

# 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

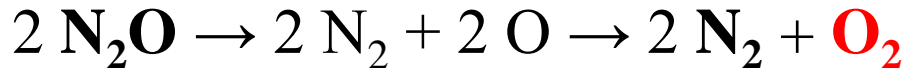
# Zážehový motor

- ▶ Jde o spalovací motor s **cizím zapalováním** (jiskra – elektrická energie)
- ▶ Palivová směs je připravována v karburátoru, nebo **vstřikovací soustavou** mimo spalovací prostory.
- ▶ Palivovou směsí je obvykle **palivo**, obvykle kapalina (benzín) nebo plyn (CNG, LPG), oba ve směsi se **vzduchem** (oxidovadlo)
- ▶ Prvním úspěšným zážehovým motorem byl **Ottův motor** z roku **1876**.

# System NOS

- ▶ **Princip systému NOS (Nitrous Oxide System)** – lidově nitro
- ▶ tj. vstřikování oxidu dusného ( $N_2O$ ) z tlakových zásobních nádob do motoru s výsledkem **krátkodobého enormního zvýšení výkonu**.
- ▶ oxid dusný zde figuruje jako **oxidovadlo**, které obsahuje významně více **kyslíku** (36%) než klasické všude dostupné oxidovadlo - **vzduch** (cca 21%) a umožní tak výrazně lepší hoření a následný výkon. Obsah inertního dusíku je rovněž důležitý pro chlazení motoru.

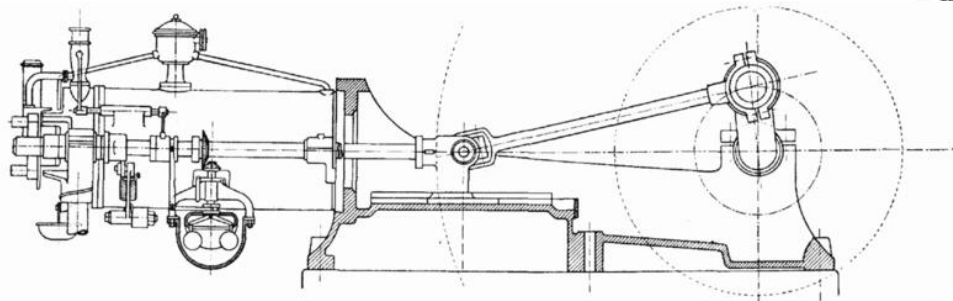
- ▶  $N_2O$  se v motoru nad  $600\text{ }^\circ\text{C}$  rozkládá:



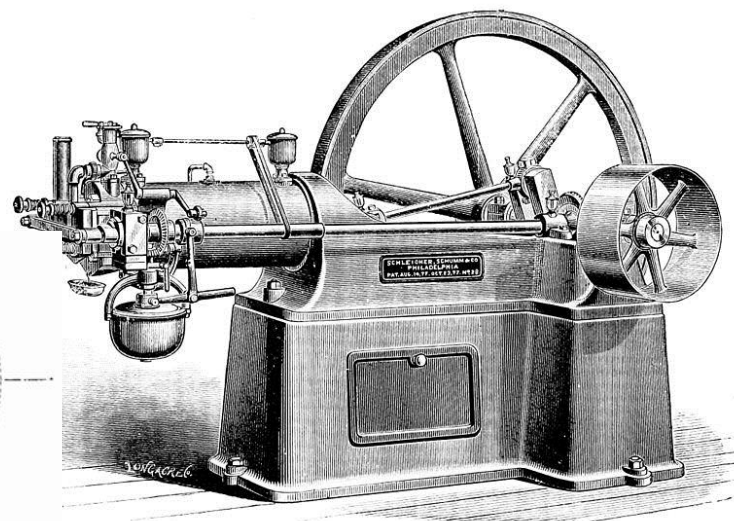
Obr. 1 : Tlaková nádoba na  $N_2O$  [x]

# Historie

- ▶ Předchůdce všech dnešních **zážehových motorů** zkonstruoval roku **1876** německý konstruktér a vynálezce **Nikolaus August Otto**.
- ▶ Takový typ motoru byl poté nazýván **Ottův motor**, dodnes se termín používá v němčině a angličtině pro čtyřdobé zážehové motory.
- ▶ Motor byl **čtyřdobý** (čtyřtakt).
- ▶ Původním palivem byl **plyn**.



Obr. 2: Schématické znázornění Ottova motoru [x]



Obr. 3 : Nákres Ottova motoru [x]

# Hlavní rozdělení

- ▶ Podle pracovního cyklu:
  - **Čtyřdobé** (jeden oběh na dvě otáčky kliky)
  - **Dvoudobé** (jeden oběh na jednu otáčku kliky)
- ▶ Podle vstřikování paliva
  - **Karburátor**
  - **Nepřímé vstřikování** (jednobodové, vícebodové)
  - **Přímé vstřikování**
- ▶ Podle počtu válců:
  - **Obvykle sudý počet válců** (u lichého nutnost použití vyvažování!)
- ▶ Podle objemu motoru:
  - **Závisí na typu poháněného prostředku** (udáváno v ccm=cm<sup>3</sup>)

