

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Pedagogická fakulta – Katedra fyziky

**Elektronický řídicí systém zážehového spalovacího motoru  
a jeho diagnostika**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. PaedDr. Petr Adámek, Ph.D.

Autor: Petr Červenka, DiS.

## Anotace

Tato práce shrnuje informace, ze kterých lze získat základní orientaci v problematice řídicích systémů zážehových spalovacích motorů osobních automobilů a jejich diagnostiky.

Úvodní část textu tvoří vysvětlení principů činnosti jednotlivých částí řídicích systémů spalovacích zážehových motorů. Následující část je věnována diagnostice, jak sériové, tak i paralelní, doplněné příklady praktických měření. Závěrečná část je věnována měřicí technice.

## Abstract

This paper summarizes information to be used to gain background knowledge related to the control systems of the spark-ignition combustion engines of cars and their diagnostics.

The essentials part of this paper includes the explanation of the principles of each part of the systems. Next part includes explanation of the serial and parallel diagnostics including examples of diagnostics measurements. Last part this paper is engaged in the measuring technology.

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně, pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

5. listopad 2008

Petr Červenka, DiS.

# Obsah

<b>Úvod a cíle práce</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Základy funkce zážehového motoru</b> .....	<b>8</b>
1.1 Způsob činnosti .....	8
1.2 Rozdělení směsi ve spalovacím prostoru .....	10
1.3 Točivý moment a výkon .....	11
1.4 Účinnost motoru .....	12
<b>2. Řízení zážehového motoru</b> .....	<b>15</b>
2.1 Požadavky .....	15
2.2 Úkoly řízení motoru .....	15
2.3 Řízení plnění válců .....	16
2.4 Řízení plnění válců čerstvou směsí .....	17
2.5 Tvorba směsi .....	18
2.6 Měrná spotřeba paliva, výkon a emise spalin .....	20
2.7 Provozní režimy motoru .....	21
<b>3. Zapalování</b> .....	<b>23</b>
<b>4. Systémy řízení plnění</b> .....	<b>25</b>
4.1 Řízení plnění válců vzduchem .....	25
4.2 Recirkulace spalin .....	29
4.3 Dynamické přeplňování .....	31
4.4 Mechanické přeplňování .....	34
4.5 Přeplňování s využitím energie výfukových plynů .....	34
4.6 Chlazení přeplňovaného vzduchu .....	38
<b>5. Vstřikovací systémy</b> .....	<b>39</b>
5.1 Vnější tvorba směsi .....	39
5.2 Vnitřní tvorba směsi .....	40
<b>6. Doprava paliva</b> .....	<b>42</b>
6.1 Přehled .....	42
6.2 Doprava paliva při vstřikování do sacího potrubí .....	43
6.3 Nízkotlaký okruh u přímého vstřikování benzínu .....	44
6.4 Systém regenerace odpařeného paliva .....	45
6.5 Elektrické palivové čerpadlo .....	46
6.6 Čistič paliva .....	48
6.7 Rozdělovač paliva .....	49
6.8 Regulátor tlaku paliva .....	50
6.9 Tlumič tlakových vln .....	51

6.10	Palivová nádrž .....	51
6.11	Palivové vedení .....	51
<b>7.</b>	<b>Vstřikování do sacího potrubí .....</b>	<b>53</b>
7.1	Způsob činnosti .....	54
7.2	Tvorba směsi .....	54
7.3	Elektromagnetické vstřikovací ventily .....	54
7.4	Druhy vstřikování .....	56
7.5	Přímé vstřikování benzínu .....	57
7.6	Tlakový zásobník .....	59
7.7	Vysokotlaké čerpadlo .....	59
7.8	Ventil pro řízení tlaku .....	60
7.9	Snímač tlaku v tlakovém zásobníku .....	61
7.10	Vysokotlaký vstřikovací ventil .....	62
7.11	Proces spalování .....	64
7.12	Tvorba směsi .....	65
<b>8.</b>	<b>Zapalovací soustava .....</b>	<b>68</b>
8.1	Indukční zapalovací soustava .....	69
<b>9.</b>	<b>Katalytické čištění spalin .....</b>	<b>94</b>
<b>10.</b>	<b>Snímače .....</b>	<b>103</b>
10.1	Základní pojmy .....	103
10.2	Základní typy snímačů .....	106
<b>11.</b>	<b>Zpracování signálů snímačů .....</b>	<b>140</b>
11.1	Řídicí jednotka .....	141
<b>12.</b>	<b>EOBD - evropská „on board“ diagnostika .....</b>	<b>144</b>
12.1	Komunikační protokoly .....	150
12.2	Controller Area Network – CAN(ISO 11898, ISO 11519) .....	151
<b>13.</b>	<b>Diagnostika řídicího systému motoru .....</b>	<b>159</b>
<b>14.</b>	<b>Sériová diagnostika .....</b>	<b>162</b>
14.1	VAG-COM <sup>®</sup> .....	163
14.2	Logování .....	174
<b>15.</b>	<b>Paralelní diagnostika .....</b>	<b>177</b>
15.1	Diagnostická měření .....	178
15.2	Postup diagnostikování závady .....	181
<b>16.</b>	<b>Osciloskopická analýza základních signálů .....</b>	<b>185</b>
16.1	Diagnostická měření 1 .....	219
16.2	Diagnostická měření 2 .....	221

16.3	Diagnostická měření 3 .....	222
16.4	Diagnostická měření 4 .....	223
<b>17.</b>	<b>Diagnostická přístrojová technika .....</b>	<b>225</b>
17.1	Autoskop <sup>®</sup> II .....	225
17.2	ATAL <sup>®</sup> Multi-Di@g Handy .....	229
17.3	ATAL <sup>®</sup> Emission Analyser AT 502 .....	231
17.4	DevCom <sup>®</sup> TS 02 diagnostik .....	233
<b>18.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>235</b>

## Úvod a cíle práce

Pístový spalovací motor je nejdůležitější částí automobilu. Slouží nejen k pohonu vozidla, ale rozhodující mírou ovlivňuje i vlastnosti celého vozidla. V automobilech jsou spalovací motory používány více jak sto let a zatím se za ně nenašla plnohodnotná náhrada.

Se stále stoupajícím rozvojem automobilismu se zvyšuje i škodlivý vliv jejich výfukových plynů na životní prostředí a zdraví lidí. Proto byly uzákoněny přípustné limity těchto škodlivin a předpisy se stále zpřísňují. Cesty k jejich splnění se stávají čím dál složitější, technicky náročnější a dražší. Cest je mnoho a důvody patentované ochrany vedou k tomu, že téměř každý výrobce motorů a jejich příslušenství volí jinou, pokud možno svoji původní koncepci. [1]

Technika automobilových spalovacích motorů je proto stále náročnější na znalosti z mnoha vědních oborů. Současně se zaváděním moderních řídicích systémů zážehových spalovacích motorů jsou kladeny stále vyšší nároky na znalosti i technické vybavení měřicí technikou pro diagnostiku a opravy těchto systémů.

Cílem této práce je seznámení s řídicími systémy zážehových spalovacích motorů, jejich jednotlivými částmi a přiblížit možnosti efektivní diagnostiky těchto systémů.

## Použitá literatura

- [1] FERENC, B., Spalovací motory – karburátory a vstřikování paliva, Brno: Computer Press, a.s., 2004.

## 1. Základy funkce zážehového motoru

Zážehový motor je spalovací motor s vnějším zapalováním, který spaluje směs paliva se vzduchem a tak převádí chemickou energii obsaženou v palivu na pohybovou energii.

Po dlouhou dobu bylo úkolem karburátoru připravovat směs paliva se vzduchem. Karburátor vytváří hořlavou směs v sacím potrubí, kterým se nasává vzduch potřebný ke spalování. Zákonné předpisy, vyžadující dodržování mezních hodnot pro emise škodlivých látek, dopomohly k prosazení vstřikování benzínu, které umožňuje přesnější odměřování paliva. Při vstřikování paliva do sacího potrubí vzniká směs paliva se vzduchem, podobně jako u karburátorů, v sacím potrubí. Další výhody, týkající se především spotřeby paliva a zvýšení výkonnosti, přineslo vyvinutí přímého vstřikování benzínu. U této techniky se vstřikuje palivo ve správném okamžiku přímo do spalovacího prostoru.

### 1.1 Způsob činnosti

Píst (Obrázek 1, Poz. 8) poháněný spalováním směsi paliva se vzduchem provádí ve válci (Poz. 9) periodický pohyb nahoru a dolů. Tento princip činnosti dal tomuto motoru název „motor s vratným pístem“. Ojnice (Poz. 10) převádí tento vratný pohyb na otáčivý pohyb klikového hřídele (Poz. 11). Setrvačná hmota na klikovém hřídeli tento pohyb udržuje. Otáčky klikového hřídele se nazývají také otáčky motoru. [1]

#### Princip čtyřdobého motoru

Většina spalovacích motorů používaných v motorových vozidlech pracuje na principu čtyřdobého motoru. U čtyřdobého motoru řídí ventily (Poz. 5 a 6) výměnu obsahu válce. Otevírají a zavírají sací a výfukové kanály válce a řídí tak přívod čerstvé směsi a odvádění spalin.

##### 1.doba: Sání

Píst se pohybuje z horní úvratí (HÚ) dolů a zvětšuje objem spalovacího prostoru (Poz. 7) ve válci. Tím proudí čerstvý vzduch (u přímého vstřikování benzínu) příp. směs paliva se vzduchem (u vstřikování do sacího potrubí) otevřeným sacím ventilem (Poz. 5) do spalovacího prostoru. V dolní úvratí (DÚ) dosáhne spalovací prostor své maximální velikosti ( $V_h + V_c$ ).

##### 2.doba: Komprese a zapálení

Ventily válce jsou nyní uzavřeny. Píst, který jde nahoru, zmenšuje objem spalovacího prostoru a stlačuje směs. U motorů se vstřikováním do sacího potrubí se směs paliva se vzduchem nachází ve spalovacím prostoru již na konci doby sání. U přímého vstřikování benzínu je palivo (v závislosti na druhu provozu) vstříknuto teprve na konci doby komprese. V horní úvratí dosáhne objem spalovacího prostoru své minimální velikosti (kompresní objem  $V_c$ ).

##### 3.doba: Expanze

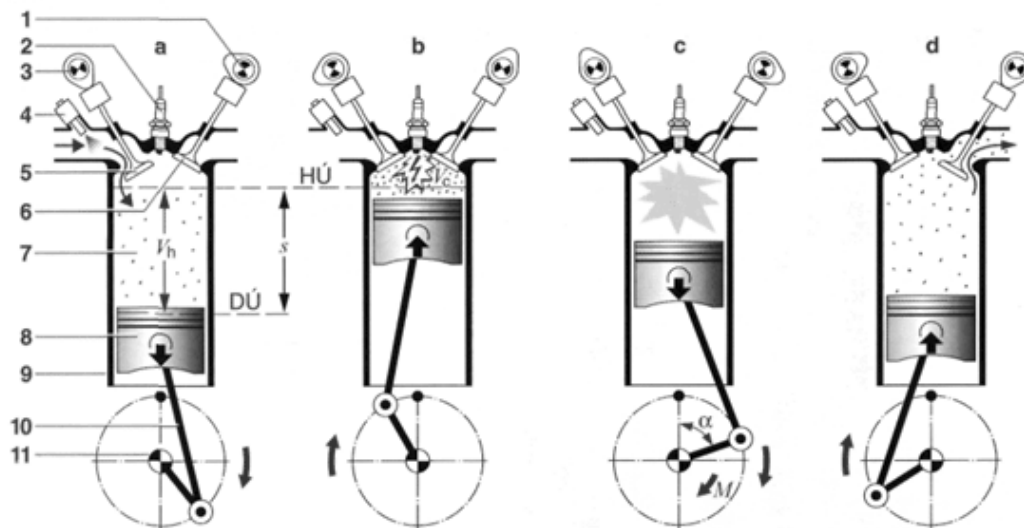
Dříve než píst dosáhne horní úvratí (HÚ), zapálí zapalovací svíčka (Poz. 2) ve stanoveném okamžiku zážehu (dané hodnotou předstihu) směs paliva se vzduchem. Než směs zcela vzplane, překročí píst horní úvratě. Ventily řídící výměnu obsahu válce jsou nadále uzavřeny. Teplo uvolněné spalováním zvýší tlak ve válci a tlačí píst dolů.



#### 4.doba: Výfuk

Krátce před dosažením dolní úvrati (DÚ) se otevře výfukový ventil (Poz. 6). Horké plyny, které jsou pod vysokým tlakem, proudí z válce. Nahoru jdoucí píst vytlačí zbytky plynů.

Po dvou otáčkách klikového hřídele začne sáním nový pracovní cyklus.



Obrázek 1 Pracovní cyklus čtyřdobého zážehového motoru

a	Sání	8	Píst
b	Komprese a zážeh	9	Válec
c	Expanze	10	Ojnice
d	Výfuk	11	Klikový hřídel
1	Vačkový hřídel výfukových ventilů	$M$	Točivý moment
2	Zapalovací svíčka	$\alpha$	Úhel natočení klikového hřídele
3	Vačkový hřídel sacích ventilů	$s$	Zdvih pístu
4	Vstříkací ventil	$V_h$	Zdvihový objem
5	Sací ventil	$V_c$	Kompresní objem
6	Výfukový ventil	DÚ	Dolní úvrať
7	Spalovací prostor	HÚ	Horní úvrať

### Časování ventilů

Vačky nasazené na vačkových hřídelích pro sací a výfukové ventily tyto ventily otevírají a zavírají. U motorů s pouze jedním vačkovým hřídelem přenáší mechanismus pák (vahadla) zdvihový pohyb vaček na ventily.

Časování ventilů udává časy zavření a otevření ventilů vůči poloze klikového hřídele. Časování ventilů se proto uvádí ve „stupních klikového hřídele“. Proudění a kmitání plynů se využívá k lepšímu plnění a vyprazdňování spalovacího prostoru. Proto se časy otevření ventilů v určité poloze klikového hřídele překrývají.

Klikový hřídel pohání vačkový hřídel přes ozubený řemen, příp. řetěz nebo ozubená kola. Celý pracovní cyklus trvá u čtyřdobého motoru dvě otáčky klikového hřídele. Otáčky vačkového hřídele jsou proto poloviční oproti otáčkám klikového hřídele. Převodový poměr mezi klikovým a vačkovým hřídelem tak činí 2:1.

## Komprese

Ze zdvihového objemu válce  $V_h$  a kompresního objemu  $V_c$  vyplývá kompresní poměr  $\varepsilon$ , daný vztahem

$$\varepsilon = (V_h + V_c) / V_c \quad (1)$$

Komprese motoru má rozhodující vliv na:

- vytvářený točivý moment,
- předávaný výkon,
- spotřebu paliva,
- emise škodlivin.

Kompresní poměr  $\varepsilon$  činí u zážehového motoru v závislosti na konstrukci motoru a druhu vstřikování (vstřikování do sacího potrubí nebo přímé vstřikování)  $\varepsilon = 7 \dots 13$ . Hodnoty jako u vznětového motoru ( $\varepsilon = 14 \dots 24$ ) nejsou u zážehového motoru možné, protože při vysokém kompresním poměru a z toho vyplývající vysoké teplotě ve spalovacím prostoru by se směs paliva se vzduchem na základě omezené antidetonační odolnosti benzínu samovolně a nekontrolovatelně zapalovala. To by způsobovalo pro motor škodlivé klepání.

## Poměr vzduchu a paliva

Pro úplné spálení směsi paliva a vzduchu musí být složky směsi ve stechiometrickém poměru. To je tehdy, když ke spálení 1 kg paliva je k dispozici 14,7 kg vzduchu. Poměr hmotnostních podílů vzduchu a paliva se označuje jako lambda (řecké písmeno  $\lambda$ ). Tento poměr je také označován jako součinitel přebytku vzduchu nebo směšovací poměr. Při stechiometrickém provozu má  $\lambda$  hodnotu 1,0.

Obohacení směsi palivem vede k hodnotám  $\lambda$  menším než 1. Při ochuzení je vzduch v převaze, hodnota  $\lambda$  je větší než 1. Od určité meze ( $\lambda > 1,6$ ) narazí směs na mez chudého provozu, takto chudou směs pak již nelze zapálit.

## 1.2 Rozdělení směsi ve spalovacím prostoru

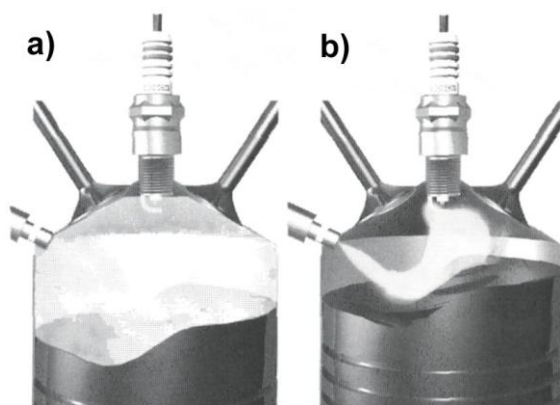
### Homogenní rozdělení

U motorů se vstřikováním do sacího potrubí je směs paliva se vzduchem v celém spalovacím prostoru rozdělena homogenně se stejným součinitelem přebytku vzduchu  $\lambda$  (Obrázek 2a). Také motory s koncepcí chudé směsi, které v určitých pracovních oblastech pracují s přebytkem vzduchu, používají homogenní rozdělení směsi. [1, 2]

### Vrstvené plnění

Hořlavý oblak směsi s  $\lambda \approx 1$  se nachází v okamžiku zážehu v oblasti zapalovací svíčky. Zbylý spalovací prostor je naplněn nehořlavým plynem bez podílu paliva nebo chudou směsí paliva se vzduchem. Hořlavý oblak směsi, který vyplňuje pouze část spalovacího prostoru, se označuje jako vrstvená náplň (Obrázek 2b). Směs je z pohledu celého spalovacího prostoru velmi chudá (až do  $\lambda \approx 10$ ). Tento provoz s chudou směsí umožňuje dosahovat nízké spotřeby paliva.

Vrstvené plnění je efektivně možné jen s přímým vstřikováním benzínu. Vzniká tak, že je palivo vstříknuto do spalovacího prostoru teprve krátce před okamžikem zážehu.



Obrázek 2 Rozdělení směsi ve spalovacím prostoru

### 1.3 Točivý moment a výkon

Ojnice přenáší vratný pohyb pístu přes zalomení klikového hřídele na otáčivý pohyb klikového hřídele. Síla, kterou expandující směs paliva se vzduchem tlačí píst dolů, se převádí na točivý moment.

Určující veličinou pro točivý moment je kromě síly také rameno páky. U motoru je rameno páky určeno tvarem zalomení klikového hřídele. [1]

Točivý moment se obecně vypočítá jako součin síly a ramena páky. Rameno páky účinné pro točivý moment je část páky stojící kolmo k síle. V horní úvrati jsou síla a páka paralelní. Proto je účinné rameno páky rovné nule. Při úhlu natočení klikového hřídele  $90^\circ$  za horní úvrati je páka kolmo k vytvářené síle. Rameno páky a tím točivý moment je zde největší. Předstih musí být proto stanoven tak, aby ke vzplanutí směsi došlo v době, kdy rameno páky stoupá vzhůru. Tak může motor vytvořit největší možný točivý moment.

Maximální dosažitelný točivý moment  $M$ , který může motor dodávat, je určen konstrukcí motoru (např. zdvihový objem motoru, geometrie spalovacího prostoru). Přizpůsobení točivého momentu požadavkům jízdního provozu se provádí především nastavením kvality a kvantity směsi paliva se vzduchem.

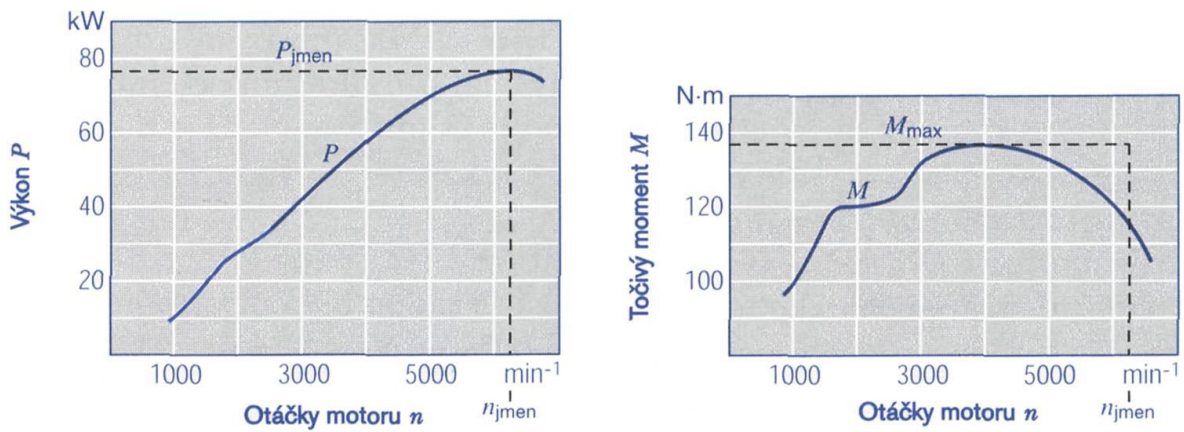
Výkon  $P$  předávaný motorem stoupá s rostoucím točivým momentem  $M$  a otáčkami motoru  $n$ . Platí následující vztah:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M \quad (2)$$

Na obrázku 3 je znázorněn průběh točivého momentu a výkonu v závislosti na otáčkách motoru typický pro zážehový motor se vstřikováním paliva do sacího potrubí. Točivý moment roste se stoupajícími otáčkami až na maximální točivý moment  $M_{\max}$ . Při dalším zvyšování otáček točivý moment opět klesá. Vývoj v technice motorů směřuje k tomu, aby bylo maximálního točivého momentu dosaženo již v oblasti nízkých otáček okolo  $2000 \text{ min}^{-1}$ , protože v tomto rozsahu otáček je spotřeba paliva nejnižší. Tento požadavek mohou splnit motory používající přeplňování s využitím energie výfukových plynů.

Výkon motoru roste s otáčkami, až dosáhne při jmenovitých otáčkách  $n_{\text{jmen}}$  se jmenovitým výkonem  $P_{\text{jmen}}$  své maximální hodnoty.

Charakteristika výkonu a točivého momentu spalovacího motoru vyžaduje použití převodovky k přizpůsobení požadavkům jízdního provozu.

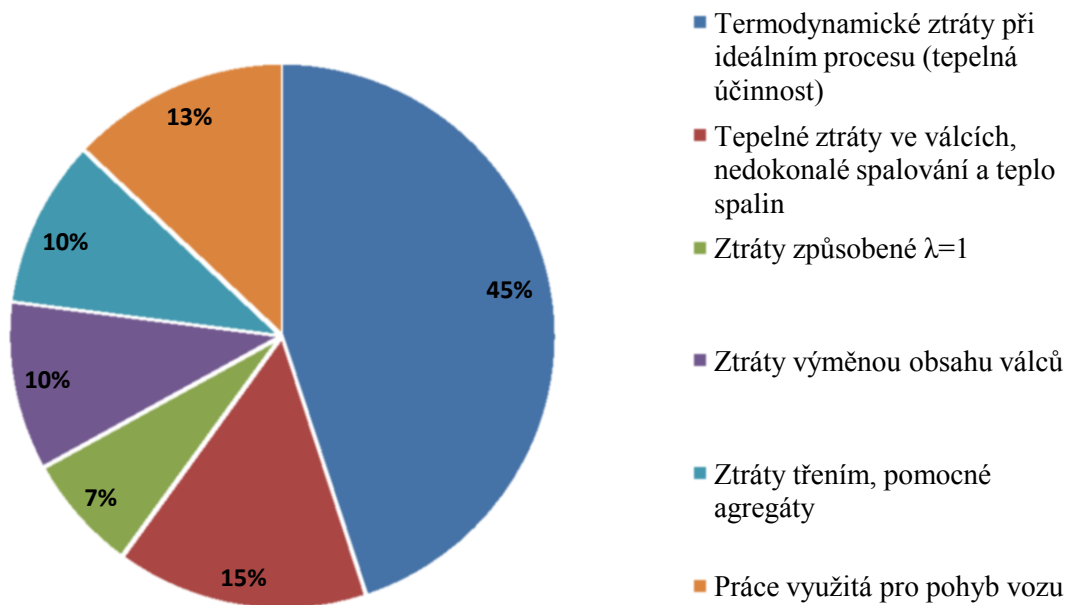


Obrázek 3 Průběhu točivého momentu a výkonu u motoru se vstřikováním do sacího potrubí

## 1.4 Účinnost motoru

### Tepelná účinnost

Spalovací motor nepřevádí veškerou energii, která je chemicky vázána v palivu, na mechanickou práci. Část přiváděné energie se ztrácí. Účinnost motoru je tak nižší než 100 %. [1]



Obrázek 4 Účinnostní řetězec zážehového spalovacího motoru při  $\lambda=1$

## Oběhový diagram (p-V diagram)

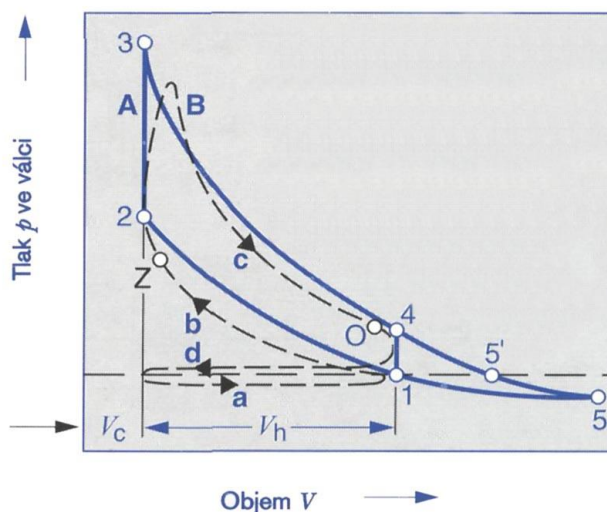
Tlakové a objemové poměry během pracovního cyklu čtyřdobého motoru lze znázornit v  $p$ - $V$  diagramu. [1]

### Ideální proces při konstantním objemu

Obrázek 5, křivka A znázorňuje dobu komprese a expanze ideálního procesu, jak je popsán zákony Boyle/Mariotta a Gay-Lussaca. Píst se pohybuje z DÚ do HÚ (z bodu 1 do bodu 2), směs paliva se vzduchem je stlačována bez přivádění tepla (Boyle/Mariotte). Následně směs shoří při nárůstu tlaku (z bodu 2 do bodu 3) při konstantním objemu (Gay-Lussac).

Z HÚ (bod 3) se píst pohybuje směrem k DÚ (bod 4). Objem spalovacího prostoru roste. Tlak spálených plynů klesá, přičemž ale není odevzdáváno žádné teplo (Boyle/Mariotte). Následně spálená směs při konstantním objemu opět vychladne (Gay-Lussac), až je dosaženo výchozího stavu (bod 1).

Plocha vymezená body 1-2-3-4 udává práci získanou během jednoho pracovního cyklu. V bodě 4 se otevře výfukový ventil a stlačený plyn unikne z válce. Pokud by se plyn mohl zcela rozpínat až k bodu 5, představovala by plocha vymezená body 1-4-5 využitelnou energii. Pomocí turbodmychadla poháněného výfukovými plyny lze částečně využít část ležící nad úrovní atmosférického tlaku (1 bar) (1-4-5').



Obrázek 5 Cyklus zážehového spalovacího motoru v  $p$ - $V$  diagramu

A	Ideální proces při konstantním objemu	c	Expanze
B	Reálný průběh $p$ - $V$ diagramu	d	Výfuk
a	Sání	O	Otevření výfuku
b	Komprese	Z	Okamžik zážehu

### Reálný $p$ - $V$ diagram

Protože reálné podmínky pro ideální proces při konstantním objemu nelze dodržet, odlišuje se skutečný  $p$ - $V$  diagram (Obrázek 5, křivka B) od ideálního  $p$ - $V$  diagramu.

### Opatření pro zvýšení tepelné účinnosti

Tepelná účinnost roste se stlačením směsi paliva se vzduchem. S vyšší kompresí je tlak ve válci na konci kompresní doby vyšší, tím se také zvětší plocha vymezená  $p$ - $V$  diagramem. Tato

plocha udává energii vytvořenou spalovacím procesem. Při určování komprese se musí brát ohled na antidetonační odolnost paliva.

Motory se vstřikováním do sacího potrubí vstřikují palivo před uzavřený sací ventil a takto jej zde předběžně uskladní. Při vytváření směsi paliva se vzduchem se jemné kapičky paliva vypařují. Pro tuto činnost je potřebná energie, která je ve formě tepla odebírána ze vzduchu a stěn sacího potrubí. U přímého vstřikování benzínu je palivo vstřikováno do spalovacího prostoru. Energie potřebná pro odpaření se odebírá ze vzduchu uzavřeného ve spalovacím prostoru. Vzduch tak chladne. Proto má stlačovaná směs paliva se vzduchem v porovnání se vstřikováním do sacího potrubí nižší teplotu a lze ji tak více stlačit.

### **Tepelné ztráty**

Teplu vznikající při spalování ohřívá stěny válce. Část tepelné energie je vyzářena a ztrácí se. U přímého vstřikování benzínu je oblak vrstvené směsi obklopen plyny, které se nepodílí na spalování. Tento plynný obal omezuje předávání tepla stěnám válce a snižuje tak tepelné ztráty.

Další ztráty vznikají neúplným spálením paliva, které kondenzovalo na stěnách válce. Na základě izolačního působení plynného obalu jsou tyto ztráty při provozu s vrstveným plněním paliva rovněž nižší. Zbytkové teplo výfukových plynů způsobuje další tepelné ztráty.

### **Ztráty při $\lambda = 1$**

Účinnost rovnoobjemového procesu stoupá s rostoucím součinitelem přebytku vzduchu  $\lambda$ . Vlivem klesající rychlosti hoření u chudších směsí však probíhá spalování pro  $\lambda > 1,1$  výrazně pomaleji, což se negativně projevuje na průběhu účinnosti zážehového motoru. V konečném efektu je tedy účinnost největší v rozsahu  $\lambda = 1,1 \dots 1,3$ . Při homogenní směsi s  $\lambda = 1$  je proto účinnost nižší než při směsi s přebytkem vzduchu. Při použití třicestného katalyzátoru je však pro účinné čištění spalin bezpodmínečně nutná směs s  $\lambda = 1$ .

### **Ztráty způsobené výměnou náplně válce**

Při výměně náplně válce nasává motor v první době čerstvou směs. Požadované množství čerstvé směsi je řízeno otevřením škrticí klapky. V sacím potrubí vzniká podtlak, který působí proti motoru. Tyto ztráty škrcením redukuje přímé vstřikování benzínu, protože i ve volnoběhu a při částečném zatížení je škrticí klapka naplno otevřena a točivý moment je řízen množstvím vstřikovaného paliva. Ve čtvrté době musí být zbylý plyn vytlačen z válce. Také to vyžaduje práci.

### **Ztráty třením**

Ztráty třením vznikají třením všech pohyblivých částí v motoru a pomocných agregátech, např. třením pístních kroužků o stěny válce, třením ložisek, pohonu alternátoru apod.

## **Použitá literatura**

- [1] ROBERT BOSCH GmbH, Řízení zážehového motoru – Základy a komponenty, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 2002.
- [2] FERENC, B., Spalovací motory – karburátory a vstřikování paliva, Brno: Computer Press, a.s., 2004.

## 2. Řízení zážehového motoru

Význam elektronických řídicích a regulačních systémů v moderních motorových vozidlech stále roste. Postupně vytlačily mechanické systémy (např. mechanický a podtlakový regulátor zapalování). Teprve elektronika umožnila dodržení stále přísnějších zákonných požadavků ohledně emisí výfukových plynů. [1]

### 2.1 Požadavky

Cílem vývoje motorů pro motorová vozidla je, při pokud možno vysokém výkonu motoru udržovat co nejnižší spotřebu paliva a emise výfukových látek a tím vyhovět zákonům týkajícím se emisí výfukových plynů. [1]

Snížení spotřeby paliva lze dosáhnout jen zlepšením účinnosti motoru. Obzvláště ve volnoběhu a při částečném zatížení pracuje běžný zážehový motor se vstřikováním paliva do sacího potrubí s malou účinností. Ale právě v těchto oblastech motor nejčastěji pracuje. Proto musí být vylepšena účinnost speciálně ve volnoběhu a při částečném zatížení, aniž by to však ovlivnilo u současných motorů již výhodnou účinnost v horní oblasti zatížení. Tento požadavek lze splnit přímým vstřikováním benzínu.

Dalším požadavkem kladeným na motor je, aby již při nízkých otáčkách měl vysoký točivý moment, aby bylo možné vozidlo v krátké době zrychlit. Točivý moment je tak ústřední veličinou při řízení zážehového motoru.

#### Točivý moment u zážehového motoru

Výkon  $P$  předávaný zážehovým motorem je určen použitelným točivým momentem na převodovce  $M$  a otáčkami motoru  $n$ . Točivý moment na převodovce je určen točivým momentem daným spalovacím procesem, sníženým o třecí moment (ztráty třením v motoru), o ztráty způsobené výměnou obsahu válců a o točivý moment potřebný k pohonu pomocných agregátů.

Točivý moment daný spalováním je vytvářen během expanze (pracovní doba) a je např. u motorů se vstřikováním do sacího potrubí určen následujícími veličinami:

- množstvím vzduchu, které je po uzavření sacích ventilů k dispozici pro spalování,
- množstvím paliva, které je k dispozici ve stejném okamžiku,
- okamžikem, kdy zapalovací svíčka zapálí směs paliva se vzduchem.

V současné době již převažuje podíl zážehových motorů s přímým vstřikováním. Tyto motory pracují v určitých pracovních režimech s přebytkem vzduchu (provoz s chudou směsí). Ve válci se tak nachází vzduch, který nemá žádný vliv na vytvářený točivý moment. Podstatný vliv na vytvořený točivý moment zde má množství paliva.

### 2.2 Úkoly řízení motoru

Úkolem řízení motoru je nastavovat točivý moment vytvářený motorem. K tomu jsou v různých podsystémech řízení motoru (řízení plnění, tvorba směsi, zapalování, ...) řízeny všechny veličiny ovlivňující točivý moment. Cílem tohoto řízení je poskytovat řidičem požadovaný točivý moment a současně splňovat vysoké požadavky na emise spalin, spotřebu paliva, výkon, komfort a bezpečnost. Tyto úkoly lze splnit jen pomocí elektroniky. [1]

Aby byly tyto podmínky splněny i při dlouhodobém provozu, provádí řízení motoru neustále diagnostiku a zobrazuje řidiči rozpoznané chybné chování. To je další důležitý úkol řízení motoru. Diagnostika umožňuje navíc jednodušší údržbu a případné opravy systému v servisní dílně.

## Podsystem řízení plnění

U konvenčních vstřikovacích systémů řídí řidič ovládním pedálu akcelerace přímo otevírání škrticí klapky. Určuje tak množství vzduchu nasávané motorem.

U systémů řízení motoru s elektronickým pedálem akcelerace řidič polohou pedálu udává, např. když chce zrychlovat, v podstatě „požadovaný točivý moment“. Snímač polohy pedálu přitom měří polohu pedálu. V podsystemu „řízení plnění“ je určeno množství vzduchu potřebné pro požadovaný točivý moment válců motoru a elektricky ovládaná škrticí klapka je dle toho pootevřena.

## Podsystem tvorba směsi

V podsystemu „tvorba směsi“ je při homogenním provozu s definovaným poměrem vzduchu a paliva  $\lambda$ , vypočítáno množství paliva odpovídající nasátému množství vzduchu a z toho je určena doba vstřiku a nejvýhodnější okamžik vstřiku. Pro přímé vstřikování benzínu platí při režimech provozu s chudou směsí (zejména provoz s vrstveným plněním) jiné poměry. Zde není množství paliva, které má být vstřikováno, určeno hmotností nasávaného vzduchu, ale točivým momentem požadovaným řidičem.

## Podsystem zapalování

V podsystemu „zapalování“ je nakonec určen úhel natočení klikového hřídele, při kterém zapalovací jiskra ve správném okamžiku zapálí směs paliva se vzduchem.

## 2.3 Řízení plnění válců

Úkolem řízení plnění je koordinovat systémy, které ovlivňují podíl plynné směsi ve válci. [1]

### Součásti náplně válců

Plynná směs, která se po uzavření sacích ventilů nachází ve válci, se označuje jako náplň válce. Skládá se z přivedené čerstvé směsi a zbytkových plynů. Pro získání charakteristické veličiny nezávislé na zdvihovém objemu motoru byl zaveden pojem „relativní plnění vzduchem  $r_l$ “. Je definován jako poměr aktuální náplně k náplni při normálních podmínkách ( $p_0 = 1013$  hPa,  $T_0 = 273$  K).

### Čerstvá směs

Nasávaná čerstvá směs obsahuje čerstvý vzduch a v něm přiváděné palivo. Při vstřikování do sacího potrubí je veškeré palivo smíseno s čerstvým vzduchem již před sacím ventilem. U systémů s přímým vstřikováním benzínu je palivo naopak vstřikováno přímo do spalovacího prostoru.

Podstatná část čerstvého vzduchu proudí s proudem vzduchu přes škrticí klapku k válci. Další čerstvá směs může být přiváděna ve formě čerstvého vzduchu a výparů paliva přes systém regenerace odpařeného paliva.

Vzduch přiváděný přes škrticí klapku, který je po uzavření sacích ventilů ve válci k dispozici, je při homogenním provozu s  $\lambda < 1$  rozhodující veličinou pro práci vykonávanou na pístu během spalování a tím pro točivý moment vyvíjený motorem. Zde odpovídá náplň točivému momentu, případně zatížení motoru. Při provozu s chudou směsí (s vrstveným plněním) naproti tomu točivý moment (zatížení motoru) vyplývá přímo z množství vstřikovaného paliva.



Hmotnost vzduchu může být při provozu s chudou směsí při stejném točivém momentu různá. Opatření ke zvýšení maximálního točivého momentu a maximálního výkonu motoru vyžadují téměř vždy zvýšení maximálního možného plnění. Teoretické maximální plnění je určeno zdvihovým objemem.

### **Zbytkové plyny**

Část zbytkových plynů v naplnění válce představuje tu část plynů, které se již jednou účastnily spalování. Principiálně se rozlišuje mezi interními a externími zbytkovými plyny. Interní zbytkové plyny jsou plyny, které po shoření zůstanou v horním kompresním prostoru válce nebo jsou během současného otevření sacího a výfukového ventilu (překrytí ventilů) nasávy z výfukového kanálu zpět do sacího potrubí. Externí zbytkové plyny jsou spaliny, které jsou přes ventil recirkulace spalin (ventil AGR) vedeny zpět do sacího potrubí.

Zatímco podíl interních zbytkových plynů je v podstatné míře řízen časováním ventilů při výměně obsahu válce (zavírání výfuku, otevírání sání), podíl externích zbytkových plynů je řízen otevřením ventilu recirkulace (AGR).

Zbytkové plyny jsou složeny z inertního plynu a při provozu s přebytkem vzduchu z nespáleného vzduchu. Inertní plyny obsažené ve zbytkových plynech se přímo nepodílí na spalování během následující doby expanze, ovlivňují však vznícení a průběh spalování. Cíleně použitý podíl zbytkových plynů může proto redukovat emise oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ).

K dosažení požadovaného točivého momentu musí být vytlačování náplně čerstvé směsi inertním plynem kompenzováno větším otevřením škrticí klapky. Tím se sníží ztráty škrcením motoru. Důsledkem je snížená spotřeba paliva.

