkovým hřídelem v hlavě motoru.

## ▶ DOHC

- Verze OHC se dvěma vačkovými hřídel **DOHC** (= Double Over Head Camshaft)



Obr. 12: Systém rozvodů OHV a OHC [x]



Obr. 13: Vačkový hřídel a vačka [1]

# Označení motoru

(závisí na výrobci motoru)

## VW

- ▶ *MPI (Multi Point Injection)* – benzínové motory s vícebodovým sekvenčním vstřikováním
- ▶ *HTP (High Torque Performance)* – motory s velmi plochou křivkou točivého momentu (tríválce Fabia)
- ▶ *FSI (Fuel Stratified Injection)* – s přímým vstřikem (VIDEO)
- ▶ *TFSI (Turbo Fuel Stratified Injection)* – s přímým vstřikem a přeplňováním turbodmychadlem
- ▶ *SDI (Saugdiesel Direct Injection)* – atmosférické motory s přímým vstřikem nafty
- ▶ *TDI (Turbocharged Direct Injection)* – naftový motor s přímým vstřikem paliva s turbodmychadlem
- ▶ *TSI (Twincharged Stratified Injection)* – s přímým vstřikem a dvojitým přeplňováním (VIDEO)

## Ford

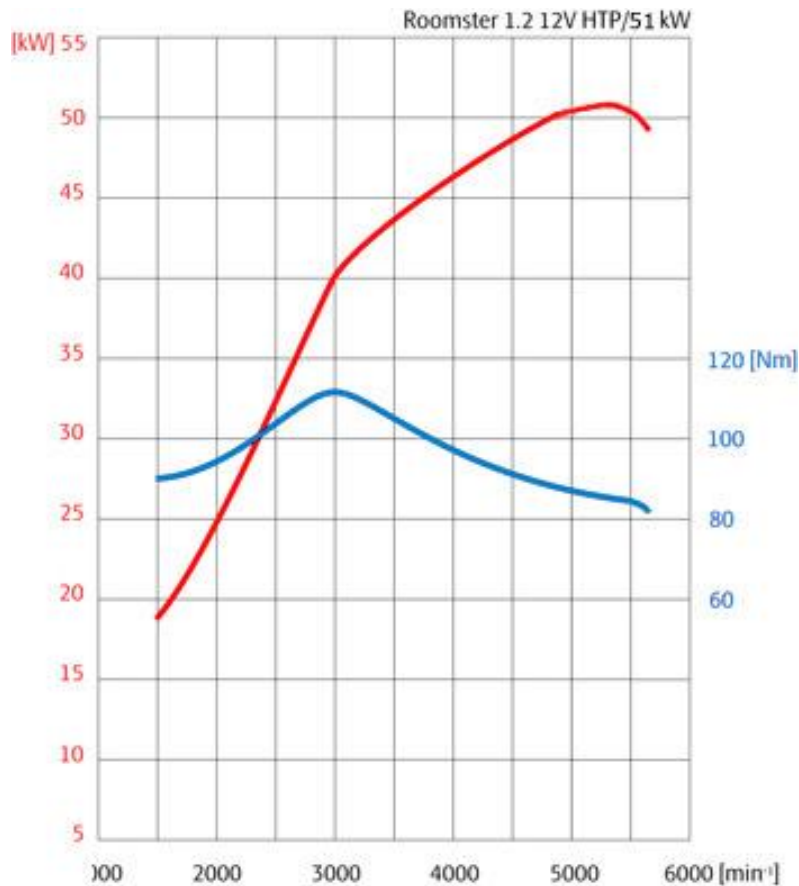
- ▶ *TDDi (Turbo Diesel Direct Injection)* – vznětový agregát s přímým vstřikováním a turbodmychadlem
- ▶ *TDCi (Turbo Diesel Common Rail Injection)* – vznětový agregát, Common Rail a turbodmychadlo