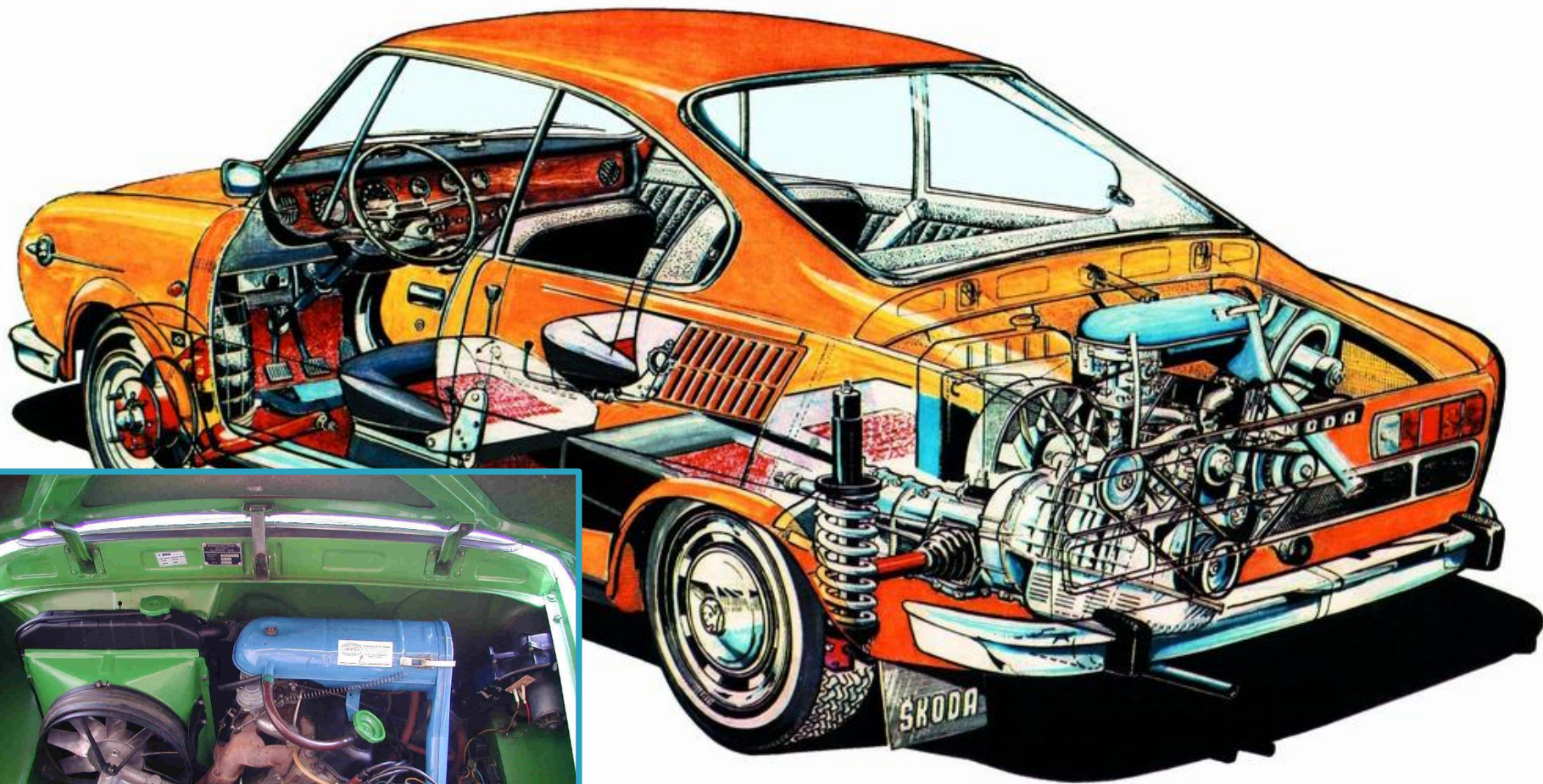
# Konstrukce

Zážehový motor se skládá z těchto základních částí:

1. **Skříň motoru:** hlava válců, válce, olejová jímka, víko a kliková skříň
2. **Klikový mechanismus:** kliková hřídel, píst ojnice
3. **Rozvodový mechanismus:** ventily, ventilové pružiny, ventilová vahadla, vačkový hřídel, rozvodová kola, rozvodový řetěz nebo řemen (viz rozvody)
4. **Zařízení pro přípravu směsi:** karburátor, nebo vstříkovací zařízení, sací potrubí
5. **Pomocná zařízení:** chlazení, mazání, výfuková soustava

## ŠKODA 110 R (1970 – 1980)

**Motor:** čtyřdobý, vodou chlazený, zážehový řadový čtyřválec (1 107 cm<sup>3</sup>) s karburátorem JIKOV, s ventilovým rozvodem OHV a s bateriovým zapalováním. Výkon 46,3 kW (63 koní) podle SAE, 39,7 kW (54 koní) podle ČSN.



Obr. 5: Historický nákres vozem Škoda 110R s motorem vzadu [x]



Obr. 4: Motor Škoda 110R [x]

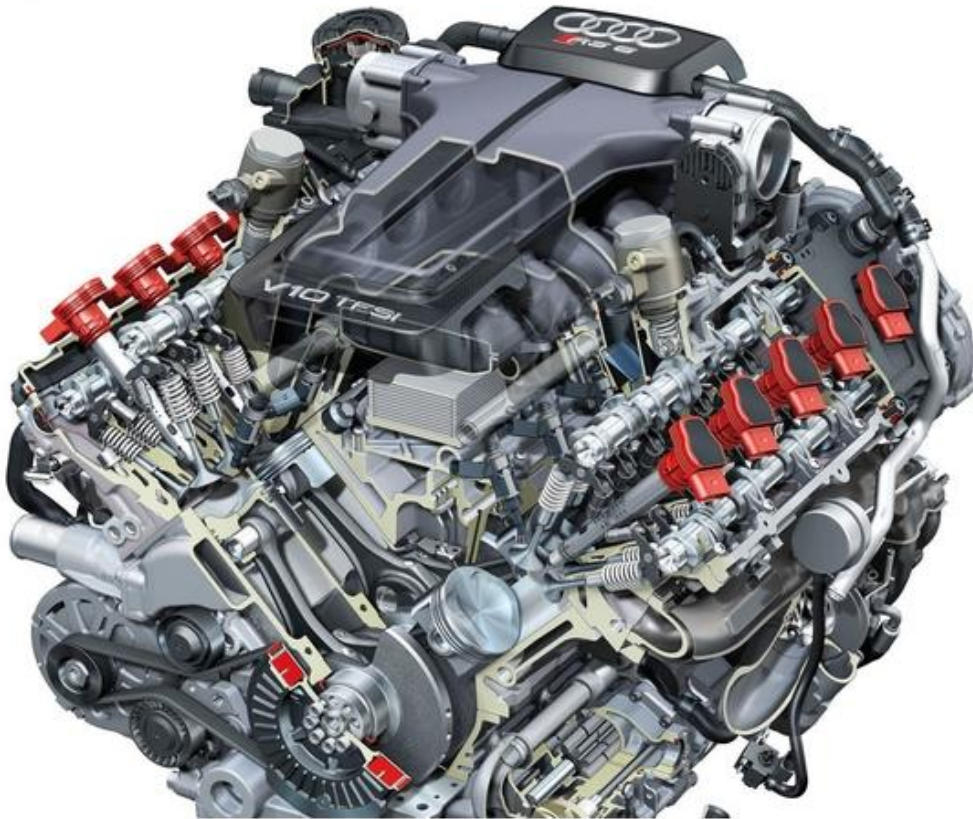
## AUDI RS6 Avant (2008 – 2010)

**Motor:** čtyřdobý, zážehový vidlicový desetiválec (4 991 cm<sup>3</sup>) s přímým vstřikováním a dvojitým přeplňováním turbodmychadly, s ventilovým rozvodem DOHC.

**VIDEO:** [Demonstrace síly motoru](#)

Výkon: 580 koní (426 kW)

Váha: 2 025 kg



4.991 cm<sup>3</sup>  
426 kW (580 PS/hp) @ 6.250 - 6.700 min<sup>-1</sup>  
650 Nm @ 1.500 - 6.250 min<sup>-1</sup>

Obr. 6: Motor Audi 5,0 V10 TFSI [x]



Obr. 7-8: Foto a náčrt modelu Audi RS6 Avant [x;x]