## **2.4 Řízení plnění válců čerstvou směsí**

### **Vstřikování do sacího potrubí**

Točivý moment vyvíjený zážehovým motorem se vstřikováním do sacího potrubí je úměrný plnění čerstvou směsí. Řízení točivého momentu se provádí škrticí klapkou, která řídí proud vzduchu nasávaný motorem. Není-li škrticí klapka zcela otevřena, je vzduch nasávaný motorem škrcen a vyvíjený točivý moment je nižší. Tento škrticí účinek závisí na poloze a tím průtočném průřezu škrticí klapky. Maximálního točivého momentu motoru je dosaženo při úplně otevřené škrticí klapce. [1, 2]

### **Přímé vstřikování**

U zážehových motorů s přímým vstřikováním platí při homogenním provozu s  $\lambda < 1$  (nikoli tedy při provozu s chudou směsí) stejné poměry jako u vstřikování do sacího potrubí.

Pro snížení ztrát škrcením je škrticí klapka i při částečném zatížení naplno otevřena. V ideálním případě nedochází při zcela otevřené škrticí klapce, stejně jako při plném zatížení, k žádným ztrátám škrcením. K omezení točivého momentu při částečném zatížení se nesmí na spalování podílet veškerý vzduch proudící do válce. V režimech provozu s chudou směsí a přebytkem vzduchu ( $\lambda > 1$ ) zůstává část nasávaného vzduchu jako zbytkové plyny ve válci nebo je v době výfuku vytlačena. Proto v režimech provozu s chudou směsí není náplň vzduchu uzavřená ve válci již rozhodující veličinou pro točivý moment, ale stává se jí množství paliva vstřikovaného do spalovacího prostoru.

### **Výměna obsahu válce**

Nahrazení spotřebované náplně válce (spalin) čerstvou směsí je zajištěno časově posunutým otevíráním a zavíráním sacího a výfukového ventilu. Vačky vačkového hřídele určují okamžiky

otevření a zavření ventilů (časování ventilů) a průběh zdvihu ventilů. Tím je ovlivňována výměna obsahu válce a také množství čerstvé směsi, která je k dispozici pro spalování.

Překrytí ventilů, tzn. přesah dob otevření sacích a výfukových ventilů, má rozhodující vliv na množství zbytkových plynů zbylých ve válci. Tím je definován také podíl inertních plynů v náplni válce pro další pracovní cyklus. V tomto případě se hovoří o „vnitřní“ recirkulaci spalin.

Množství inertních plynů v náplni válce lze zvýšit použitím „vnější“ recirkulace spalin. Ventil recirkulace spalin spojuje sací a výfukové potrubí. Řízením tohoto ventilu je možné v závislosti na pracovním režimu nastavovat podíl inertních plynů v náplni válce.

## **Míra plnění**

Zatímco u průchodu vzduchu (spotřeba vzduchu) je celá náplň prošlá během jednoho pracovního cyklu vztažena k teoretické náplni dané zdvihovým objemem, uvažuje se u míry plnění pouze náplň čerstvé směsi, která skutečně zůstává ve válci. Nasátá čerstvá směs, která proudí během překrytí ventilů přímo do výfuku a není k dispozici pro spalování, není zohledněna. [3]

U motorů bez přeplňování činí míra plnění 0,6 ... 0,9. Závisí na provedení sacího potrubí, tvaru spalovacího prostoru, průtočných průřezů ventilů a časování ventilů.

## **Přeplňování**

Točivý moment dosažitelný při homogenním rozdělení směsi s  $\lambda = 1$  je úměrný velikosti náplně čerstvé směsi. Maximální točivý moment je možné zvětšit tím, že se vzduch před vstupem do válce stlačí (přeplňování). Přeplňováním lze míru plnění zvýšit na hodnoty větší než 1.

## **Dynamické přeplňování**

Přeplňování lze dosáhnout i pouhým využitím dynamických efektů v sacím potrubí. Stupeň přeplňování závisí na konstrukci sacího potrubí a pracovním režimu (především na otáčkách, ale také na náplni). S možností měnit geometrii sacího potrubí během jízdního provozu (proměnlivá geometrie sacího potrubí) může dynamické přeplňování v širokém pracovním rozsahu zvyšovat maximální naplnění válce.

## **Mechanické přeplňování**

Dalšího zvýšení hustoty vzduchu dosahují mechanicky poháněné kompresory, které jsou poháněny z klikového hřídele motoru. Stlačený vzduch je vháněn do válce sacím potrubím.

## **Přeplňování s využitím energie výfukových plynů**

Na rozdíl od mechanického přeplňování není kompresor turbodmyhadla poháněn klikovým hřídelem, ale turbínou zařazenou do výfukového systému. Tím se zpětně získává část energie obsažené ve výfukových plynech.

## **2.5 Tvorba směsi**

V tomto podsystemu se vypočítává hmotnost paliva odpovídající hmotnosti nasávaného vzduchu. Palivo je odměřováno vstřikovacími ventily. [1]

### **Směs paliva se vzduchem**

Zážehový motor potřebuje určitý poměr vzduchu a paliva. K ideálnímu, teoreticky dokonalému spalování dochází při poměru hmotností 14,7:1. To se označuje také jako stechiometrický poměr. To znamená, že ke spálení 1 kg paliva je potřeba 14,7 kg vzduchu. Nebo vyjádřeno objemově 1 l paliva shoří dokonale s přibližně 9500 l vzduchu.

## **Součinitel přebytku vzduchu $\lambda$**

K označení, jak se skutečná směs paliva se vzduchem odchyluje od teoreticky potřebného poměru hmotností (14,7:1), byl zaveden součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$ . Součinitel přebytku vzduchu udává poměr hmotnosti přiváděného vzduchu k hmotnosti vzduchu potřebné k stechiometrickému spalování.

$\lambda = 1$ : Hmotnost přiváděného vzduchu odpovídá teoreticky potřebné hmotnosti vzduchu.

$\lambda < 1$ : Panuje nedostatek vzduchu a směs je tedy bohatá. Obohacení palivem je při studeném motoru potřebné, aby se kompenzovalo palivo kondenzující na studených stěnách sacího potrubí (u vstřikování do sacího potrubí) a stěnách válce, které neshoří.

$\lambda > 1$ : Panuje přebytek vzduchu a směs je chudá. Dosažitelná maximální hodnota pro součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$ , „mez chudého provozu“, je výrazně závislá na konstrukci motoru a na použitém systému přípravy směsi. Na mezi chudého provozu není směs již zápalná. Objevuje se vynechávání spalování. Neklidný chod motoru a spotřeba paliva ztlačně narůstají, výkon klesá.

U motorů se vstřikováním přímo do spalovacího prostoru panují jiné poměry spalování, takže mohou pracovat s podstatně vyššími součiniteli přebytku vzduchu.

## **Druhy provozu**

### **Homogenní ( $\lambda < 1$ )**

U motorů se vstřikováním do sacího potrubí je směs paliva se vzduchem nasávána v době sání otevřeným sacím ventilem. Z toho vyplývá značně homogenní rozdělení směsi ve spalovacím prostoru. Také u přímého vstřikování benzínu je tento druh provozu možný. Palivo se vstříkuje během doby sání.

### **Homogenní s chudou směsí ( $\lambda > 1$ )**

Směs paliva se vzduchem je ve spalovacím prostoru homogenně rozdělena s definovaným přebytkem vzduchu.

### **S vrstveným plněním**

Tyto a následující druhy provozu jsou možné jen u přímého vstřikování benzínu. Palivo je vstříknuto teprve krátce před okamžikem zážehu. Vyskytuje se jako oblak směsi v prostoru okolo zapalovací svíčky.

### **Homogenní provoz s vrstveným plněním**

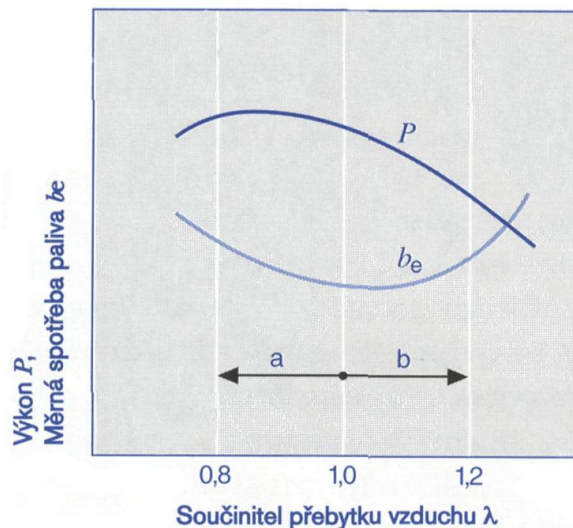
Kromě vrstvené náplně se v celém spalovacím prostoru vyskytuje homogenní, chudá směs. Tohoto rozdělení směsi je dosaženo dvojitým vstřikováním

### **Homogenní provoz chránící před klepáním**

I zde se používá dvojitá vstřikování k vytvoření takového rozdělení směsi, které výrazně brání klepání motoru, které je důsledkem tzv. detonačního spalování.

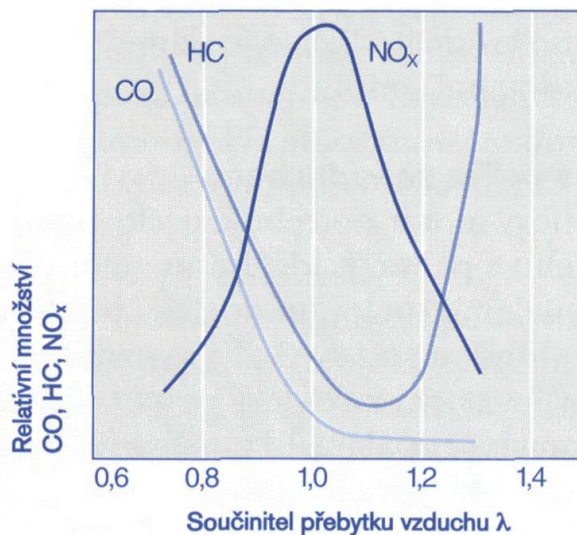
### **Provoz s vrstveným plněním a zahříváním katalyzátoru**

Dodatečně, později provedené vstřiky zajišťují rychlé ohřátí katalyzátoru.



Obrázek 6 Vliv součinitele přebytku vzduchu  $\lambda$  na výkon  $P$  a měrnou spotřebu paliva  $b_e$  při homogenním rozdělení směsi

a Bohatá směs (nedostatek vzduchu)      b Chudá směs (přebytek vzduchu)



Obrázek 7 Vliv součinitele přebytku vzduchu  $\lambda$  na složení škodlivých látek v nečištěných spalinách při homogenním rozdělení směsi

## 2.6 Měrná spotřeba paliva, výkon a emise spalin

### Vstřikování do sacího potrubí

Zážehové motory se vstřikováním do sacího potrubí dosahují svého nejvyššího výkonu při přebytku paliva 5 ... 15 % ( $\lambda = 0,95 \dots 0,85$ ), nejnižší spotřeby paliva při přebytku vzduchu 10 ... 20 % ( $\lambda = 1,1 \dots 1,2$ ). Na obrázcích 6 a 7 je znázorněna závislost výkonu a měrné spotřeby paliva jakož i tvorby škodlivých látek na součiniteli přebytku vzduchu  $\lambda$ . Z toho lze odvodit, že neexistuje ideální součinitel přebytku vzduchu, při kterém mají oba součinitele nejvýhodnější hodnoty. „Optimální“ spotřeby paliva při „optimálním“ výkonu je dosahováno při součiniteli přebytku vzduchu  $\lambda = 0,9 \dots 1,1$ . [1]

Pro katalytickou úpravu spalin třicestným katalyzátorem je nezbytné přesné dodržení  $\lambda = 1$  při motoru zahřátém na provozní teplotu. Aby toho bylo dosaženo, musí se přesně zjišťovat hmotnost nasávaného vzduchu a přesně odměřovat dávkovaná hmotnost paliva.

Kromě přesného množství vstřikovaného paliva je pro optimální průběh spalování potřebná také homogenní směs. K tomu je nutné dobré rozprášení paliva. Není-li tento předpoklad splněn, sráží se velké kapky paliva na sacím potrubí nebo na stěnách spalovacího prostoru. Tyto velké kapky neshoří úplně a vedou ke zvýšeným emisím HC.

### **Přímé vstřikování benzínu**

Při přímém vstřikování benzínu platí při homogenním provozu s  $\lambda < 1$  stejné poměry jako při vstřikování do sacího potrubí. Za provozu s vrstveným plněním má směs paliva se vzduchem stechiometrické složení jen v oblaku vrstvené náplně v oblasti okolo zapalovací svíčky. Mimo tento prostor je válec naplněn čerstvým vzduchem a inertními plyny. Z pohledu celého spalovacího prostoru je součinitel přebytku vzduchu velmi vysoký ( $\lambda > 1$ ). [1]

Protože při tomto druhu provozu není celý spalovací prostor naplněn hořlavou směsí, jsou točivý moment a předávaný výkon nižší. Pro maximální výkon musí být stejně jako u vstřikování do sacího potrubí v celém spalovacím prostoru homogenní směs.

V závislosti na metodě spalování a rozdělení směsi ve spalovacím prostoru vznikají při provozu s chudou směsí emise NO<sub>x</sub>, které trojcestný katalyzátor nemůže redukovat. Vyžadují další opatření spočívající v čištění spalin zásobníkovým katalyzátorem NO<sub>x</sub>.

## **2.7 Provozní režimy motoru**

Při některých provozních režimech se spotřeba paliva výrazně liší od stabilní spotřeby motoru zahřátého na provozní teplotu, takže jsou nezbytné korekční zásahy do tvorby směsi. [1]

### **Start a zahřívání**

Při studeném startu se směs paliva se vzduchem stává chudší. Lze to připsat nedostatečnému promísení nasávaného vzduchu s palivem, malé náchylnosti paliva k odpařování a zvýšené kondenzaci paliva na dosud studených stěnách sacího potrubí (jen při vstřikování do sacího potrubí) a stěnách válce. Aby se tyto jevy kompenzovaly a ulehčilo se „naskočení“ motoru, musí se v okamžiku startu přivést další palivo.

Dokud motor nedosáhne své provozní teploty, je i po startu potřeba obohacovat směs. To platí i pro přímé vstřikování benzínu. Provoz s chudou směsí a vrstveným plněním je v závislosti na konstrukci motoru a metodě spalování možný teprve při motoru zahřátém na provozní teplotu.

### **Volnoběh a částečné zatížení**

Běžné motory se vstřikováním do sacího potrubí po dosažení provozní teploty pracují ve volnoběhu a při částečném zatížení výhradně se stechiometrickou směsí. Naproti tomu u motorů s přímým vstřikováním benzínu je cílem provozovat motor co nejčastěji s vrstveným plněním. To je možné ve volnoběhu a při částečném zatížení. V těchto provozních režimech spočívá největší potenciál úspor. Při provozu s chudou směsí lze ušetřit až 40 % paliva.

### **Plné zatížení**

Pro tento provozní režim jsou poměry u vstřikování do sacího potrubí a přímého vstřikování paliva v podstatě stejné. Při zcela otevřené škrticí klapce může být dosaženo potřebného obohacení směsi. Jak vyplývá z obrázku 6, lze tím dosáhnout nejvyššího možného točivého momentu a nejvyššího možného výkonu.

### **Zrychlování a zpomalování**

Náhylnost paliva k odpařování závisí u vstřikování do sacího potrubí velmi silně na tlaku v sacím potrubí. V oblasti sacích ventilů z toho důvodu vzniká na stěnách sacího potrubí film z paliva. Rychlé změny tlaku v sacím potrubí, které se vyskytují při rychlých změnách otevření škrtkové klapky, vedou proto k tomu, že se film na stěnách mění. Při velmi silném zrychlení stoupá tlak v sacím potrubí, náhylnost paliva k odpařování se snižuje a film na stěnách je proto silnější. Protože se část vstřikovaného paliva sráží jako film na stěnách, motor je krátkodobě ochuzen, než je film na stěnách opět stabilní. Silné zpomalování vede analogickým způsobem k obohacení motoru, protože z důvodu poklesu tlaku v sacím potrubí je film na stěnách odbouráván a nasáván do válců. Teplotně závislá korekční funkce („přechodová kompenzace“) upravuje směs tak, aby bylo zachováno co nejlepší jízdní chování a byl garantován konstantní poměr vzduchu a paliva potřebný pro katalyzátor.

Efekt usazování filmu z paliva se vyskytuje také na stěnách válců. Při motoru zahřátém na provozní teplotu je však velmi malý. Efekt usazování filmu z paliva proto hraje u přímého vstřikování benzínu při motoru zahřátém na provozní teplotu malou roli.

### **Režim decelerace**

V režimu decelerace je odměřování paliva přerušeno (decelerační odpojení). To šetří palivo při jízdě z kopce, především ale chrání katalyzátor před přehřátím způsobeným špatným a neúplným spalováním.

### **Použitá literatura**

- [1] ROBERT BOSCH GmbH, Řízení zážehového motoru – Základy a komponenty, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 2002.
- [2] FERENC, B., Spalovací motory – karburátory a vstřikování paliva, Brno: Computer Press, a.s., 2004.
- [3] AUTOEXPERT, Autopress s. r. o., Praktická dílna – Řízení a regulace; leden, únor/2004.

### 3. Zapalování

Úkolem zapalování je zapálit ve správném okamžiku stlačenou směs paliva se vzduchem a zahájit tak spalování. [1]

#### Zapalovací systém

V zážehovém motoru je směs paliva se vzduchem zapálena jiskrou mezi elektrodami zapalovací svíčky. Indukční zapalovací systémy, které se u zážehových motorů převážně používají, ukládají elektrickou energii potřebnou pro zapalovací svíčku v zapalovací cívce. Tato energie určuje dobu, po kterou se musí proudem protékající zapalovací cívka nabíjet (úhel sepnutí). Přerušování proudu cívkou v definovaném úhlu natočení klikového hřídele (předstih) způsobí vznik zapalovací jiskry a tím zapálení směsi paliva se vzduchem. U současných zapalovacích systémů jsou operace, které vedou k zapálení směsi, řízeny elektronicky.

#### Okamžik zážehu

##### Přestavení bodu zážehu

Po zapálení uplynou asi dvě milisekundy, než směs paliva se vzduchem zcela shoří. Okamžik zážehu se musí volit tak, aby těžiště spalování a tím špička tlaku ve válci ležely krátce po dosažení horní úvratě. Proto se musí předstih se stoupajícími otáčkami zvětšovat.

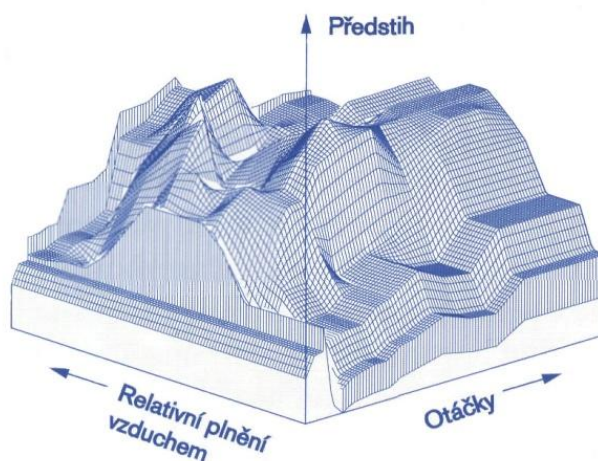
Další vliv na průběh spalování má náplň válců. Čelo plamene se při menší náplni šíří pomaleji. Proto se musí předstih při menší náplni válců zvětšovat.

##### Vliv předstihu

Předstih má rozhodující vliv na běh motoru. Určuje:

- předávaný točivý moment,
- emise spalin,
- spotřebu paliva.

Předstih je určován tak, aby všechny požadavky byly pokud možno co nejlépe splněny. Za provozu však nesmí dojít k trvalému detonačnímu spalování (klepání motoru).



Obrázek 8 Charakteristika předstihu jako funkce otáček motoru a relativního plnění vzduchem

##### Základní přízpůsobení předstihu

U elektronicky řízených zapalovacích systémů zohledňuje charakteristika předstihu (Obrázek 8) vliv otáček a náplně válců na předstih. Tato charakteristika je uložena v datové paměti řízení motoru. Vytváří základní přízpůsobení předstihu. Na dvou osách jsou vyneseny

otáčky a relativní plnění vzduchem. Opěrné body charakteristiky jsou vytvořeny určitým počtem hodnot, typicky 16 hodnotami. Pro každý pár hodnot je uložen jeden předstih. Charakteristika tak obsahuje 256 nastavitelných hodnot předstihu. Lineární interpolací mezi dvěma opěrnými body se počet hodnot předstihu zvyšuje na 4096.

Elektronické řízení předstihu pomocí charakteristik umožňuje v každém pracovním režimu motoru určit optimální předstih.

### **Aditivní korekce předstihu**

Chudá směs je méně zápalná, takže uplyne více času, než je dosaženo těžiště spalování. Proto se chudá směs musí zapálit dříve. Součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$  má proto vliv na předstih.

Další vliv na volbu předstihu má teplota chladicí kapaliny. Proto se musí provádět korekce předstihu závislá na teplotě. Tyto korekce předstihu jsou uloženy jako konstanty nebo charakteristiky (např. korekce závislá na teplotě) v datové paměti. Posouvají základní předstih o předdefinovanou hodnotu. Korekce předstihu může spočívat v jeho zvětšení nebo jeho zmenšení.

### **Zvláštní předstihy**

Některé provozní režimy, např. volnoběh nebo decelerační odpojení, vyžadují předstih odlišný od charakteristiky předstihu. K tomu jsou v datové paměti uloženy zvláštní charakteristiky předstihu, které se použijí pouze ve zvláštních režimech.

### **Regulace klepání**

Klepání je jev, který se vyskytuje při příliš velkém předstihu. Přitom dochází po zahájení regulérního spalování následkem vysokého vzrůstu tlaku ve spalovacím prostoru k samovolnému vznícení nespálené zbylé směsi, ke které dosud nedospělo čelo plamene. Následné prudce probíhající tzv. detonační spalování zbylé směsi vede lokálně k vysokému nárůstu tlaku. Tlaková vlna tím vytvořená se šíří, narazí na stěny. Při déle trvajícím klepání mohou tlakové vlny a zvýšené tepelné zatížení způsobit mechanické poškození motoru. Aby se tomu u dnešních motorů pracujících s vysokou kompresí spolehlivě předešlo, a to jak u vstřikování do sacího potrubí tak i u přímého vstřikování benzínu, patří regulace klepání ke standardním součástem řízení motoru. Náznaky klepání rozpoznané snímači klepání pak vedou ke zmenšení předstihu pouze na příslušném válci. Aby bylo dosaženo co nejvyšší účinnosti motoru, je možné základní přizpůsobení předstihu (v charakteristice předstihu) stanovit přesně na hranici klepání. [2]

U motorů s přímým vstřikováním benzínu se klepání vyskytuje jen při homogenním provozu. Za provozu s vrstveným plněním nemá motor ke klepání sklon, protože při vrstveném plnění se v okrajových zónách spalovacího prostoru nenachází žádná hořlavá směs.

### **Úhel sepnutí**

Energie uložená v zapalovací cívce závisí na době sepnutí zapalovací cívky. Čas, který je potřebný k vytvoření potřebné energie v zapalovací cívce, musí být přesně dodržen, aby zapalovací cívka nebyla tepelně přetížena. Úhel sepnutí, který je vztažen k poloze klikového hřídele, je proto závislý na otáčkách.

Proud protékající zapalovací cívkou závisí na napětí akumulátoru. Proto se při výpočtu úhlu sepnutí musí zohlednit také napětí akumulátoru. Tyto hodnoty pro předstih jsou uloženy v charakteristice, nanejvýš osách jsou vyneseny napětí akumulátoru a otáčky.

### **Použitá literatura**

[1] ROBERT BOSCH GmbH, Řízení zážehového motoru – Základy a komponenty, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 2002.

[2] ROBERT BOSCH GmbH, Řízení zážehového motoru – Zapalování, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 1999.



## 4. Systémy řízení plnění

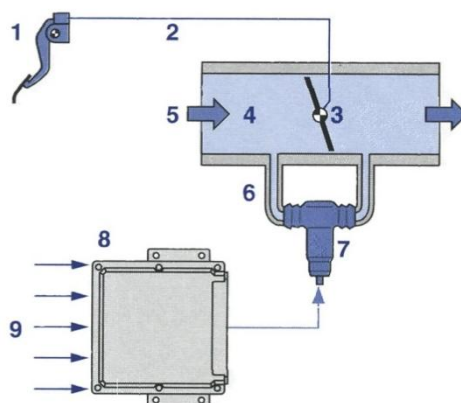
U zážehového motoru pracujícího s homogenním plněním je hmotnost přiváděného vzduchu rozhodující veličinou pro vyvíjený točivý moment a tím pro výkon. Proto mají kromě odměřování paliva velký význam také systémy, které ovlivňují plnění válců. Některé ze systémů mohou ovlivňovat i podíl inertních plynů náplně válců a tím následné složení spalin.

### 4.1 Řízení plnění válců vzduchem

Pro spalování paliva je potřebný kyslík, který motor odebírá z nasávaného vzduchu. U motorů s vnější tvorbou směsi (vstřikování do sacího potrubí) a také u motorů s přímým vstřikováním benzínu v homogenním provozu s poměrem vzduchu a paliva  $\lambda = 1$  je vyvíjený točivý moment přímo závislý na hmotnosti přiváděného vzduchu. Škrticí klapka, která se nachází v sacím traktu, řídí proud vzduchu nasávaný motorem a tím plnění válců. [1]

#### Tradiční systémy

U tradičních systémů (Obrázek 9) je škrticí klapka (Poz. 3) ovládána mechanicky. Lanovod nebo táhlo (Poz. 2) přenáší pohyby pedálu akcelerace (Poz. 1) na škrticí klapku. Proměnný úhel nastavení škrticí klapky ovlivňuje průtočný průřez sacího kanálu (Poz. 4) a řídí tak proud vzduchu (Poz. 5) nasávaný motorem a tím vyvíjený točivý moment.



Obrázek 9 Princip řízení množství vzduchu pomocí mechanicky nastavitelné škrticí klapky a obtokového ventilu regulace volnoběhu

1	Pedál akcelerace	6	Proud vzduchu obtokem
2	Lanovod, popř. táhlo	7	Obtokový ventil regulace volnoběhu
3	Škrticí klapka	8	Řídicí jednotka
4	Sací kanál	9	Vstupní elektrické signály
5	Nasávaný proud vzduchu		

Studený motor potřebuje větší množství vzduchu a více paliva, aby vyrovnal vyšší třecí moment. Také při zapnutí např. kompresoru klimatizace je potřebné větší množství vzduchu k vyrovnání ztrátového momentu. Tyto informace se přivádí do řídicí jednotky (Poz. 8) jako elektrické signály (Poz. 9). Zvýšená potřeba vzduchu je pokryta tak, že obtokový ventil regulace volnoběhu (Poz. 7) přivádí ke škrticí klapce další proud vzduchu z obtoku (Poz. 6) nebo že nastavovač škrticí klapky změnil minimální doraz škrticí klapky. V obou případech lze však proud vzduchu potřebný pro motor ovlivňovat elektronicky jen v omezeném rozsahu, například pro regulaci volnoběhu.

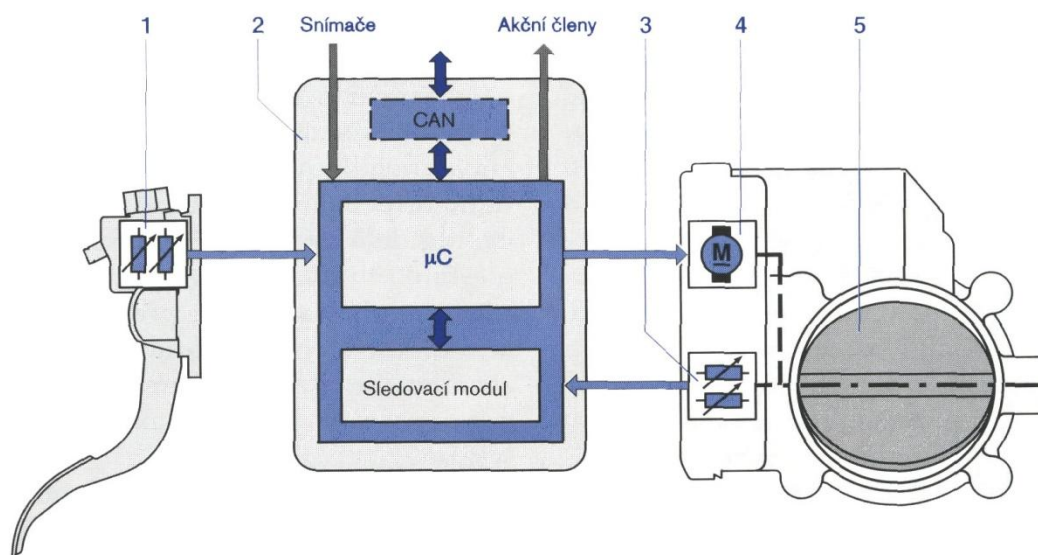
## Systémy s elektronickým pedálem akcelerace

U elektronického řízení výkonu motoru (elektronický pedál akcelerace) přebírá elektronická řídicí jednotka (Obrázek 10, Poz. 2) řízení škrticí klapky. Škrticí klapka spolu s pohonem škrticí klapky (Poz. 4) (stejnoseměrným motorem) a snímačem natočení škrticí klapky (Poz. 3) je sdružena jako jediná jednotka. Označuje se jako škrticí jednotka. K řízení škrticí jednotky se poloha pedálu akcelerace snímá pomocí dvou protiběžných potenciometrů (snímač polohy pedálu, Poz. 1). Potřebné otevření škrticí klapky odpovídající přání řidiče je při zohlednění aktuálního provozního režimu motoru (otáčky motoru, teplota motoru apod.) vypočítáno řídicí jednotkou a převedeno na signály pro ovládání škrticí klapky. Snímač úhlu škrticí klapky hlásí zpět do řídicí jednotky aktuální polohu škrticí klapky a umožňuje tak přesné dodržení její požadované polohy.

Potenciometry na pedálu akcelerace a škrticí jednotce, které jsou z důvodu zálohování zdvojeny, jsou součástí koncepce kontroly elektronického pedálu akcelerace. V případě, že je zjištěna porucha v části systému ovlivňující výkon, škrticí klapka zaujme definovanou polohu (nouzový provoz).

V současných systémech řízení motoru je řízení elektronického plynu akcelerace integrováno do řídicí jednotky motoru, která řídí zapalování, vstřikování a další funkce. Speciální řídicí jednotka elektronického pedálu akcelerace tak odpadla.

Elektronický pedál akcelerace umožňuje dosáhnout lepšího složení směsi a tak vyhovět přísným požadavkům zákonů týkajících se emisí spalin. Ke splnění všech požadavků, které přímé vstřikování benzínu klade na celý systém, je elektronický pedál akcelerace nezbytný.



Obrázek 10 Systém elektronického pedálu akcelerace

1	Snímač pedálu akcelerace	4	Pohon škrticí klapky
2	Řídicí jednotka motoru	5	Škrticí klapka
3	Snímač úhlu natočení škrticí klapky		

## Variabilní časování ventilů

Kromě škrcení proudu čerstvého vzduchu nasávaného motorem pomocí škrticí klapky existují další možnosti k ovlivňování plnění válců. Variabilním časováním ventilu je možné ovlivňovat jak podíl čerstvé směsi, tak i podíl zbytkových plynů.

Pro časování ventilů má význam, že se chování sloupců plynů proudících do válců a z válců výrazně mění např. v závislosti na otáčkách nebo otevření škrticí klapky. Při pevném časování ventilů lze tak výměnu náplně optimálně přizpůsobovat jen v určitém pracovním rozsahu. Variabilní časování ventilů umožňuje přizpůsobení různým otáčkám a náplním válců. Z toho

vyplývají následující výhody:

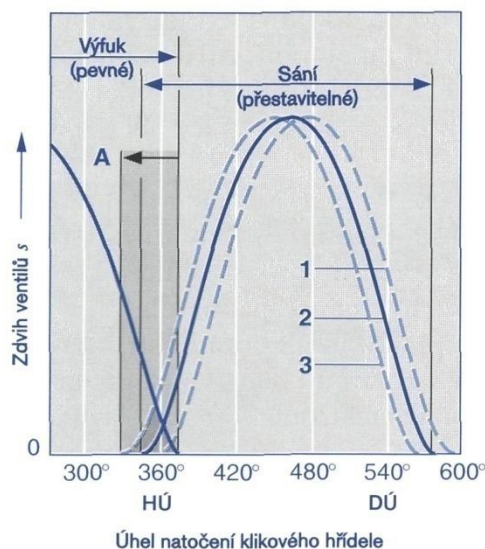
- vyšší výkon,
- výhodnější průběh točivého momentu ve větším rozsahu otáček,
- snížení emisí škodlivých látek,
- nižší spotřeba paliva,
- snížení hlučnosti motoru.

### Přestavení fáze vačkových hřídelů

V běžném motoru jsou klikový hřídel a vačkový hřídel vzájemně pevně svázány ozubeným řemenem nebo řetězem.

U motorů s přestavením fáze vačkových hřídelů je alespoň vačkový hřídel sacích ventilů, ale stále více i hřídel výfukových ventilů, přestavitelný vůči klikovému hřídeli. Přestavením fáze vačkových hřídelů lze tedy měnit překrytí otevření ventilů. Doba otevření ventilů a zdvih ventilů však nejsou přestavením fáze vačkových hřídelů ovlivněny. To znamená, že okamžiky „otevření sání“ a „zavření sání“ jsou vzájemně pevně svázány.

Přestavení vačkových hřídelů je možné pomocí elektrických nebo elektrohydraulických nastavovačů. Jednoduché řídicí systémy umožňují přestavení jen mezi dvěma různými polohami. Variabilní řízení vačkového hřídele umožňuje v těchto oblastech plynulé pootáčení vačkových hřídelů vůči klikovému hřídeli.



Obrázek 11 Graf přestavení vačkového hřídele sacích ventilů

1	Přestavení směrem k „později“	3	Přestavení směrem k „dříve“
2	Normálně	A	Překrytí ventilů

Na obrázku 11 je vidět, jak se mění „poloha“, příp. zdvih otevřeného sacího ventilu (vztaženo k horní úvratí), když je přestaven vačkový hřídel sacích ventilů.

### Přestavení vačkového hřídele sacích ventilů směrem k „později“

Přestavení vačkového hřídele sacích ventilů směrem k „později“ vede k pozdějšímu otevření sacího ventilu a tím k menšímu nebo žádnému překrytí ventilů. Tím je v oblasti nižších otáček ( $< 2000 \text{ min}^{-1}$ ) sníženo zpětné proudění spalin sacím ventilem do sacího potrubí. Nižší podíl zbytkových plynů v následně nasáté směsi vede při nižších otáčkách k lepšímu průběhu spalování a ke klidnějšímu volnoběhu. Volnoběžné otáčky lze proto snížit, což se obzvláště příznivě projeví na spotřebě paliva.

Při vysokých otáčkách ( $> 5000 \text{ min}^{-1}$ ) je vačkový hřídel rovněž přestaven směrem

k „později“. Pozdním zavřením sacího ventilu daleko za DÚ je docíleno vyššího maximálního plnění. K tomuto efektu dodatečného plnění dochází díky vysoké rychlosti proudění čerstvé směsi sacím ventilem. Čerstvá směs proudí ještě i v době, kdy se píst pohybuje opět nahoru a směs je stlačována. Sací ventil se proto zavře teprve daleko za dolní úvratí (DÚ).

### **Přestavení vačkového hřídele sacích ventilů směrem k „dříve“**

V oblasti středních otáček je rychlost proudění čerstvé směsi sacím ventilem malá. K efektu dodatečného plnění, který se vyskytuje při vysokých otáčkách, zde nedochází. Včasné zavření sacího ventilu již krátce za DÚ zabrání při středních otáčkách, aby píst pohybující se vzhůru vytlačoval sacím ventilem nasátou čerstvou směs opět do sacího potrubí. Přestavení vačkového hřídele sacích ventilů směrem k „dříve“ tak zajišťuje co nejlepší plnění a tím dobrý průběh točivého momentu.

Přestavení vačkového hřídele sacích ventilů směrem k „dříve“ způsobuje větší překrytí ventilů. Brzké otevření sacího ventilu vede k tomu, že píst pohybující se nahoru vytlačuje krátce před horní úvratí (HÚ) spaliny, které nebyly dosud zcela vytlačeny výfukovým ventilem, otevřeným sacím ventilem do sacího potrubí. Tyto spaliny jsou následně opět nasáty a zvyšují podíl zbytkových plynů na náplni válce. Podíl zbytkových plynů v nasávané směsi, zvýšený přestavením vačkového hřídele sacích ventilů směrem k „dříve“ (vnitřní recirkulace spalin), ovlivňuje spalování a redukuje díky nižším maximálním teplotám tvorbu  $\text{NO}_x$ .

Vyšší podíl inertních plynů v náplni válce vyžaduje větší průtočný průřez škrticí klapky. Tím se snižují ztráty skrčením. Proto lze překrytím ventilů dosáhnout i snížení spotřeby paliva.

### **Přestavení vačkového hřídele výfukových ventilů**

U systémů, které mohou přestavovat také vačkový hřídel výfukových ventilů, je možné měnit podíl zbytkových plynů nejen přestavením vačkového hřídele sacích ventilů, ale také přestavením vačkového hřídele výfukových ventilů. Tak lze celkovou náplň (určenou zavřením sání) a podíl zbytkových plynů (ovlivňovaný otevřením sání a zavřením výfuku) řídit nezávisle na sobě.

### **Přepínání vačkového hřídele**

Při přepínání vačkového hřídele se přepíná mezi dvěma odlišnými tvary vaček. Tím se mění jak zdvih tak i časování ventilů. První vačka udává optimální časování a zdvihy sacích a výfukových ventilů pro dolní a střední rozsah otáček. Další vačka určuje vyšší zdvihy ventilů a delší doby otevření ventilů pro vysoké otáčky.

V oblasti nízkých a středních otáček zajišťují malé zdvihy ventilů a s tím spojený malý průtočný průřez vysokou rychlost proudění a tím lepší províření čerstvého vzduchu (u přímého vstřikování benzínu), příp. směsi paliva se vzduchem (při vstřikování do sacího potrubí) ve válci. Tím je při částečném zatížení zajištěna velmi dobrá příprava směsi. Při vysokých otáčkách a vysokém požadovaném točivém momentu (při plném zatížení) je kvůli požadovanému vysokému výkonu motoru potřebné maximální plnění. K tomu je nastaven velký zdvih ventilů.

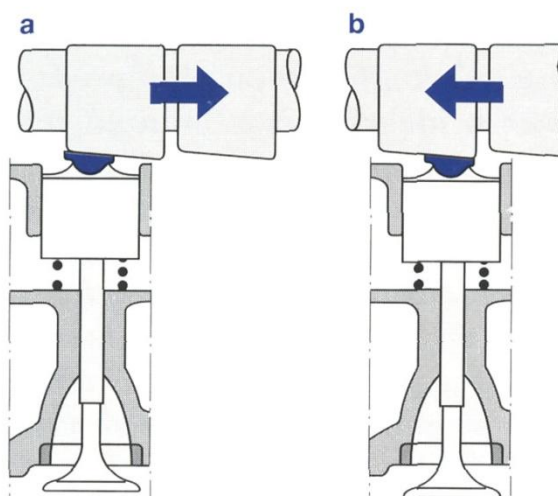
Přepnutí na různé tvary vaček je dosaženo např. tím, že přídatná vačka je v závislosti na otáčkách zapnuta navázáním dosud volně kmitajícího posuvného vahadla na standardní kyvné vahadlo. Další možnost přepínání nabízí spínané hrníčkové zdvihátko ventilu.