## PSA ve spolupráci s BMW

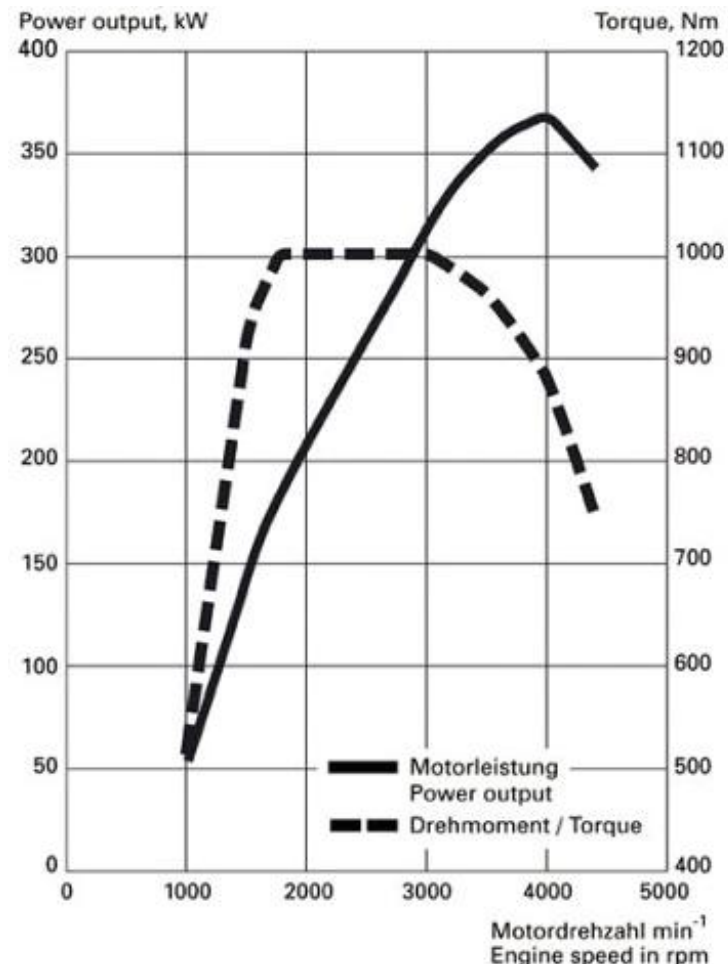
- ▶ *HPi (High-pressure Petrol direct-injection)* – zážehové motory s přímým vstřikem
- ▶ *HDi (High-pressure Direct injection)* – vznětové motory s přímým vstřikem
- ▶ *HPI (High Precision Injection)* – přímé vstřikování, kompresor, DOHC a proměnné časování ventilů
- ▶ *THP (Turbo High Pressure)* – přímé vstřikování, kompresor, DOHC a proměnné časování ventilů.



# Výkonová charakteristika



VS.

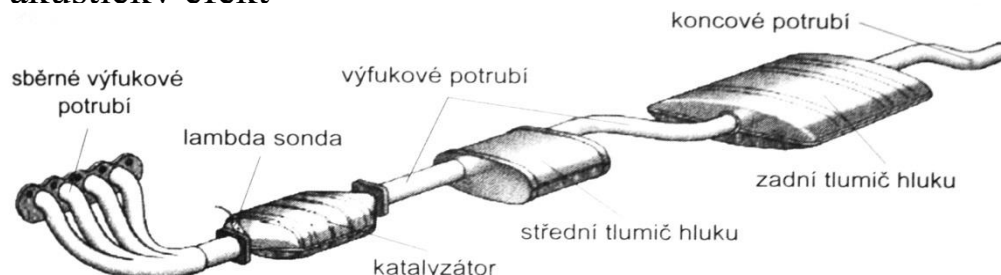


Obr. 14: Výkonová charakteristika motoru Škoda 1.2 HTP [x]

Obr. 15: Výkonová charakteristika motoru VW 6.0 V12 TDI [x]