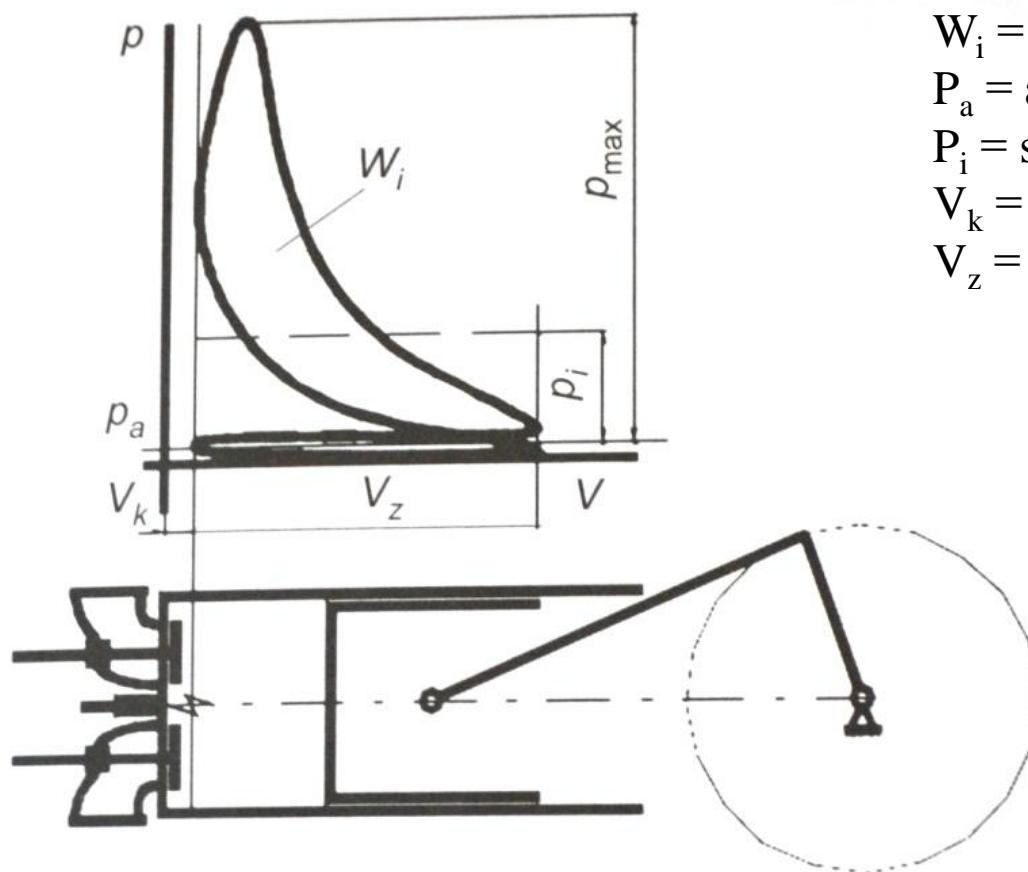




# Průběh pracovního cyklu čtyřdobého zážehového motoru

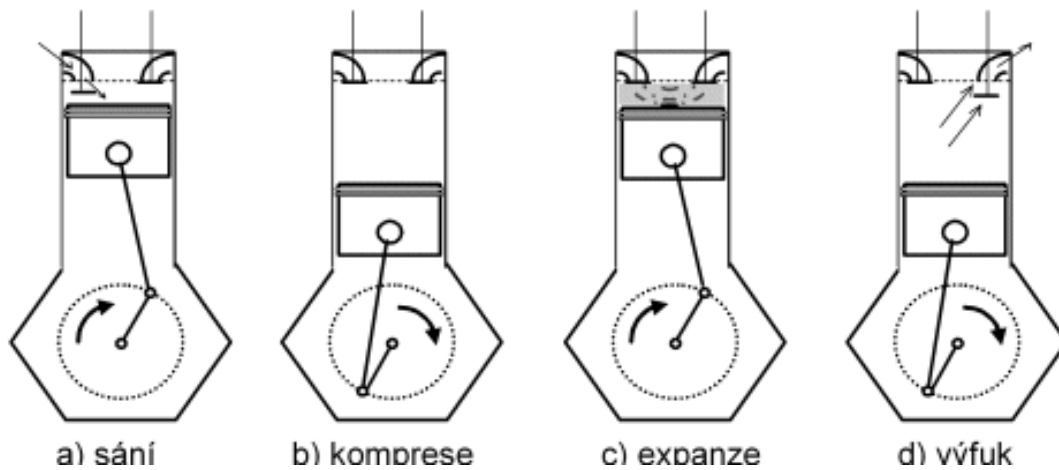
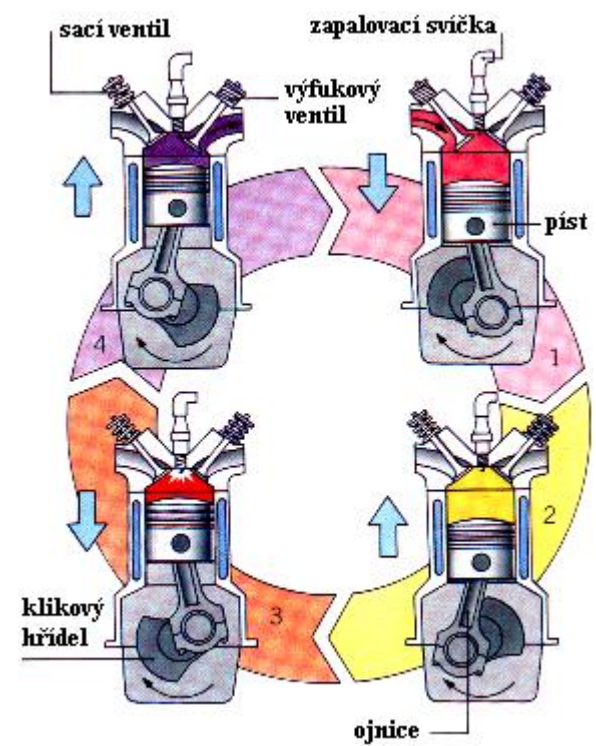
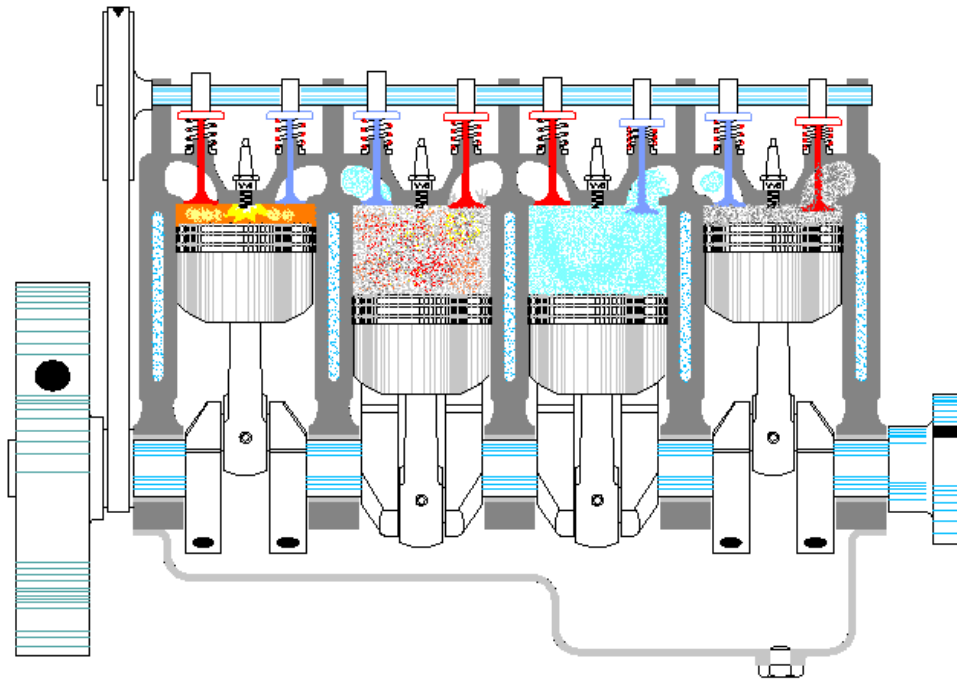
- ▶ **Sání** - Píst se pohybuje směrem do dolní úvrati, *přes sací ventil je nasávána pohonná směs.*
- ▶ **Komprese** - Píst se pohybuje směrem do horní úvrati. *Oba ventily jsou uzavřené.* Nasátá směs zmenšuje svůj objem, zvětšuje tlak a teplotu. Těsně před horní úvratí je směs zapálena elektrickou jiskrou.
- ▶ **Expanze** - *Oba ventily jsou uzavřené.* Směs paliva a vzduchu zapálená elektrickou jiskrou shoří. V pracovním prostoru válce se prudce zvýší teplota i tlak vzniklých plynů. Ty expandují a během pohybu pístu směrem dolů konají práci.
- ▶ **Výfuk** - Píst se pohybuje směrem do horní úvrati. *Výfukový ventil je otevřený.* Spaliny z pracovního prostoru válce jsou vytlačovány do výfukového potrubí.

# Průběh pracovního cyklu čtyřdobého zážehového motoru



$W_i$  = indikovaná práce oběhu  
 $P_a$  = atmosférický tlak  
 $P_i$  = střední indikovaný tlak oběhu  
 $V_k$  = kompresní objem  
 $V_z$  = zdvihový objem

Obr. 9: Tlakový diagram zážehového čtyřdobého motoru [1]



Obr. 10-13: Průběh cyklu u čtyřdobého motoru [x,x,x,x]

# Průběh pracovního cyklu dvoudobého zážehového motoru

- ▶ **Sání a komprese** – Píst se pohybuje od dolní úvratě směrem k horní úvratí. V klikové skříní vzniká *podtlak* a tím se nasaje do klikové skříně *zápalná směs*. Během pohybu pístu nahoru se *uzavírá výfukový a přepouštěcí kanál*. Směs v prostoru nad pístem (byla připravena dříve během druhé fáze) se stlačuje, nastává komprese a pod pístem probíhá důsledkem podtlaku *sání*.
- ▶ **Expanze a výfuk** – Těsně před horní úvratí *přeskočí jiskra*, nastává *zážeh a expanze*. Expanzí je píst tlačěn z horní úvratě do úvratě dolní. Spodní hrana pístu *uzavírá sací kanál*. Směs v klikové skříní se pohybem pístu stlačuje. Při dalším pohybu pístu otevírá pravá horní hrana pístu *výfukový kanál* a vzápětí na to otevírá horní hrana pístu i *přepouštěcí kanál* a stlačená směs začne vytlačovat zbytky zplodin a dostává se do prostoru nad píst.