### **Plně variabilní řízení ventilů s vačkovým hřídelem**

Řízení ventilů, při kterém lze měnit jak zdvih ventilů tak i časování ventilů, se označuje jako plně variabilní. Prostorové profily vaček a např. podélně posuvný vačkový hřídel umožňují ještě větší volnost při řízení motoru (Obrázek 12). Při tomto řízení vačkových hřídelů lze plynule přestavovat jak zdvihy ventilů (jen na straně sání) a tím úhel otevření ventilů, tak i fázovou polohu mezi vačkovým a klikovým hřídelem.

Plně variabilní řízení vačkového hřídele umožňuje včasným zavřením sacího ventilu řízení

zatížení, při kterém lze výrazně snížit skrčení sacího potrubí. Tak lze spotřebu paliva oproti jednoduchému přestavení fáze vačkových hřídelů ještě dále snížit.



Obrázek 12 Příklad systému s plynulou změnou časování a zdvihu ventilů

a Minimální zdvih                      b Maximální zdvih

### Plně variabilní řízení ventilů bez vačkového hřídele

Největší volnost při řízení ventilů a největší potenciál pro snížení spotřeby nabízí systémy s řízením ventilů bez vačkového hřídele. Při tomto řízení ventilů jsou ventily řízeny např. elektromagnetickými nastavovači. Řízení zajišťuje další řídicí jednotka. Cílem tohoto plně variabilního pohonu ventilů bez vačkového hřídele je co nejvíce snížit skrčení sacího potrubí a tím snížit ztráty způsobené výměnou náplně válců. Dalšího snížení spotřeby lze dosáhnout vypínáním ventilů a válců.

Tyto plně variabilní systémy umožňují navíc nejvýhodnější možné plnění a tím maximální točivý moment jakož i lepší přípravu směsi a s tím spojené nižší koncentrace škodlivých látek ve spalínách.

## 4.2 Recirkulace spalín

Množství zbytkových plynů zůstávajících ve válci, a tím podíl inertních plynů v náplni válce, lze ovlivňovat variabilním časováním. V tomto případě se hovoří o „vnitřní“ recirkulaci spalín. Většího ovlivňování podílu inertních plynů je možné dosáhnout „vnější“ recirkulací spalín, při které se již vytlačené plyny přivádí potrubím zpět k sacímu potrubí (Obrázek 13, Poz. 3). Systém recirkulace spalín snižuje emise oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ) a spotřebu paliva. [1, 2]

### Omezení emisí $\text{NO}_x$

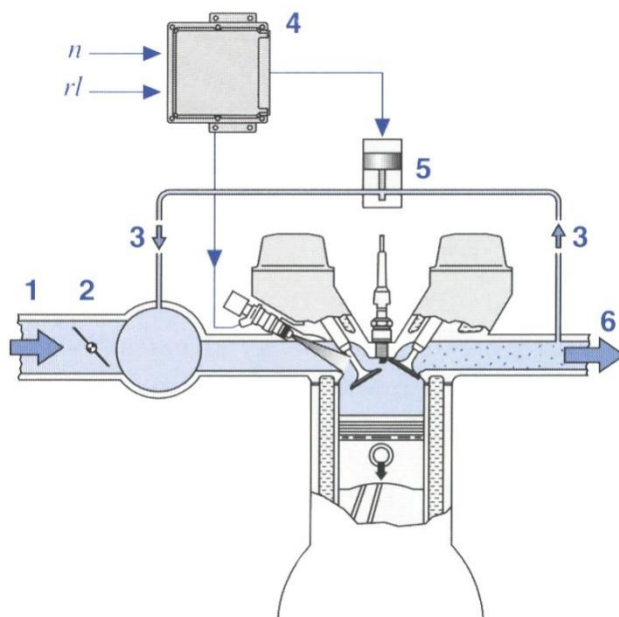
Recirkulace spalín je účinným prostředkem ke snížení emisí oxidů dusíku. Smísením již spálených plynů se směsí paliva a vzduchu se sníží maximální teplota spalování. Toto opatření velmi výrazně redukuje teplotně závislé emise oxidů dusíku.

### Snížení spotřeby paliva

S recirkulací spalín se zvětší celkové plnění při zachování stávajícího plnění čerstvou směsí. Proto musí být motor méně škrcen škrticí klapkou (Poz. 2), aby bylo dosaženo určitého točivého momentu. Důsledkem je nižší spotřeba paliva.

### Způsob činnosti recirkulace spalin

Řídicí jednotka motoru (Poz. 4) řídí v závislosti na pracovním režimu motoru elektricky ovládaný ventil recirkulace spalin (Poz. 5) a určuje tak jeho průtočný průřez. Přes tento průřez se ze spalin (Poz. 6) odeberá dílčí proud (Poz. 3) a přivádí se do nasávaného čerstvého vzduchu (Poz. 1). Tím je stanoven podíl spalin na náplni válce.



Obrázek 13 Systém recirkulace spalin

1	Nasávaný čerstvý vzduch	5	Ventil recirkulace spalin (AGR ventil)
2	Škrticí klapka	6	Spaliny
3	Zpětně přiváděné spaliny	<i>n</i>	Otáčky
4	Řídicí jednotka motoru	<i>rl</i>	Relativní plnění vzduchem

### Recirkulace spalin u přímého vstřikování benzínu

Také u motorů s přímým vstřikováním benzínu se recirkulace spalin používá ke snížení spotřeby a snížení emisí  $\text{NO}_x$ . Je dokonce nezbytná, protože s ní mohou být emise  $\text{NO}_x$  v pracovních režimech s chudou směsí tak sníženy, že je možné redukovat další opatření k dodatečnému čištění spalin (např. provoz s bohatou směsí pro „vyplavení“  $\text{NO}_x$  ze zásobníkového katalyzátoru  $\text{NO}_x$ ). To se pozitivně projevuje na spotřebě paliva.

Aby bylo možné nasávat spaliny přes recirkulační ventil, musí být mezi sacím a výfukovým potrubím tlakový spád. Motory s přímým vstřikováním pracují ale i v oblasti částečného zatížení téměř bez skrčení. Mimo to se při provozu s chudou směsí přivádí menší množství kyslíku přes recirkulační ventil do sacího potrubí.

Neškrcený provoz a přivádění kyslíku přes recirkulační ventil do sacího potrubí proto vyžadují strategii řízení, která koordinuje jak škrticí klapku, tak i recirkulační ventil. Z toho vyplývají zvýšené požadavky na systém recirkulace spalin. Musí pracovat přesně a spolehlivě, a musí být robustní oproti usazeninám, které se kvůli nižší teplotě spalin usazují v částech vedoucích spaliny.

### 4.3 Dynamické přeplňování

Dosažitelný točivý moment motoru je téměř úměrný podílu čerstvé směsi na náplni motoru. Proto lze maximální točivý moment v určitých mezích zvýšit tím, že se vzduch před vstupem do válce stlačí. [1, 3]

Výměna obsahu válců není ovlivňována jen časováním, ale také sacím a výfukovým potrubím. Působením sací prací pístu, vyvolává otevřený sací ventil zpětnou tlakovou vlnu. Na otevřeném konci sacího potrubí dospěje tlaková vlna ke klidnému okolnímu vzduchu, odrazí se a postupuje zpět směrem k sacímu ventilu. Takto vzniklé tlakové pulsace na sacím ventilu lze využít ke zvětšení náplně čerstvé směsi a tím ke zvětšení maximálního točivého momentu. Tento efekt přeplňování je tedy založen na využití dynamiky nasávaného vzduchu. Dynamické efekty v sacím potrubí závisí na geometrických poměrech v sacím potrubí, ale také na otáčkách motoru.

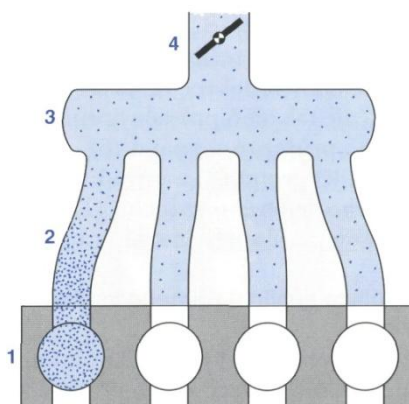
Sací potrubí pro karburátorové motory a systémy centrálního vstřikování vyžadují k rovnoměrnému rozdělení směsi paliva se vzduchem krátkou a pro každý válec pokud možno stejně dlouhou jednotlivou trubku. U systémů vícebodového vstřikování se palivo vstřikuje krátce před sacím ventilem do sacího potrubí (vstřikování do sacího potrubí) nebo přímo do spalovacího prostoru (přímé vstřikování benzínu). Sací potrubí zde dopravuje v podstatě jen vzduch. To nabízí četné možnosti při tvarování sacího potrubí, protože se v něm nemůže srážet prakticky žádné palivo. Proto se u systémů vícebodového vstřikování nevyskytují problémy s nerovnoměrným rozdělením paliva.

#### Rezonanční přeplňování s jednotlivými trubkami pro každý válec

Sací potrubí pro systémy vícebodového vstřikování se skládá z jednotlivých rezonančních trubic a sběrné komory.

Při rezonančním přeplňování s jednotlivými trubkami pro každý válec (Obrázek 14) má každý válec samostatnou rezonanční trubku (Poz. 2) určité délky, která je většinou připojena ke sběrné komoře (Poz. 3). V těchto rezonančních trubkách se mohou tlakové vlny šířit nezávisle na sobě.

Efekt přeplňování je závislý na geometrii sacího potrubí a otáčkách motoru. Délky a průměry jednotlivých rezonančních trubic jsou proto tak sladěny s časováním ventilů, aby v požadovaném rozsahu otáček tlaková vlna odražená na konci rezonanční trubky probíhala otevřeným sacím ventilem válce (Poz. 1) a tak umožňovala lepší plnění. Dlouhé, tenké rezonanční trubky způsobují vysoký efekt přeplňování při nízkých otáčkách. Krátké, široké rezonanční trubky se příznivě odrážejí na průběhu točivého momentu v horní oblasti otáček.



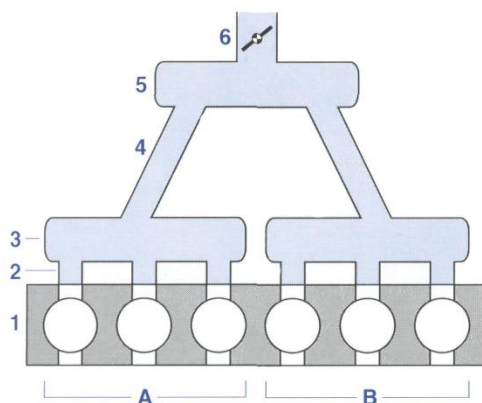
Obrázek 14 Princip rezonančního přeplňování s jednotlivými trubkami pro každý válec

1	Válec	3	Sběrná komora
2	Jednotlivá rezonanční trubka	4	Škrticí klapka

## Rezonanční přeplňování s rezonanční soustavou pro více válců

Při určitých otáčkách motoru přejdou kmity plynů v sacím potrubí, vyvolávané periodickými pohyby pístů, do rezonance. To vede k dalšímu nárůstu tlaku a k dalšímu efektu přeplňování.

U rezonančních systémů sacího potrubí s rezonanční soustavou pro více válců (Obrázek 15) jsou skupiny válců (Poz. 1) se stejnými intervaly zapalování pomocí krátkých rezonančních trubek (Poz. 2) propojeny vždy s jednou rezonanční komorou (Poz. 3). Tyto komory jsou dlouhými rezonančními sacími trubkami (Poz. 4) propojeny s atmosférou, příp. sběrnou komorou (Poz. 5) a působí jako Helmholtzovy rezonátory. Rozdělení do dvou skupin



Obrázek 15 Princip rezonančního přeplňování s rezonanční soustavou pro více válců

1	Válců	5	Sběrná komora
2	Krátká rezonanční trubka	6	Škrticí klapka
3	Rezonanční komora	A	Skupina válců A
4	Dlouhá rezonanční trubka	B	Skupina válců B

válců s dvěma dlouhými rezonančními trubkami, brání překrývání se proudění ze dvou válců sousedících v pořadí zapalování.

Rozsah otáček, ve kterém má být efekt přeplňování způsobený rezonancí velký, určuje délku dlouhých rezonančních trubek a velikost rezonančních komor. Velké objemy vzduchu v komorách, které jsou zčásti potřebné, mohou ale svým paměťovým působením způsobovat při rychlých změnách zatížení chyby dynamiky.

## Proměnlivá geometrie sacího potrubí

Dodatečné plnění motoru zajišťované přeplňováním závisí na pracovním režimu motoru. Oba systémy popsané výše, zvyšují maximální dosažitelnou náplň (míru plnění) především v oblasti nízkých otáček.

Téměř ideální průběh točivého momentu umožňuje proměnlivá geometrie sacího potrubí (spínané sací systémy), u kterých jsou například pomocí klapek v závislosti na pracovním režimu motoru možná různá nastavení:

- Nastavení délky rezonančních sacích trubek,
- Přepnutí mezi různými délkami nebo různými průměry rezonančních sacích trubek,
- Volitelné odpojení jedné sací trubky u systémů s více rezonančními sacími trubkami pro jeden válec,
- Přepnutí mezi různými objemy komor.

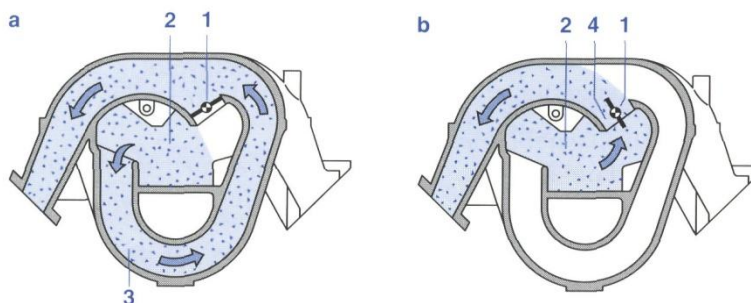
K přepínání spínaných sacích systémů slouží např. elektricky nebo elektropneumaticky ovládané klapky.

## Systémy se změnou délky sacího potrubí

U systému sacího potrubí znázorněného na obrázku 16 lze přepínat mezi dvěma různými



rezonančními sacími trubkami. V oblasti nízkých otáček je přepínací klapka (Poz. 1) uzavřena a nasávaný vzduch proudí k válcům dlouhou rezonanční sací trubkou (Poz. 3). Při vysokých otáčkách a otevřené přepínací klapce prochází nasávaný vzduch kratší, širší sací trubkou (Poz. 4). Tím je umožněno lepší plnění válců v oblasti vysokých otáček.



Obrázek 16 Rezonanční systém sacího potrubí

a	Geometrie sacího potrubí při zavřené klapce	2	Sběrná komora
b	Geometrie sacího potrubí při otevřené klapce	3	Dlouhé, tenké potrubí při zavřené klapce
1	Přepínací klapka	4	Krátké, široké potrubí při otevřené klapce

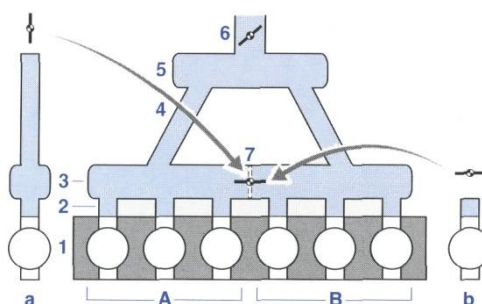
### Rezonanční systémy sacího potrubí

Otevřením rezonanční klapky je připojena druhá rezonanční trubka. Proměnlivá geometrie rezonanční trubky ovlivňuje vlastní frekvenci sací soustavy. Větší účinný objem dodatečně připojené rezonanční sací trubky zlepšuje plnění v oblasti nízkých otáček.

### Přepínatelný rezonanční systém sacího potrubí

Přepínatelný rezonanční systém sacího potrubí vznikne, když otevřená přepínací klapka (Obrázek 17, Poz. 7) může propojit obě rezonanční komory (Poz. 3) do jediného objemu. Pak vznikne jeden sběrač vzduchu pro krátké rezonanční sací trubky (Poz. 2) s vysokou vlastní frekvencí.

Při nízkých a středních otáčkách je přepínací klapka zavřena. Systém pracuje jako rezonanční systém sacího potrubí. Nízká vlastní frekvence je pak určena dlouhou rezonanční sací trubkou.



Obrázek 17 Přepínatelný rezonanční systém sacího potrubí

a	Poměry v sacím potrubí při zavřené klapce	5	Sběrná komora
b	Poměry v sacím potrubí při otevřené klapce	6	Škrticí klapka
1	Válec	7	Přepínací klapka
2	Krátká rezonanční sací trubka	A	Skupina válců A
3	Rezonanční komora	B	Skupina válců B
4	Dlouhá rezonanční sací trubka		

## 4.4 Mechanické přepřňování

### Uspořádnání a způsob činnosti

Většího plnění válců a tím zvýšení točivého momentu lze dosáhnout použitím přepřňovacích zařízení. U mechanického přepřňování je dmychadlo poháněno přímo spalovacím motorem. Mechanicky poháněná dmychadla existují jako výtlačná dmychadla v různém provedení (např. Rootsovo dmychadlo, lopatkové dmychadlo, spirální dmychadlo, šroubové dmychadlo), nebo jako proudová dmychadla (např. odstředivý kompresor). Zpravidla jsou otáčky motoru a dmychadla vzájemně pevně svázány např. pomocí řemenového pohonu. [1]

### Řízení plnicího tlaku

Plnicí tlak lze u mechanicky poháněného dmychadla řídit obtokem. Část stlačeného vzduchu je vedena do válců a určuje plnění, část proudí obtokem zpět k sací straně. Obtokový ventil je ovládán systémem řízení motoru.

### Výhody a nevýhody

Přímým svázáním dmychadla a klikového hřídele je mechanické dmychadlo při zvýšení otáček okamžitě zrychlováno. Z toho vyplývá v porovnání s turbodmychadlem poháněným výfukovými plyny vyšší točivý moment a lepší odezvy v dynamickém provozu.

Protože však výkon potřebný k pohonu dmychadla není k dispozici jako efektivní výkon motoru, stojí proti této výhodě, v porovnání s turbodmychadlem poháněným výfukovými plyny, o něco vyšší spotřeba. Tato nevýhoda je zmírněna, pokud může být dmychadlo při nízkém zatížení motoru odpojeno spojkou ovládanou řízením motoru.

## 4.5 Přepřňování s využitím energie výfukových plynů

Ze známých metod přepřňování spalovacích motorů je přepřňování s využitím energie výfukových plynů nejrozšířenější. Přepřňování s využitím energie výfukových plynů umožňuje již u motorů s malým zdvihovým objemem vysoké točivé momenty a výkony při dobré účinnosti motoru. [1]

Jestliže se přepřňování s využitím energie výfukových plynů před několika lety používalo především ke zvýšení měrného výkonu motoru (v kW na 1 kg hmotnosti motoru), dnes se stále více používá ke zvýšení maximálního točivého momentu při nízkých a středních otáčkách. To platí obzvlášť při spojení s elektronickou regulací plnicího tlaku.

### Uspořádnání a způsob činnosti

Hlavní součásti turbodmychadla poháněného výfukovými plyny (Obrázek 18) jsou turbína poháněná výfukovými plyny (Poz. 3) a dmychadlo (Poz. 1), jejichž kola jsou upevněna na společném hřídeli (Poz. 2).

Energie k pohonu turbíny se z velké části odebírá z výfukových plynů. Přitom se využívá energie, která je obsažena v horkých a stlačených výfukových plynech. Na druhou stranu se ovšem musí vynakládat energie i k většímu vzednutí výfukových plynů opouštějících motor a tím k získání potřebného výkonu dmychadla.

Horké výfukové plyny proudí radiálně na turbínu a uvádí ji do rychlého otáčivého pohybu. Dovnitř natočené lopatky turbínového kola svádí plyny ke středu, kde pak axiálně opět vystupují.

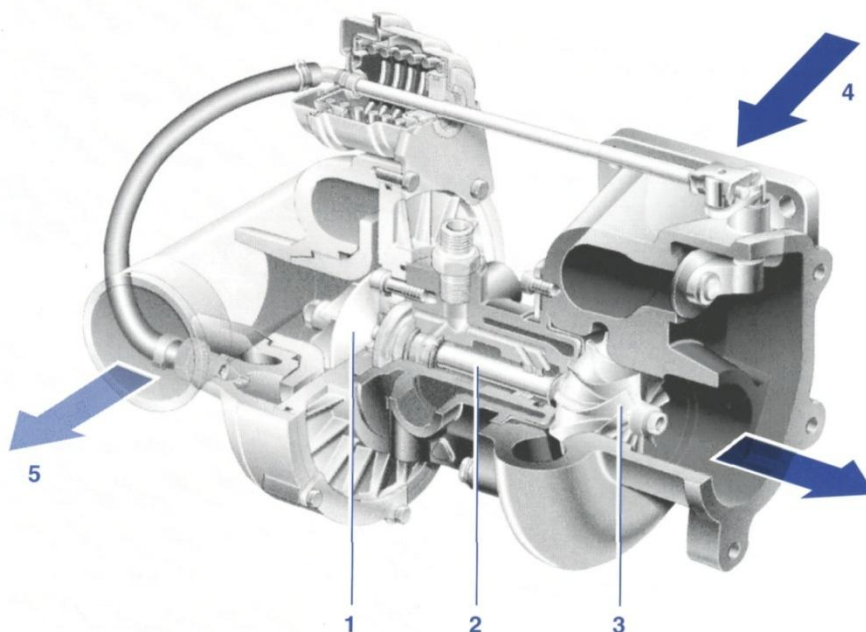
V dmychadlu umístěném na stejném hřídeli jsou poměry proudění opačné. Čerstvý vzduch vstupuje axiálně uprostřed dmychadla a je lopatkami radiálně odstředován ven a přitom stlačován.

Turbodmychadlo je umístěno ve výfukovém potrubí. Musí být proto vyrobeno z materiálů odolávajících vysokým teplotám.

## Druhy turbodmychadel poháněných výfukovými plyny

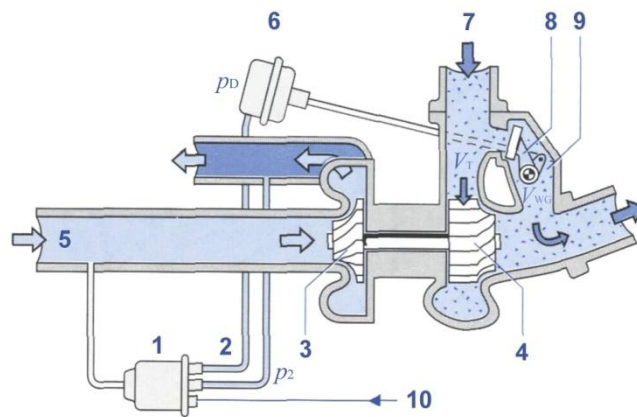
### Turbodmychadlo s obtokovým ventilem (wastegate)

Motory by měly dosahovat již při nízkých otáčkách vysokého točivého momentu. Aby při větších proudech výfukových plynů nepřetěžovalo turbodmychadlo motor, musí se v této pracovní oblasti část plynů vést přes obtokový ventil (wastegate) (Obrázek 19, Poz. 8) kolem turbíny do výfukového systému. Obvykle je tento obtokový ventil integrován jako klapka do tělesa turbíny. Obtokový ventil je ovládán ventilem regulace plnicího tlaku (Poz. 6). Tento ventil je řídicím vedením (Poz. 2) pneumaticky spojen s taktovacím ventilem (Poz. 1), který je řízen v závislosti na plnicím tlaku elektrickým signálem z řídicí jednotky a ovlivňuje plnicí tlak. Snímač plnicího tlaku dodává informaci o aktuálním plnicím tlaku. Při příliš nízkém plnicím tlaku je taktovací ventil aktivován tak, aby byl v řídicím vedení nízký tlak. Ventil regulace plnicího tlaku zavře obtokový ventil a vyšší podíl výfukových plynů pohání turbínu. Při příliš vysokém plnicím tlaku je taktovací ventil aktivován tak, aby v řídicím vedení byl vyšší tlak. Ventil regulace plnicího tlaku otevře obtokový ventil a podíl výfukových plynů protékajících turbínou se sníží.



Obrázek 18 Řez turbodmychadlem poháněným výfukovými plyny

1	Kolo dmychadla	4	Vstup výfukových plynů
2	Hřídél	5	Výstup stlačeného vzduchu
3	Turbína poháněná výfukovými plyny		



Obrázek 19 Uspořádání turbodmychadla poháněného výfukovými plyny

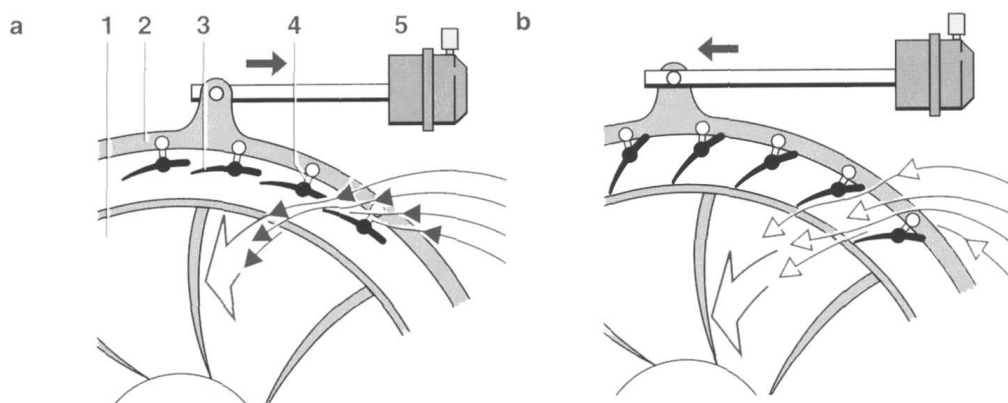
1	Taktovací ventil	8	Obtokový ventil
2	Pneumatické řídicí vedení	9	Obtokový kanál
3	Dmychadlo	10	Řídicí signál pro taktovací ventil
4	Turbína poháněná výfukovými plyny	$V_T$	Objemový proud turbínou
5	Nasávaný čerstvý vzduch	$V_{WG}$	Objemový proud obtokovým vent.
6	Ventil regulace plicního tlaku	$p_2$	Plnicí tlak
7	Výfukové plyny	$p_D$	Tlak na membráně

### Turbodmychadlo s proměnnou geometrií turbíny

Turbíny s proměnnou geometrií nabízí další možnost k omezení množství výfukových plynů při vysokých otáčkách (Obrázek 20). Turbodmychadlo s proměnnou geometrií turbíny je běžně používáno u vznětových motorů. U zážehových motorů se ještě nedokázalo prosadit, mimo jiné kvůli vysokému tepelnému zatížení horkými spalinami. Seřiditelné vodící lopatky (Poz. 3) přizpůsobují změnou geometrie průtočný průřez a tím tlak vznikající na turbíně tak, aby bylo dosaženo požadovaného plicního tlaku. Při nízkých otáčkách ponechají volný malý průtočný průřez, takže proud spalin dosahuje v turbíně vysoké rychlosti a roztočí turbínu na vysoké otáčky (Obrázek 20a).

Při vysokých otáčkách motoru ponechají vodící lopatky volný velký průtočný průřez, kterým může proudit velké množství spalin, aniž je turbína zrychlena na příliš vysoké otáčky (Obrázek 20b). Plnicí tlak je tak omezen.

Otáčivým pohybem přestavovacího kroužku (Poz. 2) lze jednoduše nastavovat úhel natočení vodících lopatek. Vodící lopatky jsou přitom na požadovaný úhel nastavovány buď přímo pomocí nastavovacích pák upevněných k vodícím lopatkám nebo pomocí přestavovací vačky. Otáčení přestavovacího kroužku je prováděno pneumaticky pomocí přestavovače (Poz. 5) podtlakem a přetlakem. Tento přestavovací mechanismus je řízen řídicí jednotkou motoru. Plnicí tlak lze tak nastavit v závislosti na pracovním režimu motoru na nejvýhodnější možnou hodnotu.

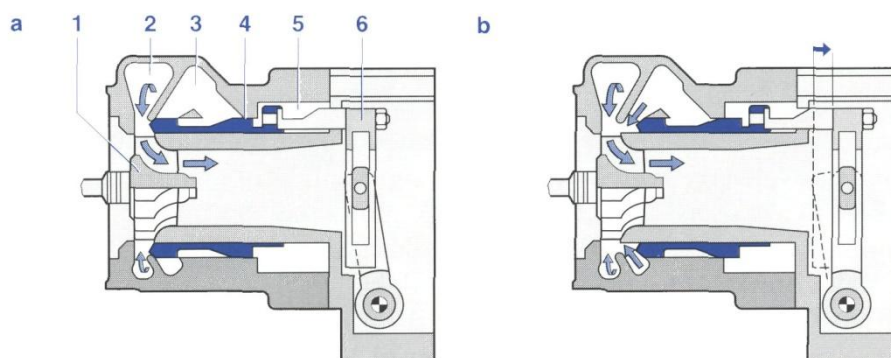


Obrázek 20 Proměnná geometrie turbíny

a	Poloha lopatek pro vysoký plnicí tlak	b	Poloha lopatek pro nízký plnicí tlak
1	Turbína	4	Přestavovací páka
2	Přestavovací kroužek	5	Přestavovač
3	Vodící lopatky	◁	Nízká rychlost proudění
←	Vysoká rychlost proudění		

### Turbodmychadlo s regulačním šoupátkem

U turbodmychadla s regulačním šoupátkem je „velikost turbíny“ upravována postupným otevíráním dvou průtokových kanálů (Obrázek 21, Poz. 2 a 3) pomocí regulačního šoupátka (Poz. 4). Nejprve je otevřený pouze první průtokový kanál. Malý průtočný průřez otvoru vede k velké rychlosti proudění spalin a tím k vysokým otáčkám turbíny (Poz. 1). Při dosažení přípustného plnicího tlaku otevírá regulační šoupátko plynule druhý průtokový kanál, takže rychlost proudění spalin a tím také plnicí tlak klesá. Pomocí obtokového kanálu (Poz. 5) integrovaného v tělese turbíny je také možné část spalin vést okolo turbíny. Přestavení regulačního šoupátka provádí řídicí jednotka motoru pomocí pneumatického přestavovače.



Obrázek 21 Geometrie turbíny s regulačním šoupátkem

a	Otevřený jen jeden průtokový kanál	3	2. průtokový kanál
b	Otevřeny oba průtokové kanály	4	Regulační šoupátko
1	Turbína	5	Obtokový kanál
2	1. průtokový kanál	6	Přestavovací mechanismus

## **Výhody a nevýhody přeplňování s využitím energie výfukových plynů**

V porovnání se sacím motorem o stejném výkonu hovoří především malá hmotnost a zmenšený potřebný prostor pro motor s turbodmychadlem. Ve využitelném rozsahu otáček je dosaženo lepšího průběhu točivého momentu. Z toho vyplývá vyšší výkon při určitých otáčkách. Výkon je přeplňovaným motorem odváděn díky výhodnějšímu průběhu točivého momentu při plném zatížení již při nižších otáčkách. Při plném zatížení musí být škrticí klapka více otevřena. Pracovní režim je proto přesunut do oblasti s nižšími ztrátami třením a škrcením. Z toho vyplývá nižší spotřeba paliva, ačkoliv přeplňované motory vykazují kvůli nižší kompresi vlastně horší účinnost.

Jako nevýhodu turbodmychadla je třeba uvést nižší točivý moment při velmi nízkých otáčkách. V této oblasti nepostačuje energie obsažená ve výfukových plynech k pohonu turbíny. V nestacionárním (dynamickém) provozu je průběh točivého momentu také při středních otáčkách méně výhodný oproti sacímu motoru. Je to způsobeno tím, že proud spalín je vytvořen se zpožděním. Při zrychlení z nízkých otáček z toho vyplývá tzv. „turbo-díra“. Turbodíru lze zmenšit využitím dynamického přeplňování. To podporuje činnost turbodmychadla, které je účinné teprve od určitých otáček.

## **4.6 Chlazení přeplňovaného vzduchu**

Během stlačování se vzduch ve dmychadle zahřívá. Protože má teplý vzduch oproti studenému nižší hustotu, projevuje se zahřátí negativně na velikosti plnění válců. Chladič přeplňovaného vzduchu proto stlačený a zahřátý vzduch ochlazuje. Chlazení přeplňovaného vzduchu tak způsobuje další zvýšení plnění válců a tím zvýšení točivého momentu a výkonu. [1]

Nižší teplota spalovaného vzduchu vede rovněž k nižší teplotě náplně válce stlačené během doby komprese. Z toho vyplývají další výhody:

- menší náchylnost ke klepání,
- lepší tepelná účinnost a tím nižší spotřeba paliva,
- menší tepelné zatížení pístů,
- nižší emise  $\text{NO}_x$ .

## **Použitá literatura**

[1] ROBERT BOSCH GmbH, Řízení zážehového motoru – Základy a komponenty, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 2002.

[2] ŠKODA AUTO a. s., Dílenská učební pomůcka č.43 – Emise, Mladá Boleslav: Škoda Auto a. s., 2000

[3] FERENC, B., Spalovací motory – karburátory a vstříkávání paliva, Brno: Computer Press, a.s., 2004.

## 5. Vstřikovací systémy

Vstřikovací systémy mají za úkol připravit směs paliva se vzduchem co nejlépe přizpůsobenou danému režimu motoru. [1]

Vstřikovací systémy, především elektronické, se lépe hodí pro dodržení předepsaných mezí pro složení směsi než karburátory. Z toho vyplývají výhody týkající se spotřeby paliva, jízdního chování a výkonu. Stále přísnější zákonné předpisy vedly v automobilové oblasti k tomu, že vstřikování zcela vytlačilo karburátory.

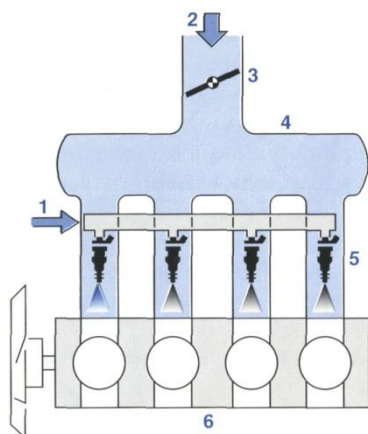
V současnosti se používají systémy, u kterých tvorba směsi probíhá mimo spalovací prostor (vstřikování do sacího potrubí) a systémy s vnitřní tvorbou směsi, tedy se vstřikováním přímo do spalovacího prostoru (přímé vstřikování benzínu).

### 5.1 Vnější tvorba směsi

Systémy vstřikování benzínu s vnější tvorbou směsi se vyznačují tím, že směs paliva se vzduchem vzniká mimo spalovací prostor, tedy v sacím potrubí. Tyto systémy procházely stálým vývojem, aby vyhověly rostoucím požadavkům. Dnes mají význam již jen elektronicky řízené systémy s vícebodovým vstřikováním. [2]

#### Systémy vícebodového vstřikování

U vícebodového vstřikování je každému válci přiřazen jeden vstřikovací ventil (multi point injection), který vstřikuje palivo přímo před sací ventil válce (Obrázek 22). Systémy vícebodového vstřikování vytváří ideální předpoklady ke splnění popsanych požadavků, kladených na systém přípravy směsi.



Obrázek 22 Systémy vícebodového vstřikování

1	Palivo	4	Sací potrubí
2	Vzduch	5	Vstřikovací ventily
3	Škrticí klapka	6	Motor

#### Mechanický vstřikovací systém

Systém K-Jetronic pracuje bez pohonu a kontinuálně vstřikuje palivo. Vstřikované množství paliva není tedy určováno vstřikovacím ventilem, ale rozdělovačem množství.

#### Kombinovaný mechanicko-elektronický vstřikovací systém

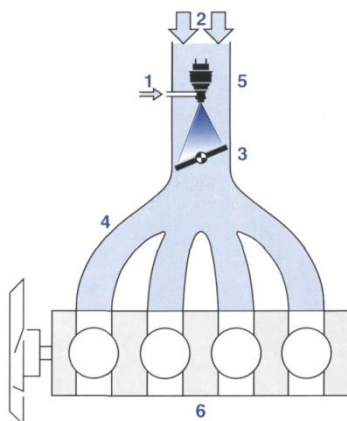
Systém KE-Jetronic je založen na mechanickém základním systému K-Jetronic. Umožňuje díky sběru provozních dat elektronicky řízené doplňkové funkce, zajišťující přizpůsobení vstřikovaného množství paliva proměnným provozním režimům motoru.

## Elektronické vstřikovací systémy

Elektronicky řízené vstřikovací systémy vstřikují palivo pomocí vstřikovacích ventilů přerušovaně. Množství vstřikovaného paliva je určováno dobou otevření ventilů (při známém poklesu tlaku způsobeném ventilem). Příklady: LJetronic, LH-Jetronic a Motronic jako integrovaný systém řízení motoru (M-Motronic a ME-Motronic).

## Systémy centrálního vstřikování

U centrálního vstřikování je elektromagnetický vstřikovací ventil umístěn v centrálním místě před škrticí klapkou (jednobodové vstřikování, single point injection) a vstřikuje palivo přerušovaně do sacího potrubí (Obrázek 23). Systémy centrálního vstřikování Bosch® se označují jako Mono-Jetronic příp. Mono-Motronic.



Obrázek 23 Systém centrálního vstřikování

1	Palivo	4	Sací potrubí
2	Vzduch	5	Vstřikovací ventil
3	Škrticí klapka	6	Motor

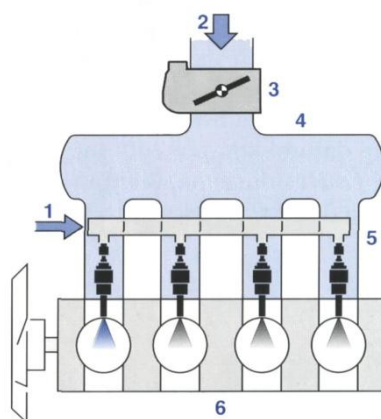
## 5.2 Vnitřní tvorba směsi

U systémů přímého vstřikování se palivo ventilem vstřikuje přímo do spalovacího prostoru. Každý válec má svůj vstřikovací ventil (Obrázek 24). Ke tvorbě směsi dochází ve spalovacím prostoru. [1]

Tvorba směsi ve spalovacím prostoru umožňuje dva zcela odlišné druhy provozu. Při homogenním provozu se stejně jako při vnější tvorbě směsi v celém spalovacím prostoru vyskytuje homogenní směs; všechny čerstvý vzduch obsažený ve spalovacím prostoru se podílí na spalování. Proto se tento druh provozu používá při požadavku vysokého točivého momentu. Při provozu s vrstveným plněním musí být směs zápalná jen v oblasti okolo zapalovací svíčky. Ve zbylé části spalovacího prostoru se nachází jen čerstvý vzduch a zbytkové plyny bez nespáleného paliva. Ve volnoběhu a při částečném zatížení se používá celkově velmi chudá směs a dochází ke snížení spotřeby paliva.

K řízení motorů s přímým vstřikováním benzínu se používá například systém MED-Motronic firmy Bosch®.





Obrázek 24 Systém přímého vstřikování

1	Palivo	4	Sací potrubí
2	Vzduch	5	Vstřikovací ventily
3	El. pedál akcelerace	6	Motor

## Použitá literatura

- [1] ROBERT BOSCH GmbH, Řízení zážehového motoru – Základy a komponenty, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 2002.
- [2] ROBERT BOSCH GmbH, Systém řízení motoru Motronic, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 2002.

## 6. Doprava paliva

Vstřikovací ventily systému vstřikování benzínu vstřikují palivo do sacího potrubí (vstřikování do sacího potrubí) nebo přímo do spalovacího prostoru (přímé vstřikování benzínu). K tomu se musí palivo s definovaným tlakem dopravovat ke vstřikovacím ventilům.