# Výfuková soustava

- ▶ Plní primární funkci **odvodu výfukových plynů** z motoru ven.
- ▶ Mezi další funkce patří:
  - **Bezpečné odvedení plynů** ven z automobilů, aby nedocházelo k ohrožení posádky.
  - **Snížení emise škodlivin** – viz katalyzátor nebo filtr pevných částic
  - **Tlumení hluku** – viz tlumič hluku
  - **Co nejmenší odpor plynů** – aby nedocházelo k ovlivňování výkonu motoru
- ▶ Konstrukce:
  - **Výfukové potrubí** – složí ke svodu z jednotlivých válců a k dalším vedení
  - **Lambda sonda** – získává informace o směsi výfukových plynů, resp. o obsahu kyslíku
  - **Tlumiče hluku** – slouží k tlumení hluku a ke snížení teploty výfukových plynů
  - **Katalyzátor nebo filtr pevných částic** – snížení emise škodlivin
  - **Koncovka výfuku** – estetický a akustický efekt



Obr. 16: Schéma výfukové soustavy [1]

# Katalytický konvertor

- ▶ Běžněji nesprávně katalyzátor (**katalyzátorem je pouze přítomné kovy**)
- ▶ Použití u **zážehových motorů**.

[Videosekvence](#)

- ▶ **Cíl použití:**

- Snižuje emise škodlivin, kdy využívá katalytické funkce chemických katalyzátorů při chemické přeměně škodlivých zplodin (oxidy dusíku, oxid uhelnatý) na méně škodlivé (voda, dusík, oxid uhličitý)

- ▶ **Princip:**

- Jako náplň slouží speciální keramika (případně kov), potažená aluminou (porezní oxid hlinitý), impregnovanou vlastním katalyzátorem - obvykle platina a rhodium.
- Platina je vhodným katalyzátorem pro oxidační proces, rhodium pro redukční.

- ▶ **Nutnost použití bezolovnatého benzínu (olovo reaguje s platinou a rhodiem)!!!**
- ▶ **Začíná fungovat až za teplot cca 300 °C (nutnost použití předkatalyzátoru)!!!**
- ▶ **Lambda-sonda – čidlo obsahu kyslíku**