# Dvoudobý zážehový motor

## ▶ Mazání

- Mazání je obvykle realizováno **olejem rozpuštěným v palivu** (výrazné znečištění ovzduší!)
- **Tlakové oběhové mazání** jakou u čtyřdobých motorů zde **nelze použít**, protože kliková skříň tvoří plnicí dmychadlo.

## ▶ Účinnost

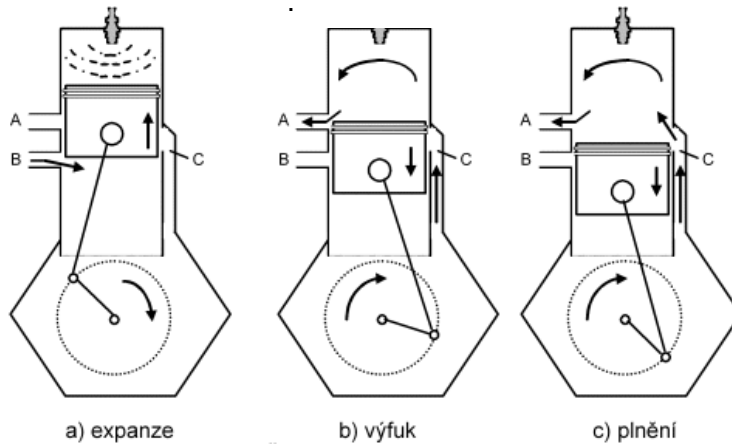
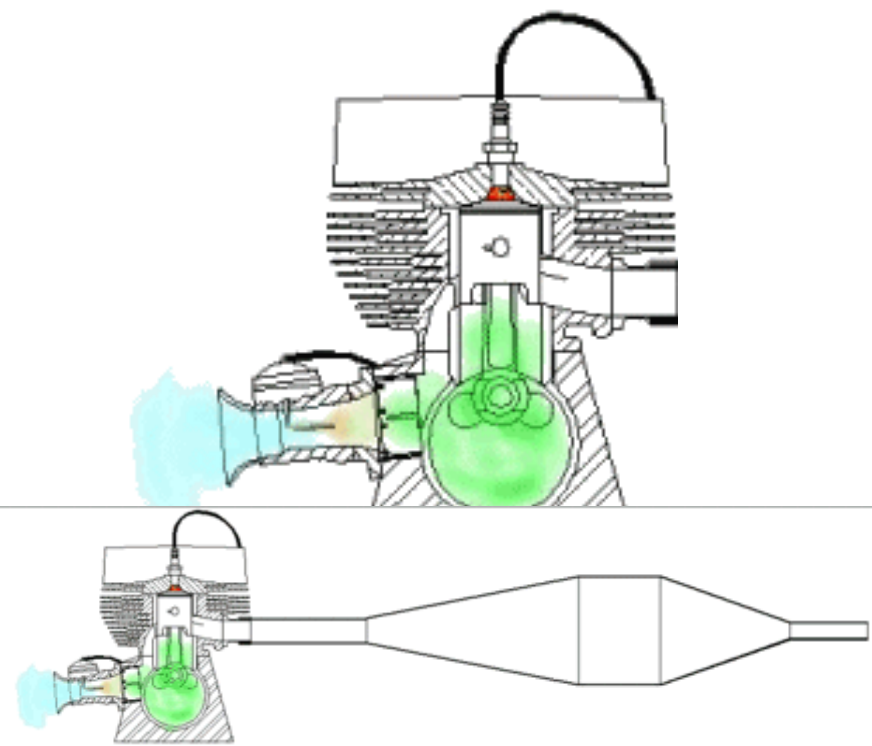
- Dvoudobé motory jsou všeobecně **méně účinné než čtyřdobé varianty**, a to částečně z důvodu míchání zápalné směsi a výfukových plynů.
- Při **stejných otáčkách však podávají vyšší výkon**
- Jsou také při **stejném výkonu menší a lehčí**.

## ▶ Použití

- U **jednostopých motorových vozidel**, vodních a sněžných skútrů, atd.
- **Motorových pil, sekaček a dalšího nářadí**



Obr. 14: Wartburg 353 (1965) – populární vozidlo s dvoudobým 3 válcem (992 ccm) [x]