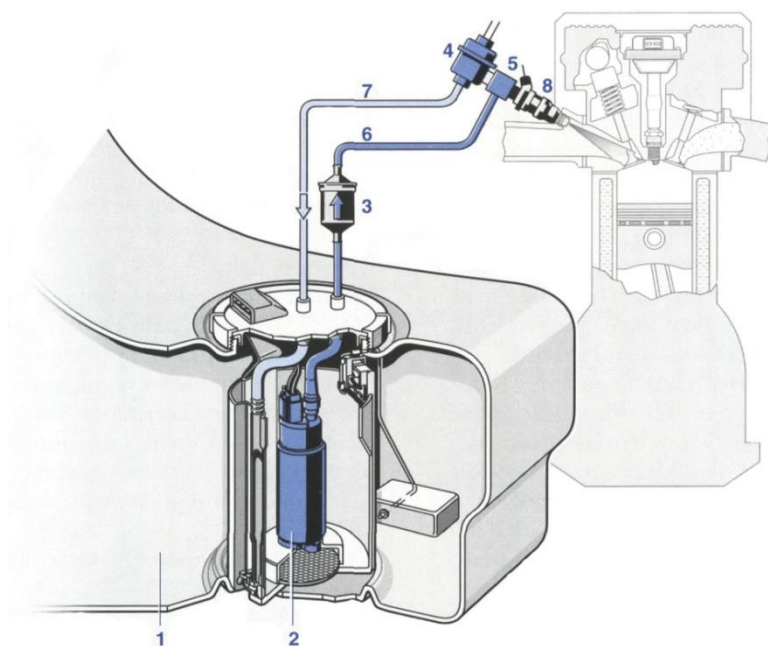
Tato kapitola popisuje komponenty, které zajišťují dopravu paliva z palivové nádrže ke vstřikovacímu ventilu příp. u přímého vstřikování benzínu k vysokotlakému čerpadlu.

### 6.1 Přehled

Na dopravě paliva se podílí především následující komponenty (Obrázek 25):

- Palivová nádrž (Poz. 1),
- Elektrické palivové čerpadlo (Poz. 2),
- Čistič paliva (Poz. 3),
- Regulátor tlaku paliva (Poz. 4),
- Rozdělovač paliva (Poz. 5),
- Palivová vedení (Poz. 6 a 7).

U vstřikování do sacího potrubí proudí palivo dodávané elektrickým palivovým čerpadlem přes rozdělovač paliva (Poz. 5) ke vstřikovacímu ventilu (Poz. 8). U motorů s přímým vstřikováním benzínu je palivo dodáváno vysokotlakým čerpadlem do vysokotlakého okruhu. [1]



Obrázek 25 Doprava paliva pro motor se vstřikováním do sacího potrubí

U starších systémů se elektrické palivové čerpadlo nachází mimo palivovou nádrž v palivovém vedení („in line“). U novějších systémů je elektrické palivové čerpadlo namontováno v palivové nádrži („in tank“). Může být také integrováno spolu s dalšími komponenty (např. předradný čistič, snímač naplnění nádrže) do jediné jednotky zabudované v nádrži.

Elektrické palivové čerpadlo dopravuje palivo nepřetržitě z palivové nádrže přes čistič paliva k motoru. Regulátor tlaku paliva zajišťuje definovaný tlak v palivovém okruhu. Výše tlaku je závislá na systému vstřikování. Aby byl za všech provozních podmínek udržen potřebný tlak

paliva, je množství paliva dopravované čerpadlem větší než množství spotřebované motorem. Přebytečné palivo teče zpět do palivové nádrže zpětným vedením.

Elektrické palivové čerpadlo se rozeběhne ihned při sepnutí zapalování, aby bylo zajištěno vytvoření tlaku při následném startu. Pokud není motor nastartován, je čerpadlo přibližně po jedné sekundě opět vypnuto.

Tlak, který elektrické palivové čerpadlo vytváří, brání do značné míry tvorbě bublin z benzínových par v palivu. Integrovaný zpětný ventil odděluje palivovou soustavu od palivové nádrže tím, že brání zpětnému proudění paliva k palivové nádrži. Zpětný ventil udržuje systémový tlak ještě určitou dobu po vypnutí palivového čerpadla. Tak je zabráněno tvorbě bublin v palivové soustavě po vypnutí motoru při vyšších teplotách paliva.

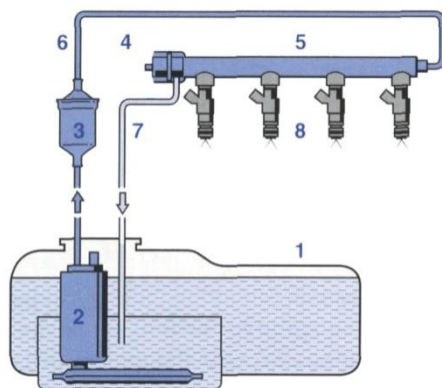
## 6.2 Doprava paliva při vstříkávání do sacího potrubí

Pro dopravu paliva existují dva systémy, které se liší druhem zpětného vedení paliva.

### Palivová soustava se zpětným vedením

Přebytečné palivo, které není vstříknuto vstříkovačím ventilem (Obrázek 26, Poz. 8), se vrací přes regulátor tlaku paliva (Poz. 4) zpět do palivové nádrže (Poz. 1). Regulátor tlaku paliva je většinou namontován na rozdělovači paliva (Poz. 5). Jako reference pro regulaci tlaku v soustavě slouží tlak v sacím potrubí. Díky prostorové blízkosti regulátoru tlaku paliva k sacímu potrubí je zde možná referenční přípojka na sací potrubí. Tímto referenčním tlakem je zajištěn konstantní rozdíl mezi tlakem v palivové soustavě a tlakem v sacím potrubí. To přináší výhodu, že vstříkované množství paliva je závislé jen na době vstříkávání, ale nezávislé na tlaku v sacím potrubí a tím na plnění válce. [1, 2]

Pro palivové soustavy se zpětným vedením jsou možná různá provedení. Na obrázku 2 je standardní soustava s rozdělovačem paliva, kterým palivo protéká. Regulátor tlaku paliva může být umístěn ale již před ním, takže rozdělovačem pak palivo neprotéká. U soustav se zpětným vedením používaných v současnosti činí tlak paliva přibližně 0,3 MPa (3 bar).



Obrázek 26 Palivová soustava se zpětným vedením

1	Palivová nádrž	5	Rozdělovač paliva
2	Elektrické palivové čerpadlo	6	Palivové vedení
3	Čistič paliva	7	Zpětné vedení paliva
4	Regulátor tlaku paliva	8	Vstříkovací ventily

### Palivová soustava bez zpětného vedení

U palivové soustavy bez zpětného vedení je regulátor tlaku paliva (Obrázek 27, Poz. 4) umístěn obvykle v palivové nádrži nebo v její blízkosti. Může být integrován také do jednotky zabudované v nádrži. Tak může u těchto systémů odpadnout zpětné vedení od rozdělovače

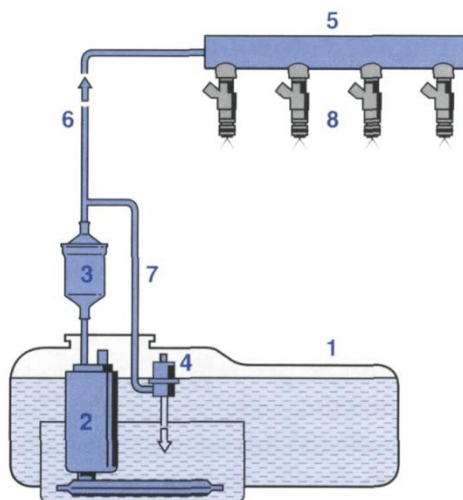
paliva k palivové nádrži. Přebytné palivo dodávané palivovým čerpadlem je vedeno krátkým zpětným vedením od regulátoru tlaku přímo do palivové nádrže. Rozdělovač paliva nyní dodává jen množství paliva vstřikované vstřikovacími ventily. Kromě úspory nákladů má vynechání zpětného vedení i tu výhodu, že žádné palivo ohřáté v motorovém prostoru neteče zpět do nádrže a nezvyšuje zde teplotu paliva. To způsobuje snížení emisí uhlovodíků v palivové nádrži a tím odlehčení systému regenerace odpařeného paliva.

Pro palivové soustavy bez zpětného vedení jsou možná různá provedení:

- Čistič paliva a regulátor tlaku mimo palivovou nádrž,
- Čistič paliva vně, regulátor tlaku uvnitř palivové nádrže,
- Čistič paliva a regulátor tlaku integrovány v jednotce zabudované v nádrži.

Referenční přípojka ze sacího potrubí k regulátoru tlaku paliva není z prostorových důvodů prakticky možná. Regulátor tlaku paliva reguluje proto tlak v soustavě na konstantní rozdíl tlaků vůči tlaku okolí. Vstřikované množství je tak není závislé na tlaku v sacím potrubí. To je zohledněno při výpočtu doby vstřikování.

U soustav bez zpětného vedení činí tlak v soustavě přibližně 0,35 - 0,4 MPa (3,5... 4 bar).



Obrázek 27 Palivová soustava bez zpětného vedení

1	Palivová nádrž	5	Rozdělovač paliva
2	Elektrické palivové čerpadlo	6	Palivové vedení
3	Čistič paliva	7	Zpětné vedení paliva
4	Regulátor tlaku paliva	8	Vstřikovací ventily

### 6.3 Nízkotlaký okruh u přímého vstřikování benzínu

Palivovou soustavu u přímého vstřikování benzínu lze rozdělit na:

- nízkotlaký okruh
- vysokotlaký okruh

Vysokotlaký okruh bude popsán v kapitole „Přímé vstřikování benzínu“. [1]

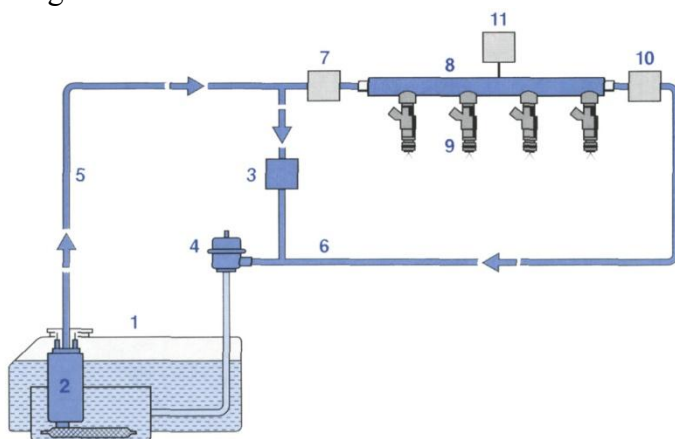
Nízkotlaký okruh může být u těchto vstřikovacích systémů v závislosti na požadavcích výrobce vozidla navržen různě. Podobně jako u vstřikování do sacího potrubí zde jsou varianty:

- se zpětným vedením paliva,
- bez zpětného vedení paliva.

Na obrázku 28 je palivová soustava se zpětným vedením a přepínáním tlaku v nízkotlakém okruhu. Tlak v nízkotlakém okruhu zde může být nastaven na dvě hodnoty.

### Zvýšený tlak v nízkotlakém okruhu

Při vysoké teplotě paliva se při startu a následujícím volnoběhu (volnoběh při horkém motoru) musí provést opatření, aby se zabránilo tvorbě bublin ve vysokotlakém čerpadle (Poz. 7). Vhodným prostředkem je zvýšení tlaku v nízkotlakém okruhu. Uzavírací ventil (Poz. 3) zůstane k tomu účelu zavřený, takže redukční přepouštěcí ventil integrovaný v palivovém čerpadle (Poz. 2) působí a tlak v nízkotlakém okruhu nastaví krátkodobě na hodnotu 0,5 MPa (5 bar). Redukční přepouštěcí ventil zde nejen chrání komponenty před přetlakem, ale přebírá také funkci regulace tlaku.



Obrázek 28 Palivová soustava se zpětným vedením u přímého vstřikování

Nízkotlaký okruh a jeho komponenty:

1	Palivová nádrž	4	Regulátor tlaku
2	El. čerpadlo s reduk. ventilem a čističem paliva	5	Palivové vedení
3	Uzavírací ventil	6	Zpětné vedení paliva

Vysokotlaký okruh a jeho komponenty:

7	Vysokotlaké čerpadlo	10	Ventil pro řízení tlaku
8	Tlakový zásobník	11	Snímač tlaku paliva
9	Vysokotlaké vstříkovací ventily		

### Nízký tlak v nízkotlakém okruhu

Po 30 ... 60 sekundách je vysokotlaké čerpadlo propláchnuto a natolik ochlazeno, že nebezpečí tvorby bublin již nehrozí. Uzavírací ventil se otevře a úlohu regulace tlaku převezme regulátor tlaku (Poz. 4). Ten nastaví tlak v nízkotlakém okruhu na 0,3 MPa (3 bar). Regulátor tlaku je zde umístěn v motorovém prostoru.

## 6.4 Systém regenerace odpařeného paliva

Pro splnění zákonných předpisů o emisích odpařených uhlovodíků jsou vozidla vybavena systémem regenerace odpařeného paliva. Tento systém zabraňuje, aby palivo odpařené z palivové nádrže unikalo do okolí. [1, 2]

### Vznik palivových výparů

Se zvýšeným odpařováním paliva z palivové nádrže je potřeba počítat:

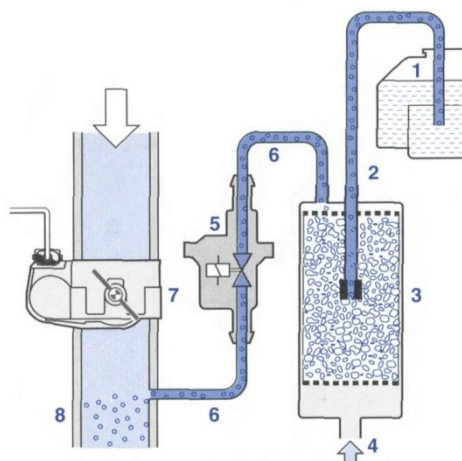
- při zahřátí paliva v palivové nádrži, buď na základě vyšší okolní teploty nebo vrácením nespotřebovaného paliva zahřátého v motorovém prostoru,

- při snížení okolního tlaku, například při jízdě ve vyšších nadmořských výškách.

### Uspořádání a způsob činnosti

Systém regenerace odpařeného paliva (Obrázek 29) se skládá ze zásobníku s aktivním uhlím (Poz. 3), do kterého ústí odvodušňovací vedení (Poz. 2) palivové nádrže (Poz. 1), a z regeneračního ventilu (Poz. 5), který je propojen se zásobníkem aktivního uhlí a sacím potrubím (Poz. 8). Aktivní uhlí absorbuje palivo obsažené v palivových výparech a umožňuje unikat jen vzduchu. Uvolní-li regenerační ventil vedení (Poz. 6) mezi zásobníkem aktivního uhlí a sacím potrubím, je podtlakem v sacím potrubí nasáván čerstvý vzduch (Poz. 4) přes aktivní uhlí. Čerstvý vzduch opět zachycuje absorbované palivo a vede jej ke spálení (regenerace zásobníku s aktivním uhlím). Řízení systému sníží vstřikované množství paliva o množství paliva přiváděné regeneračním ventilem.

Regenerace probíhá regulovaně, k čemuž je prostřednictvím změn součinitele přebytku vzduchu  $\lambda$  kontinuálně sledována koncentrace paliva v regeneračním proudu. Regenerační proud je řízen v závislosti na pracovním režimu motoru a lze jej regeneračním ventilem jemně dávkovat. Aby mohl zásobník s aktivním uhlím přijímat nově vypařené palivo, musí se regenerace provádět pravidelně.



Obrázek 29 Systém regenerace odpařeného paliva

### Zvláštnosti u přímého vstřikování benzínu

Regenerace zásobníku s aktivním uhlím je u systémů s přímým vstřikováním benzínu při provozu s vrstveným plněním omezena nižším podtlakem v sacím potrubí (způsobeným menším škrcením) a také neúplným spálením homogenně rozdělených regenerovaných plynů. To způsobuje v porovnání s homogenním provozem snížený regenerační proud plynu. Pokud to například při vysokém odpařování paliva nepostačuje, musí být motor provozován s homogenní směsí tak dlouho, dokud vysoká koncentrace paliva v regeneračním proudu plynu opět neklesne.

## 6.5 Elektrické palivové čerpadlo

### Úkol

Elektrické palivové čerpadlo musí motoru dodávat za všech provozních režimů dostatek paliva s tlakem potřebným ke vstřikování. Nejdůležitější požadavky jsou:

- dodávané množství mezi 60 a 200 l/h při jmenovitém napětí,
- tlak v palivové soustavě mezi 300 a 450 kPa (3 ... 4,5 bar),
- vytvoření systémového tlaku od 50 až 60 % jmenovitého napětí; určujícím je zde provoz při studeném startu. [1]

Kromě toho slouží elektrické palivové čerpadlo stále více jako předřadné čerpadlo pro moderní vstříkovací systémy jak u zážehových tak i vznětových motorů.

Pro systémy přímého vstříkovaní benzínu je potřeba při dodávání horkého paliva alespoň dočasně vytvářet tlaky až 700 kPa.

### Konstrukce

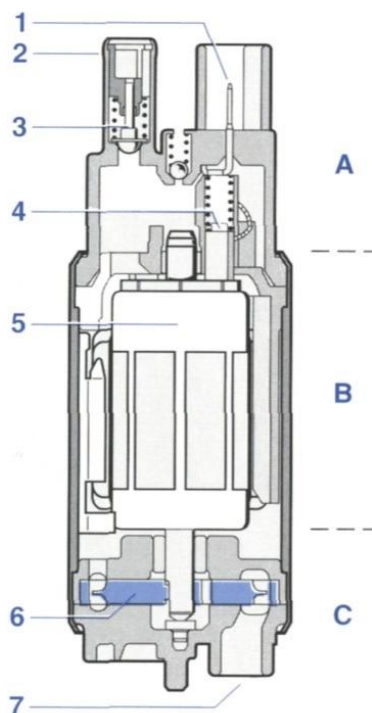
Elektrické palivové čerpadlo se skládá z těchto částí:

- připojovací víko (Obrázek 30, část A), ve kterém mohou být integrovány odrušovací prvky,
- elektromotor (Obrázek 30, část B),
- vlastní čerpadlo (Obrázek 30, část C).

### Druhy

#### Výtlačná čerpadla

Ve výtlačném čerpadle je palivo nasáváno a v uzavřeném prostoru rotací prvku čerpadla stlačováno a transportováno k vysokotlaké straně. Pro elektrická palivová čerpadla se používají čerpadla s rotujícími písty a zubová čerpadla s koly s vnitřním ozubením. Výtlačná čerpadla jsou výhodná při vysokých tlacích (400 kPa a více) a mají dobré chování při nízkém napětí, tzn. relativně „plochou charakteristiku“ čerpacího výkonu v závislosti na provozním napětí. Účinnost může činit až 25 %.



Obrázek 30 Konstrukce el. palivového čerpadla

1	Elektrická přípojka	5	Kotva motoru s permanentním magnetem
2	Výtok paliva	6	Oběžné kolo proudového čerpadla
3	Zpětný ventil	7	Přítok paliva
4	Uhlíkové kartáčky		

V závislosti na detailním provedení a montáži mohou nevyhnutelné pulsace tlaku způsobovat hluk. Další, příležitostně se vyskytující nevýhodou, může být pokles čerpacího výkonu při horkém benzínu, když jsou místo tekutiny čerpány bubliny. Proto jsou do obvyklých výtlačných čerpadel integrovány navíc obvodově předstupně zajišťující odplynění paliva.

Zatímco pro klasickou funkci elektrického palivového čerpadla v elektronických systémech

vstřikování bylo výtlačné čerpadlo již z velké části nahrazeno proudovým čerpadlem, vyvstala pro výtlačné čerpadlo nová oblast použití při předčerpávání pro systémy přímého vstřikování vyžadující podstatně vyšší tlak.

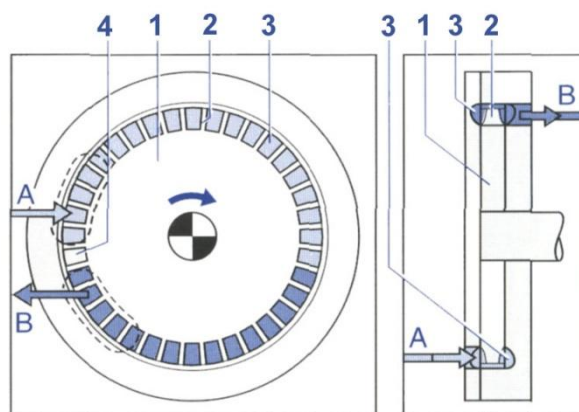
### Proudová čerpadla

Oběžné kolo opatřené po obvodu množstvím lopatek (Obrázek 31, Poz. 6) se otáčí v komoře sestávající ze dvou nepohyblivých částí skříně. Tyto části skříně vytváří v oblasti lopatek oběžného kola kanály (Poz. 7). Kanály začínají ve výšce sacího otvoru (A) a končí tam, kde palivo o systémovém tlaku opouští prvek čerpadla (B). Přerušení mezi začátkem a koncem kanálu zamezuje vnitřním únikům paliva. Ke zlepšení vlastností při čerpání horkého paliva se v určité úhlové vzdálenosti od sacího otvoru nachází malý odplyňovací otvor, který za cenu velmi malého úniku umožňuje odchod eventuálních bublin.

Tlak se vytváří podél kanálu střídáním lopatek oběžného kola a částek paliva. Následkem je spirální rotace kapaliny nacházející se v oběžném kole a v kanálech. U obvodového lopatkového čerpadla obklopuje kanál lopatky oběžného kola po celém obvodu. U čerpadla s bočními kanály jsou oba kanály po stranách oběžného kola vedle lopatek.

Proudová čerpadla jsou tichá, protože vytváření tlaku probíhá kontinuálně a téměř bez pulsací. Účinnost je mezi 10 a cca 20 %. Konstrukce je ale vůči výtlačným čerpadlům značně zjednodušena.

Systémové tlaky do 450 kPa jsou dosažitelné i jednostupňovými čerpadly. Z důvodů cenových a menší hlučnosti používají palivové soustavy nově koncipovaných vozidel se zážehovými motory téměř výhradně proudová čerpadla.



Obrázek 31 Princip činnosti elektrického proudového palivového čerpadla

1	Oběžné kolo	3	Obvodový kanál
2	Lopatka oběžného kola	4	Přerušení

## 6.6 Čističe paliva

Vstřikovací systémy ve vozidlech se zážehovým motorem pracují s nejvyšší přesností. Aby nedošlo k poškození přesných dílů, vyžadují tyto systémy účinné čištění paliva. Čističe v palivovém okruhu zachytávají částice způsobující opotřebení. Mohou být provedeny jako výměnné „in line“ čističe nebo jako čističe paliva integrované do palivové nádrže (čističe s neomezenou životností). Na odlučování znečišťujících látek ve formě pevných částek se kromě efektu síta podílí ještě nárazový efekt, difuzní efekt a blokovací efekt. Kvalita odlučování těchto jednotlivých efektů závisí na velikosti a průtočné rychlosti částek. Čistící médium je tomu přizpůsobeno. [1]

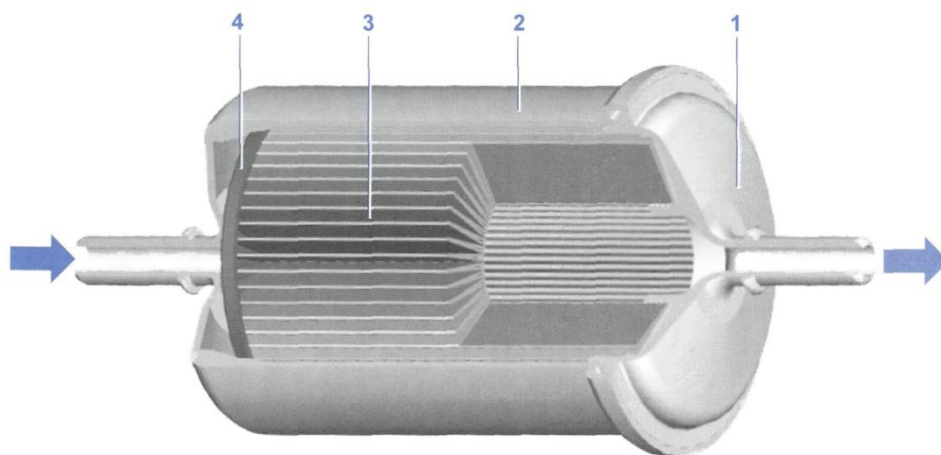


Jako čisticí médium se prosadily skládané papíry, částečně se speciální impregnací (Obrázek 32, Poz. 3). Jsou v palivovém okruhu umístěny tak, aby každá část plochy čisticího média byla protékána palivem pokud možno o stejné průtočné rychlosti. Pro systémy se vstřikováním do sacího potrubí má filtrační vložka průměrnou velikost pórů 10  $\mu\text{m}$ . Pro přímé vstřikování benzínu je potřebné mnohem jemnější čištění. Částičky větší než 5  $\mu\text{m}$  musí být z 85 % odloučeny.

Kromě toho je pro přímé vstřikování benzínu důležitým bodem také dodávka zbytkových nečistot u nového čističe: kovové, minerální a plastové částičky jakož i skleněná vlákna větší než 200  $\mu\text{m}$  jsou nepřipustná.

Trvanlivost běžných "in line" filtrů se pohybuje v závislosti na objemu filtru mezi 60 000 km a 90 000 km. Pro čističe umístěné v nádrži je garantováno 160 000 km. Pro systémy s přímým vstřikováním benzínu existují čističe (montované v nádrži a "in line") s trvanlivostí vyšší než 250 000 km.

Pouzdro čističe (Poz. 2) je vyrobeno z oceli, hliníku nebo umělé hmoty (celý čistič bez kovů). K připojení čističů se používají závitové přípojky, hadicové přípojky a rychlopřípojky. Filtrační účinek závisí na směru proudění. Při výměně "in line" čističů musí být proto bezpodmínečně dodržen průtočný směr vyznačený šipkou na pouzdru.



Obrázek 32 Řez čističem paliva

1	Víko	3	Vložka čističe
2	Pouzdro	4	Opěrná deska

## 6.7 Rozdělovač paliva

### Vstřikování do sacího potrubí

Rozdělovač paliva plní následující úkoly:

- upevnění a fixace vstřikovacích ventilů,
- pojmutí určitého množství paliva,
- zajištění rovnoměrného rozdělování mezi všechny vstřikovací ventily.

Kromě vstřikovacích ventilů je většinou na rozdělovači paliva upevněn také regulátor tlaku paliva a případně tlumič tlakových vln. Cílené přizpůsobení rozměrů rozdělovače paliva brání místním změnám tlaku paliva způsobeným rezonancemi při otevírání a zavírání vstřikovacích ventilů. Tím jsou eliminovány nepravidlosti vstřikovaného množství závislé na zatížení a otáčkách. [1, 2]

V závislosti na požadavcích různých typů vozidel je rozdělovač paliva vyroben z ušlechtilé oceli nebo umělé hmoty.

## Přímé vstřikování benzínu

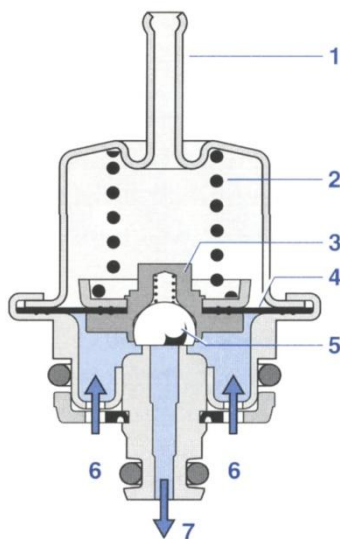
Při přímém vstřikování benzínu je rozdělovač paliva (Rail) funkčně umístěn za vysokotlakým čerpadlem. Rozdělovač paliva je proto součástí vysokotlaké části.

## 6.8 Regulátor tlaku paliva

### Vstřikování do sacího potrubí

Množství paliva vstřikované vstřikovacím ventilem je závislé na době vstřikování a rozdílu tlaků mezi tlakem paliva v rozdělovači paliva a protitlakem v sacím potrubí. U systémů se zpětným vedením se vliv tlaku kompenzuje tím, že regulátor tlaku udržuje rozdíl mezi tlakem paliva a tlakem v sacím potrubí konstantní. Tento regulátor tlaku nechá k palivové nádrži proudit právě tolik paliva, aby tlakový spád na vstřikovacích ventilech zůstal konstantní. Aby docházelo k úplnému proplachování rozdělovače paliva, je regulátor tlaku namontován obvykle na jeho konci. U systémů bez zpětného vedení je regulátor tlaku včleněn v jednotce umístěné v palivové nádrži. Tlak paliva v rozdělovači paliva je regulován na konstantní hodnotu vůči okolnímu tlaku. Rozdíl tlaků vůči sacímu potrubí není proto konstantní a je zohledněn při výpočtu doby vstřikování. [1, 4]

Regulátor tlaku paliva je proveden jako membránou řízený přepouštěcí regulátor tlaku (Obrázek 33). Membrána z vyztužené gumy (Poz. 4) rozděluje regulátor tlaku paliva na palivovou komoru a komoru pružiny. Pružina (Poz. 2) tlačí přes držák ventilu (Poz. 3) integrovaný do membrány pohyblivě uloženou ventilovou desku na sedlo ventilu. Překročí-li síla vyvíjená tlakem paliva na membránu tlak pružiny, otevře se ventil a nechá odtéci do nádrže prá-



Obrázek 33 Regulátor tlaku paliva

1	Přípojka k sacímu potrubí	5	Ventil
2	Pružina	6	Přívod paliva
3	Držák ventilu	7	Zpětné vedení paliva
4	Membrána		

vě tolik paliva, aby se na membráně vytvořila rovnováha sil.

U systémů vícebodového vstřikování je pružinová komora pneumaticky spojena se sběrným sacím potrubím za škrtkou klapkou. Podtlak v sacím potrubí tak působí i v pružinové komoře. Na membráně je tak stejný poměr tlaků jako na vstřikovacích ventilech. Tlakový spád na vstřikovacích ventilech závisí proto již jen na síle pružiny a ploše membrány a zůstává tak konstantní.

## **Přímé vstřikování benzínu**

U systémů s přímým vstřikováním benzínu se musí regulovat jak tlak ve vysokotlakém, tak i tlak v nízkotlakém okruhu. Pro regulaci v nízkotlakém okruhu se používají stejné regulátory tlaku paliva jako u vstřikování do sacího potrubí.

## **6.9. Tlumič tlakových vln**

Taktování vstřikovacích ventilů a periodické vytlačování paliva elektrickým palivovým čerpadlem na výtlačném principu vede k výkyvům tlaku paliva. Tyto výkyvy by mohly způsobovat tlakové rezonance a tím nepřesnost odměřování paliva. Výkyvy se za určitých okolností mohou také přenášet přes upevňovací prvky elektrického palivového čerpadla, palivové vedení a rozdělovač paliva na palivovou nádrž a karosérii a mohou způsobovat hluk. Tyto problémy jsou eliminovány cílenou konstrukcí upevňovacích prvků a použitím speciálních tlumičů tlakových vln. [1]

Tlumič tlakových vln má podobnou konstrukci jako regulátor tlaku paliva. Podobně jako u něj odděluje membrána zatížená pružinou prostor vzduchu a prostor paliva. Síla pružiny je navržena tak, aby se membrána zvedla ze svého sedla, jakmile tlak paliva dosáhne své pracovní oblasti. Takto proměnlivý prostor pro palivo může při vzniku tlakových špiček pojmout palivo a při poklesu tlaku palivo opět odevzdat. Aby při výkyvech absolutního tlaku paliva podmíněných sacím potrubím systém pracoval stále v nejvýhodnější pracovní oblasti, může být pružinová komora opatřena přípojkou na sací potrubí.

Podobně jako u regulátoru tlaku paliva může být také tlumič tlakových vln umístěn na rozdělovači paliva nebo v palivovém vedení. Při přímém vstřikování benzínu vyvstává jako další možnost jeho umístění na vysokotlaké čerpadlo.

## **6.10 Palivová nádrž**

Palivová nádrž slouží k ukládání paliva.[1] Musí být korozivzdorná a těsná při dvojitém provozním tlaku, minimálně ale při přetlaku 0,03 MPa (0,3 bar). Vzniklý přetlak musí být samovolně odveden vhodnými otvory nebo pojistnými ventily. Při jízdě do zatáček, šikmé poloze nebo rázech nesmí z plnicího uzávěru a prvků k vyrovnání tlaku vytékat palivo. Palivová nádrž musí být od motoru tak daleko, aby i při nehodách nedošlo k zapálení paliva.

## **6.11. Palivová vedení**

Palivová vedení vedou palivo z palivové nádrže ke vstřikovacímu systému.[1] Mohou se používat bezešvé, elastické kovové hadice nebo hadice z těžko hořlavých látek nepropouštějící palivo. Musí být uspořádány tak, aby bylo zabráněno mechanickému poškození a aby se v případě závady nemohlo odkapávající nebo odpařující se palivo shromažďovat ani vznítit. Všechny díly vedoucí palivo musí být chráněny proti teplu narušujícímu provoz.

## **Použitá literatura**

[1] ROBERT BOSCH GmbH, Řízení zážehového motoru – Základy a komponenty, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 2002.

[2] AUTOEXPERT, Autopress s. r. o., Praktická dílna – Vstřikovací systémy zážehových motorů; červen/2004.

- [3] MOTEJL, V.: Vstřikovací zařízení zážehových motorů, České Budějovice, KOPP, 2000.
- [4] FERENC, B., Spalovací motory – karburátory a vstřikování paliva, Brno: Computer Press, a.s., 2004.

## 7. Vstřikování do sacího potrubí

Zážehové motory se vstřikováním do sacího potrubí vytváří směs paliva se vzduchem mimo spalovací prostor v sacím potrubí. Tyto motory i jejich řídicí systémy byly v průběhu času stále vylepšovány. Díky lepšímu odměřování paliva zcela vytlačily karburátorový motor, který pracuje také s větší tvorbou směsi. [1]

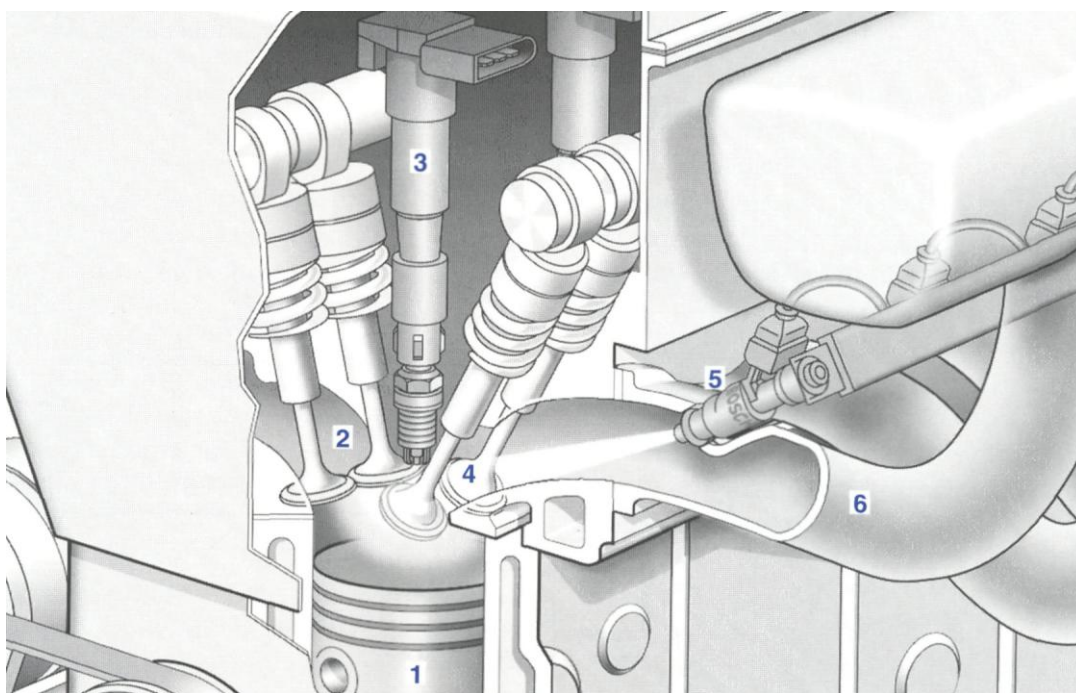
### Přehled

Na vozidla, která odpovídají dnešnímu stavu techniky, jsou kladeny vysoké nároky ohledně rovnoměrného chodu a emisí škodlivých látek. Z toho vyplývají vysoké požadavky na složení směsi paliva se vzduchem. Kromě přesného dávkování vstřikovaného paliva dle množství vzduchu nasávaného motorem má velký význam také časově přesné vstřikování.

Tyto požadavky jsou, podmíněny také stálým vývojem zákonných emisních předpisů, stále vyšší. Proto byly neustále vyvíjeny také vstřikovací systémy.

Technika u vstřikování do sacího potrubí dospěla v současné době k elektronicky řízeným systémům vícebodového vstřikování, u kterého se palivo pro každý válec vstřikuje přerušovaně přímo před sací ventily.

Žádný význam pro další vývoj již nemají mechanické, kontinuálně vstřikující systémy vícebodového vstřikování jakož i systémy s centrálním vstřikováním, které vstřikují palivo rovněž přerušovaně, avšak jen jedním vstřikovacím ventilem před škrtkou do sacího potrubí.



Obrázek 34 Systém vstřikování do sacího potrubí

1	Válec s pístem	4	Sací ventily
2	Výfukové ventily	5	Vstřikovací ventil
3	Zapalovací cívka se svíčkou	6	Sací potrubí

## 7.1 Způsob činnosti

Systémy vstřikování benzínu se vstřikováním do sacího potrubí se vyznačují tím, že směs paliva se vzduchem vzniká mimo spalovací prostor, tedy v sacím potrubí (Obrázek 34). Vstřikovací ventil (Poz. 5) vstřikuje palivo před sací ventil (Poz. 4). V následující době sání proudí vzniklá směs paliva se vzduchem otevřeným sacím ventilem do válce (Poz. 1). Pro každý válec mohou být použity také dva nebo dokonce tři sací ventily. Vstřikovací ventily jsou zvoleny tak, aby potřeba paliva motoru byla pokryta za všech okolností - i při plném zatížení a vysokých otáčkách. [1]

## 7.2 Tvorba směsi

### Vstřikování paliva

Elektrické palivové čerpadlo dopravuje palivo ke vstřikovacím ventilům. Zde má palivo systémový tlak. U systémů vícebodového vstřikování je každému válci přiřazen jeden vstřikovací ventil. Vstřikovací ventily vstřikují palivo přerušovaně do sacího potrubí (Poz. 6) před sací ventil. Zde se jemně rozprašené palivo z větší části vypaří a vytvoří se vzduchem proudícím škrticí klapkou směs paliva se vzduchem. Aby byl pro vytvoření této směsi k dispozici dostatek času, je výhodné, když se palivo vstříkne před zavřený sací ventil a zde se „předběžně uskladní“. [1]

Část paliva se v oblasti sacích ventilů sráží jako film na stěnách. Tloušťka filmu závisí na tlaku v sacím potrubí a tedy na zatížení motoru. Pro dobré dynamické chování motoru je potřeba udržovat množství paliva uložené ve filmu na stěnách pokud možno malé. Toho se dosahuje odpovídající konstrukcí sacího potrubí a geometrií paprsku paliva (geometrie rozprašování). Protože vstřikovací ventil je umístěn přímo před sacím ventilem, je efekt filmu na stěnách u systémů vícebodového vstřikování mnohem menší než u dřívějších karburátorových motorů či motorů s centrálním vstřikováním.

Třícestný katalyzátor dokáže škodlivé látky vzniklé při spalování při stechiometrické směsi paliva a vzduchu ( $\lambda = 1$ ) z velké části odbourat. Proto pracují motory se vstřikováním do sacího potrubí ve většině provozních režimů s tímto složením směsi.