# Lambda sonda ( $\lambda$ -sonda)

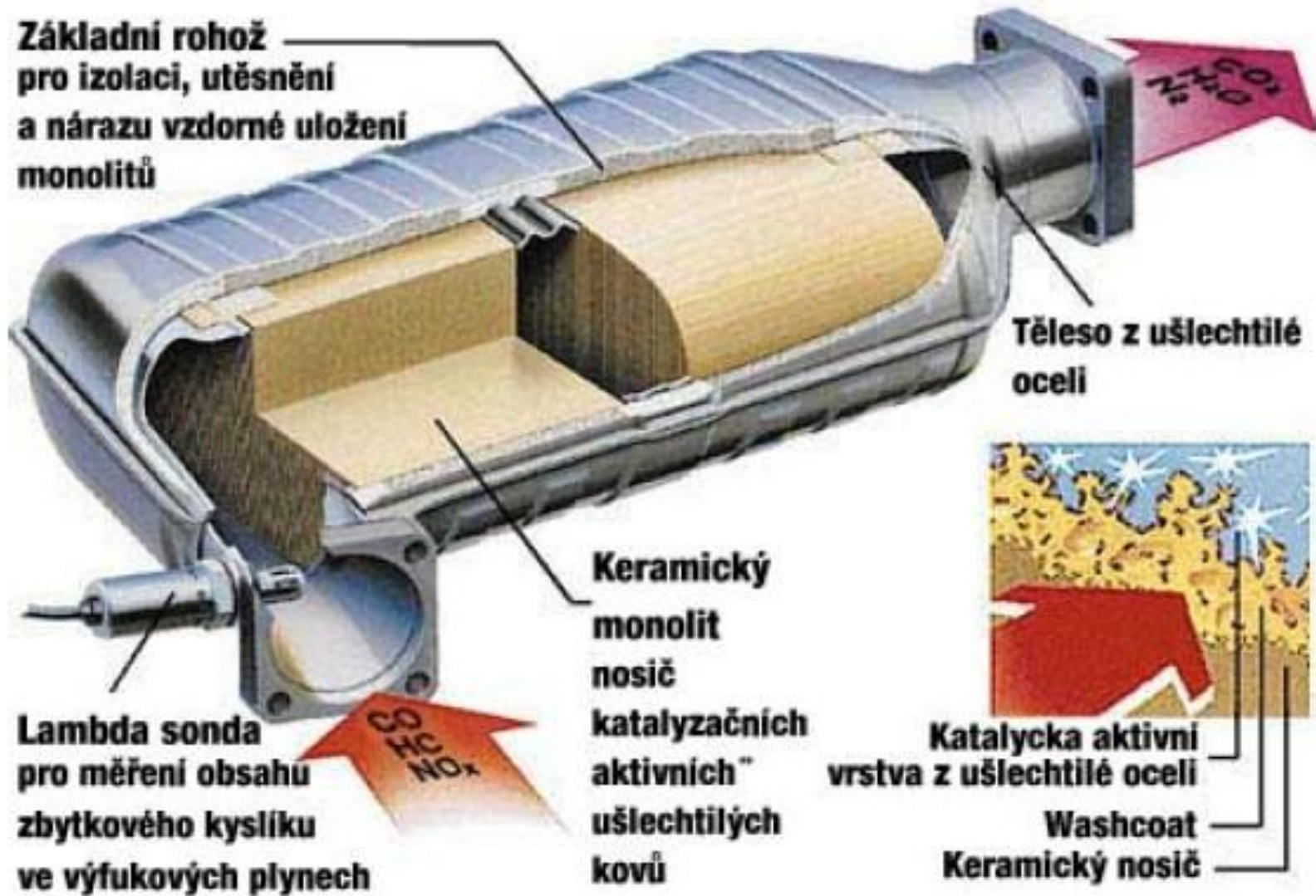
- ▶ **Lambda-sonda – čidlo obsahu kyslíku**
- ▶ Toto zařízení určuje součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$  ve výfukových plynech, čím umožňuje řídicí jednotce připravovat stechiometrickou směs se součinitelem přebytku vzduchu přibližně  $\lambda = 1$  (odpovídá 14,8 kg vzduchu na 1,0 kg paliva)
- ▶ Porovnává plyny ve výfukovém potrubí s čistým vzduchem a podle toho vysílá signály řídicí jednotce, která podle nich upravuje množství paliva vstřikovaného do motoru.



Obr. 17: Lambda sonda – kyslíková sonda [x]

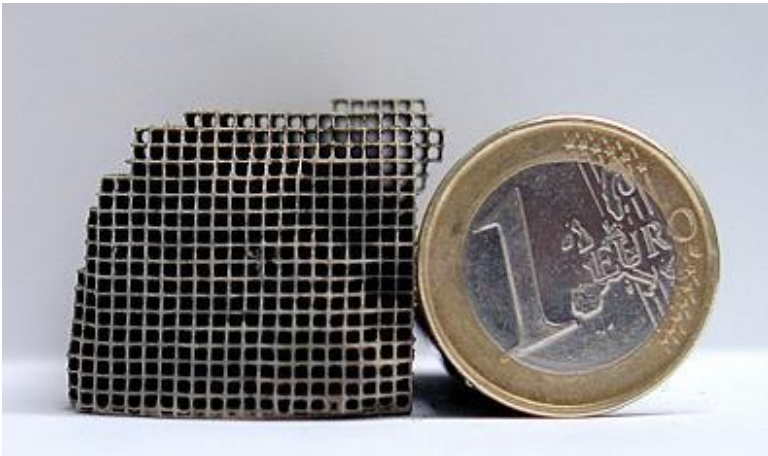


Obr. 18: Lambda sonda s konektorem pro zapojení [x]