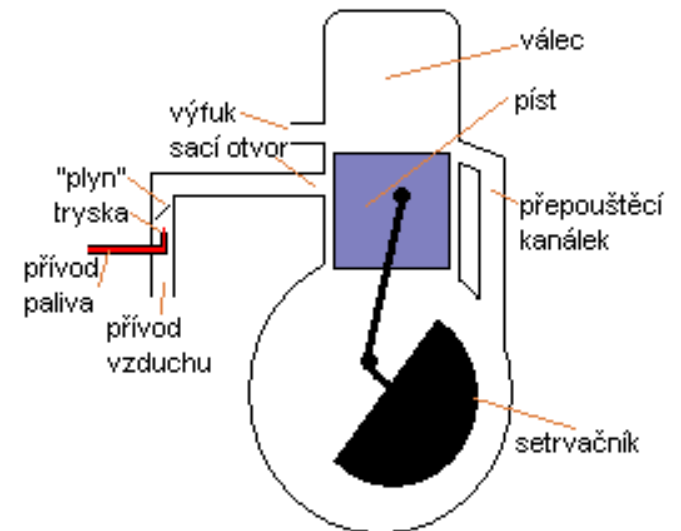


A = výfukový kanál  
 B = sací kanál  
 C = přepouštěcí kanál

a) expanze

b) výfuk

c) plnění

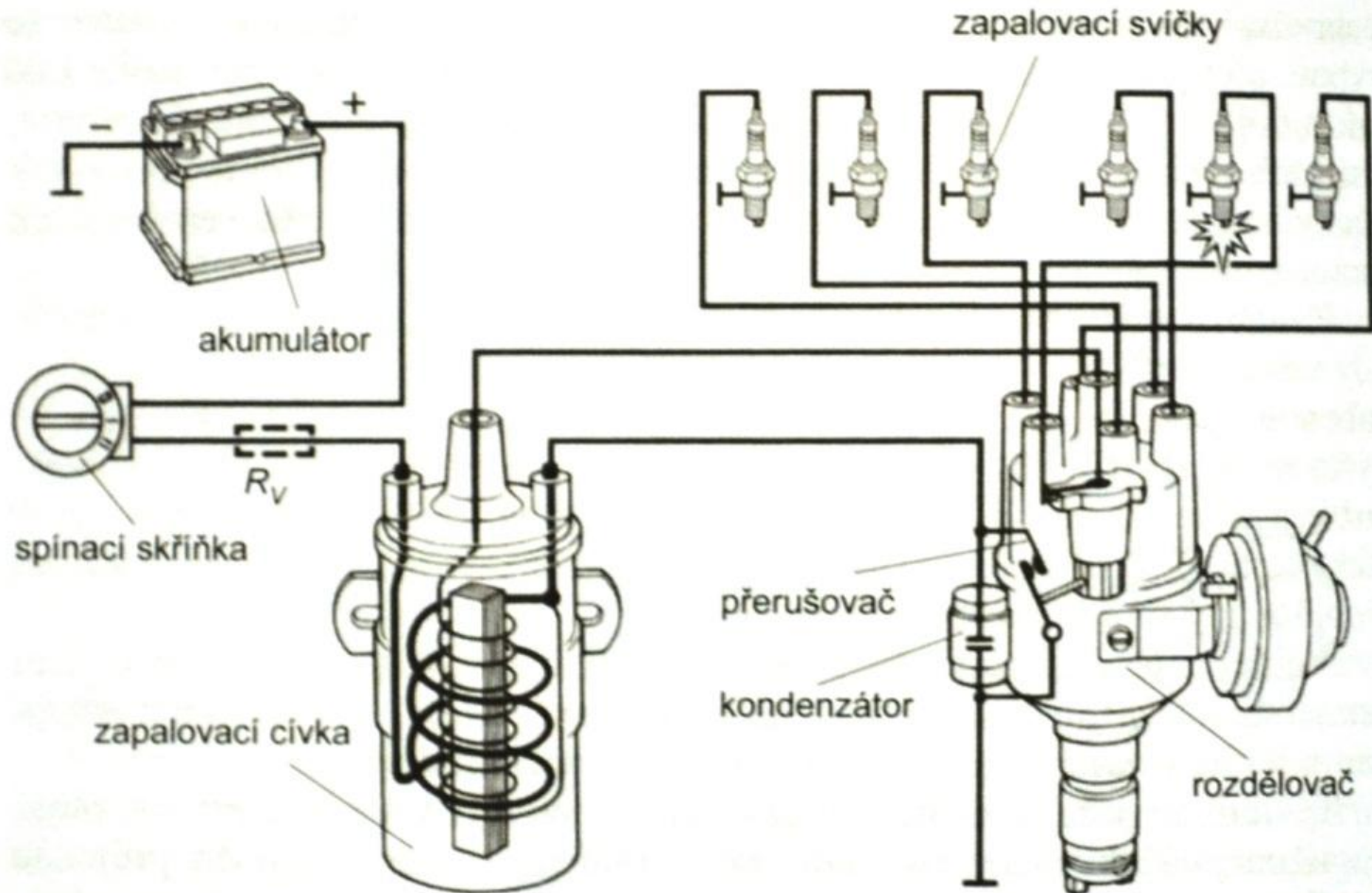


Obr. 15-17: Průběh cyklu u čtyřdobého motoru [x, x, x]

# Zapalování

- ▶ Připravenou směs je třeba vhodně a ve vhodnou dobu **zažehnout**.
- ▶ Okamžik zážehu je závislý zejména na **otáčkách a zatížení motoru**.
  - Čím vyšší jsou otáčky, tím dříve dojde k zážehu (doba hoření je při stejném poměru směsi a plnění konstantní)
- ▶ Systém zapalování plní tyto úkoly:
  - Vyvolání zážehu
  - Stanovení předstihu otáček a zatížení motoru
  - Transformace na vysoké napětí
  - Rozdělení a přenos vysokého napětí ke svíčke
  - Výkonový díl
- ▶ Systémy zapalování se dělí na:
  - **Cívkové – elektromechanické**
  - Tranzistorové – elektronicko-mechanické
  - Elektronické – elektronicko-mechanické a **plně elektrické**

# Zapalování



Obr. 18: Schéma cívkového – elektromechanického zapalování [1]



# Palivová soustava

- ▶ Palivová soustava se skládá z následujících částí:
  - Palivová nádrž
  - Palivové čerpadlo
  - Čistič paliva (filtr)
  - Regulátor tlaku
  - Vstřikovací jednotka, resp. karburátor



# Karburátor

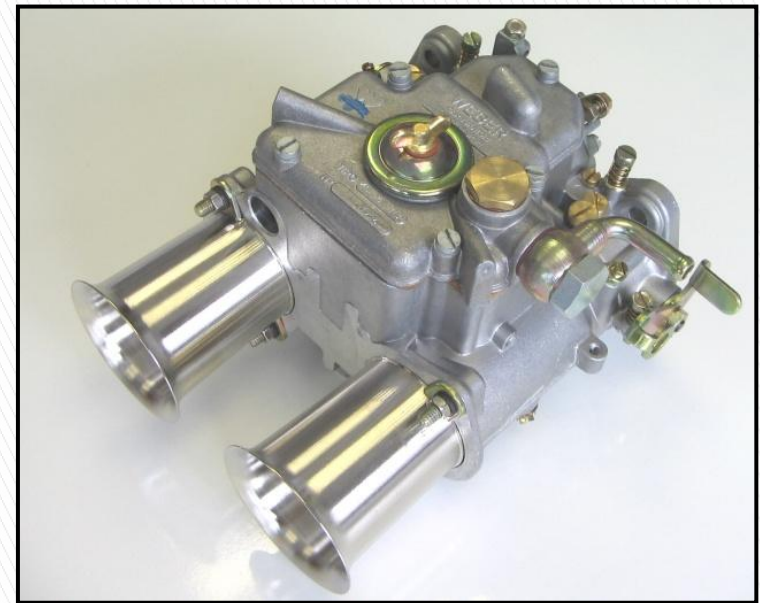
- ▶ Zařízení na **přípravu palivové směsi nevyžadující řídicí jednotku**.
- ▶ Hlavním cílem je dávkování a **jemné rozprašování do proudu nasávaného vzduchu**, dle zatížení motoru a jeho otáček.
- ▶ V dnešní době se již v automobilech nepoužívá z důvodů **vysoké nepřesnosti** a tím pádem vyšších emisí škodlivin.

## Princip činnosti:

- ▶ Záměrně zúženým difuzorem (Venturiho trubice), který je umístěn ve směru jízdy je **pasivně nasáván vzduch**.
- ▶ Do proudícího vzduchu je **ve směšovací komoře z trysky přisáváno palivo** a v proudícím vzduchu tříštěno na malé kapičky (vzniká homogenní palivová směs).
- ▶ Množství přiváděného vzduchu je obvykle regulováno pomocí **škrtící klapky**, případně pomocí šoupátka.



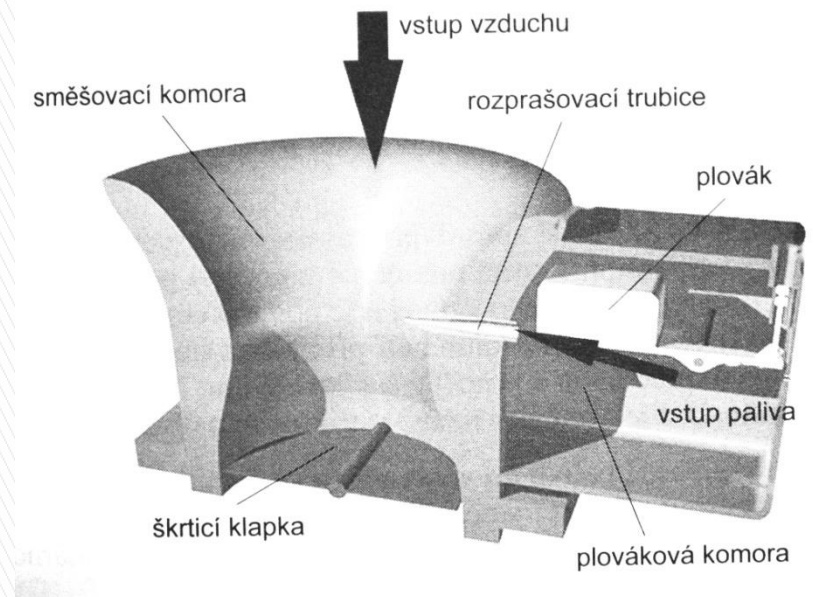
Obr. 20: Karburátory ve upraveném voze ŠKODA 130 RS) [x]



Obr. 21: Karburátor Weber [x]



Obr. 22: ŠKODA 130 RS) [x]



Obr. 23: Schéma karburátoru [1]