### Měření hmotnosti vzduchu

Aby bylo možné směs paliva a vzduchu přesně nastavit, má měření hmotnosti vzduchu podílejícího se na spalování velký význam. Měřič hmotnosti vzduchu umístěný před škrticí klapkou měří hmotnost vzduchu proudícího do sacího potrubí a předává elektrický signál řídicí jednotce motoru. Alternativně k tomu existují také systémy, které měří snímačem tlaku tlak v sacím potrubí a z toho ve spojení s nastavením škrticí klapky a otáčkami vypočítávají hmotnost vzduchu. Řídicí jednotka určuje z hmotnosti nasávaného vzduchu a aktuálního provozního režimu motoru potřebnou hmotnost paliva.

### Doba vstřikování

Doba vstřikování, která je nutná ke vstříknutí vypočítaného množství paliva, je závislá na průřezu otvoru vstřikovacího ventilu a rozdílu mezi tlakem v sacím potrubí a tlakem v palivové soustavě.

## 7.3 Elektromagnetické vstřikovací ventily

Elektricky řízené vstřikovací ventily vstřikují palivo o systémovém tlaku do sacího potrubí. Umožňují odměřovat množství paliva přesně přizpůsobené potřebám motoru. Jsou aktivovány prostřednictvím koncových stupňů integrovaných do řídicí jednotky motoru signálem vypočítaným řízením motoru. [1]

## Uspořádání a způsob činnosti

Elektromagnetické vstřikovací ventily (Obrázek 35) se skládají z těchto částí:

- pouzdro ventilu (Poz. 9) s elektrickou (Poz. 8) a hydraulickou přípojkou (Poz. 1),
- cívka elektromagnetu (Poz. 4),
- pohyblivá jehla ventilu (Poz. 6) s kotvou a těsnicí kuličkou,
- sedlo ventilu (Poz. 10) s kroužkem se vstřikovacími otvory (Poz. 7),
- pružina (Poz. 5).

K zajištění bezporuchového provozu vstřikovací ventil v oblasti vedoucí palivo vyroben z korozivzdorné oceli. Filtrační sítko (Poz. 3) v přítoku paliva chrání vstřikovací ventil před nečistotami.

## Přípojky

U současně používaných vstřikovacích ventilů se palivo přivádí axiálně ke vstřikovacímu ventilu ze shora dolů (top feed). Palivové vedení je k hydraulické přípojce připevněno upínacím prvkem. Upevňovací svorky zajišťují spolehlivou fixaci. Těsnicí kroužek (O-kroužek) na hydraulické přípojce (Poz. 2) utěsňuje vstřikovací ventil vůči rozvaděči paliva. Elektrická přípojka vstřikovacího ventilu je propojena s řídicí jednotkou motoru.

## Funkce ventilu

Neprochází-li cívkou proud, tlačí pružina a síla daná tlakem paliva jehlu ventilu s těsnicí kuličkou do kuželovitého sedla ventilu. Tím je palivová soustava utěsněna vůči sacímu potrubí. Prochází-li cívkou proud, vzniká magnetické pole, které přitáhne kotvu jehly ventilu. Těsnicí kulička se nadzvedne ze sedla ventilu a palivo je vstříknuto. Po přerušení proudu je jehla ventilu opět přitlačena silou pružiny.

## Výstup paliva

Rozprášení paliva se provádí pomocí kroužku, ve kterém je jeden nebo více otvorů. S vylišovanými vstřikovacími otvory je dosaženo vysoké konstantnosti vstřikovaného množství paliva. Kroužek se vstřikovacími otvory je také necitlivý vůči usazeninám v palivu. Tvar paprsku vstřikovaného paliva vyplývá z uspořádání a počtu vstřikovacích otvorů. Dobré těsnosti ventilu v oblasti sedla ventilu je dosaženo použitím principu těsnění kužel/kulička.

Vstřikovací ventil se vsune do příslušného otvoru na sacím potrubí. Spodní těsnicí kroužek těsní vstřikovací ventil vůči sacímu potrubí. Množství vstřikovaného paliva za časovou jednotku je určeno:

- systémovým tlakem v palivové soustavě,
- protitlakem v sacím potrubí,
- geometrií oblasti výstupu paliva.

## Druhy provedení

V průběhu času byly vstřikovací ventily stále vyvíjeny a přizpůsobovány rostoucím požadavkům týkajícím se techniky, kvality, spolehlivosti a hmotnosti. Tak vznikla různá provedení vstřikovacích ventilů.

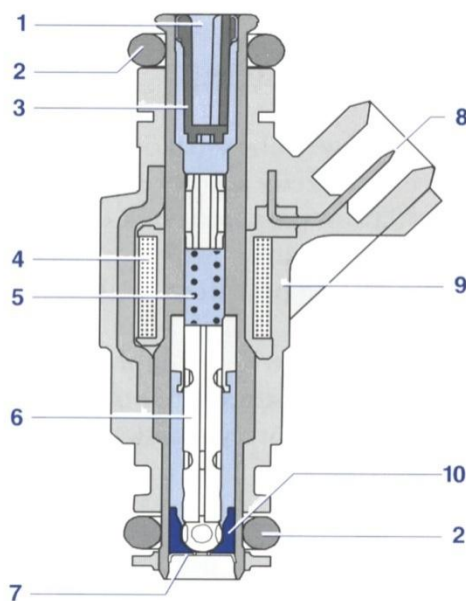
## Vstřikovací ventil EV6

Vstřikovací ventil EV6 je základním vstřikovacím ventilem pro současné vstřikovací systémy. Vyznačuje se malými vnějšími rozměry a nízkou hmotností.

EV6 kromě toho vykazuje dobré chování při horkém benzínu, tzn. náchylnost k tvorbě bublin z benzínových par je nízká. To ulehčuje použití palivových soustav bez zpětného vedení, protože zde je teplota paliva ve vstřikovacím ventilu oproti systémům se zpětným vedením vyšší. Díky povrchům odolným vůči oděru se EV6 vyznačuje také dlouhodobou stabilitou a vysokou životností. Díky své vysoké těsnosti splňují tyto ventily všechny budoucí požadavky týkající se „zero evaporation“ (nulové odpařování). To znamená, že z ventilu neunikají žádné výpary paliva. K lepšímu rozprášení paliva byla vyvinuta varianta „EV6 s obtokem vzduchu“.

Jemně rozprášené palivo lze vytvářet i jiným způsobem, např. použitím víceotvorové destičky s 10 až 12 otvory. Tyto vstříkovací ventily vytváří velmi jemně rozprášené palivo.

Pro různé oblasti použití jsou k dispozici vstříkovací ventily o různé montážní délce, průtokových třídách a elektrických vlastnostech. EV6 je vhodný také pro použití paliv s obsahem etanolu až 85 %.



Obrázek 35 Příklad konstrukce elektromagnetického vstříkovacího ventilu

1	Hydraulická přípojka	6	Jehla s kotvou a těsnicí kuličkou
2	Těsnicí kroužek	7	Kroužek se vstříkovacími otvory
3	Filtrační sítko	8	Elektrická přípojka
4	Cívka	9	Pouzdro ventilu
5	Pružina	10	Sedlo ventilu

### Vstříkovací ventil EV14

Další vývoj vstříkovacích ventilů vedl k EV14. Tento ventil staví na vlastnostech ventilu EV6. Má však kompaktnější konstrukci, což umožňuje i integraci v rozdělovači paliva. EV14 se vyrábí ve třech montážních délkách (kompaktní, standardní a dlouhý). To umožňuje individuální přizpůsobení geometrii sacího prostoru.

## 7.4 Druhy vstříkování

### Simultánní vstříkování

U simultánního vstříkování jsou všechny vstříkovací ventily aktivovány ve stejném okamžiku. Doba, která je k dispozici pro odpaření paliva, je proto pro válce různá. Aby se přesto dosáhlo dobré tvorby směsi, rozdělí se množství paliva potřebné ke spalování na dvě poloviny, které se vstříkují vždy jednou za otáčku klikového hřídele. Při tomto druhu vstříkování se u některých válců palivo „předběžně neuskładní“ před sacím ventilem, ale vstříkne se do otevřeného sacího ventilu. Počátek vstříku je pevně stanoven. [1]

### Skupinové vstříkování

Při skupinovém vstříkování jsou ventily rozděleny do dvou skupin. Obě skupiny vstříkují celé vstříkované množství střídavě po jedné otáčce klikového hřídele. Toto uspořádání již



umožňuje volit okamžik vstřiku v závislosti na pracovním režimu a zabraňuje v širokých oblastech charakteristiky nežádoucímu vstřikování do otevřeného sacího ventilu. Doba, která je k dispozici pro odpaření paliva, je ale i zde pro různé válce odlišná.

### **Sekvenční vstřikování**

Palivo je vstřikováno jednotlivě pro každý válec. Vstřikovací ventily jsou aktivovány postupně podle pořadí zapalování. Doba vstřiku a počátek vstřiku - vztaženy k horní úvratí daného válce - jsou pro všechny válce stejné. Tím je palivo „předběžně uskladněno“ stejně pro každý válec. Počátek vstřiku je volně programovatelný a může být přizpůsoben provozním režimům motoru.

### **Individuální vstřikování do válců**

Teto druh vstřikování poskytuje největší volnost. Vůči sekvenčnímu vstřikování má výhodu, že je zde možné pro každý válec individuálně ovlivňovat dobu vstřiku. Tím lze vyrovnávat nepravidelnosti, např. při plnění válců.

## **7.5 Přímé vstřikování benzínu**

Motory s přímým vstřikováním benzínu vytváří směs paliva se vzduchem ve spalovacím prostoru. Otevřeným sacím ventilem proudí v době sání pouze vzduch potřebný ke spalování. Palivo je vstřikováno přímo do spalovacího prostoru speciálními vstřikovacími ventily. [1]

### **Přehled**

Požadavek výkonných zážehových motorů při současně nízké spotřebě paliva vedl ke znovuobjevení přímého vstřikování benzínu. Princip není nový. Již v roce 1937 se začal používat letecký motor s mechanickým přímým vstřikováním benzínu. V roce 1951 se dvoudobý motor s mechanickým vstřikováním benzínu začal poprvé sériově montovat do osobního automobilu zvaného „Gutbrod“. V roce 1954 následoval „Mercedes 300 SL“ se čtyřdobým motorem a přímým vstřikováním. Konstrukce motoru s přímým vstřikováním byla pro tehdejší dobu velmi náročná. Kromě toho kladla tato technika vysoké požadavky na potřebné materiály. Životnost motoru byla dalším problémem. Všechny tyto problémy bránily po dlouhou dobu prosazení se přímého vstřikování benzínu.

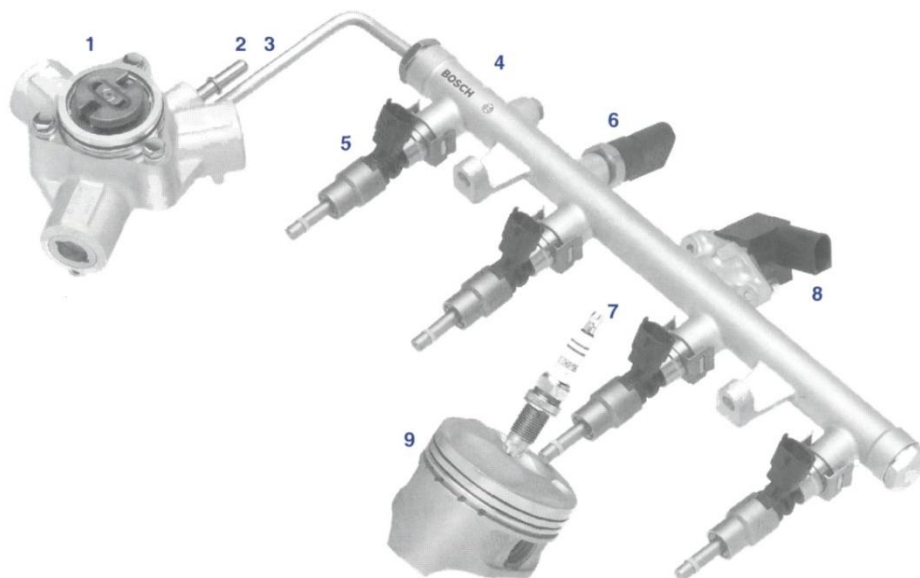
### **Způsob činnosti**

Systémy přímého vstřikování benzínu používají vysokotlaké vstřikování přímo do spalovacího prostoru. Směs paliva se vzduchem vzniká podobně jako u vznětového motoru uvnitř spalovacího prostoru (vnitřní tvorba směsi).

### **Vytváření vysokého tlaku**

Elektrické palivové čerpadlo dopravuje palivo s podávacím tlakem 0,3 ... 0,5 MPa (3 ... 5 bar) k vysokotlakému čerpadlu (Obrázek 36, Poz. 1). Vysokotlaké čerpadlo vytváří v závislosti na pracovním režimu motoru (požadovaný točivý moment a otáčky) systémový tlak. Palivo pod vysokým tlakem proudí do tlakového zásobníku (Rail) (Poz. 4), kde se ukládá. Tlak paliva je měřen snímačem vysokého tlaku (Poz. 6) a pomocí ventilu pro regulaci tlaku (Poz. 8) je udržován na hodnotě mezi 5 ... 12 MPa.

Na tlakovém zásobníku označovaném také jako „Common Rail“ jsou umístěny vysokotlaké vstřikovací ventily (Poz. 5). Jsou aktivovány řídicí jednotkou motoru a vstřikují palivo do spalovacího prostoru válce (Poz. 9).



Obrázek 36 Základní prvky systému přímého vstřikování benzínu

1	Vysokotlaké čerpadlo	6	Snímač vysokého tlaku
2	Nízkotlaká přípojka	7	Zapalovací svíčka
3	Vysokotlaké vedení	8	Ventil pro řízení tlaku
4	Vysokotlaký zásobník (Common Rail)	9	Spalovací prostor válce
5	Vysokotlaké vstřikovací ventily		

### Tvorba směsi

Vstřikované palivo jemně rozprášené vysokým vstřikovacím tlakem vytváří s nasátým vzduchem ve spalovacím prostoru směs paliva se vzduchem. V závislosti na provozním režimu motoru je palivo vstřikováno tak, aby v celém spalovacím prostoru byla buď homogenně rozdělená směs s  $\lambda < 1$  (homogenní provoz), nebo aby okolo zapalovací svíčky byl oblak vrstvené náplně s  $\lambda \leq 1$  (provoz s vrstveným plněním příp. s chudou směsí). Zbylý spalovací prostor je při provozu s vrstveným plněním vyplněn buď nasátým čerstvým vzduchem, inertními plyny přivedenými recirkulací spalin nebo velmi chudou směsí paliva se vzduchem. Z toho vyplývá celkově chudá směs paliva se vzduchem s  $\lambda_{\text{celk.}} > 1$ .

Tyto různé možnosti provozu motoru se označují jako druhy provozu. Výběr druhu provozu se provádí jednak podle otáček a požadovaného točivého momentu, jednak podle funkčních požadavků, např. regenerace zásobníkového katalyzátoru.

### Točivý moment

Při provozu s vrstveným plněním je množství vstřikovaného paliva určující veličinou pro vyvíjený točivý moment. Přebytek vzduchu umožňuje i v oblasti částečného zatížení neškrcený provoz s naplno otevřenou škrticí klapkou. Toto opatření snižuje ztráty způsobené výměnou náplně a tím spotřebu paliva.

Při homogenním provozu s chudou směsí s  $\lambda > 1$  a homogenním rozdělením směsi je díky malému škrcení dosaženo rovněž úspory paliva. Není však tak vysoká jako při provozu s vrstveným plněním.

Při homogenním provozu s  $\lambda > 1$  se motor s přímým vstřikováním benzínu chová v podstatě stejně jako motor se vstřikováním do sacího potrubí.

### Dodatečné čištění spalin

Katalyzátory mají za úkol odbourávat škodlivé látky ve výfukových plynech. Třicestný katalyzátor vyžaduje stechiometricky složenou směs paliva se vzduchem, aby dosáhl co nejvyšší

účinnosti. Zvýšené emise oxidů dusíku, které při provozu s chudou směsí vznikají následkem přebytku vzduchu, se dočasně ukládají v zásobníkovém katalyzátoru  $\text{NO}_x$  a pak jsou během krátkodobého provozu s přebytkem paliva redukovány na dusík, oxid uhličitý a vodu.

## 7.6 Tlakový zásobník

Tlakový zásobník (Rail) má za úkol ukládat palivo dodávané vysokotlakým čerpadlem a rozdělovat je vysokotlakým ventilům. Objem tlakového zásobníku je dostatečný k vyrovnání pulsací v palivovém okruhu. Tlakový zásobník je vyroben z hliníku. Provedení zásobníku (objem, rozměry, hmotnost atd.) závisí na motoru a použitém systému. Tlakový zásobník má přípojky pro další komponenty vstřikovacího systému (vysokotlaké čerpadlo, ventil pro řízení tlaku, snímač vysokého tlaku, vysokotlaké vstřikovací ventily). Konstrukce zajišťuje těsnost vysokotlakého zásobníku a jeho rozhraní. [1]

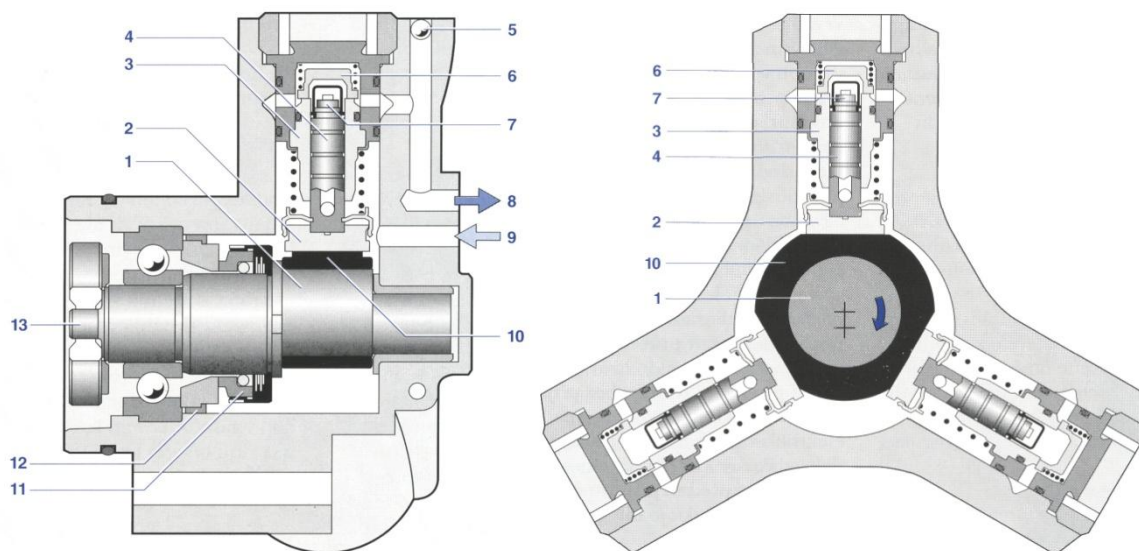
## 7.7 Vysokotlaké čerpadlo

### Úkol

Vysokotlaké čerpadlo má za úkol stlačovat palivo dodávané elektrickým palivovým čerpadlem s podávacím tlakem 0,3 ... 0,5 MPa v dostatečném množství, na tlak potřebný pro vysokotlaké vstřikování, tedy 5 ... 12 MPa.

Při startování motoru je palivo nejprve vstřikováno pod podávacím tlakem. Po zvýšení otáček motoru je vytvořen vysoký tlak. Přitom způsobuje co možná nejmenšími vlastními pulsacemi dodávaného paliva nízké pulsace v zásobníku. [1]

Vysokotlaké čerpadlo musí být chlazeno a mazáno palivem, aby se dopravované palivo nemohlo smísit s mazivem.



Obrázek 37 Řez vysokotlakým čerpadlem HDP1

1	Excentr	8	Přípojka k tlakovému zásobníku
2	Kluzný segment	9	Prívod paliva (nízký tlak)
3	Válec čerpadla	10	Zdvihový kroužek
4	Element čerpadla s pístem	11	Axiálně působící těsnění
5	Uzavírací kulička	12	Statické těsnění
6	Výstupní ventil	13	Hnací hřídel
7	Vstupní ventil		

## **Čerpadlo se třemi válci HDP1**

K dispozici jsou různá vysokotlaká čerpadla. Na obrázku 37 je podélný a příčný průřez radiálním pístovým čerpadlem se třemi válci HDP1. Vačkovým hřídelem motoru je poháněn hnací hřídel (Poz. 13) s excentrem (Poz. 1), který zajišťuje pohyb pístů (Poz. 4) nahoru a dolů ve válcích čerpadla (Poz. 3). Při pohybu pístu dolů proudí palivo pod podávacím tlakem 0,3 ... 0,5 MPa z palivového vedení dutým pístem přes vstupní ventil (Poz. 7) do válce. Při pohybu pístu nahoru je tekutina stlačována. Při dosažení potřebného tlaku se otevře výstupní ventil (Poz. 6) a palivo je dopravováno k vysokotlaké přípojce (Poz. 8). Použitím tří válců pootočených o 120° je dosaženo malé zbytkové pulsace v tlakovém zásobníku. Dopravované množství je úměrné otáčkám.

Maximální dodávané množství vysokotlakým čerpadlem je o něco větší než maximální spotřeba paliva, aby bylo spolehlivě zajištěno dostatečné množství, a aby bylo ohřívání paliva v zásobníku udržováno na nízké úrovni. Ventil pro řízení tlaku odpouští přebytečné palivo a odvádí je do zpětného vedení.

## **Čerpadlo s jedním válcem HDP2**

Čerpadlo s jedním válcem HDP2 je radiální pístové čerpadlo poháněné vačkovým hřídelem s nastavitelným dodávaným množstvím. Při pohybu pístu dolů proudí palivo pod podávacím tlakem 0,3 ... 0,5 MPa z palivového vedení přes vstupní ventil do válce čerpadla. Při pohybu pístu nahoru je toto palivo stlačováno a při překročení tlaku v zásobníku dopravováno do zásobníku. Prostor čerpadla a přítok paliva jsou propojeny řídicím ventilem pro regulaci množství. Je-li ventil pro regulaci množství otevřen před dokončením zdvihu, klesne tlak v prostoru čerpadla a palivo teče zpět do přítoku. Tak přebírá tato komponenta funkci ventilu pro řízení tlaku u systémů s čerpadlem se třemi válci HDP 1. K nastavení dodávaného množství je ventil pro regulaci množství od dolní úvratě vačky čerpadla až do určitého zdvihu zavřený. Je-li dosaženo požadovaného tlaku v tlakovém zásobníku, otevře se ventil pro regulaci množství a zabrání tak dalšímu nárůstu tlaku v tlakovém zásobníku. Maximální dodávané množství je závislé na otáčkách, počtu vaček a zdvihu vaček. Dodávané množství je možné dle potřeby nastavovat ventilem pro regulaci množství.

Zpětný ventil mezi prostorem čerpadla a tlakovým zásobníkem zabraňuje, aby tlak v zásobníku při otevření ventilu pro regulaci množství poklesl.

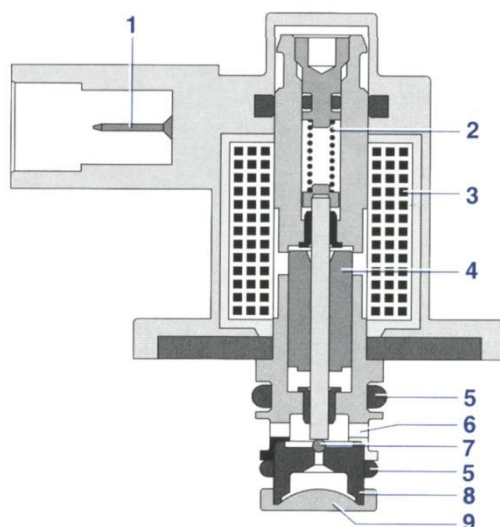
## **7.8 Ventil pro řízení tlaku**

### **Úkol**

Ventil pro řízení tlaku je umístěn mezi tlakovým zásobníkem a nízkotlakou stranou vysokotlakého čerpadla (např. HDP1). Ventil pro řízení tlaku nastavuje požadovaný tlak v tlakovém zásobníku změnou průtočného průřezu tak, že palivo, které dodá čerpadlo navíc, dopravuje do nízkotlakého okruhu. [1]

### **Uspořádání a způsob činnosti**

Signál modulovaný šířkou impulsu řídí cívku (Obrázek 38, Poz. 3). Kulička (Poz. 7) se zvedne ze sedla ventilu (Poz. 8) a mění dle potřeby průtočný průřez ventilu. Ventil pro řízení tlaku je bez připojeného napětí zavřený, aby i při výpadku elektrického řízení byl zajištěn potřebný tlak v tlakovém zásobníku. K ochraně komponent před nepřijatelně vysokým tlakem v zásobníku je integrována funkce k omezení tlaku.



Obrázek 38 Řez ventilem pro řízení tlaku

1	Elektrická přípojka	6	Odtokový otvor
2	Tlačná pružina	7	Kulička ventilu
3	Cívka	8	Sedlo ventilu
4	Kotva	9	Přítok se sítkem
5	Těsnicí kroužky		

## 7.9 Snímače tlaku v tlakovém zásobníku

### Použití

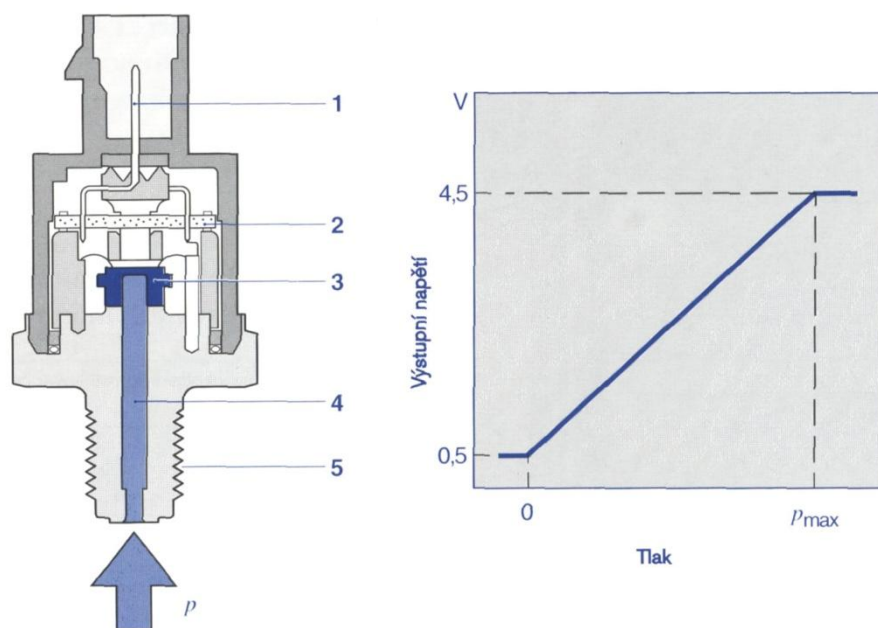
Snímače tlaku v tlakových zásobnících u systémů Common Rail a MED-Motronic měří tlak paliva v tlakovém zásobníku paliva. Přesné dodržení předepsaného tlaku paliva v zásobníku má velký význam pro emise škodlivých látek, hlučnost a výkon motoru. Tlak paliva je regulován v regulačním okruhu. Případné odchylky od požadované hodnoty jsou vyrovnávány ventilem pro řízení tlaku. Přípustné tolerance pro tento snímač tlaku jsou velmi malé. Chyba měření je v hlavní pracovní oblasti menší než 2 % měřícího rozsahu. [1]

Snímače tlaku v tlakovém zásobníku se používají u následujících systémů motorů:

- Systém vstřikování nafty s tlakovým zásobníkem Common Rail. Maximální pracovní tlak  $p_{\max}$  (jmenovitý tlak) činí 160 MPa (1600 bar).
- Přímé vstřikování benzínu MED-Motronic. Pracovní tlak u přímého vstřikování benzínu je závislý na točivém momentu a otáčkách. Činí 5 ... 12 MPa (50 ... 120 bar).

### Uspořádání a způsob činnosti

Jádro snímače je tvořeno ocelovou membránou, na které jsou napařeny tenzometrické rezistory v můstkovém zapojení (Obrázek 39, Poz. 3). Měřící rozsah snímače závisí na tloušťce membrány (silnější membrána při vyšších tlacích, tenčí membrána při nižších tlacích). Jakmile měřený tlak přes tlakovou přípojku (Poz. 4) působí na jednu stranu membrány, změní tenzometrické rezistory na základě prohnutí membrány (např. cca 20  $\mu\text{m}$  při 1500 bar) svůj odpor. Napětí vzniklé v můstku 0 ... 80 mV je propojovacími vodiči vedeno k vyhodnocovacímu obvodu (Poz. 2) ve snímači. Ten zesílí signál můstku na 0 ... 5 V a vede jej k řídicí jednotce, kde je pomocí uložené charakteristiky vypočítán tlak.



Obrázek 39 Řez snímačem tlaku v zásobníku a jeho převodní charakteristika

1	Elektrická přípojka	4	Tlaková přípojka
2	Vyhodnocovací obvod	5	Upevňovací závit
3	Ocelová membrána s tenzometrickými rezistory		

## 7.10 Vysokotlaký vstříkovací ventil

### Úkol

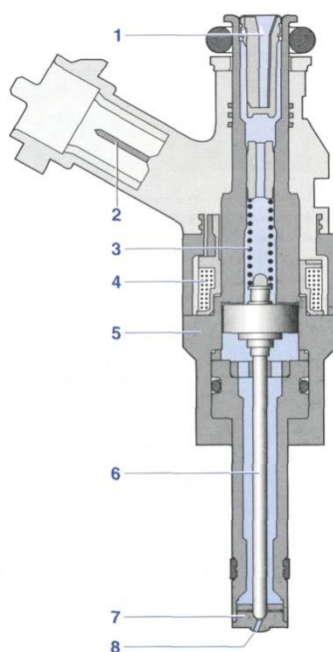
Vysokotlaký vstříkovací ventil představuje rozhraní mezi tlakovým zásobníkem a spalovacím prostorem. Úkolem vysokotlakého vstříkovacího ventilu je dávkovat palivo a jeho rozprášením dosáhnout cíleného promísení paliva se vzduchem v určité oblasti spalovacího prostoru. V závislosti na požadovaném provozním režimu je palivo koncentrováno v oblasti kolem zapalovací svíčky (vrstveně) nebo rovnoměrně rozprášeno v celém spalovacím prostoru (homogenní rozdělení). [1]

### Uspořádání a způsob činnosti

Vysokotlaký vstříkovací ventil (Obrázek 40) se skládá z následujících komponent:

- pouzdro (Poz. 5),
- sedlo ventilu (Poz. 7),
- jehla trysky s kotvou (Poz. 6),
- pružina (Poz. 3),
- cívka (Poz. 4).

Proud procházející cívku vytváří magnetické pole. Jehla ventilu je zvedána proti síle pružiny ze sedla ventilu a uvolňuje výstupní otvor ventilu (Poz. 8). Na základě rozdílu tlaků v tlakovém zásobníku a spalovacím prostoru je palivo vytlačováno do spalovacího prostoru. Při přerušení proudu je jehla ventilu silou pružiny zatlačena do sedla ventilu a průtok paliva je přerušeno. Ventil se otevírá co nejrychleji, zajišťuje během doby otevření konstantní průřez otvoru, a zavírá se opět proti tlaku v tlakovém zásobníku. Vstříkované množství paliva je tedy (při daném průřezu otvoru) závislé na tlaku v tlakovém zásobníku, protitlaku ve spalovacím prostoru a době otevření ventilu. Vhodnou geometrií trysky na hrotu ventilu je dosaženo velmi dobrého rozprášení paliva.



Obrázek 40 Řez vysokotlakým vstřikovacím ventilem HDEV

1	Přítok s jemným sítkem	5	Pouzdro
2	Elektrická přípojka	6	Jehla s kotvou
3	Pružina	7	Sedlo ventilu
4	Cívka	8	Výstupní otvor ventilu

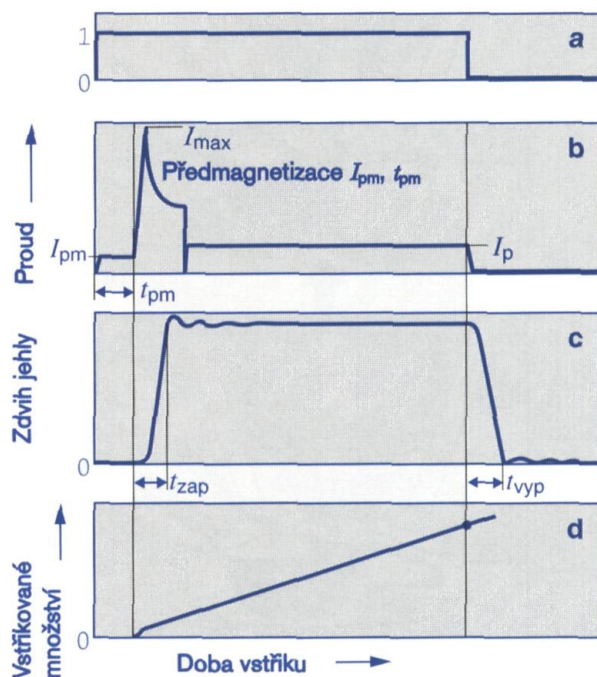
Na rozdíl od vstřikování do sacího potrubí je palivo při přímém vstřikování benzínu vstřikováno rychleji, přesněji a s lepší tvorbou paprsku paliva.

#### **Aktivace vysokotlakého vstřikovacího ventilu**

Pro zajištění definovaného a opakovatelného vstřiku musí být vysokotlaký vstřikovací ventil aktivován komplexním průběhem proudu (Obrázek 41). Mikrokontrolér v řídicí jednotce motoru poskytuje pouze digitální aktivační signál (a). Z tohoto signálu vytvoří speciální obvod aktivační signál (b), kterým výkonový stupeň řídí vysokotlaký vstřikovací ventil.

Nárazový kondenzátor vytváří řídicí napětí 50 ... 90 V. Toto napětí způsobuje vysoký proud při sepnutí a zajišťuje tak rychlé zvednutí jehly ventilu (c). Při otevřeném vstřikovacím ventilu (maximální zdvih jehly ventilu) postačuje k udržení konstantního zdvihu jehly nižší řídicí proud. Při konstantním zdvihu jehly je vstřikované množství (d) úměrné době vstřiku.

Doba předmagnetizace, během níž se vstřikovací ventil ještě neotvírá, se zohlední ve výpočtu doby vstřiku.



Obrázek 41 Průběh signálu pro aktivaci vysokotlakého vstřikovacího ventilu (HDEV)

- |   |                                       |   |                             |
|---|---------------------------------------|---|-----------------------------|
| a | Řídicí signál                         | c | Zdvih jehly                 |
| b | Průběh proudu ve vstřikovacím ventilu | d | Vstřikované množství paliva |

## 7.11 Proces spalování

Jako proces spalování se označují druh a způsob, jakými jsou ve spalovacím prostoru realizovány tvorba směsi a přeměna energie. [1]

V závislosti na zvoleném procesu dochází k specifickým prouděním vzduchu. Pro dosažení požadovaného vrstvení směsi vstřikuje vstřikovací ventil palivo do proudění vzduchu tak, aby se palivo odpařilo v prostorově vymezené oblasti. Proudění vzduchu odnáší oblak směsi až do okamžiku zážehu k zapalovací svíčke. Jsou možné dva principiálně odlišné procesy spalování.

### Proces spalování vedený paprskem

Proces spalování vedený paprskem se vyznačuje tím, že palivo je vstříknuto v bezprostřední blízkosti zapalovací svíčky a zde se odpaří (Obrázek 42a). To vyžaduje přesné umístění zapalovací svíčky a vstřikovací trysky a přesné nasměrování paprsku, aby směs mohla být zapálena ve správný okamžik.

Zatížení zapalovací svíčky výměnou tepla je přítom velmi vysoké, protože je za určitých podmínek přímo smáčena vstřikovaným paprskem.

### Proces spalování vedený stěnami

Při procesu spalování vedeném stěnami se rozlišuje mezi dvěma možnými prouděním vzduchu, které vznikají cíleným uspořádáním sacích kanálů a tvaru pístu. Vstřikovací ventil vstřikuje palivo do proudění vzduchu. Vznikající směs paliva se vzduchem dospěje s tímto prouděním jako uzavřený oblak k zapalovací svíčke.

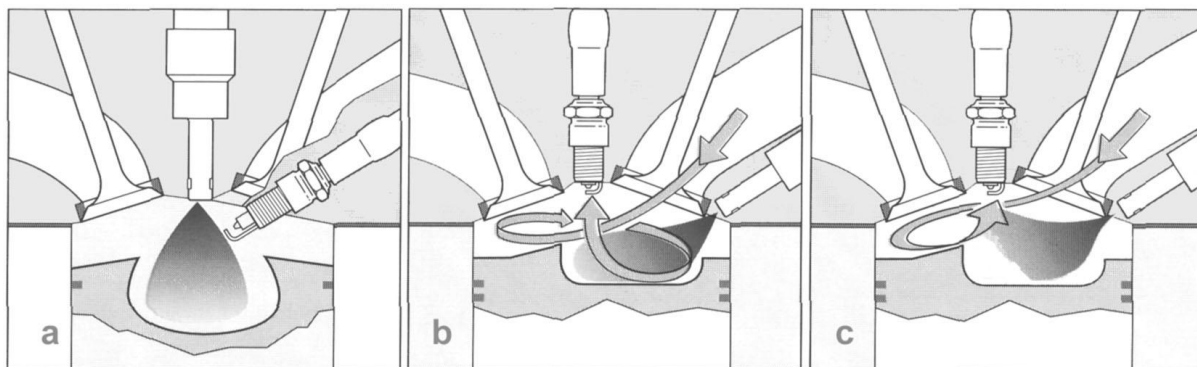
### Vířivé proudění

Vzduch nasávaný pístem válce přes otevřený sací ventil vytváří turbulentní proudění (rotační pohyb vzduchu) podél stěny válce (Obrázek 42b).



## Valivé proudění

Při tomto procesu vzniká valivé proudění vzduchu, které vychází ze shora, mění směr v prohlubni vytvarované v pístu a pohybuje se opět nahoru směrem k zapalovací svíče (Obrázek 42c).



Obrázek 42 Poměry proudění při různých procesech spalování

a	Spalování vedené paprskem	c	Valivé proudění vedené stěnami
b	Vířivé proudění vedené stěnami		

## 7.12 Tvorba směsi

### Úkol

Úkolem tvorby směsi je příprava pokud možno homogenní hořlavé směsi paliva se vzduchem.

### Požadavky

Při druhu provozu „homogenní“ (homogenní s  $\lambda \leq 1$  a také homogenní s chudou směsí) má být tato směs v celém spalovacím prostoru homogenní. Při provozu s vrstveným plněním je naproti tomu směs homogenní jen v určité prostorově vymezené oblasti, zatímco ve zbývajícím spalovacím prostoru se nachází čerstvý vzduch nebo inertní plyny.[1]

Směs plynů příp. plynů a par může být homogenní jen tehdy, když se všechno palivo odpařilo. Vliv na odpařování má více faktorů:

- teplota ve spalovacím prostoru,
- velikost kapek paliva,
- čas, který je k dispozici pro odpaření.

### Ovlivňující veličiny

#### Vliv teploty

Směs motorového benzínu se vzduchem je hořlavá v rozsahu od  $\lambda = 0,6 \dots 1,6$ , v závislosti na teplotě, tlaku a geometrii spalovacího prostoru motoru. Při nízkých teplotách se palivo neodpaří úplně. Proto musí být za těchto podmínek vstříkováno více paliva, aby bylo dosaženo hořlavé směsi.