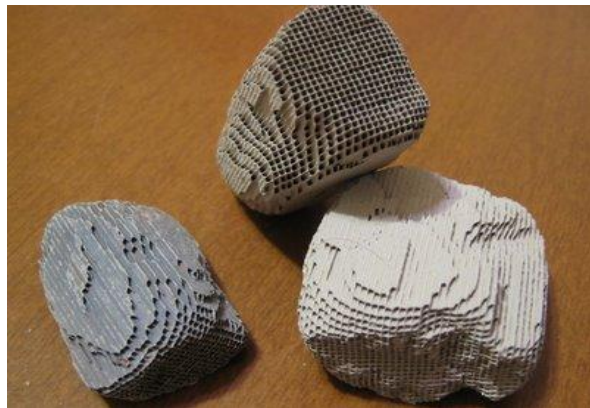


Obr. 19: Schéma katalyzátoru s dvojitým ložem (třícestný) [x]

# Katalytický konvertor

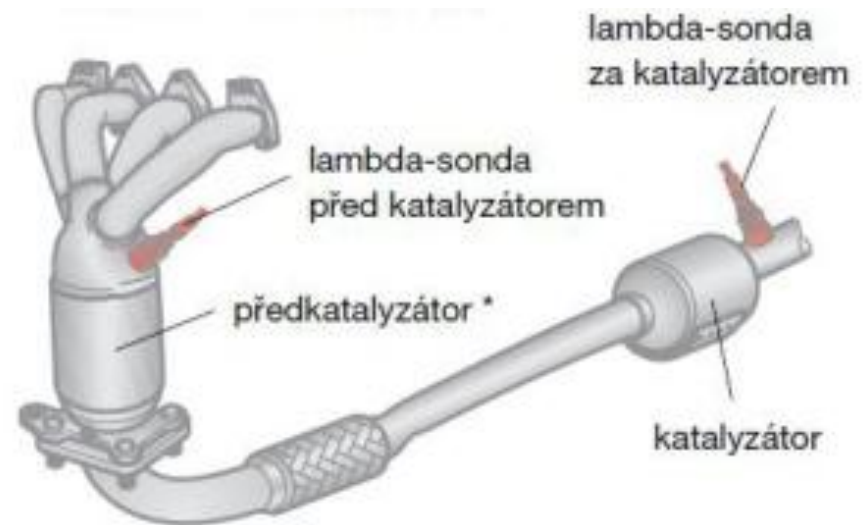


Obr. 20: Velký povrch náplně katalyzátoru [x]

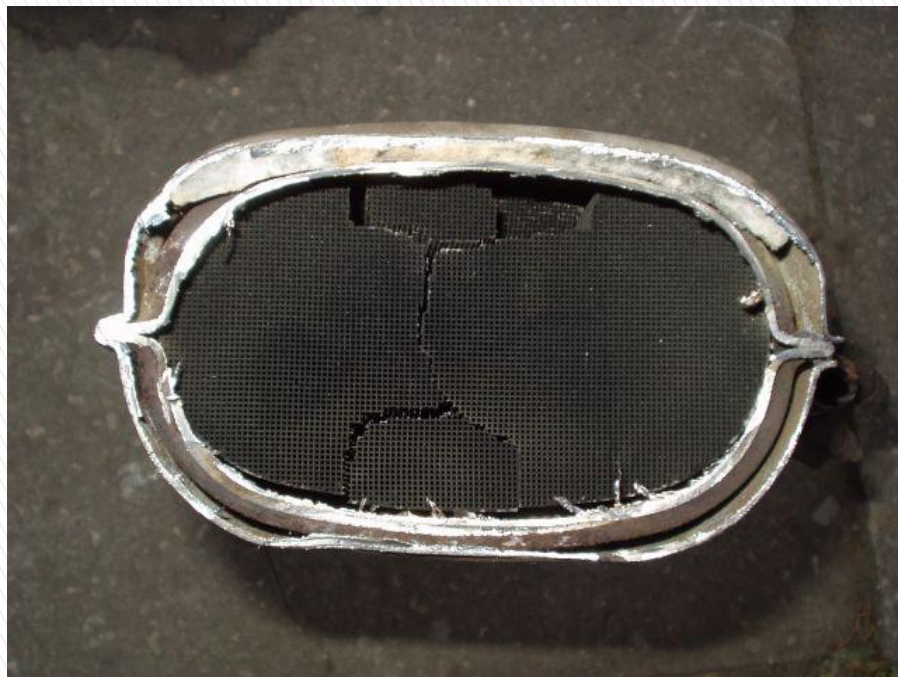


Obr. 21: Náplň katalyzátoru [x]