# Vstřikování paliva

- ▶ **Modernější a přesnější metoda přípravy směsi než karburátor.**
- ▶ Je přesně **elektronicky řízeno řídicí jednotkou**, díky tomu umožňuje:
  - Jemně vstříkovat rozprášené palivo do nasávaného vzduchu
  - Pružně upravovat směšovací poměr směsi vzduchu a paliva v závislosti na provozních podmínkách
  - Udržovat nízkou hladinu škodlivin ve výfukovém kouři
- ▶ Podle typu vstřikování:
  - Nepřímé
  - Přímé
- ▶ Podle časového průběhu:
  - Sekvenční
  - Přerušované
- ▶ Podle řízení tvorby směsi:
  - Mechanicko-hydraulické
  - Mechanicko-hydraulické-elektronické
  - Elektronické

# Konstrukce vstřikovacích soustav

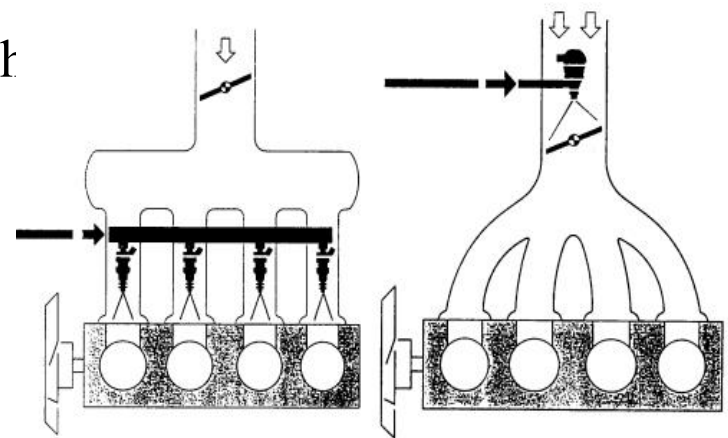
- ▶ Sací soustava
  - Čistič vzduchu (filtr)
  - Sací potrubí společné a k jednotlivým válcům
  - Komora se škrtkou
- ▶ Palivová soustava
  - Palivová nádrž
  - Palivové čerpadlo
  - Čistič paliva (filtr)
  - Regulátor tlaku
  - Vstřikovací ventily
- ▶ Řídící a regulační soustava

# Nepřímé vstřikování

- ▶ Vstřikování do sacího potrubí nebo komory škrtkové klapky.
- ▶ Dělení podle typu vstřikování:
  - **SPI (Single Point Injection)** - jednobodové vstřikování do komory škrtkové klapky (společné pro všechny válce). Nevýhodou je nerovnoměrná distribuce paliva do všech válců. Výhodou lehká úspora paliva.

◦ **MPI (Multiple Point Injection)**  
vícebodové vstřikování pomocí palivových ventilů do sacího potrubí pro každý válec zvlášť. Základní typy dle obsluhy válců:

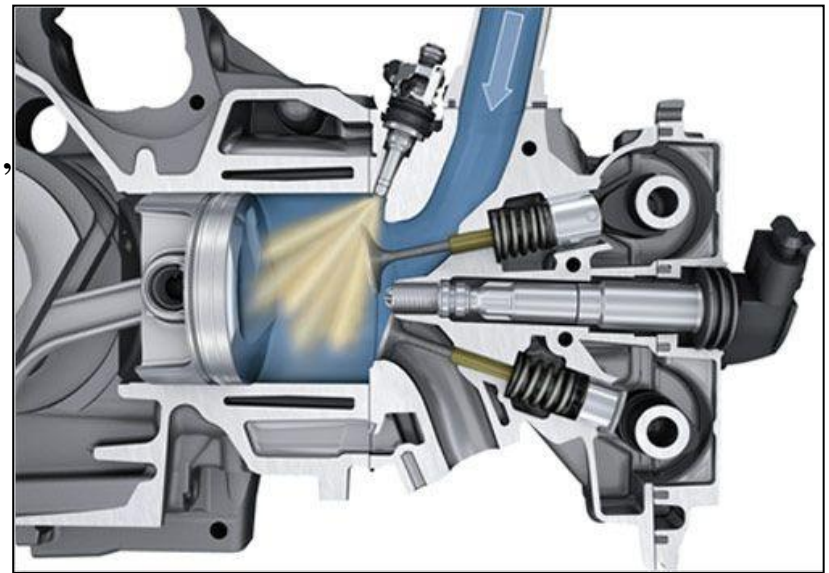
- **Simultánní** – všechny válce zaráz
- **Skupinové** – po skupinách válců
- **Sekvenční** – střídání válců



Obr. 24: Varianty nepřímého vstřikování (MPI a SPI) [1]

# Přímé vstřikování

- ▶ Technologie kdy se **vstřikuje palivo pod vysokým tlakem** (přes 100 bar) **přímo do spalovacích prostorů** (je rozprášeno a vypařeno před zážehem).
- ▶ Výhodou jsou **nulové kondenzační ztráty** na sacím potrubí.
- ▶ Nevýhodou obvykle lehce vyšší emisní limity (norma EURO zohledňuje).
- ▶ **Vysokého tlaku je dosaženo pomocí vhodného mechanického, nízkozdvihového, jednopístkového čerpadla** poháněného od vačkové hřídele.
- ▶ **Čerpadlo je mazáno jen palivem** a zásobováno dalším palivovým čerpadlem přímo z nádrže.



Obr. 25: Znáznornění přímého vstřiku (Systém DFI - Porsche 911) [1]



# Mazání spalovacích motorů

- ▶ Mazací soustava musí zajišťovat **zásobu a rozvod dostatečného množství maziva** pro nejdůležitější místa motoru, aby nedocházelo k **nežádoucímu tření až zadření** pohyblivých částí.
- ▶ **Hlavní úkoly mazání:**
  - **Mazání** – snižování tření na styku pohyblivých částí, proti opotřebení a ztrátám energie
  - **Chlazení** – chlazení dílů, které nemohou přímo odvádět teplo kapalině nebo vzduchu
  - **Čištění** – odvod usazenin vzniklých při spalování (jedna z hlavních příčin nutnosti měnit olej!)
  - **Ochran proti korozi** – hydrofobně chrání kovové díly před poškozením vodou
  - **Snižování hlučnosti** – olejový film tlumí vibrace a hluk
  - **Těsnění** – vlivem vyšší viskozity těsní důležité místa motoru (např. mezi pístem a válcem)