#### Tvorba směsi při homogenním provozu

Aby bylo pro vytvoření směsi k dispozici co nejvíce času, vstříkuje se palivo co možná nejdříve. Proto se při homogenním provozu palivo vstříkuje již v době sání a pomocí nasávaného vzduchu je dosaženo odpaření paliva a dobré homogenity směsi.

## **Tvorba směsi při provozu s vrstveným plněním**

Pro provoz s vrstveným plněním je rozhodující vytvoření hořlavého oblaku směsi, který se v době zážehu nachází v oblasti zapalovací svíčky. K tomu je palivo během doby komprese vstřikováváno tak, aby vznikl oblak směsi, který je prouděním vzduchu ve spalovacím prostoru a pístem pohybujícím se nahoru přemístěn do oblasti zapalovací svíčky. Okamžik vstřiku závisí na otáčkách a na požadovaném točivém momentu.

## **Hloubka pronikání**

Velikost kapek vstřikovaného paliva je závislá na vstřikovacím tlaku a tlaku ve spalovacím prostoru. Se stoupajícím vstřikovacím tlakem je docíleno menších velikostí kapek, které se rychleji odpaří. Při stejném tlaku ve spalovacím prostoru a stoupajícím vstřikovacím tlaku se zvyšuje hloubka pronikání, tzn. délka dráhy, kterou jednotlivá kapka urazí, než se zcela odpaří.

Je-li tato délka dráhy větší než vzdálenost od vstřikovací trysky ke stěně spalovacího prostoru, jsou stěna válce nebo píst smáčeny palivem. Neodpaří-li se toto palivo na stěně válce nebo pístu před zážehem, dojde k neúplnému spálení příp. nedojde k žádnému.

## **Druhy provozu**

Při přímém vstřikování benzínu je známých šest druhů provozu:

- Provoz s vrstveným plněním,
- Homogenní provoz,
- Homogenní provoz s chudou směsí,
- Homogenní provoz s vrstveným plněním,
- Homogenní provoz chránící před klepáním,
- Provoz s vrstveným plněním a zahříváním katalyzátoru.

Tyto druhy provozu umožňují co nejlepší přizpůsobení pro každý druh provozu motoru. K přepínání druhu provozu dochází bez skokové změny točivého momentu a řidič je tak nezpozoruje.

## **Provoz s vrstveným plněním**

V oblasti nižšího točivého momentu při otáčkách do cca 3000 min<sup>1</sup> pracuje motor s vrstveným plněním. Vstřikovací ventil vstřikuje palivo v době komprese krátce před okamžikem zážehu. Během krátké doby do okamžiku zážehu přesouvá proudění vzduchu ve válci připravenou směs paliva se vzduchem k zapalovací svíčke. Kvůli pozdnímu okamžiku vstřiku nedojde k rozdělení směsi v celém spalovacím prostoru.

Při provozu s vrstveným plněním je směs z pohledu celého spalovacího prostoru velmi chudá. Kvůli velkému přebytku vzduchu je obsah emisí NO<sub>x</sub> velmi vysoký. Náprava je při tomto druhu provozu zjednána vysokou mírou recirkulace spalin. Zpětně přiváděné spaliny snižují teplotu spalování a snižují tak emise NO<sub>x</sub> závislé na teplotě.

Provoz s vrstveným plněním je vymezen veličinami „otáčky“ a „točivý moment“. Při příliš vysokém točivém momentu vznikají saze následkem lokálních bohatých oblastí. Při příliš vysokých otáčkách nelze tvorbu vrstvené náplně a potřebný transport směsi k zapalovací svíčke zachovat kvůli příliš vysokým turbulencím ve válci.

## **Homogenní provoz**

Při vysokém točivém momentu a vysokých otáčkách používá motor místo vrstvené náplně homogenní provoz s  $\lambda = 1$  (ve výjimečných případech s  $\lambda < 1$ ). Počátek vstřikování směsi leží v době sání, takže vytvořená směs paliva se vzduchem se může rozdělit v celém spalovacím prostoru. Vstřikované množství paliva je odměřováno tak, aby směs paliva se vzduchem byla ve stechiometrickém poměru nebo ve výjimečných případech měla mírný přebytek paliva ( $\lambda \leq 1$ ).

Tento druh provozu je nutný také při požadavku vysokého točivého momentu, protože využívá celý spalovací prostor. Díky stechiometrické směsi paliva se vzduchem je v tomto druhu provozu obsah škodlivých látek ve spalinách nízký.

Při homogenním provozu odpovídá spalování do značné míry spalování při vstřikování do

sacího potrubí.

### **Homogenní provoz s chudou směsí**

V přechodové oblasti mezi provozem s vrstveným plněním a homogenním provozem může motor pracovat s homogenní chudou směsí ( $\lambda > 1$ ). Při homogenním provozu s chudou směsí je spotřeba paliva vůči homogennímu provozu s  $\lambda \leq 1$  nižší, protože ztráty způsobené výměnou obsahu válce jsou díky otevřené škrtkové klapce nižší.

### **Homogenní provoz s vrstveným plněním**

Při homogenním provozu s vrstveným plněním je celý spalovací prostor naplněn homogenní chudou základní směsí. Tato směs vzniká vstříknutím malého množství paliva v době sání.

Ke druhému vstříknutí paliva (dvojí vstříkování) dojde v době komprese. Tím vznikne oblast s bohatší směsí okolo zapalovací svíčky. Tato vrstvená náplň je lehce zápalná a dokáže svým plamenem, podobně jako při dvoufázovém zapalování, zapálit homogenní chudou směs ve zbývajícím spalovacím prostoru.

Homogenní provoz s vrstveným plněním je aktivován po několika pracovních cyklech během přepnutí mezi provozem s vrstveným plněním a homogenním provozem. Systém řízení motoru tak může lépe nastavit točivý moment během přepínání a díky velmi chudé základní směsi s  $\lambda > 2$  klesnou emise  $\text{NO}_x$ .

Činitel rozdělení paliva mezi oběma vstříky činí přibližně 75 %. To znamená, že 75 % paliva je vstříknuto při prvním vstříku, který vytváří homogenní základní směs.

Stacionární provoz dvojího vstříkování při nízkých otáčkách v přechodové oblasti mezi provozem s vrstveným plněním a homogenním provozem redukuje emise sazí oproti provozu s vrstveným plněním a redukuje spotřebu paliva oproti homogennímu provozu.

### **Homogenní provoz chránící před klepáním**

Při tomto druhu provozu není nutné díky dvojímu vstříkování při plném zatížení provádět přestavení předstihu směrem k „později“ k zamezení klepání, protože vrstvení náplně brání klepání. Z výhodnějšího předstihu současně vyplývá vyšší točivý moment.

### **Provoz s vrstveným plněním a zahříváním katalyzátoru**

Další druh dvojího vstříkování umožňuje rychlé zahřátí výfukového systému; k tomu musí být však výfukový systém optimalizován. Přitom se při provozu s vrstveným plněním s velkým přebytkem vzduchu vstříkuje nejprve v době komprese (stejně jako při provozu s vrstveným plněním) a pak ještě jednou v době expanze. Tato část paliva shoří velmi pozdě a silně zahřívá stranu výfuku a výfukové potrubí.

Dalším důležitým případem použití je zahřátí katalyzátoru  $\text{NO}_x$  na teploty přes  $650\text{ }^\circ\text{C}$ , aby se zahájilo jeho odsíření. Zde je dvojí vstříkování zcela nezbytné, protože konvenčními opatřeními k zahřívání nelze ve všech provozních stavech této vysoké teploty dosáhnout.

## **Použitá literatura**

- [1] ROBERT BOSCH GmbH, Řízení zážehového motoru – Základy a komponenty, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 2002.

## 8. Zapalovací soustava

Zážehový motor je spalovací motor s vnějším zapalováním. Zapalovací jiskra zapálí směs paliva se vzduchem stlačenou ve spalovacím prostoru a zahájí tak spalování. Tato zapalovací jiskra vznikne přeskokem náboje mezi elektrodami zapalovací svíčky, které vyčnívají do spalovacího prostoru. Zapalování musí vytvořit napětí potřebné k přeskoku jiskry na zapalovací svíčke a zajišťovat, aby k přeskoku došlo ve správný čas. [1]

### Přehled

Důležitými parametry pro zapálení směsi paliva se vzduchem jsou:

- předstih
- zapalovací energie.

Předstih, vztažený k horní úvratí (HÚ) klikového hřídele, určuje okamžik zážehu a tím vznícení směsi. Má u zážehového motoru podstatný vliv na výkon a tvorbu spalin.

K vytvoření zapalovací jiskry ve spalovacím prostoru musí být překročeno určité napětí na zapalovací svíčke, tzv. „zapalovací napětí“. V závislosti na pracovním režimu motoru a stavu svíčky je k tomu potřeba napětí až 30 000 V (např. u přeplňovaných motorů). Po přeskoku jiskry je spalovací proces zahájen předáním energie jiskry směsi.

Pro použití v osobních automobilech se prosadilo indukční zapalování (cívkové zapalování). Při cívkovém zapalování se zapalovací energie dočasně hromadí v magnetickém poli zapalovací cívky a v okamžiku zážehu je po transformaci na dostatečné zapalovací napětí předána směsi.

### Vývoj zapalovacích systémů

V průběhu času byly zapalovací systémy kvůli rostoucím požadavkům na výkon motoru a tvorbu spalin stále vyvíjeny. Přitom hrálo důležitou roli rostoucí nasazení elektroniky.

#### Konvenční cívkové zapalování (1934... 1986)

Mechanický přerušovací kontakt řídí průtok proudu zapalovací cívkou (nabití cívky a zážeh). Mechanický odstředivý regulátor a podtlakový regulátor určují předstih v závislosti na otáčkách a zatížení (mechanické přestavení předstihu). Rozdělování vysokého napětí na zapalovací svíčky zajišťuje mechanický rotační rozdělovač (rotační rozdělování vysokého napětí).

#### Tranzistorové zapalování (1965 ... 1993)

Mechanický přerušovací kontakt je nahrazen výkonovým tranzistorem nepodléhající opotřebení v tranzistorové spínací jednotce, která je řízena indukčním nebo Hallovým snímačem. Dosavadní negativní vliv opotřebení kontaktů přerušovače je eliminován.

#### Elektronické zapalování (1983 ... 1998)

Rozdělování vysokého napětí se provádí ještě mechanicky, mechanické přestavení předstihu však odpadá. Otáčky a zatížení se snímají elektronicky a jsou vstupními veličinami pro charakteristiku předstihu uloženou v polovodičové paměti. Pro řízení je potřebná řídicí jednotka zapalování s mikrokontrolérem.

#### Plně elektronické zapalování (1983 ... 1998)

Rozdělování napětí se již neprovádí mechanicky, ale čistě elektronicky v řídicí jednotce zapalování (klidové rozdělování napětí). Tento systém již neobsahuje žádné opotřebovávající se díly.

Od roku 1998 se pro nová vozidla používají již jen řídicí jednotky motoru, které kombinují

plně elektronické zapalování a vstřikování benzínu.

## 8.1 Indukční zapalovací soustava

Úkolem indukčního zapalování zážehového motoru je zajišťovat přeskok jiskry na zapalovací svíčke a připravovat energii pro dostatečně dlouhou jiskru. [1]

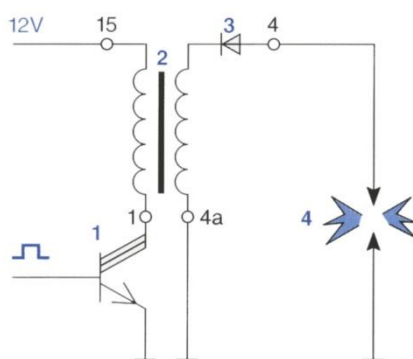
### Přehled

Zapalovací okruh indukčního zapalovacího systému se skládá z těchto částí:

- koncový stupeň (Obrázek 43, Poz. 1),
- zapalovací cívka (Poz. 2),
- rozdělovač vysokého napětí,
- zapalovací svíčka (Poz. 4),
- propojovací a odrušovací prostředky.

Rozdělovač vysokého napětí u moderních zapalovacích systémů s klidovým rozdělováním napětí odpadá.

Na obrázku 43 je principiální uspořádání zapalovacího okruhu na příkladu zapalování s klidovým rozdělováním napětí a jednojiskrovou zapalovací cívkou.



Obrázek 43 Zapalování s klidovým rozdělováním napětí a jednojiskrovou zapalovací cívkou

1	Koncový stupeň	4	Zapalovací svíčka
2	Zapalovací cívka	1, 4, 4a, 15	Označení svorek
3	Dioda EFU		

### Koncový stupeň

#### Úkol

Koncový stupeň zapalování má za úkol spínat proud v zapalovací cívce.

#### Uspořádání a způsob činnosti

Koncové stupně jsou obvykle zapojeny jako třístupňové výkonové tranzistory. Funkce „omezení primárního napětí“ a „omezení primárního proudu“ jsou monoliticky integrovány v koncovém stupni a chrání komponenty zapalování před přetížením.

Za provozu se koncový stupeň a zapalovací cívka zahřívají. Aby nedošlo k překročení povolených provozních teplot, musí se vznikající ztrátový výkon i při zvýšených teplotách okolí odvádět pomocí vhodných opatření. Omezení primárního proudu má za úkol pouze omezovat proud v případě závady (např. zkratu).

Existují interní a externí koncové stupně. Interní koncové stupně jsou integrovány na desce plošných spojů řídicí jednotky motoru. Externí koncové stupně jsou umístěny ve vlastním

pouzdrě mimo řídicí jednotku motoru. Z cenových důvodů se externí koncové stupně u nově vyvíjených vozidel již nepoužívají.

Další stále využívanější možností je integrace koncového stupně do zapalovací cívky.

## Zapalovací cívka

### Úkol

Zapalovací cívka ukládá potřebnou zapalovací energii a vytváří vysoké napětí pro přeskok jiskry v okamžiku zážehu.

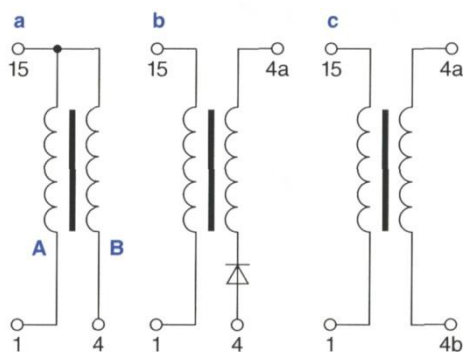
### Konstrukce

Zapalovací cívky se skládají ze dvou magneticky vázaných měděných vinutí (primární a sekundární vinutí), z jádra složeného z jednotlivých plechů a z pouzdra z umělé hmoty. V závislosti na konstrukci může mít jádro uzavřený tvar (kompaktní cívka) nebo tyčový tvar (tyčová cívka). Uspořádání a poloha primárního a sekundárního vinutí závisí na zvolené konstrukci. Sekundární vinutí může být pro zvýšení izolační pevnosti provedeno jako kotoučové nebo komorové vinutí.

Pouzdro je kvůli izolaci vinutí mezi sebou a vůči jádru zalito epoxidovou pryskyřicí. Konstrukce a dimenzování zapalovací cívky je přizpůsobeno danému použití.

### Způsob činnosti

Funkce zapalovací cívky (Obrázek 44) je založena jednak na indukčním zákoně, ale i na využití rezonance. Energie uložená v magnetickém poli primárního vinutí se magnetickou indukcí přenáší na sekundární stranu zapalovací cívky. Proud a napětí jsou transformovány v poměru počtu závitů (transformační poměr) primární (A) a sekundární (B) strany.



Obrázek 44 Schématické zapojení základních typů zapalovacích cívek

Pro rotační rozdělování napětí:

a Jednojiskrová zapalovací cívka

Pro klidové rozdělení napětí:

b Jednojiskrová zapalovací cívka

c Dvoujiskrová zapalovací cívka

U jednojiskrové zapalovací cívky pro systémy s rotačním rozdělováním vysokého napětí jsou vždy jeden vývod primárního a sekundárního vinutí vzájemně spojeny (úsporné zapojení) a připojeny ke svorce 15 (spínač zapalování). Další vývod primárního vinutí je propojen s koncovým stupněm (svorka 1). Druhý vývod sekundárního vinutí je propojen s rozdělovačem (svorka 4). U jednojiskrových a dvoujiskrových zapalovacích cívek pro systémy s klidovým rozdělováním napětí nejsou primární a sekundární vinutí propojena. U jednojiskrové zapalovací cívky je jedna strana sekundárního vinutí připojena ke kostře (sv. 4a), druhá strana je připojena přímo k zapalovací svíčke. U dvoujiskrové zapalovací cívky jsou oba vývody sekundárního vinutí připojeny vždy k jedné zapalovací svíčke.

## Vytváření vysokého napětí

U moderních zapalovacích systémů spíná řídicí jednotka motoru koncový stupeň zapalování během vypočítané doby sepnutí. Během této doby roste primární proud zapalovací cívky na svou předepsanou hodnotu a vytvoří přitom magnetické pole.

Velikost primárního proudu a hodnota indukčnosti primárního vinutí zapalovací cívky určují energii uloženou v magnetickém poli.

V okamžiku zážehu přeruší koncový stupeň průtok proudu. Změnou magnetického pole se v sekundárním vinutí zapalovací cívky indukuje sekundární napětí. Maximální možné sekundární napětí závisí na energii uložené v zapalovací cívce, kapacitě vinutí a transformačním poměru cívky, sekundární zátěži (zapalovací svíčka) a omezení primárního napětí koncového stupně.

Sekundární napětí musí v každém případě přesahovat napětí potřebné k přeskočení jiskry na zapalovací svíčke. Energie jiskry musí být dostatečná k zapálení směsi i při výskytu následných jisker. Následné jiskry se vyskytují, když je zapalovací jiskra turbulencemi vychýlena a přetržena.

Při sepnutí primárního proudu se v sekundárním vinutí indukuje nežádoucí napětí cca 1 ... 2 kV (napětí při sepnutí). Má opačnou polaritu než vysoké napětí způsobené odtrhem a musí být zabráněno jím způsobenému přeskočení jiskry na zapalovací svíčke (jiskra při sepnutí).

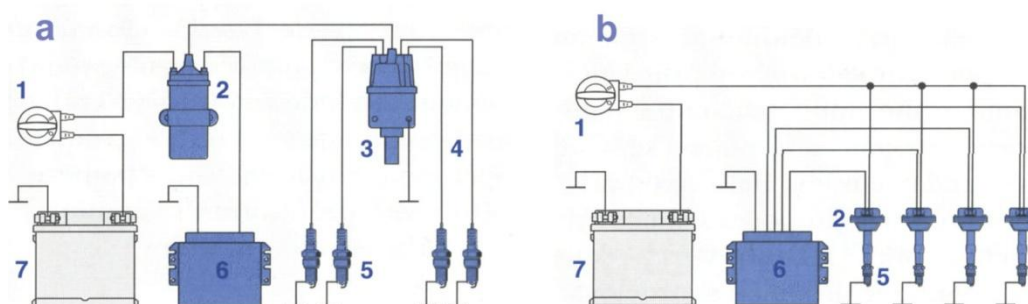
U systémů s rotačním rozdělováním vysokého napětí je jiskra při sepnutí účinně potlačena předřazeným jiskřištěm rozdělovače. Při klidovém rozdělování napětí s jednojiskrovými zapalovacími cívkami brání přeskočení jiskry při sepnutí dioda (dioda EFU, viz. Obrázek 44 b) ve vysokonapěťovém okruhu. Při klidovém rozdělování napětí s dvoujiskrovými zapalovacími cívkami je přeskočení jiskry při sepnutí zabráněno bez dalších opatření vysokým přeskokovým napětím dvou sériově zapojených zapalovacích svíček.

Při přerušení primárního proudu vzniká v primárním vinutí samoindukční napětí přibližně 200...400 V. Tento jev je zapříčiněn tím, že proud protékající vodičem, který tvoří uzavřený obvod, vyvolává magnetický indukční tok. Tento tok se mění při každé změně proudu v obvodu a tedy i v případě přerušení primárního proudu. Se změnou magnetického indukčního toku tak vzniká v obvodu elektromotorické napětí, které označujeme jako samoindukční napětí [2].

## Rozdělování napětí

### Úkol

Vysoké napětí vytvořené v zapalovací cívce musí být v okamžiku zážehu přivedeno ke správné zapalovací svíčke. To je úkolem rozdělování napětí.



Obrázek 45 Principiální schéma rozdělování napětí

a	Rotační rozdělování	b	Klidové rozdělování s jednojiskrovou zapalovací cívkou
1	Spínací skříňka	5	Zapalovací svíčka
2	Zapalovací cívka	6	Řídicí jednotka
3	Rozdělovač	7	Akumulátor
4	Zapalovací kabely		

## **Rotací rozdělování vysokého napětí**

Při rotačním rozdělování vysokého napětí je vysoké napětí vytvářené jedinou zapalovací cívkou (Obrázek 45a, Poz. 2) mechanicky rozdělováno rozdělovačem (Poz. 3) na jednotlivé zapalovací svíčky. Tento druh rozdělování napětí nemá pro nové systémy řízení motoru již žádný význam.

## **Klidové rozdělování napětí**

Při elektronickém nebo klidovém rozdělování napětí bez přerušovače odpadají mechanické komponenty (Obrázek 45b). Zapalovací cívky jsou propojeny přímo se svíčkami a rozdělování napětí se provádí na primární straně zapalovacích cívek. Tím je umožněno rozdělování napětí bez opotřebením a ztrát. Pro tento druh rozdělování napětí existují dvě varianty.

## **Systém s jednojiskrovými zapalovacími cívkami**

Každému válci je přiřazen jeden koncový stupeň a jedna zapalovací cívka. Řídící jednotka aktivuje koncové stupně dle pořadí zapalování. Protože odpadají ztráty rozdělováním, mohou být montovány obzvláště malé zapalovací cívky. Obvykle jsou umístěny přímo nad zapalovací svíčkou.

Klidové rozdělování napětí s jednojiskrovými zapalovacími cívkami je univerzálně použitelné pro všechny počty válců. Nejsou zde žádná omezení pro rozsah přestavení předstihu. Systém však musí být pomocí snímače vačkového hřídele synchronizován s vačkovým hřídelem.

## **Systém s dvoujiskrovými zapalovacími cívkami**

Jeden koncový stupeň a jedna zapalovací cívka jsou přiřazeny vždy dvěma válcům. Konce sekundárního vinutí jsou připojeny vždy k jedné zapalovací svíčce v jiném válci. Válce jsou zvoleny tak, aby se v době komprese jednoho válce druhý válec nacházel právě v době výfuku (při sudém počtu válců). V okamžiku zážehu dojde na obou zapalovacích svíčkách k přeskočení jiskry. Musí být zajištěno, aby jiskra v době sání nezapálila zbytkové plyny nebo nasátou čerstvou směs. Z toho vyplývá omezení možné oblasti přestavení předstihu. Systém však nemusí být synchronizován s vačkovým hřídelem.

## **Zapalovací svíčka**

### **Úkol**

Zapalovací svíčka vytváří jiskru, která zapálí směs paliva se vzduchem ve spalovacím prostoru.

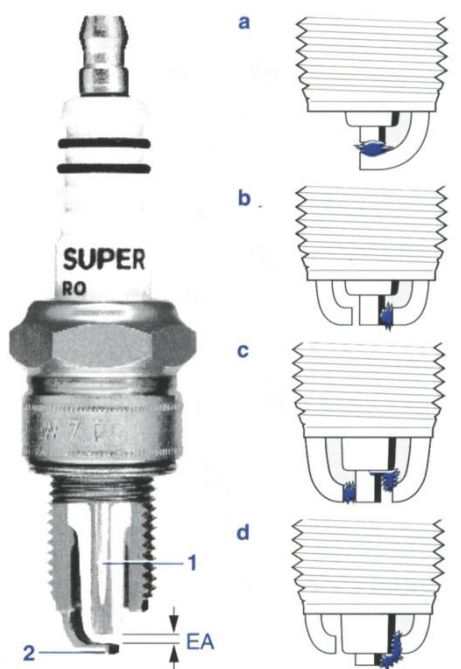
### **Konstrukce a způsob činnosti**

Zapalovací svíčka (Obrázek 46) je keramikou izolovaná, plynotěsná vysokonapěťová průchodka do spalovacího prostoru s jednou střední elektrodou (Poz. 1) a jednou nebo několika vnějšími elektrodami (Poz. 2).

Poloha vnějších elektrod určuje typ svíčky. Je-li vnější elektroda proti střední elektrodě, hovoří se o svíčce se vzdušnou jiskrou (a, b). Při bočně umístěných vnějších elektrodách jde o svíčky se vzdušnou a klouzavou jiskrou (c), nebo s pouze klouzavou jiskrou (d).

Po přerušení primárního proudu v okamžiku zážehu stoupne napětí na sekundárním vinutí zapalovací cívky během krátké doby (cca 30  $\mu$ s) na zapalovací napětí. Při překročení potřebného zapalovacího napětí se jiskřiště zapalovací svíčky mezi střední a vnější elektrodou stane vodivým. Kapacity v sekundárním okruhu nabitě na zapalovací napětí (zapalovací svíčka, kabel a cívka) se vybijí přeskokem výboje jiskry. Poté je uložená energie zapalovací cívky po dobu fáze hoření jiskry (typicky 1 ... 2 ms) přeměněna v doutnavý oblouk. Během fáze dokmitu je odbourána zbytková energie obsažená v zapalovací cívce.





Obrázek 46 Částečný řez zapalovací svíčkou a typy jiskřiště

1	Střední elektroda	2	Vnější elektroda
a	Vzdušné jiskřiště se střechovou elektrodou	c	Vzdušné/klouzavé jiskřiště
b	Vzdušné jiskřiště s postranní elektrodou	d	Klouzavé jiskřiště
EA	Vzdálenost elektrod		

### Opotřebení zapalovacích svíček

Při provozu motoru se elektrody zapalovací svíčky opotřebovávají následkem eroze způsobené proudem jiskry a koroze způsobené horkými plyny ve spalovacím prostoru. Vzdálenost mezi elektrodami se zvětšuje. Tím roste potřebné zapalovací napětí. Potřebné napětí musí být až do konce intervalu pro výměnu svíček ve všech provozních režimech pokryto napětím vytvářeným zapalovacím systémem.

### Propojovací a odrušovací prostředky

#### Zapalovací kabely

Vysoké napětí vytvořené v zapalovací cívice se musí dovést k zapalovací svíčke. K tomu se u zapalovacích cívek, které nejsou nasazeny na zapalovací svíčke, používají vodiče, s izolací z umělé hmoty odolávající vysokému napětí, na jejichž koncích jsou umístěny konektory k připojení vysokonapěťových komponent. Protože každý vysokonapěťový kabel představuje pro zapalovací systém kapacitní zátěž, musí být vedení pokud možno krátká.

#### Odrušovací odpory, stínění

Každý přeskok jiskry na zapalovací svíčke nebo rozdělovači (při rotačním rozdělování napětí) je z důvodu impulsního vybití zdrojem rušení. Odrušovacími odpory ve vysokonapěťovém okruhu se omezuje špičkový vybíjecí proud. K minimalizaci rušivého vyzařování vysokonapěťového okruhu musí být odrušovací odpory umístěny co nejbližší zdroji rušení.

Obvykle jsou odrušovací odpory integrovány do připojovacích konektorů kabelů a při

rotačním rozdělování napětí také do palce rozdělovače. Existují také zapalovací svíčky s odrušovacím odporem. Zvýšení odporu na sekundární straně vede však k dalším ztrátám energie v zapalovacím okruhu a tím k nižší energii jiskry na zapalovací svíčce.

Dalšího snížení vyzařování lze dosáhnout částečným nebo úplným odstíněním zapalovacího systému.

### **Zapalovací napětí**

Hodnota napětí, při kterém mezi elektrodami zapalovací svíčky přeskóčí jiskra, závisí mimo jiné na:

- hustotě směsi paliva a vzduchu ve spalovacím prostoru a tím i na okamžiku zážehu,
- složení směsi paliva se vzduchem (součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$ ),
- rychlosti proudění a turbulencích,
- geometrii elektrod,
- materiálu elektrod,
- vzdálenosti elektrod.

Musí být zajištěno, aby zapalovací systém za všech provozních podmínek dodával potřebné zapalovací napětí.

### **Zapalovací energie**

Vypínací proud a parametry zapalovací cívky určují energii, kterou může zapalovací cívka uložit, a která je pak jako zapalovací energie k dispozici v zapalovací svíčce. Zapalovací energie má rozhodující vliv na vznícení směsi. Dobré vznícení směsi je předpokladem pro dosažení vysokého výkonu při nízké tvorbě škodlivých látek. To klade vysoké požadavky na zapalovací soustavu.

### **Energetická bilance zážehu**

Energie uložená v zapalovací cívce je po vyvolání zapalovací jiskry uvolněna. Tato energie se dělí na dvě různé části:

- Výboj jiskry - Energie  $E$ , která je uložena v kapacitě  $C$  sekundárního okruhu, a v okamžiku zážehu je nárazově uvolněna, roste s druhou mocninou aktuálního napětí  $U$  ( $E = 1/2 CU^2$ ).
- Fáze hoření jiskry - Zbylá energie uložená v zapalovací cívce (indukční část) je uvolněna následně. Tato energie je určena rozdílem celkové energie uložené v zapalovací cívce a energie uvolněné kapacitním vybitím. To znamená: čím vyšší je potřebné zapalovací napětí, tím vyšší je podíl celkové energie uvolněné ve výboji jiskry.

Při vysokém potřebném napětí, např. kvůli opotřebovaným zapalovacím svíčkám, nepostačuje již energie pro fázi hoření jiskry za určitých okolností k úplnému vznícení zapálené směsi nebo k opětovnému zapálení přerušeno oblouku následnými jiskrami.

Při dále rostoucím potřebném napětí je dosaženo meze vynechávání. Energie, která je k dispozici, již nestačí k vytvoření přeskočku jiskry a uvolní se v tlumeném zákmitu (vynechání zapalování).

Vlastní odpor zapalovací cívky a zapalovacích kabelů a odrušovací odpory způsobují ztráty, které nejsou k dispozici jako zapalovací energie. Další ztráty vznikají působením svodových odporů. Ty mohou být způsobeny nečistotou na vysokonapěťových kabelech, ale také usazeninami a sazemi na zapalovací svíčce uvnitř spalovacího prostoru.

Výše ztrát způsobených svodovými odpory závisí na potřebném napětí. Čím vyšší je napětí přivedené k zapalovací svíčce, tím větší jsou proudy protékající svodovými odpory.

### **Zapálení směsi**

K zapálení směsi paliva se vzduchem elektrickou jiskrou je pro jednotlivé zapálení za ideálních podmínek potřebná energie přibližně 0,2 mJ, je-li směs klidná, homogenní a ve stechiometrickém poměru. Chudé a bohaté směsi potřebují za těchto podmínek více než 3 mJ.

Energie potřebná k zapálení směsi je jen zlomkem celkové energie obsažené v zapalovací jiskře, tzn. zapalovací energie. U běžných zapalovacích systémů je k vytvoření vysokonapěťového přeskočného v okamžiku zážehu při vysokých průrazných napětích potřebná energie přes 15 mJ. K udržení určité doby trvání jiskry a k pokrytí ztrát, např. svodovým odporem na zapalovací svíčke, musí být dodána další energie. Z toho vyplývá zapalovací energie minimálně 30 ... 50 mJ. To odpovídá energii uložené v zapalovací cívce 60 ... 120 mJ.

Turbulence ve směsi, které se vyskytují při provozu s vrstvenou směsí při přímém vstřikování benzínu, mohou zapalovací jiskru vychýlit až k jejímu přetržení. Pak jsou k zapálení směsi potřebné následné jiskry, jejichž energie musí být rovněž připravena v zapalovací cívce.

Při chudých směsích je potřebná obzvláště vysoká energie k pokrytí vyššího potřebného napětí a současně k zajištění dostatečné doby trvání jiskry, protože zápalnost s rostoucím podílem vzduchu ve směsi klesá.

Je-li k dispozici málo zapalovací energie, k zapálení směsi nedojde. Směs se nemůže vznítit a dojde k vynechání zapalování. Z toho důvodu se musí připravit tolik zapalovací energie, aby se směs paliva se vzduchem vznítila i za nejnepríznivějších vnějších podmínek. Přitom stačí, aby jiskra zapálila jen malý objem směsi. Vznícená směs u zapalovací svíčky zapálí pak i zbývající směs ve válci a zahájí tak spalování.

### **Vlivy na zápalnost směsi**

Dobrá příprava a snadný přístup směsi k zapalovací svíčke zlepšují zápalnost stejně tak jako dlouhá doba trvání jiskry a velká délka jiskry příp. velká vzdálenost elektrod. Příznivě se projevuje také turbulence směsi, za předpokladu, že pro eventuálně potřebné následné jiskry je k dispozici dostatek energie. Turbulence přispívají k rychlejšímu rozšíření fronty plamene ve spalovacím prostoru a k rychlejšímu prohoření směsi v celém spalovacím prostoru.

Také znečištění zapalovací svíčky má význam. Při silně znečištěné zapalovací svíčke odtéká v době, kdy je vytvářeno vysoké napětí, energie ze zapalovací cívky svodovým odporem zapalovací svíčky (usazeniny). To vede ke snížení vysokého napětí a ke zkrácení doby trvání jiskry s následky na spaliny a v mezním případě - při silně znečištěných nebo mokrych zapalovacích svíčkách - k úplnému vynechání zapalování.

Vynechání zapalování vede k vynechání spalování, které zvyšuje spotřebu paliva a emise škodlivých látek a může poškodit katalyzátor.

### **Okamžik zážehu**

Od okamžiku přeskočného zapalovací jiskry do úplného prohoření směsi uplynou přibližně dvě milisekundy. Při stejném složení směsi zůstává tento čas konstantní. Při stoupajících otáčkách musí proto, vztaženo k úhlu natočení klikového hřídele, k zážehu docházet stále dříve. Při malé náplni válce je směs paliva se vzduchem méně zápalná. To způsobí větší zpoždění zážehu, takže předstih se musí posunout ještě více směrem k „dříve“. Pro co nejlepší předání točivého momentu musí být předstih zvolen tak, aby těžiště spalování a tím špička tlaku byly krátce za horní úvratí (HÚ), avšak aby nedocházelo k detonačnímu spalování (klepání).

Při provozu s vrstveným plněním (přímé vstřikování benzínu) je možný rozsah pro okamžik zážehu vymezen koncem vstřiku a potřebným časem pro přípravu směsi během doby komprese.

## **Zapalování**

### **Zapalování v zážehovém motoru**

Provedení zapalovacího systému u zážehového motoru se liší způsobem získání vysokého napětí, způsobem jeho rozdělení a přenosu a způsobem regulace předstihu. [3]

### **Okamžik zapálení**

Okamžik zapálení je závislý zejména na hodnotě "otáček" a na "zatížení" motoru. Závislost na otáčkách je způsobena tím, že doba prohoření směsi je při konstantním plnění a konstantním po-

měru vzduch-palivo konstantní a proto musí dojít se stoupajícími otáčkami k dřívějšímu zapálení. Závislost na zatížení je ovlivněna ochuzením směsi zbývajícími množstvím zbytkových plynů při nízkém zatížení a menším naplněním válce. Tento vliv způsobí zvýšení prodlevy hoření a nižší rychlost prohořívání směsi, takže okamžik zapálení musí být přesunut do polohy "dříve" tzn. do polohy většího předstihu.

### **Regulace předstihu**

Chování zapalování v závislosti na otáčkách a zatížení je zapracováno do funkce přestavení okamžiku zapálení. Poloha klikového hřídele před horní úvratí v okamžiku zapálení směsi udává předstih. U elektronických zapalovacích systémů jsou kromě toho zohledněny také další vlivy, jako např. teplota nebo změna složení směsi. Hodnoty všech funkcí regulace jsou mechanicky nebo elektronicky navzájem propojeny, aby z nich mohl být určen předstih. Před vlastním okamžikem zapálení musí být zásobník energie včas nabit. K tomu je u zapalovacího systému potřebné vytvoření tzv. doby sepnutí příp. úhlu sepnutí. Energie je většinou nahromaděna v induktivním zásobníku, v ojedinělých případech v kapacitním zásobníku. Vysoké napětí vznikne odpojením primárního vinutí od napájení a transformací. Vysoké napětí je přivedeno válci, který se právě nachází v kompresní době. K tomu potřebná informace o poloze klikového hřídele je při použití rozdělovače dána mechanickou vazbou pohonu rozdělovače a klikového hřídele. U bezrozdělovačových zapalovacích systémů je k tomu zapotřebí elektrický signál ze snímače klikového nebo vačkového hřídele. Spojovací prvky (konektory a zapalovací kabely) přenášejí vysoké napětí na zapalovací svíčky. Zapalovací svíčka musí být plně funkční ve všech provozních oblastech motoru, aby bylo vždy bezpečně zajištěno zapálení směsi.

### **Zapalovací napětí**

Součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$  a tlak ve válci, určený naplněním válce a kompresí, mají spolu se vzdáleností elektrod zapalovací svíčky určitý vliv na požadovanou hodnotu napětí a tím na nabídku potřebného napětí zapalovací soustavou.

### **Zapálení směsi**

#### **Zapalovací energie**

K zapálení směsi vzduchu a paliva elektrickou jiskrou je pro jednotlivé zapálení zapotřebí energie asi 0,2 mJ, pokud je směs (klidná, homogenní) ve stechiometrickém složení. Bohatší a chudší směsi (s turbulencí) vyžadují přes 3 mJ. Tato energie je jen zlomkem celkové energie obsažené v zapalovací jiskře.

Pokud je k dispozici příliš málo energie, neuskuteční se zapálení, směs nemůže vzplanout a vznikají výpadky ve spalování. Z tohoto důvodu musí být připraveno tolik zapalovací energie, aby došlo k bezpečnému zapálení směsi vzduchu a paliva i za nevýhodných vnějších podmínek. Přitom může být dostačující, pokud kolem jiskry proudí malý oblak směsi, schopný zapálení. Oblak směsi vzplane, zapálí zbývající směs ve válci a zahájí tak spalování paliva.

#### **Vlivy na schopnost zapálení**

Dobrá příprava a snadný přístup směsi k zapalovacím jiskrám zlepšuje schopnost zapálení stejně jako dlouhá doba výboje a vysoká délka jiskry příp. větší vzdálenost elektrod. Podobně příznivý vliv má silná turbulence směsi, za předpokladu, že je k dispozici dostatečná zapalovací energie. Poloha a délka jiskry jsou dány rozměry zapalovací svíčky, doba výboje druhem a dimenzováním zapalovací soustavy stejně jako okamžitými zapalovacími podmínkami. Poloha jiskry a přístupnost směsi u zapalovací svíčky ovlivňují zejména ve volnoběhu výfukové zplodiny.

Význam má také znečištění zapalovací svíčky. U silně znečištěných zapalovacích svíček dochází během doby, ve které narůstá vysoké napětí, k odtékání energie ze zapalovací svíčky přes vedlejší zkrat zapalovací svíčky. To vede ke zkrácení doby výboje, negativnímu působení na

výfukové zplodiny a v mezních případech (při silně znečištěné nebo mokré svíčke) k úplnému výpadku zapalování. Určitý podíl výpadků zapalování nebývá normálně řidičem zaznamenán, ale vede k vyšší spotřebě paliva a může poškodit katalyzátor.

### **Emise škodlivých látek**

Úhel předstihu má významný vliv na výfukové zplodiny, točivý moment a spotřebu paliva zážehového motoru. Nejdůležitější škodlivé látky ve výfukových zplodinách jsou nespálené uhlovodíky (HC), oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>) a oxid uhelnatý (CO). S dřívějším zapálením směsi (rostoucí hodnotou předstihu) vzrůstají emise nespálených uhlovodíků. Emise NO<sub>x</sub> se zvětšují s dřívějším zapálením směsi v celém rozsahu poměru vzduchu a paliva. Příčinou tohoto jevu je vyšší teplota spalování při dřívějším zapálení směsi. Emise CO jsou na předstihu skoro nezávislé a jsou téměř výhradně funkcí poměru vzduchu a paliva.