## Videosekvence



Obr. 22: Schéma zapojení katalyzátoru [x]



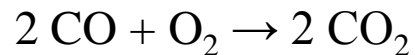
Obr. 23-26: Starý rozebraný dvojitý katalyzátor GM [x]

# Reakce probíhající v katalyzátoru

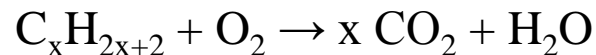
## ▶ Závisí na typu katalyzátoru:

### ▶ Dvojcestný (dvoukroková oxidace)

- Oxidace oxidu uhelnatého na oxid uhličitý:

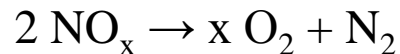


- Oxidace uhlovodíků na oxid uhličitý a vodu:

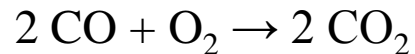


### ▶ Trojcestný (trojkroková redukce/oxidace)

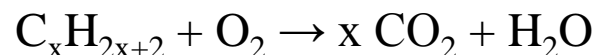
- Redukce (rozklad) oxidů dusíku na dusík a kyslík:



- Oxidace oxidu uhelnatého na oxid uhličitý:



- Oxidace uhlovodíků na oxid uhličitý a vodu:





# Filtr pevných částic

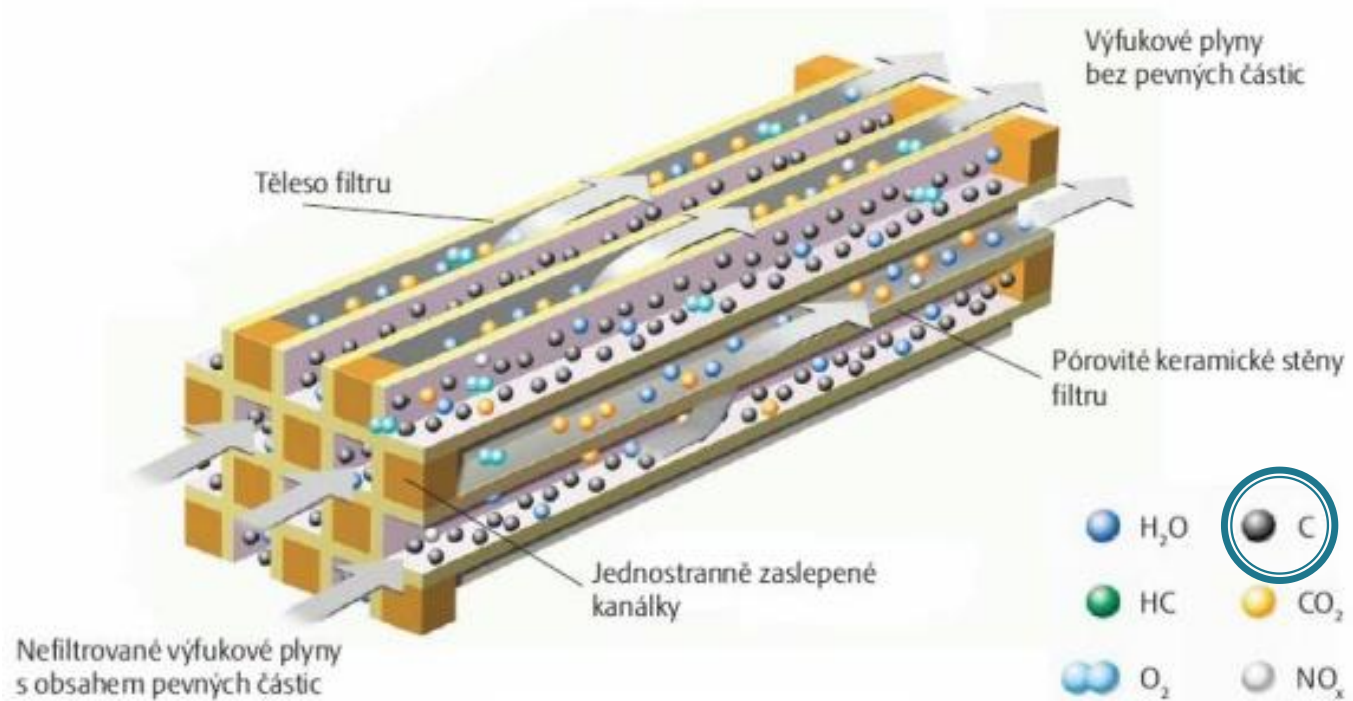
- ▶ **Používán u vznětových motorů.**
- ▶ Vzhledem ke spalování s vysokým přebytkem vzduchu je možná pouze **katalytická oxidace oxidu uhelnatého a uhlovodíků**, jejichž emise je však poměrně malá a vzhledem k současným normám **není nutné ji provádět.**
- ▶ V souvislosti se zaváděním zákonných omezení emisí tuhých látek nacházejí v poslední době uplatnění **filtrační systémy.**
- ▶ Jejich podstatou jsou **monolitická keramická porézní tělesa** nebo systém trubek, ovitých keramickými vlákny. Tyto filtry lze současně použít jako spalovací katalyzátory pro snížení emisí CO a uhlovodíků.
- ▶ Filtry je nutno periodicky regenerovat vypálením při teplotě nejméně 500°C, což vyžaduje dodatečné přehřívání výfukových plynů.
- ▶ Nelze používat bionaftu!