# Systemy mazání

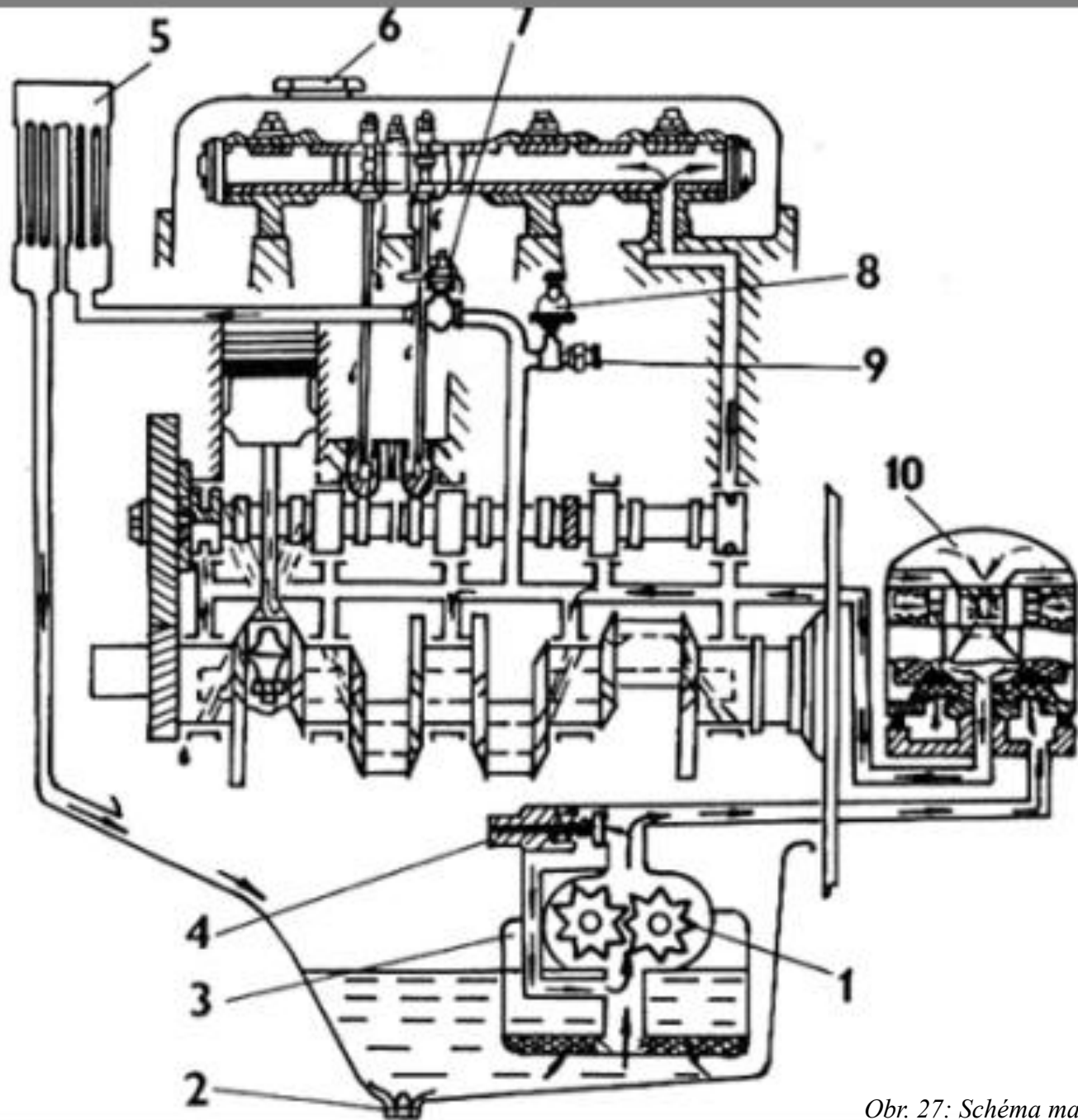
- ▶ **Tlakově oběžné mazání**
  - Zpravidla u **čtyřdobých motorů**.
  - Jde o nucený pohyb maziva, při němž čerpadlo nasává olej z olejové vany (zásobníku) přes filtr a tlačí ho do mazacího systému
- ▶ **Mazání se suchou skříní**
  - U terénních vozidel - při potřebě zachovat vysokou mazací účinnost i velkém při náklonu vozidla.
  - Olej je nasáván čerpadlem a je přepravován do **samostatné nádrže**, odkud je jej čerpadlo přepravuje přes filtr k mazaným místům.
- ▶ **Mazání mastnou směsí**
  - Používáno u **dvoudobých motorů**
  - Směs benzínu a oleje (cca 20:1) slouží jako mazivo i palivo zároveň.
- ▶ **Mazání čerstvým olejem**
  - Rovněž možné u **dvoudobých motorů**, kdy je v závislosti na provozním režimu motoru je olej z nádržky s čerstvým olejem odsáváno dávkovacím čerpadlem dané množství oleje k mazaným místům

# Mazivo

- ▶ Obvykle jde o **speciální olej**
  - Složení je závislé na konkrétním produktu ale obecně jde o **směs uhlovodíků s různými aditivy**, ať už polárními nebo nepolárními.
    - **Aditiva:**
      - Polymerní modifikátory viskozity
      - Antioxidanty
      - Detergenty
      - Disperzanty
      - Antikoroziční přísady
- ▶ Nový olej je **hnědý a čirý**, v motoru tmavne.
- ▶ Dělí se na:
  - **Minerální** – standardní vyrobené frakční destilací ropy
  - **Polosyntetické** – ředěné syntetické olej minerálními oleji
  - **Syntetické oleje** – ultra čisté, vyrobené přímou syntézou, bez dalších nečistot ropy



Obr. 26: Motorový olej Castrol EDGE [x]



- 1 - olejové čerpadlo
- 2 - vypouštěcí šroub
- 3 - sací koš
- 4 - redukční ventil
- 5 - chladič oleje
- 6 - uzávěr plnicího hrdla
- 7 - přepínací kohout chladiče
- 8 - snímač tlaku oleje
- 9 - snímač kritického tlaku oleje
- 10 - čistič oleje

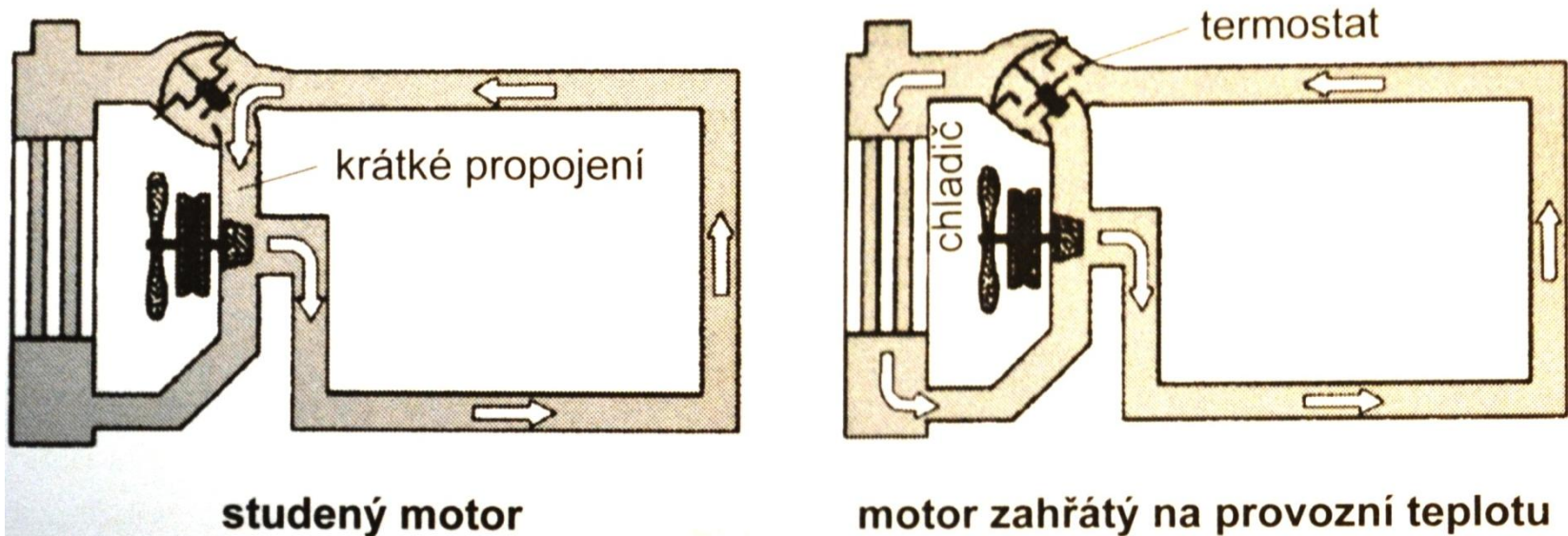
Obr. 27: Schéma mazací soustavy UAZ 414.10 [x]