### **Spotřeba paliva**

Vliv předstihu na spotřebu paliva je přesně opačný než na emise škodlivých látek. S rostoucím součinitelem přebytku vzduchu musí být, pro vyrovnání nižší rychlosti spalování, vždy směs zapálena dříve, aby průběh spalování zůstal optimální. Dřívější zapálení směsi (větší předstih) tedy znamená menší spotřebu paliva a vyšší točivý moment, ale jen při odpovídající změně směsi.

### **Náchylnost k detonačnímu spalování**

Další důležitá souvislost je mezi předstihem a náchylností ke klepání. To se projeví vlivem dřívějšího zapálení směsi. Pokud dojde k zapálení směsi příliš brzo (velký předstih), dojde v důsledku tlakové vlny k dodatečným vzplanutím směsi na různých místech spalovacího prostoru. Tím směs prohořívá nerovnoměrně a dochází k velkému nárůstu tlaku ve spalovacím prostoru a k jeho silnému kolísání. Tento jev, nazvaný klepání, je zřetelně slyšitelný zejména v nižších otáčkách. Ve vysokých otáčkách je tento zvuk přehlušen hlukem motoru. Ale právě v této oblasti může klepání vést k poškození motoru, kterému lze zabránit optimalizací vhodného paliva a předstihu.

### **Konvenční cívkové zapalování**

Konvenční cívkové zapalování je řízené kontakty. To znamená, že proud, který protéká cívkou, je vypínán a zapínán mechanickým kontaktem (přerušovačem) v rozdělovači.

Kontakty řízené cívkové zapalování je nejjednodušší verzí zapalování, ve kterém jsou realizovány všechny funkce. Vedle rozdělovače obsahuje celou řadu dalších prvků.

### **Princip funkce**

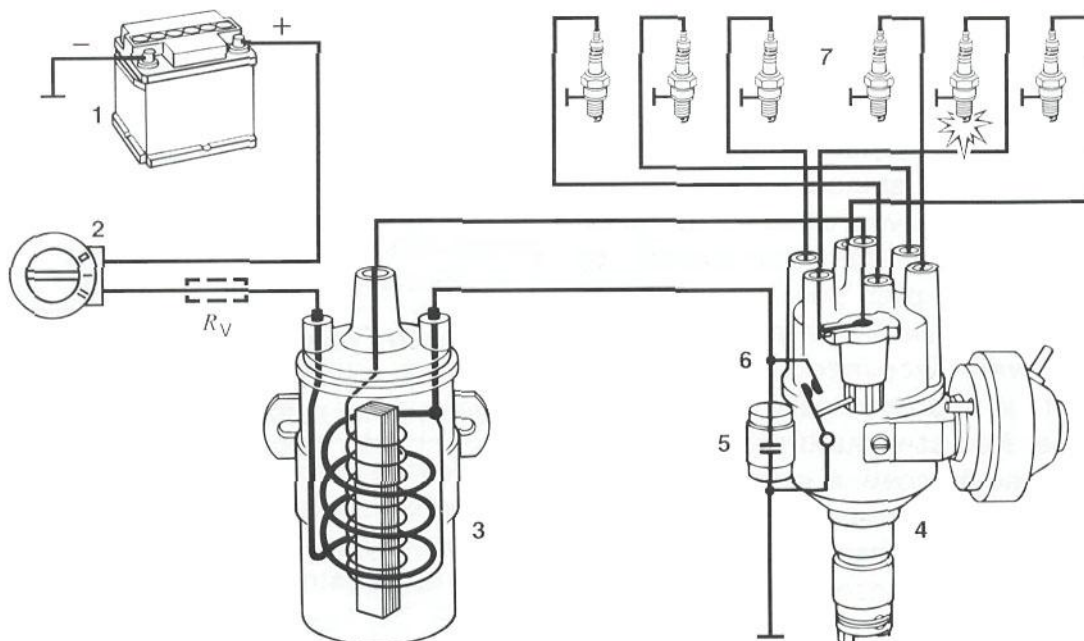
#### **Synchronizace a rozdělení**

Synchronizace s klikovým hřídelem a tím i polohou pístů v jednotlivých válcích je zajištěna mechanickou vazbou rozdělovače s vačkovým hřídelem nebo jiným hřídelem, vůči klikovému hřídeli v poměru otáček 2:1. Z tohoto důvodu vede také pootočení rozdělovače k posunu okamžiku zapálení, příp. umožňuje změna v rozdělovači nastavení předepsaného předstihu. Mechanický, na horní díl hřídele rozdělovače pevně připojený palec zajišťuje správné rozdělení vysokého napětí a spolu s vysokonapěťovým vedením také přivod vysokého napětí k jednotlivým zapalovacím svíčkám.

#### **Průběh zapalování**

Při provozu je napětí akumulátoru (Obrázek 47, Poz. 1) přivedeno přes spínací skříňku (Poz. 2) na svorku 15 zapalovací cívkou (Poz. 3). Při sepnutém přerušovači (Poz. 6) protéká proud přes primární vinutí zapalovací cívkou proti kostře. Tím vznikne v zapalovací cívkě magnetické pole, ve kterém je nahromaděna zapalovací energie. Nárůst proudu probíhá v důsledku

indukčnosti a odporu primárního vinutí podle exponenciální funkce. Doba nabíjení je určena úhlem sepnutí. Úhel sepnutí je zase dán pro vedením vačky, která působí přímo na pohyblivý kontakt přerušovače. Na konci doby sepnutí rozeprve vačka přerušovač a přeruší tím tok proudu zapalovací cívkou. Proud a rychlost rozeprnutí jakož i počet závitů vinutí sekundární strany zapalovací cívky určují především zapalovací napětí indukované na sekundární straně. Protože proud má snahu protékat obvodem při přerušení, vytvářel by se na kontaktech přerušovače elektrický oblouk. Aby se jeho tvorbě zabránilo, je paralelně ke kontaktům přerušovače zapojen kondenzátor (Poz. 5). Proto až do výboje zapalovacího napětí protéká primární proud kondenzátorem a tím ho nabíjí. Z tohoto důvodu vzniká na svorce 1 zapalovací cívky krátkodobě napětí několika 100 V. Vysoké napětí indukované na sekundární straně nabíjí zapalovací kabel vedoucí k prostřednímu



Obrázek 47 Schématické zapojení zapalovací soustavy s konvenčním cívkovým zapalováním

1	Akumulátor	5	Kondenzátor
2	Spínací skříňka	6	Přerušovač
3	Zapalovací cívka	7	Zapalovací svíčky
4	Rozdělovač	$R_V$	Předřadný odpor

vývodu rozdělovače, kde způsobí výboj mezi palcem a vnější elektrodou, tím nabíjí vysokonapěťové vedení k příslušné zapalovací svíčce a na zapalovací svíčce tak dojde k výboji tzn. k zapalovací jiskře. Tak se přeměňuje magnetická energie nahromaděná v zapalovací cívce v elektrickou energii jisker. Na zapalovací svíčce tím vzniká napětí hoření asi 400 V. Doba hoření činí zpravidla 1 až 2 ms. Potom co je zapalovací cívka vybita, sepne opět vačka rozdělovače kontakty přerušovače a zapalovací cívka je znovu nabíjena. Palec rozdělovače, který se mezitím dále otáčí, přenesne vysoké napětí při následujícím zapálení na další zapalovací svíčku.

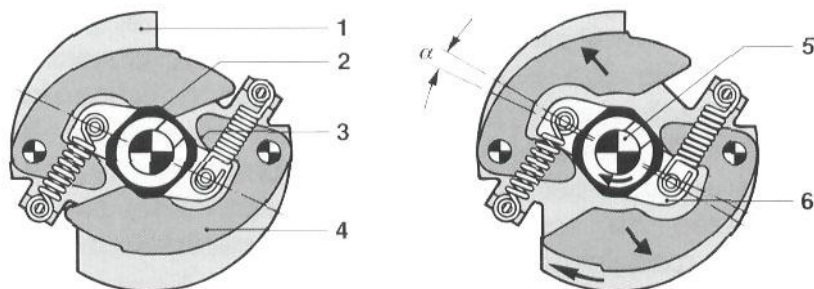
### Regulace předstihu

Odstředivý regulátor s rostoucími otáčkami zvětšuje předstih. Při předpokladu konstantního plnění válce a konstantního složení směsi nám vyjde konstantní doba nutná ke vznícení a prohoření směsi. Tato konstantní doba vyžaduje při vyšších otáčkách odpovídajícím způsobem nastavit dřívější zapálení směsi. Průběh charakteristiky rozdělovače je ale v praxi dodatečně ovlivněn hranicí klepání a změnou složení směsi. Podtlakový regulátor zohledňuje stav zatížení motoru, protože rychlost vzplanutí a pro hoření směsi. Tato konstantní doba vyžaduje při vyšších

otáčkách odpovídajícím způsobem nastavit dřívější zapálení směsi. Průběh charakteristiky rozdělovače je ale v praxi dodatečně ovlivněn hranicí klepání a změnou složení směsi. Podtlakový regulátor zohledňuje stav zatížení motoru, protože rychlost vzplanutí a prohoření směsi ve válci závisí velmi výrazně na naplnění válce. Odstředivá regulace a podtlaková regulace jsou mechanicky navzájem spojeny tak, že se obě přestavení sčítají.

### Odstředivý regulátor

Odstředivý regulátor přestavuje předstih v závislosti na otáčkách motoru. Základní deska, která nese odstředivá závaží se otáčí spolu s hřídelem rozdělovače, protože je s ním pevně spojená. S rostoucími otáčkami se odstředivá závaží roztahují a natočí kulisu přes oválnou dráhu proti směru otáčení vačkového hřídele. Protože kulisa je pevně spojena s vačkou, natočí se i vačka proti hřídeli rozdělovače o úhel přestavení  $\alpha$ . O tento úhel bude předstih zvětšen (Obrázek 48).

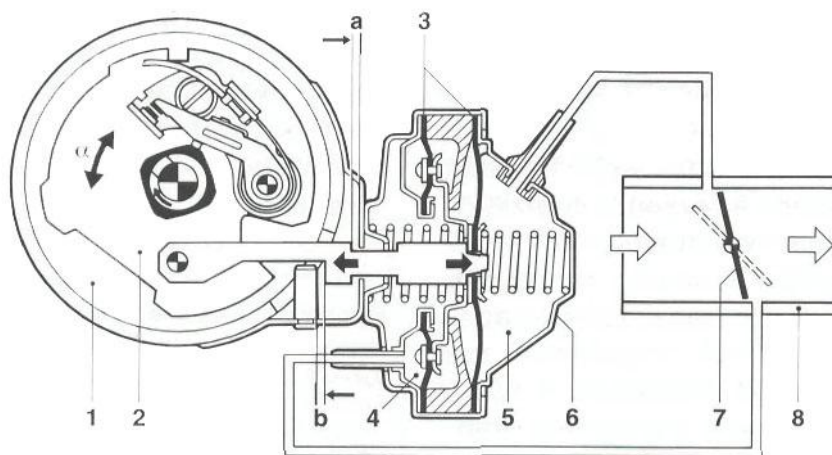


Obrázek 48 Příklad konstrukčního řešení odstředivé regulace předstihu

1	Základní deska	4	Odstředivé závaží
2	Vačka přerušovače	5	Hřídel rozdělovače
3	Oválná plocha	6	Kulisa

### Podtlakový regulátor

Podtlakový regulátor přestavuje předstih v závislosti na výkonu motoru příp. na zatížení motoru. Jako měřítko pro přestavení okamžiku zapálení slouží podtlak v sacím potrubí blízko škrťací klapky. Podtlak je přiveden do jedné nebo dvou membránových komor (Obrázek 49).



Obrázek 49 Příklad konstrukčního řešení podtlakové regulace předstihu

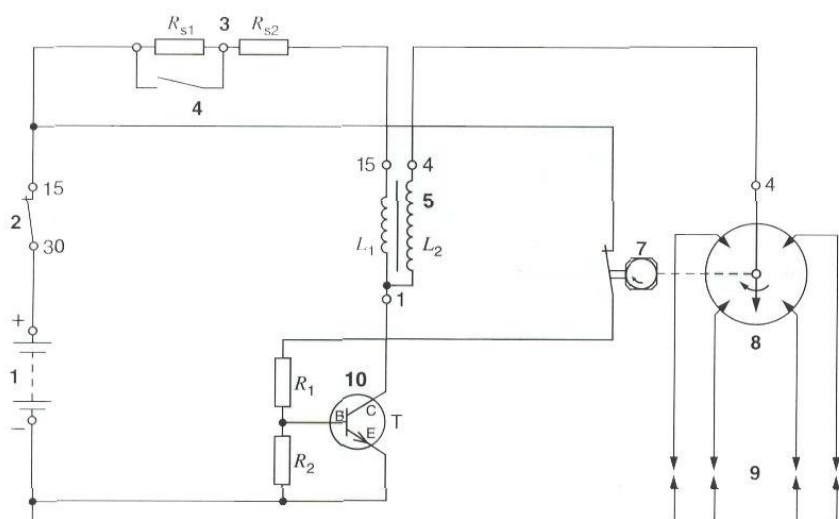
1	Rozdělovač	5	Komora pro dřívější zapálení
2	Deska přerušovače	6	Podtlaková komora
3	Membrána	7	Škrťací klapka
4	Komora pro pozdější zapálení	8	Sací potrubí
a	Poloha pro velký předstih	b	Poloha pro malý předstih

Čím menší je zatížení, tím dříve musí být zapálena směs vzduchu a paliva, protože směs je chudší a hoří pomaleji. Podíl spálených, ale nevyfouknutých zbytkových plynů ve spalovacím prostoru narůstá a směs je tak ochuzována. Podtlak pro přestavení na dřívější zapálení je odebírán ze sacího potrubí. S klesajícím zatížením motoru roste podtlak a způsobí pohyb membrány spolu s táhlem doprava. Táhlo pootočí desku přerušovače proti směru otáčení hřídele rozdělovače. Tímto pohybem bude předstih ještě více zvětšen, tzn. posunut ve směru "dřívějšího" zapálení.

S pomocí podtlakové komory pro "pozdější" zapálení je předstih při určitých stavech motoru (např. volnoběh, brzdění motorem) snížen tzn. posunut ve směru "pozdějšího" zapálení, aby došlo ke zlepšení emisí výfukových plynů. V tomto případě je podtlak v sání odebírán za škrtkové klapkou. Kruhová membrána se spolu s táhlem pohybuje vlevo jakmile vznikne podtlak. Táhlo pootočí desku přerušovače spolu s přerušovačem ve směru otáčení hřídele rozdělovače. Tímto pohybem bude předstih ještě více zmenšen, tzn. posunut ve směru "pozdějšího" zapálení.

## Kontakty řízené tranzistorové zapalování

Rozdělovač u kontakty řízeného tranzistorového zapalování je stejný jako rozdělovač u kontakty řízeného cívkového zapalování. Protože kontakty pracují ve spojení s tranzistorovou zapalovací soustavou, nemusí již přerušovač spínat primární proud, ale jen řídicí proud pro tranzistorové zapalování. Tranzistorové zapalování má úlohu proudového zesilovače a spíná primární proud přes zapalovací tranzistor.



Obrázek 50 Zjednodušené schéma zapojení kontakty řízeného tranzistorového zapalování

1	Akumulátor	6	Kondenzátor
2	Spínací skříňka	7	Přerušovač
3	Předřadný odpor	8	Rozdělovač
4	Spínač pro zvýšení napětí při startu	9	Zapalovací svíčky
5	Zapalovací cívka s prim. a sek. vinutím	10	Odpory děliče napětí s tranzistorem

## Princip funkce

Kontakty řízené tranzistorové zapalování vzniklo z tradičního, neelektronického cívkového zapalování. Tranzistor nastupuje jako výkonový spínač na místo přerušovače a přebírá jeho spínací funkci v primárním okruhu zapalovací soustavy. V tranzistorových zapalovacích soustavách má vačkou ovládaný přerušovač funkci tohoto řídicího spínače. Pokud jsou kontakty přerušovače sepnuty, protéká řídicí proud  $I_s$  do báze B a tranzistor je mezi emitorem E a kolektorem C elektricky vodivý. V tomto stavu odpovídá spínači v poloze "ZAPNUTO",



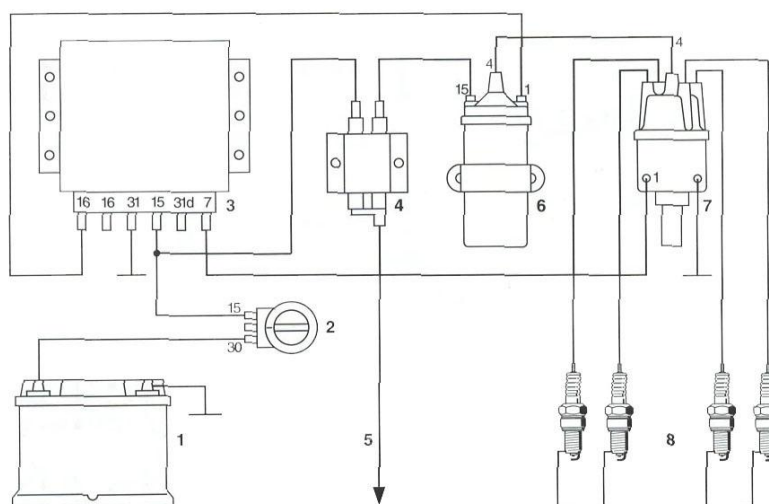
a proud může protékat přes primární vinutí  $L_1$  zapalovací cívky. Pokud jsou ale kontakty přerušovače rozepnuty, neprotéká do báze B žádný řídicí proud, a tranzistor není elektricky vodivý; zabraňuje tak průtoku primárního proudu a odpovídá tak v tomto stavu spínači v poloze "VYPNUTO".

### Výhody

Kontakty řízené tranzistorové zapalování má oproti kontakty řízenému cívkovému zapalování dvě podstatné výhody:

- rychlejší nárůst primárního proudu
- podstatně delší životnost kontaktů přerušovače.

Při použití spínacího tranzistoru může být hodnota primárního proudu zvýšena, neboť mechanický kontakt může dlouhodobě a s požadovanou frekvencí spínat jen proudy do 5 A. Protože primární proud zvyšuje nahromaděnou energii s kvadrátem, zvyšuje se výkon zapalovací cívky a tím veškeré hodnoty, jako nabídka max. napětí, doba trvání jiskry a proud jiskry. Proto potřebuje kontakty řízené tranzistorové zapalování kromě spínací jednotky zapalování také speciální zapalovací cívku. Výrazně delší životnost je dána odlehčením kontaktů přerušovače od vysokých proudů. Kromě toho se již nevyskytují dva problémy, které značně snižovaly nabídku napětí u kontaktně řízeného cívkového zapalování: kmitání kontaktů a opalovací jiskra na kontaktech která byla způsobena indukčností zapalovací cívky. Opalovací jiskra působí zejména při nižších otáčkách a při startu, a je příčinou toho, že je snížena použitelná energie a že je zpomalen nárůst vysokého napětí. Kmitání kontaktů naproti tomu působí rušivě při vysokých otáčkách díky vysoké spínací frekvenci kontaktů. Pohyblivý kontakt kmitá při spínání a nabíjí tak zapalovací cívku v určitém časovém okamžiku méně silně, přičemž je zkrácena doba sepnutí. První nevýhodná vlastnost kontaktů přerušovače u kontakty řízeného tranzistorového zapalování odpadá, druhá ne.



Obrázek 51 Schématické zapojení kontakty řízeného tranzistorového zapalování

1	Akumulátor	5	Vedení ke startéru
2	Spínací skříňka	6	Zapalovací cívka
3	Spínací jednotka zapalování	7	Rozdělovač
4	Předřadné odpory	8	Zapalovací svíčky

### Zapojení

U kontakty řízeného tranzistorového zapalování je spínací jednotka zapalování (řídicí jednotka) zapojena mezi svorku 1 rozdělovače (tzn. přerušovač) a svorku 1 zapalovací cívky

(Obrázek 51). Dodatečně potřebuje spínací jednotka zapalování ještě vlastní svorku 15 s napájecím napětím a připojení kostry 31. Napájení primární strany zapalovací cívky probíhá přes pár předřadných odporů, které jsou obvykle zapojeny v sérii. Při startu je první předřadný odpor přemostěn přes svorku 50 na startér. Tím je přiváděno vyšší napájecí napětí přes druhý předřadný odpor na zapalovací cívku. Předřadný odpor tak kompenzuje nevýhody, které nastávají při startu a při poklesu napětí akumulátoru. Předřadné odpory tak slouží k omezení primárního proudu u nízkoohmických, rychle nabíjených zapalovacích cívek. Zabraňují tak zejména při nižších otáčkách přetížení zapalovací cívky, protože úhel sepnutí je stále tvořen vačkou hřídele rozdělovače. Protože zapalovací cívka potřebuje k nabití konstantní dobu, ale nepracuje s neměnnou dobou sepnutí, je při nízkých otáčkách k dispozici příliš mnoho a při vysokých otáčkách příliš málo času k nabití zapalovací cívky. Předřadné odpory a rychle nabíjená zapalovací cívka umožňují optimalizaci v celém provozním rozsahu.

## **Tranzistorové zapalování s Hallovým snímačem**

Vedle kontakty řízeného tranzistorového zapalování existuje ještě další verze tranzistorového zapalování a to s Hallovým spouštěcím systémem. U jednoho provedení je úhel sepnutí určen tvarem rotoru v rozdělovači. Jiné provedení má řídicí jednotku hybridní konstrukce a ta automaticky reguluje úhel sepnutí.

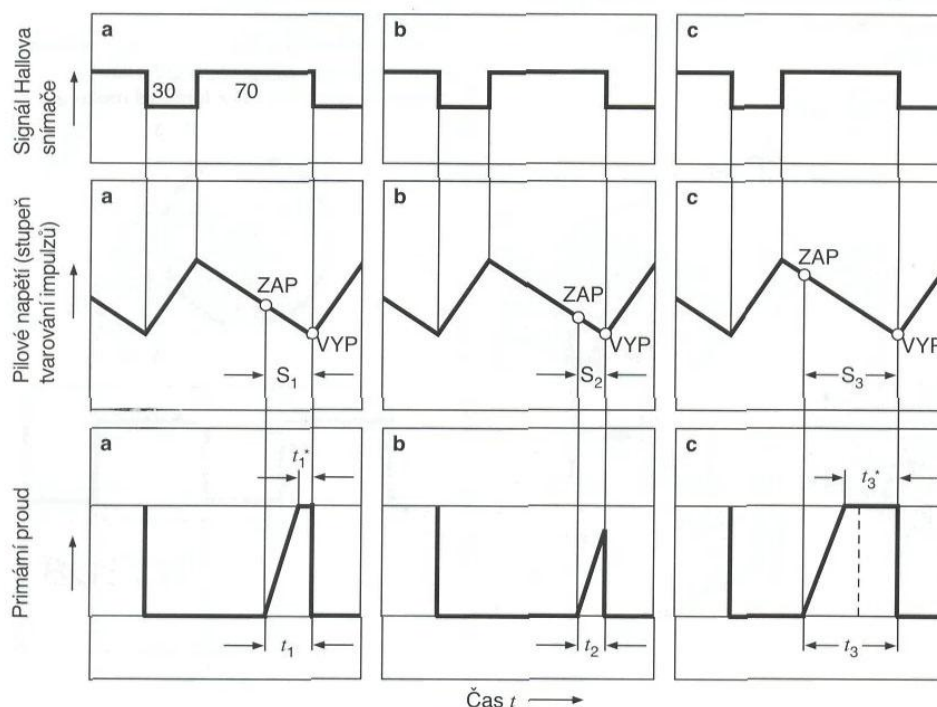
### **Hallův snímač**

Pokud se otáčí hřídel rozdělovače, pohybují se clonky rotoru bez dotyku ve vzduchové mezeře magnetické závory. Pokud je vzduchová mezera volná, protéká magnetické pole vestavěným integrovaným obvodem a tím také Hallovým snímačem. Na Hallově snímači je vysoká hustota magnetického toku  $B$ , a Hallovo napětí  $U_H$  dosahuje maximum. Hallův integrovaný obvod je zapnut. Pokud jedna ze clonek vběhne do vzduchové mezery, ztrácí se větší část magnetického toku ve clonce a nepůsobí tak na integrovaný obvod. Hustota magnetického toku na Hallově snímači klesne až na malou zbytkovou hodnotu, která pochází z rozptýleného pole. Napětí  $U_H$  dosáhne minimum.

Hallův integrovaný obvod je usazen na keramickém nosiči a je proti vlhkosti, znečištění a mechanickému poškození zalit do umělé hmoty. Magnetické vodiče prvky a rotor s clonkami jsou vyrobeny ze slabě magnetického materiálu. Rotor s clonkami a palec rozdělovače tvoří jeden stavební prvek. Počet clonek je shodný s počtem válců. Šířka jednotlivých clonek může podle provedení spínací jednotky určovat maximální úhel sepnutí zapalovacího systému. Úhel sepnutí proto zůstává po celou dobu životnosti Hallova snímače konstantní; odpadá tak seřízení úhlu sepnutí.

### **Regulace proudu a úhlu sepnutí**

Vysoce výkonné zapalovací soustavy pracují se zapalovacími cívkami, které se velmi rychle nabíjejí. Z tohoto důvodu je ohmický odpor primárního vedení snížen na hodnotu menší než 1. Signál Hallovy závory v rozdělovači obsahem informace odpovídá signálu kontaktů přerušovače. V jednom případě je úhel sepnutí dán tvarem vačky hřídele rozdělovače a ve druhém případě je poměrné sepnutí dáno rotorem s clonkami. Rychle se nabíjející zapalovací cívka nemůže pracovat s konstantním úhlem sepnutí. Proto musí být k ochraně zapalovací cívky přijata dvě opatření: regulace primárního proudu a regulace úhlu sepnutí.



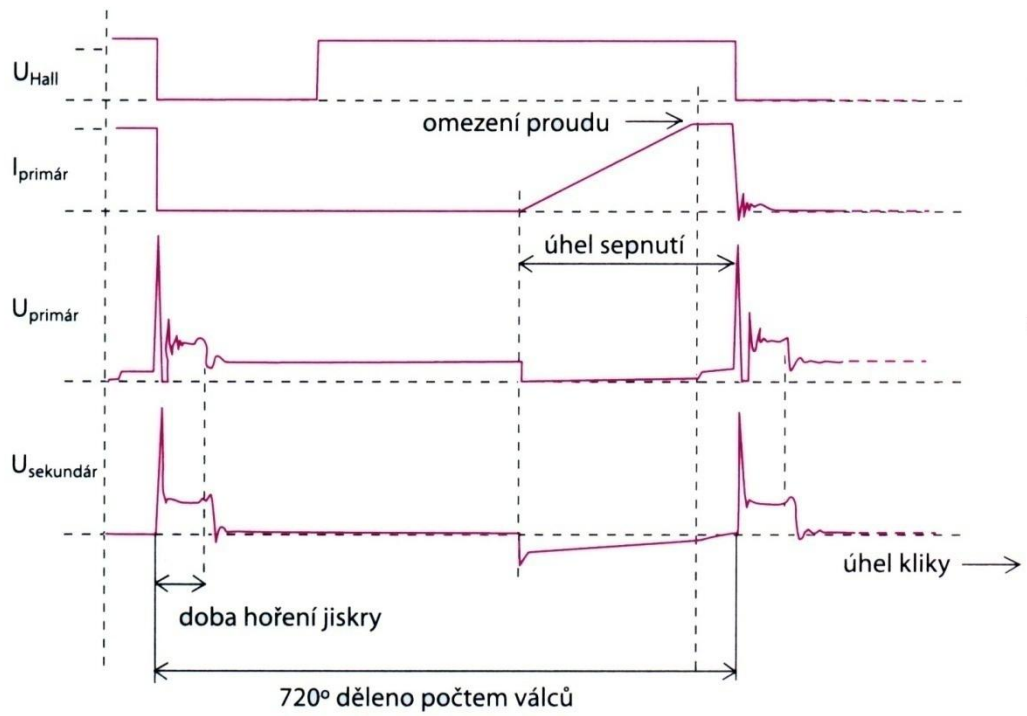
Obrázek 52 Změna úhlu sepnutí posunutím spouštěcí úrovně u Hallova snímače

### Funkce regulace proudu

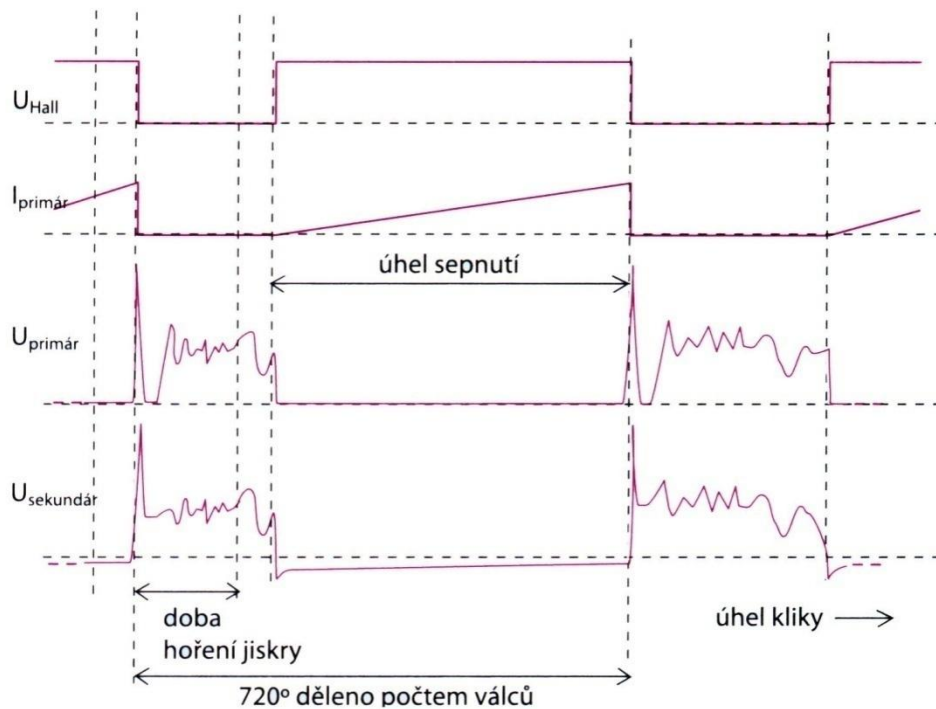
Regulace primárního proudu slouží k omezení proudu protékajícího zapalovací cívku a tím k omezení akumulace energie v zapalovací cívce na stanovenou hodnotu. K pokrytí dynamických poměrů při zrychlení motoru je zapotřebí určitý časový předstih. To znamená, že zapalovací cívka potřebuje dosáhnout požadovaného proudu určitou dobu před okamžikem zapálení. V této fázi regulace proudu pracuje zapalovací tranzistor ve svém aktivním rozsahu. Na tranzistoru je větší pokles napětí než v čistém spínacím režimu. Tím vzniká vyšší ztrátový výkon, který může ležet v rozsahu 20 až 30 W. K minimalizaci ztrátového výkonu a k nastavení vhodného úhlu sepnutí je proto nutná regulace úhlu sepnutí (vlastně regulace doby sepnutí, protože nabíjení zapalovací cívky je omezeno časem).

### Funkce regulace úhlu sepnutí

Protože v analogové technice probíhají regulační postupy jednoduše posunutím prahových hodnot napětí, je pravoúhlý signál Hallova snímače pomocí nabíjení a vybíjení kondenzátorů přeměněn na pilový signál. Poměrné sepnutí Hallova snímače se pohybuje mezi dvěma okamžiky zapálení 30:70. Na konci širky clonky, která odpovídá 70%, leží stanovený okamžik zapálení (Obrázek 52), který je určen přestavením rozdělovače. Regulace je nastavena tak, že doba regulace proudu  $t_1$  přesně odpovídá potřebnému dynamickému časovému předstihu. Z hodnoty  $t_1$  je vytvořeno napětí a je porovnáno s klesající větví pilového napětí. Na průsečíku "ZAP" je primární proud zapnut, začíná úhel sepnutí. Tímto způsobem může být prostřednictvím změny hodnoty napětí, odvozené z doby regulace proudu, libovolně měněn bod spuštění úhlu sepnutí posunutím průsečíku na pilovém napětí. Tak je vytvořen správný úhel sepnutí pro každý provozní stav. Protože regulace proudu a úhlu sepnutí jsou přímo závislé na proudu a čase, jsou vlivy proměnlivého napětí akumulátoru, vlivy teploty nebo zvláštní tolerance v zapalovacích cívkách vyregulovány. To činí tuto zapalovací soustavu vhodnou zejména pro studené starty. Protože díky tvaru Hallova signálu může při stojícím motoru a zapnutém zapalování protékat primární proud, jsou řídicí jednotky vybaveny dodatečným obvodem, který tento "klidový proud" po určité době vypne.



Obrázek 53 Průběh signálů tranzistorového zapalování s Hallovým snímačem při volnoběhu



Obrázek 54 Průběh signálů tranzistorového zapalování s Hallovým snímačem ve vysokých otáčkách

V okamžiku sepnutí svorky 1 na kostru (počátek nabíjení cívky) vzniká kladný napěťový impulz, a při rozpojení primárního obvodu (indukce vysokého sekundárního napětí pro jiskru) vzniká na sekundárním vinutí záporný vysokonapěťový impulz. Je to dáno konstrukčním řešením cívky, tj. tím, jak jsou navinuta a zapojena jednotlivá vinutí cívky. Na oscilogramu však vidíme obrazy sekundárních impulzů s kladnou polaritou, protože elektronické obvody pro zpracování měřeného signálu sekundárního obvodu v osciloskopu obrazejí polaritu. Je to z toho důvodu, aby obraz signálu byl na obrazovce snáze čitelný.

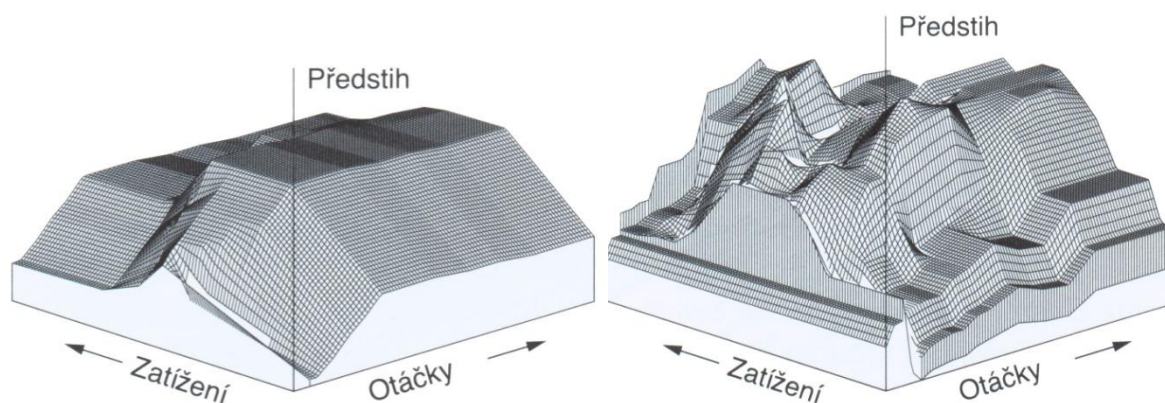
## Elektronické zapalování

Tradiční rozdělovače tranzistorových zapalovacích systémů s odstředivou a podtlakovou regulací předstihu realizují jen jednoduché regulační charakteristiky. Tyto charakteristiky proto převážně odpovídají jen požadavkům optimálního provozu motoru. U "elektronických zapalování" odpadá mechanické přestavení předstihu v rozdělovači. Proto je pro spouštění procesu zapalování používán otáčkový signál tj. signál ze snímače otáček. Doplňkový snímač tlaku dodává signál zatížení. Mikropočítač vypočítává z těchto signálů potřebné přestavení předstihu a odpovídajícím způsobem modifikuje výstupní signál, který je dále předáván do spínací jednotky. [4]

Výhody:

- Přestavení předstihu může být lépe přizpůsobeno individuálním a rozmanitým požadavkům, které jsou na motor kladeny.
- Je možné zahrnout další řídicí parametry (např. teplotu motoru).
- Dobré chování při startu, lepší řízení volnoběžných otáček a nižší spotřeba paliva
- Rozšířené získávání provozních dat
- Lze realizovat regulaci klepání

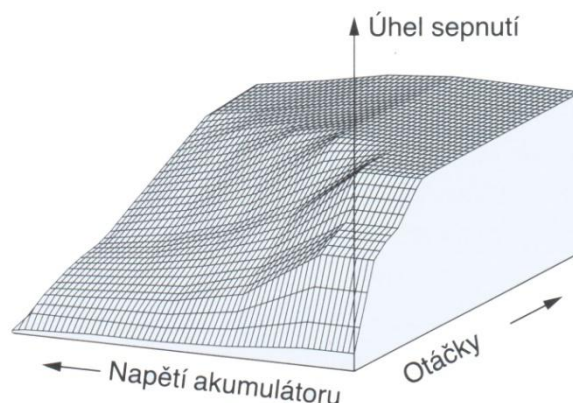
Výhody elektronického zapalování jsou nejzřetelnější při pohledu na pole charakteristik předstihu. Pole charakteristik předstihu obsahuje pro každý možný provozní bod motoru, tzn. pro každé otáčky a každé zatížení, hodnotu předstihu, která je zvolena jako nejlepší kompromis při konstrukci motoru. U elektronického zapalování, kde podtlakový regulátor předstihu v rozdělovači není, musíme přivést do elektronické řídicí jednotky informaci o podtlaku. Z jeho hodnoty pak řídicí jednotka zjišťuje okamžité zatížení motoru a podle něho elektronicky upravuje okamžik zážehu. Do výpočtu pak vstupují ještě další korekční veličiny,



Obrázek 55 Trojrozměrná vizualizace pole charakteristik mechanické (vlevo) a optimalizované elektronické (vpravo) regulace předstihu

jimiž je výsledný předstih ovlivňován. Na rozdíl od mechanické regulace lze prostřednictvím elektroniky vytvořit libovolný průběh okamžiku zážehu podle otáček, zatížení, teploty motoru atd., dokonale optimalizovaný pro daný motor. Pro představu, jak vypadá průběh předstihu v závislosti na otáčkách a zatížení motoru, jsou (Obrázek 55) uvedeny charakteristiky pro mechanickou regulaci a regulaci elektronickou. Z obrázku tak vidíme, že mechanická regulace nabízí jen poměrně jednoduchý průběh regulační charakteristiky. Ten pak nepředstavuje optimální hodnoty předstihu pro nejrůznější režimy, tj. různé otáčky a zatížení motoru. Mechanická odstředivá a podtlaková regulace v rozdělovači není z principu své činnosti schopna lepší charakteristiku vytvořit. U elektronického systému zapalování je tomu jinak. To je vidět na první pohled z tvaru trojrozměrné charakteristiky (Obrázek 55, vpravo). Tato charakteristika je v řídicí jednotce uložena v paměti v podobě několika tisíc číselných hodnot předstihu, přičemž každá jednotlivá hodnota předstihu byla pro danou hodnotu otáček a zatížení optimalizována za účelem dosažení požadovaných vlastností chodu motoru (točivý moment, spotřeba, emise, zabránění klepání, atd.).