# Filtr pevných částic

- ▶ Filtr je tvořen **křemičitou sloučeninou**, která vytváří porézní filtr podobný včelí plástvi.
- ▶ Po průchodu výfukových plynů se velké pevné částice, které filtrem nemohou projít, **zachytí**.
- ▶ Filtr se postupně ucpává a výfukové plyny mají stále méně šancí „projít“.
- ▶ Aby se nemusel filtr čistit ručně, jednou za čas se zvýší teplota výfukových plynů natolik (550 °C), aby se pevné částice dodatečně spálily.
- ▶ Kompletní obnova filtru trvá zhruba dvě minuty a provádí se cca každých 500 km, přičemž interval je variabilní a závisí na znečištění filtru.
- ▶ Filtr je nutno po **cca 80 tis. km vyměnit**.
- ▶ Filtr pevných částic (stejně jako katalyzátor) **nepatrně snižuje výkon**.

# Filtr pevných částic DPF

- ▶ **Bezúdržbový filtr** (DPF), který není třeba měnit, zůstává ve výfukovém potrubí po celou dobu životnosti motoru.
- ▶ Filtr je pokryt vrstvou drahých kovů s katalytickou účinností (např. platina)
- ▶ Spalování sazí závisí na znečištění filtru – jakmile dojde k částečnému ucpání (přetlaku), řídicí jednotka spustí regeneraci.
- ▶ **Regenerace:**
  1. K tzv. **pasivní regeneraci** dochází především při jízdách po dálnicích, kdy mají výfukové plyny teplotu 350 až 500 °C a saze se spalují samovolně.
  2. Při pouze částečném zatížení motoru, což je příklad jízd v městském provozu, nastupuje **aktivní regenerace**: Každých 1000 až 1200 km se teplota výfukových plynů řízeně (vstřikem paliva) zvýší na zhruba 600 °C a dochází k odstranění zachycených nečistot.