# Chlazení spalovacích motorů

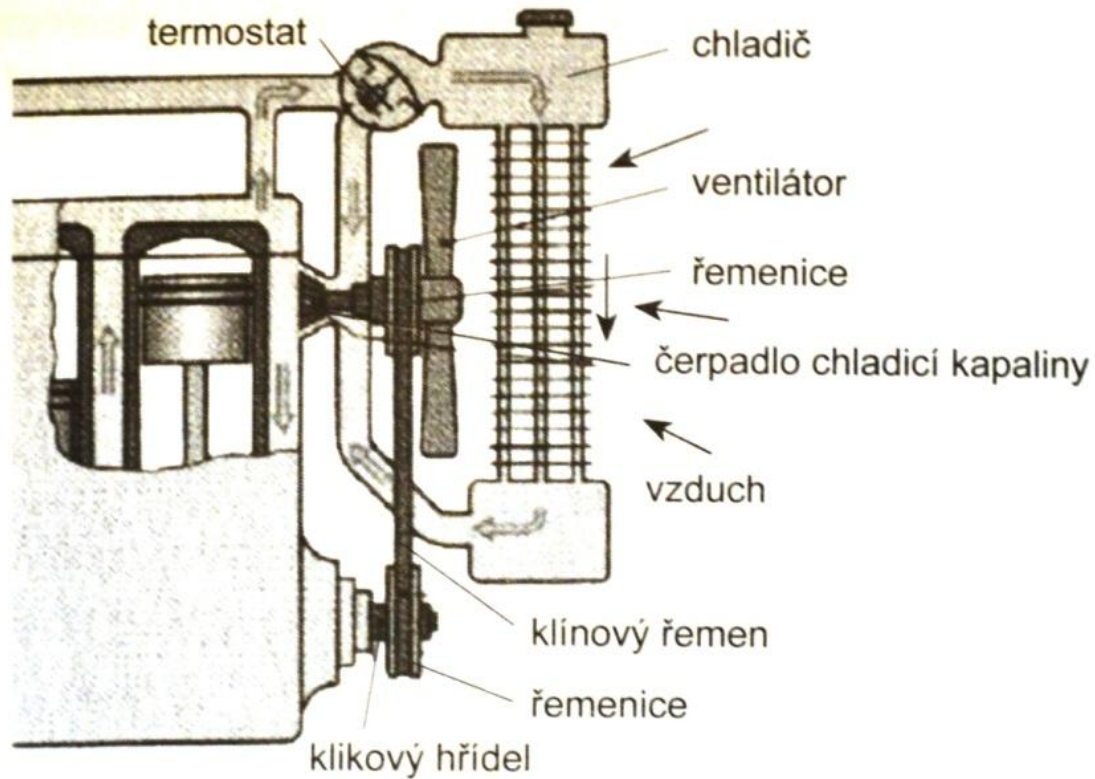
- ▶ **Pro spalovací motory**, kde dochází k hoření a následné produkci velkého množství tepla je **nezbytné**.
- ▶ Chlazením se odvádí až **30%** vzniklého tepla.
- ▶ **Chladí se:**
  - Motor
  - Motorový olej
  - Převodový olej
  - Plnicí vzduch u přeplňovaných motorů (intercooler)
- ▶ **Vzduchové chlazení:**
  - **Přirozené** – využití chladících žebek, dnes již pouze u malých motorů (např. mopedy a motorové ruční nářadí).
  - **Nucené** – s ventilátorem poháněným od klikové hřídele, nevýhodou je vyšší hluk, hlavní výhodou je vyšší účinnost

# Kapalinové chlazení

- ▶ Hlavním úkolem je odvádět teplo od motoru do okolí pomocí **chladicí kapaliny**.
- ▶ **Nejúčinnější je nucené kapalinové chlazení s uzavřeným okruhem:**
  - Blok válců a hlavy válců mají **dvojitě stěny** nebo jsou vybaveny **chladicími kanálky**, kterými prochází chladicí kapalina (hnaná obvykle **oběhovým čerpadlem**), která přijme teplo a přechází do výměníku, kde se ochladí a vrací se zpět do motoru.
- ▶ Čerpadlo je rovněž poháněno od **klikového hřídele** jako ventilátor výměníku.

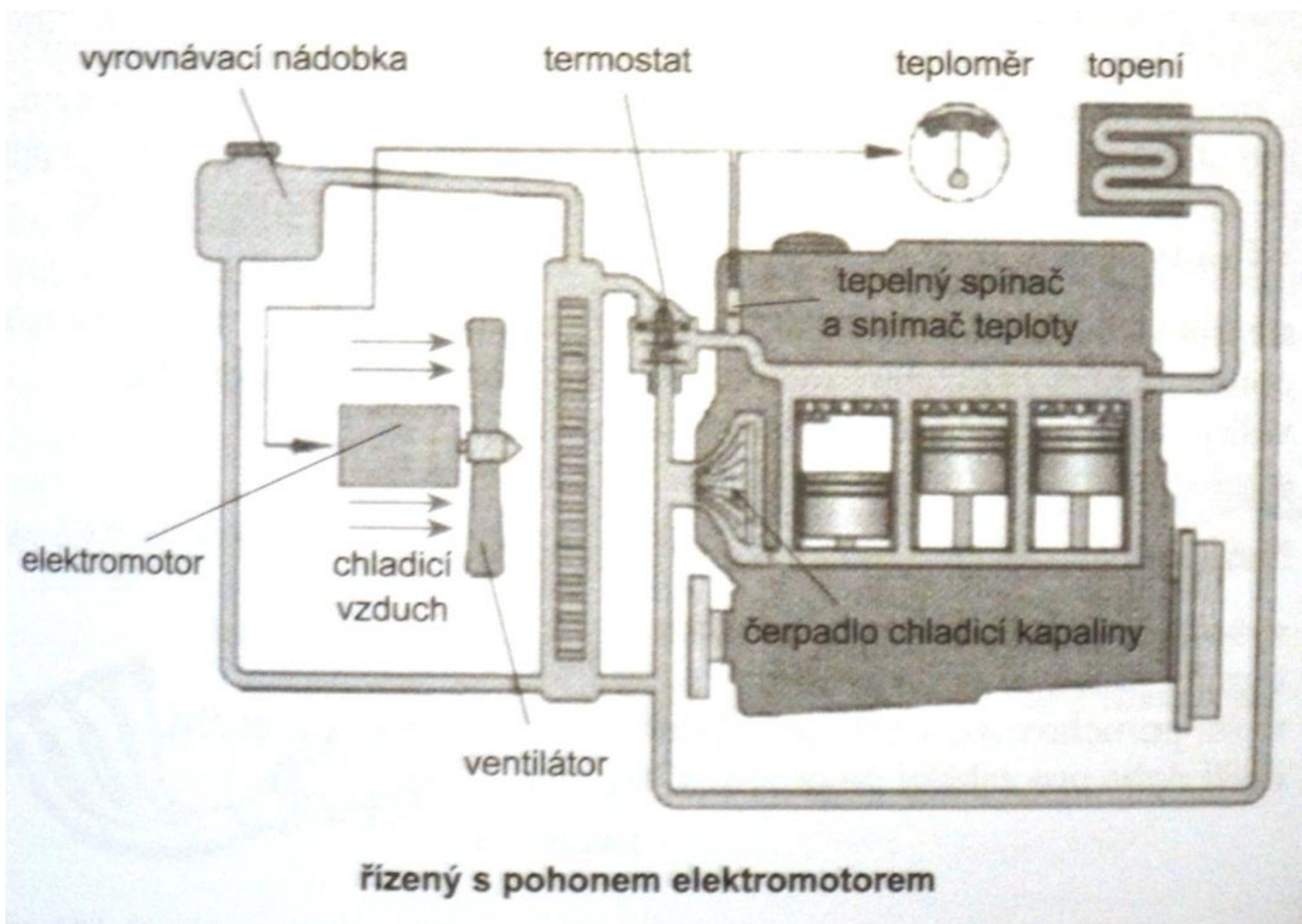


# Schéma kapalinového chlazení



s trvalým pohonem

# Schéma kapalinového chlazení



Obr. 31: Pohon ventilátorů chlazení řízený elektromotorem [1]