Obr. 27: Modelové schéma filtrace u DPF filtru [x]



Obr. 28: DPF filtr [x]

# Výfukové zplodiny

- ▶ Vlivem spalování organických paliv obsahujících především **biogenní prvky**, jakožto především **C, H, O, N, S** vznikají nejrůznější zplodiny. Všechny vyžívají jak obsažený kyslík, tak kyslík z okolí (vzdušný)

## 1. uhlík

- čistý uhlík = saze (dieselové motory)
- spaliny obsahují oxidy uhlíku
  - Dokonalé spalování (nadbytek kyslíku) na  $\text{CO}_2$  - oxid uhličitý:  $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
  - Nedokonalé spalování (nedostatek kyslíku) na  $\text{CO}$  - oxid uhelnatý:  $2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$

## 2. vodík

- při styku s kyslíkem výbušný!
  - slučuje se s kyslíkem na vodní páru:  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

## 3. dusík

- spaliny obsahují oxidy dusíku
  - oxid dusnatý: **dusíkatá sloučenina** +  $\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}$  (bezbarvý)
  - oxid dusičitý: **dusíkatá sloučenina** +  $\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2$  (červenohnědý)  $\rightarrow \text{N}_2\text{O}_4$  (bezbarvý)

## 4. síra a fosfor – minimální množství (pouze u nafty)

# Výfukové zplodiny

- ▶ **Vliv konstrukce motoru na obsah škodlivin ve výfukových plynech**
  - **Zážehové motory:**
    - Produkují plynné škodliviny
    - Snižování emisí škodlivin možno více způsoby:
      - Zlepšení přípravy palivové směsi a zdokonalení zapalování
      - Možná recirkulace výfukových plynů
      - **Použití katalyzátoru** – katalytická redukce škodlivých zplodin na méně škodlivé
  - **Vznětové motory:**
    - Produkují pevné saze
    - Přímé vstřikování u takových motorů zapříčiňuje vyšší emise a hlučnost!
    - Snižování emisí škodlivin možno více způsoby:
      - Možná recirkulace výfukových plynů
      - **Využití záhytu pevných složek** - (filtr pevných částic) a jejich termické likvidace (pasivně nebo aktivně).

# Emisní norma EURO

- ▶ **Emisní norma EURO platná v zemích Evropské unie stanovuje limitní hodnoty výfukových exhalací.**
- ▶ Jde o **závaznou** emisní normu.
- ▶ Norma se **nevztahuje na oxid uhličitý**, který je často spojován s globálním oteplováním. Dále se **nevztahuje na sírné sloučeniny** pocházející z nafty.
- ▶ **Majitelů starších vozů se nové předpisy netýkají!** Pro staré vozy platí normy, které byly platné při uvedení modelu.
- ▶ **Historie emisních norem:**
  - První norma vznikla v Kalifornii v roce **1968**.
  - V Evropě začala platit první emisní norma až v roce **1971**.
  - První Euro norma se objevila v roce **1992**.

# Emisní norma EURO

Tab.1: Přehled emisní normy EURO v letech 1992 -2014 [x]

Rok/norma		CO (g/km)		NO <sub>x</sub> (g/km)		HC + NO <sub>x</sub> (g/km)		HC (g/km)	PČ (g/km)
1992	I	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18
1996	II	2,20	1,00	-	-	0,50	0,70*	-	0,08**
2000	III	2,30	0,64	0,15	0,50	-	0,56	0,20	0,05
2005	IV	1,00	0,50	0,08	0,25	-	0,30	0,10	0,025
2009	V	1,00	0,50	0,06	0,18	-	0,23	0,10	0,005
2014	VI	1,00	0,50	0,06	0,08	-	0,17	0,10	0,005

CO – oxid uhelnatý (jedovatý bezbarvý plyn)

NO<sub>x</sub> – oxidy dusíku (především NO a NO<sub>2</sub>, resp. Dimer N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)

HC – uhlovodíky (nízkomolekulární plyny,, především metan)

PČ – pevné částice (saze u vznětových motorů)

**ZELENEŽ JSOU UVEDENY  
BENZÍNOVÉ MOTORY**

\* 0,9 (přímý vstřik)

\*\* 0,1 (přímý vstřik)