Řídicí jednotka pak při provozu motoru podle okamžité hodnoty otáček a zatížení vybírá příslušnou hodnotu předstihu. Stejně jako u tranzistorových zapalování, tak i u elektronických zapalování probíhá regulace úhlu sepnutí, aby byla zapalovací cívka v celém rozsahu otáček motoru nabíjena vždy správnou dobu pro získání dostatečné energie pro jiskru. V řídicí jednotce je proto uloženo další pole charakteristik (Obrázek 56), a sice pole charakteristik úhlu sepnutí. Určujícími veličinami zde jsou otáčky a napětí akumulátoru. Při nízkém napětí akumulátoru, a tedy i napájecím napětí cívky, je třeba zvětšit úhel sepnutí, neboť při nízkém napájecím napětí narůstá proud v cínce pomaleji. K dosažení požadované maximální hodnoty primárního proudu



Obrázek 56 Pole charakteristik úhlu sepnutí elektronického zapalování

je proto potřeba delší čas. Použitím takového pole charakteristik úhlu sepnutí lze energii naakumulovanou v zapalovací cínce jemně dávkovat, podobně jako u regulace úhlu sepnutí. Vyskytují se ale také elektronické systémy, u kterých je pole charakteristik úhlu sepnutí překryto ještě regulací úhlu sepnutí, která optimalizuje úhel sepnutí samostatně pro každý válec.

### Princip funkce

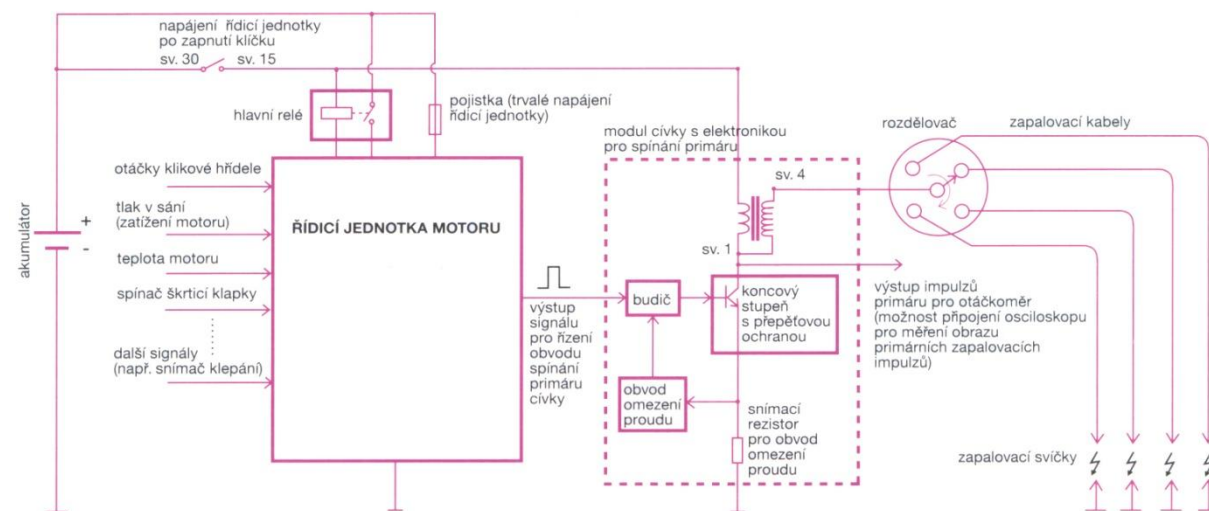
Signál odebíraný ze snímače podtlaku používá zapalování jako signál zatížení. Z tohoto signálu a otáček je vytvořeno třírozměrné pole charakteristik předstihu, které umožňuje pro každý bod otáček a každý bod zatížení (horizontální rovina) určit nejvýhodnější předstih (vertikální rovina). V celém poli charakteristik je podle požadavků naprogramováno několik tisíc samostatně vyvolatelných hodnot předstihu. Při zavřené škrtkové klapce je zvolena speciální charakteristika pro volnoběh a brzdění motorem. Pro otáčky menší než jsou ve volnoběhu předepsané, může být předstih posunut na "dříve" (tzn. zvětšen) a tím dojde ke stabilizaci volnoběhu dosažením vyššího točivého momentu. Při brzdění motorem jsou z důvodu emisí výfukových plynů a chování při jízdě naprogramovány odladěné hodnoty předstihu. Při plném

zatížení je zvolena charakteristika plného zatížení. Zde je nejvýhodnější hodnota předstihu naprogramována s ohledem na hranici klepání.

Pro start může být u určitých systémů naprogramován průběh předstihu jako funkce otáček a teploty motoru nezávisle na poli charakteristik předstihu. Tím může být při startu dosaženo vysokého momentu motoru, aniž by vznikly zpětně působící rázy. Podle požadavků jsou pole charakteristik realizovatelná s různou komplexností nebo také s několika programovatelnými charakteristikami.

### Schéma zapalování

Řídicí jednotka (Obrázek 57) je napájena jednak trvale ze svorky 30 pro uchování obsahu paměti (paměť závad a adaptivní hodnoty regulace směsi) a dále pak prostřednictvím hlavního relé po zapnutí zapalování (jakmile se objeví napětí na svorce 15). Do řídicí jednotky vstupují signály otáček, tlaku sání, teploty motoru, signály spínače škrticí klapky, a další signály, mezi jinými i signál klepání. Ze signálu otáček a tlaku sání vypočítává řídicí jednotka okamžik zážehu. Řídicí jednotka stále monitoruje napětí, jímž je napájena, a „předpokládá“, že stejným napětím je napájena rovněž zapalovací cívka. Podle velikosti tohoto napětí a otáček motoru pak řídicí jednotka vybírá z pole charakteristik úhlu sepnutí správnou hodnotu. Po výpočtu úhlu sepnutí a okamžiku zážehu odchází z řídicí jednotky řídicí impuls do spínacího obvodu v modulu zapalovací cívky. Šířka tohoto impulsu tak určuje úhel sepnutí a konec impulsu představuje okamžik zážehu. Spínací obvod v modulu cívky spíná primární vinutí (svorku 1) na kostru. Součástí spínacího obvodu v modulu cívky je též obvod proudového omezení. Vysokonapěťové impulzy sekundáru jdou zapalovacím kabelem k rozdělovači, který je už jen přepíná k jednotlivým svíčkám. Jak již bylo řečeno, v rozdělovači neprobíhá žádné přestavení předstihu, rozdělovač funguje jen jako vysokonapěťový přepínač.



Obrázek 57 Zjednodušené schéma elektronického zapalování

### Stabilizace volnoběhu předstihem a regulace klepání

Pro doplnění popisu tohoto zapalovacího systému je třeba se ještě zmínit o jeho dvou důležitých rysech. Tím prvním je ten fakt, že při volnoběhu se využívá elektronického přestavení okamžiku zážehu pro stabilizaci volnoběžných otáček. Ze signálu otáček kliky lze vyhodnocovat změny její úhlové rychlosti, tedy i otáček motoru, a vyrovnávat je prostřednictvím zásahu do předstihu. Změna předstihu způsobí okamžitou změnu úhlové rychlosti kliky a kolísání otáček je tak efektivně vyregulováno. Tento způsob stabilizace volnoběhu je rychlejší než stabilizace prostřednictvím regulace obtoku vzduchu kolem zavřené škrticí klapky. Informaci o tom, že má aktivovat regulaci volnoběhu, získává řídicí jednotka ze spínače škrticí klapky. Regulační zásahy

do předstihu při volnoběhu se projeví při měření tak, že při ustálených volnoběžných otáčkách neustále poskakuje okamžik zážehu. Dobře je to vidět na dvoukanálovém osciloskopu, když měříme na jednom kanálu signál otáček (referenční značky kliky) a na druhém zapalovací impulzy primáru či sekundáru nebo řídicí impulz na vstupu do spínacího obvodu v modulu cívky. Při vhodném nastavení časové základny je vidět, jak se neustále mírně mění vzdálenost mezi referenční značkou na signálu otáček kliky a jehlou zapalovacího impulzu primáru/sekundáru nebo sestupnou hranou řídicího impulzu pro spínací obvod cívky, Druhým rysem tohoto zapalovacího systému je regulace klepání. Piezo-elektrický snímač klepání vytváří napěťové impulzy při mechanických vibracích motoru, způsobených detonačním spalováním, Obdrží-li řídicí jednotka takový signál, znamená to, že byl příliš velký předstih a okamžitě zasáhne tím, že předstih sníží. Po vymizení signálu klepání se předstih zase zvyšuje, při opětovném výskytu signálu klepání je předstih opět snížen, a tyto regulační zásahy se neustále opakují, Docílí se tak toho, že motor pracuje s nejvyšším možným předstihem, při němž ještě nedochází k velkým detonacím. Díky této regulaci se dosáhne nejvyššího možného výkonu.

### **Přehled signálů elektronického zapalování**

Na obrázku 58 je zobrazen signál otáček (referenční značky kliky), řídicí impulzy pro obvod spínání cívky, proudové impulzy primáru, napěťové impulzy primáru a napěťové sekundáru. Signály jsou uspořádány v logickém pořadí, jak odpovídá principu činnosti zapalování. Na základě otáčkového signálu je v řídicí jednotce aktivován výpočet úhlu sepnutí a okamžiku zážehu. Tyto informace vycházejí z řídicí jednotky v podobě řídicího signálu pro spínací obvod. Ten spíná proud v primárním obvodu, cívka se nabíjí a v okamžiku přerušeni proudu teprve vzniká napěťový impulz na primáru. Primární napětí se transformuje na vysoké napětí na sekundárním obvodu a díky němu vznikají jiskry na svíčkách

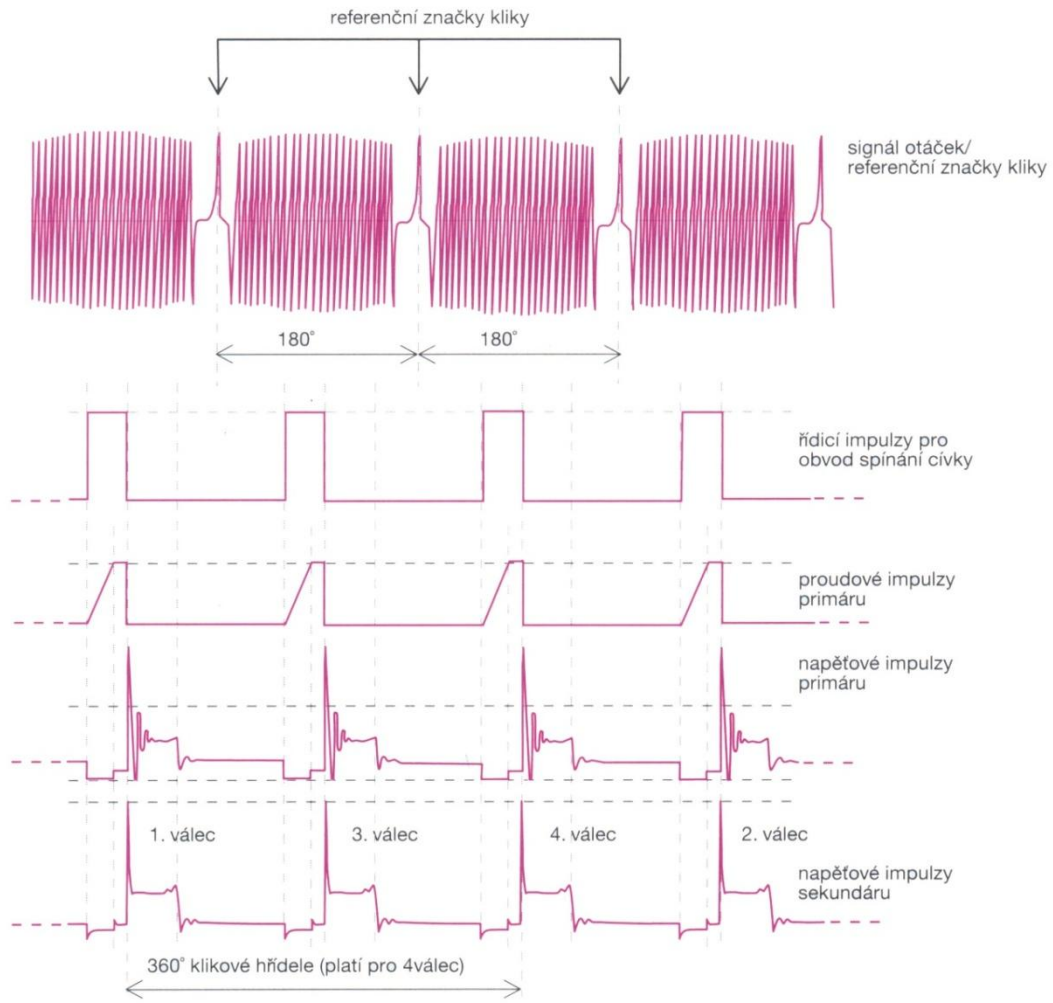
### **Plně elektronické zapalování**

Název „plně elektronické zapalování“ je používán pro takový zapalovací systém, u něhož elektronika nahradila poslední zbývající mechanickou součást zapalovacího systému – rozdělovač. Mechanický rozdělovač používaný v předchozích typech zapalování představoval poněkud problematickou součást systému. Podléhal mechanickému i elektrickému opotřebení a jeho případná závada mohla mít za následek chybný chod zapalování či dokonce mohla vyřadit celé zapalování z činnosti. V sestavě plně elektronického zapalování tedy již rozdělovač není použit, ani žádná jiná náhrada mechanického rozdělovače v podobě nějakého elektronického vysokonapěťového přepínače. Znamená to tedy, že vysokonapěťový vývod cívky je spojen přímo se svíčkou. Z toho vyplývá, že jediná cívka už není schopna poskytnout jiskru všem válcům motoru, ale jen tomu, s jehož zapalovací svíčkou je trvale spojena. Řešením je počet zapalovacích cívek zvýšit a okamžiky přeskočení jisker jednotlivých válců určovat odděleným řízením spínání primárních okruhů jednotlivých cívek. Rotační mechanické přepínání vysokého napětí je zde nahrazeno elektronickým přepínáním na nízkonapěťové straně. V praxi se používají dvě řešení, lišící se použitým počtem zapalovacích cívek ve vztahu k počtu válců motoru.

### **Zapalování s dvoujiskrovými cívkami**

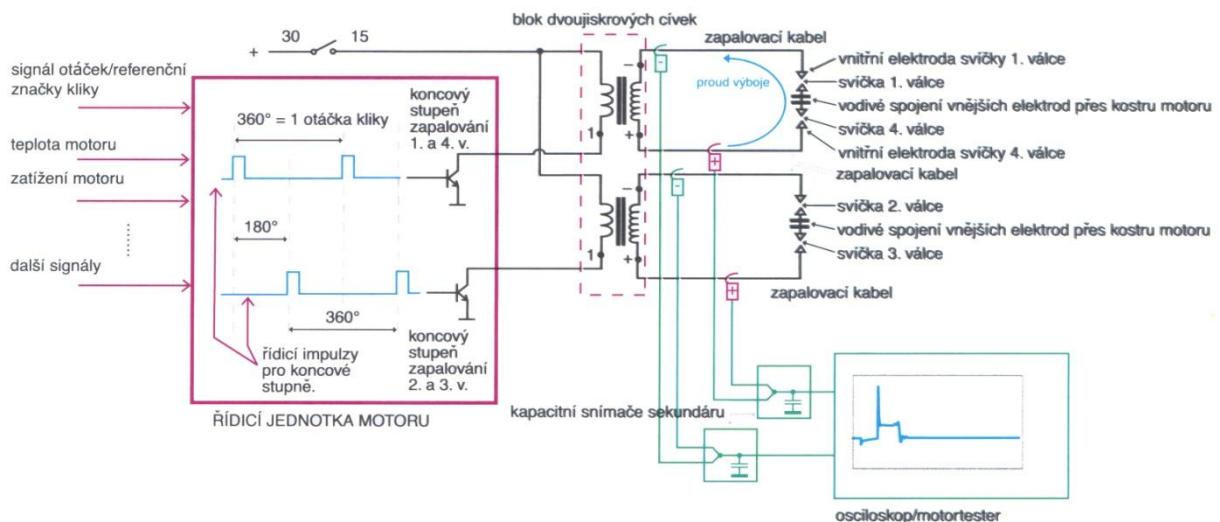
V literatuře bývá používáno i označení dvouvývodová cívka. Tato cívka bývá označována zkratkou DFS (Doppelfunken Spule – dvoujiskrová cívka). Prvním charakteristickým rysem patrným ze schématu je ta skutečnost, že žádný z konců sekundárního vinutí jednotlivých cívek není spojen ani se svorkou 1 ani se svorkou 15, na rozdíl od zapojení cívky u „rozdělovačových“ zapalování. Oba konce sekundáru jedné cívky jsou zde samostatnými zapalovacími kabely spojeny se svíčkami. Toto zapojení může fungovat jen tak, že v určitý okamžik přeskočí jiskra na obou svíčkách současně. To je dáno zapojením svíček v sekundárním obvodu. Svíčky v sekundárním obvodu cívky tvoří sériové spojení (jsou zapojeny za sebou). Objeví-li se na sekundárním vinutí impulz vysokého napětí, rostoucí okamžité napětí impulzu působí na obě





Obrázek 58 Schématické zobrazení signálů elektronického zapalování

svíčky současně, prostředí mezi elektrodami jednotlivých svíček se ionizuje až do okamžiku, než napětí impulsu dosáhne takové hodnoty, kdy bude překročena elektrická pevnost prostředí mezi elektrodami svíček, a svíčkami proteče proud výboje. V jednom okamžiku se tak objevují jiskry na dvou svíčkách současně.



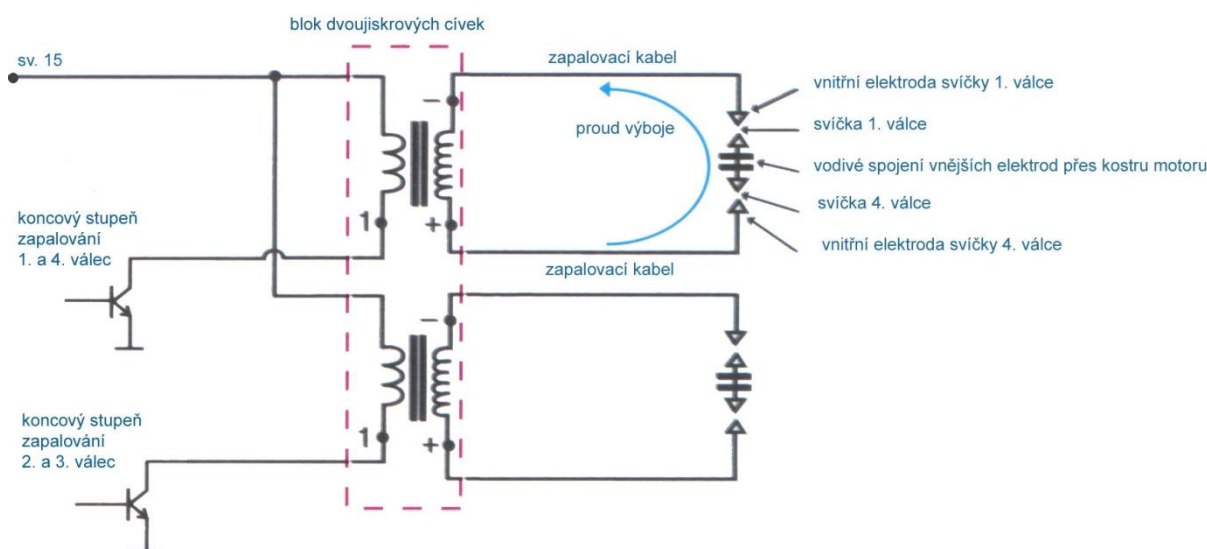
Obrázek 59 Zjednodušené schéma plně elektronického zapalování DFS

## Zapojení svíček v motoru

Pro jednoduchost předpokládejme čtyřdobý čtyřválec s pořadím zapalování 1-3-4-2. Je-li např. píst 1. válce v horní úvrati kompresního zdvihu, je současně také píst 4. válce v horní úvrati, ovšem zdvihu výfukového. Ve stejném okamžiku je píst 2. válce v dolní úvrati a právě vstupuje do výfukového zdvihu a píst 3. válce je rovněž v dolní úvrati, ale právě vstupuje do zdvihu kompresního. Po půlotáčce kliky jsou píсты 2. a 3. válce v horní úvrati, přičemž píst 2. válce má právě za sebou výfukový zdvih a píst 3. válce je na konci kompresního zdvihu. V tomto okamžiku jsou tedy písty 2. a 3. válce „nahore“ a písty 1. a 4. válce „dole“. Po další půlotáčce jsou nahore zase písty 1. a 4. válce, ovšem nyní je na konci kompresního zdvihu píst 4. válce a na konci výfukového zdvihu píst 1. válce. Písty 1. a 4. válce jsou tedy stále spolu ve stejné poloze, s každou otáčkou se u nich střídá pracovní (kompresní) a výfukový takt. Stejně tak písty 2. a 3. válce jdou stále spolu a stejně jako u 1. a 4. válce se i u nich po každé otáčce kliky střídají komprese s výfukem. Vyjděme z polohy kliky  $0^\circ$ . V tomto okamžiku, respektive přesněji o několik stupňů dříve, vzniká požadavek na přeskok jiskry v 1. válci. Vzhledem k elektrickému zapojení cívky musí současně s jiskrou 1. válce přeskočit ještě jedna jiskra. Touto jiskrou je jiskra 4. válce. V něm přechází píst z výfukového taktu do sání. Na konci nebo ještě během trvání výfukového taktu tak dochází k přeskoku jiskry. Při chodu motoru je požadavek na přeskok „pracovní“ jiskry převážně před horní úvrati kompresního zdvihu, ať již větší či menší počet stupňů, a tedy i jiskra, současně přeskakující v jiném válci (v tomto případě ve čtvrtém), nastane před koncem výfukového taktu.

Při chodu motoru však mohou nastat stavy, kdy je potřeba nastavit „pozápal“, tedy přeskok jiskry po horní úvrati kompresního zdvihu. Uvažujme takovou pracovní jiskru, přeskakující po horní úvrati kompresního zdvihu 1. válce. Současně s ní také přeskakuje jiskra ve 4. válci. Tam ovšem po horní úvrati výfukového taktu probíhá sání. Tato jiskra by tedy skočila do jistého objemu čerstvě nasávané směsi. Takovou jiskru lze připustit jen do relativně malého úhlu po horní úvrati, dokud je zde nasávané směsi vzduchu s palivem zatím velmi málo. Jiskra do výfukového taktu, resp. do začínajícího sání, je tedy jistým negativním faktorem, omezujícím možný rozsah přestavení předstihu.

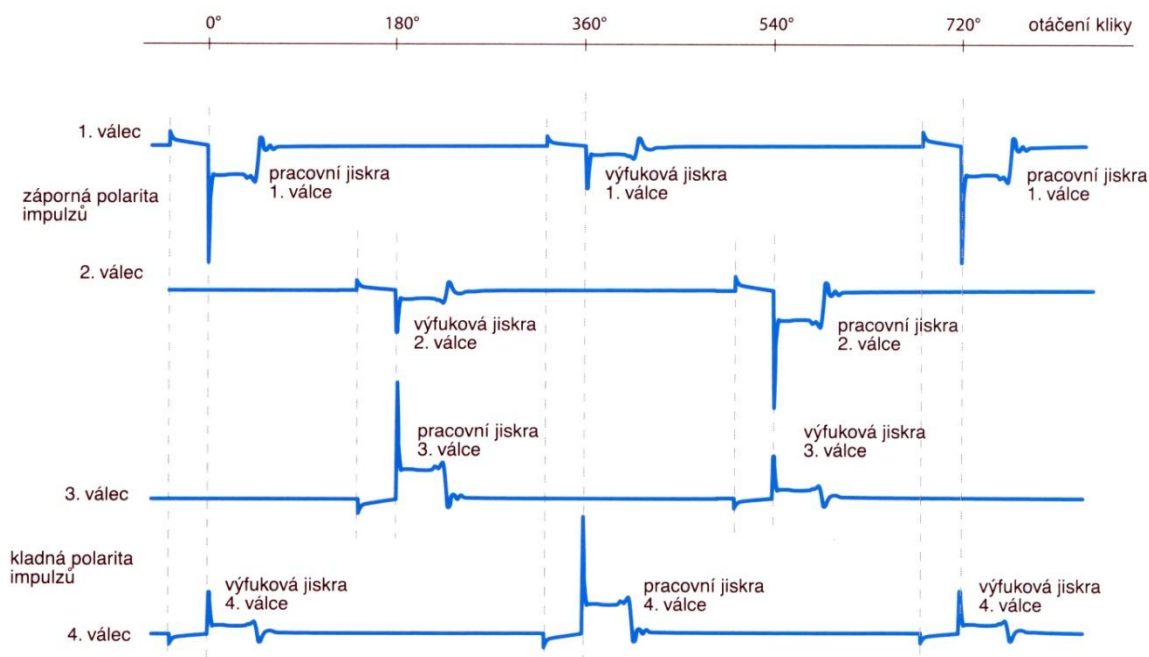
Z výše zmíněného je zřejmé, proč je jedna cívka spojena se svíčkami 1. a 4. válce a druhá cívka se svíčkami 2. a 3. válce. Probíhají tam stejné děje, jen jsou časově (úhlově) posunuty o  $180^\circ$  otočení kliky. Časově (úhlově) posunutého okamžiku zážehu jisker 2. a 3. válce oproti jiskrám 1. a 4. válce je dosaženo časovým posunem mezi řídicími impulzy pro jednotlivé koncové stupně v řídicí jednotce motoru.



Obrázek 60 Schéma plně elektronického zapalování s dvoujiskrovými cívkami

## Dvojitá polarita

Na obrázku 60 je u cívek naznačena polarita napětí na jednotlivých koncích sekundárního vinutí a směr protékajícího proudu výboje. V okamžiku, kdy vznikne na sekundárním vinutí vysoké napětí, bude na vývodu vinutí, spojeném se svíčkou 1. válce, záporná polarita napětí. Proud výboje poteče ve směru od kladného konce vinutí přes jiskřiště svíčky 4. válce do kostry motoru. Ani jeden z vývodů sekundáru však není spojen s kostrou, takže přes kostru motoru se proud k cívice vracet nemůže. Proud výboje teče dál kostrou k vnější elektrodě svíčky 1. válce a dále přes jiskřiště této svíčky a zapalovací kabel na druhý, záporný konec sekundárního vinutí. Vnější elektrody svíček, spojené přes kostru motoru, mají nulový potenciál. Na vnitřní elektrodě svíčky 1. válce je napětí záporné polarity, na vnitřní elektrodě svíčky 4. válce je naopak polarita napětí kladná. Podobně je tomu i na druhé dvojici svíček. Překoková napětí jiskry 1. válce a současně vznikající jiskry 4. válce nejsou stejná. Je-li v prvním válci právě kompresní zdvih, je mezi elektrodami svíčky 1. válce velký tlak směsi a tomu odpovídá vysoké přeskokové napětí. Ve stejné době je ve 4. válci výfukový takt a jiskra zde přeskakuje do relativně nízkého tlaku spalin. Přeskokové napětí „výfukové“ jiskry je proto nízké a má opačnou polaritu než „pracovní“ jiskra v 1. válci. Po jedné otáčce kliky se role válců otočí, v 1. válci bude výfukový takt a ve 4. válci kompresní zdvih. Výfuková jiskra 1. válce bude mít stále stejnou zápornou polaritu, ale nízké přeskokové napětí, naopak pracovní jiskra 4. válce bude mít stále kladnou polaritu, ale vysoké přeskokové napětí.



Obrázek 61 Napěťové obrazy impulzů na svíčkách jednotlivých válců

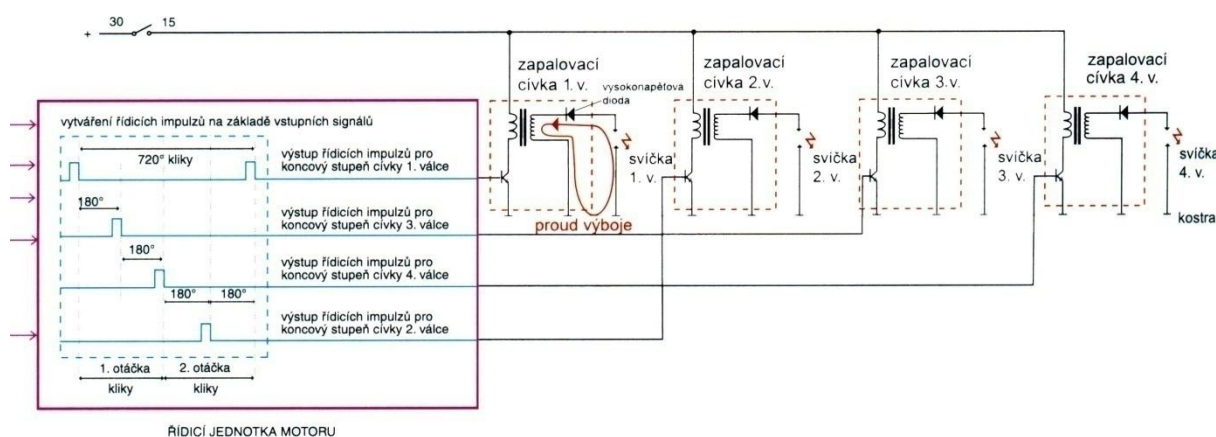
Na obrázku 61 je vidět, že na 1. a 2. válci se střídají impulzy pracovních a výfukových jisker se stále stejnou (zápornou) polaritou a střídavě nízkou a vysokou hodnotou přeskokového napětí, podle toho, zda jde o pracovní či výfukovou jiskru. Ve spodní polovině obrázku jsou znázorněny impulzy na svíčkách 3. a 4. válce, kde se zase střídají impulzy pracovních a výfukových jisker trvale kladné polarity a opět s vysokou (nízkou) hodnotou přeskokového napětí (pracovní / výfuková jiskra).

Zapalovací systém s dvoujiskrovými cívkami představuje relativně jednoduchou variantu bezrozdělovačového zapalování. Potřebuje počet cívek, odpovídající jen polovině počtu válců (možnost použití jen u motorů se sudým počtem válců), stačí mu jeden otáčkový signál. Jednou

z negativních vlastností je omezení rozsahu přestavení předstihu v důsledku existence výfukové jiskry. Další plyne z principu činnosti. Vysokonapětové součásti zapalování dvou válců tvoří společný sériový obvod. Dojde-li k poškození např. zapalovacího kabelu nebo svíčky 1. válce, promítne se to také do jiskry 4. válce. Tedy přerušení vysokonapětového obvodu jedné cívky znamená výpadek jisker dvou válců současně (1. a 4. válce nebo 2. a 3. válce). Případně závada v primárním obvodu jedné cívky rovněž způsobí, že dojde k výpadku dvou válců motoru najednou.

## Plně elektronické zapalování EFS

Zkratkou EFS (Einzelfunken-Spule – jednojiskrová cívka) se v německé literatuře označuje druhé v praxi používané provedení bezrozdělovačového zapalování. U tohoto typu zapalování jsou používány cívky, vytvářející v daný okamžik jen jednu jiskru, přesněji řečeno jiskru jen na jedné svíčke. To znamená, že sekundární obvod cívky je spojen jen s jednou svíčkou. Z toho vyplývá, že počet cívek musí odpovídat počtu válců motoru.



Obrázek 62 Zjednodušené schéma plně elektronického zapalování EFS

## Otáčkové signály pro EFS

Do řídicí jednotky vstupují signály provozních veličin motoru. Zapalování s EFS již nevystačí jen se signálem otáček/referenční značky kliky. Má-li zapalování správně pracovat, musí v každém válci přeskakovat jiskra jedenkrát za dvě otáčky kliky. Aby tento požadavek byl splněn, musí tedy platit, že každá zapalovací cívka dostává jeden řídicí impuls za dvě otáčky kliky, a pak tedy i jednou za dvě otáčky kliky zapaluje. Řídicí impulzy pro koncové stupně jednotlivých cívek proto musí vypadat tak, jak je znázorněno na obrázku 62. Bereme-li první otáčku kliky od zážehu jiskry 1. válce, pak k dalšímu zážehu jiskry 1. válce dochází na začátku 3. otáčky kliky. S každou otáčkou vzniká na snímači otáček/referenční značky kliky jeden referenční pulz, stále stejný. Proběhne první otáčka kliky, ze snímače otáček přijde referenční impuls do řídicí jednotky. Z tohoto signálu řídicí jednotka pozná, že se motor točí, avšak nepozná již, zda se při této otáčce nachází píst např. 1. válce v kompresním či výfukovém zdvihu. Nelze proto rozhodnout, zda má proběhnout jiskra v 1. nebo 4. válci. Proto tu musí být k dispozici další signál, v němž se opakuje určitý přesně definovaný impuls s každou druhou otáčkou kliky a z něhož lze tedy rozlišit, zda právě probíhá „první“ či „druhá“ otáčka motoru. Takový signál lze jednoduše snímat na vačkové hřídeli. Mluvíme pak o signálu polohy vačky. V některých technických popisech je uváděn pod označením signál fáze, neboť z něho lze odvodit, v jaké fázi se motor právě nachází, tedy například v kompresním zdvihu 1. válce. Řídicí jednotka pak na základě signálů otáček kliky a vačky vytváří řídicí impulzy pro koncové stupně jednotlivých zapalovacích cívek. Na přípravě těchto impulzů se podílejí i další signály,

především signál zatížení motoru, neboť ten je spoluurčujícím signálem pro předstih, a dále též korekční signály teploty motoru a nasávaného vzduchu. V neposlední řadě je výpočet přesného okamžiku, v němž má řídicí impuls vzniknout, ovlivněn signálem snímače klepání. Je-li každá cívka buzena samostatným řídicím signálem, tedy pracuje jen jednou za dvě otáčky motoru, vznikají pouze pracovní jiskry a nedochází k žádným výfukovým jiskrám. Při určování okamžiku spínání/ rozpínání cívky, tedy při volbě předstihu, nejsme tolik omezováni, jako tomu bylo v případě plně elektronického zapalování s dvoujiskrovými cívkami. Můžeme tak například pro účely prohřívání katalyzátoru volit velký pozápal, tedy jiskru v době expanze. U zapalování s dvoujiskrovými cívkami by v tomto okamžiku současně přeskakovala „výfuková“ jiskra v době sání a mohla by negativně ovlivnit chod motoru tím, že by zapalovala čerstvě nasávanou směs (mohlo by docházet ke „střílení do sání“, a navíc by takto neúčinně shořelá směs pak chyběla při činném hoření v expanzním taktu, výsledkem by byla ztráta výkonu motoru). Jiným pozitivním rysem zapalování s EFS je větší provozní spolehlivost. Dojde-li k výpadku jedné cívky, případně jednoho řídicího signálu, projeví se to vynecháváním jen jednoho válce. Ostatní válce jsou na této cívce a jejím řídicím signálu nezávislé. V neposlední řadě pak toto zapalování je jediným možným typem zapalovacího systému pro motory s lichým počtem.

### **Dioda v sekundárním obvodu cívky**

Jednojiskrová cívka je spojena přímo se svíčkou. Jakékoliv napět'ové impulzy objevující se na sekundárním vinutí se tedy dostávají na elektrody svíčky. V okamžiku spínání primárního vinutí ke kostře, tedy na začátku nabíjení cívky, lze na sekundáru cívky pozorovat menší napět'ový pulz. Tento vysokonapět'ový impuls (1 - 2 kV) při sepnutí primárů má opačnou polaritu než vysokonapět'ový impuls při rozpojení primárů. Tento okamžik však ještě není vhodným okamžikem k zapálení směsi. Směs ve válci se teprve stlačuje, píst má ještě poměrně daleko k horní úvratí. Není proto vhodné, aby se v tomto okamžiku zapalovala směs. Avšak od tohoto napět'ového impulsu by mohla přeskocit jiskra na svíčce. K jednomu konci sekundárního vinutí je proto připojena vysokonapět'ová dioda (Obrázek 62). Vznikne-li na „horním“ konci sekundárního vinutí kladný vysokonapět'ový impuls při sepnutí primárů, je tímto kladným napětím dioda polarizována v nepropustném (závěrném) směru a proud nepropustí. Na svíčce tak nemůže dojít k výboji, jiskra nepřeskočí. Naopak při rozpojení koncového tranzistoru v primáru (přerušeni proudu) vznikne na „horním“ konci sekundárního vinutí vysokonapět'ový impuls záporné polarity, jímž je dioda polarizována v propustném směru a vysoké napětí se dostává na svíčku a může přeskocit jiskra. Dioda tedy brání vytvoření nežádoucí jiskry při spínání primárního vinutí ke kostře, tj. na počátku nabíjení cívky a naopak propouští vysoké napětí pro vytvoření pracovní jiskry při rozpojení primárů.

### **Použitá literatura**

- [1] ROBERT BOSCH GmbH, Řízení zážehového motoru – Základy a komponenty, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 2002.
- [2] BROŽ, J., Elektřina a magnetismus II., Praha: Státní pedagogické nakladatelství.
- [3] ROBERT BOSCH GmbH, Řízení zážehového motoru – Zapalování, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 1999.
- [4] JIČÍNSKÝ, Š., Osciloskop a jeho využití v autoopravářské praxi, Praha: Grada Publishing, a.s., 2006.

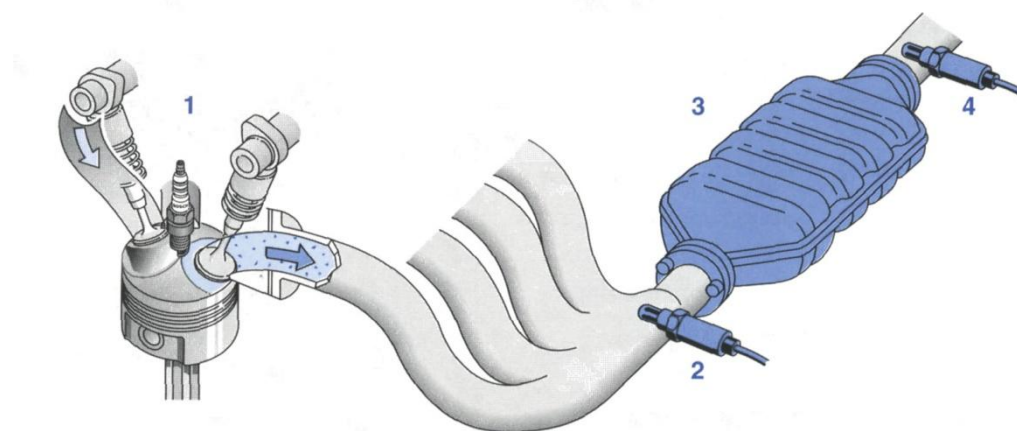
## 9. Katalytické čištění spalin

Zákonné předpisy určují mezní hodnoty emisí škodlivých látek vznikajících při spalování v zážehových motorech. Aby bylo možné tyto mezní hodnoty dodržet, jsou nezbytná opatření pro dodatečnou katalytickou úpravu spalin. [1]

### Přehled

Před tím, než se spaliny dostanou do volného prostoru, prochází katalyzátorem umístěným ve výfukovém systému (Obrázek 63, Poz. 3). V katalyzátoru se vhodné aktivní vrstvy starají o to, aby škodlivé látky obsažené ve spalinách prošly chemickou reakcí a přeměnily se v netoxické látky. Lambda sondy (Poz. 2, 4) měří obsah zbytkového kyslíku obsaženého ve spalinách. Na základě měření je možné směs paliva se vzduchem nastavit tak, aby katalyzátor pracoval co nejúčinněji.

V průběhu vývoje se používaly různé principy katalyzátorů. V současné době se pro motory s homogenním rozdělením směsi provozované při  $\lambda = 1$  používá třícečný katalyzátor. Motory pracující s chudou směsí potřebují navíc zásobníkový katalyzátor  $\text{NO}_x$ .



Obrázek 63 Výfukový systém s třícečným katalyzátorem a lambda sondami

- 1 Motor
- 2 Lambda sonda před katalyzátorem (dvoubodová nebo širokopásmová lambda sonda v závislosti na systému)
- 3 Třícečný katalyzátor
- 4 Dvoubodová lambda sonda za katalyzátorem (jen pro systémy regulace se dvěma lambda sondami)

### Oxidační katalyzátor

Oxidační katalyzátor přeměňuje pomocí oxidace - tj. spalování - oxid uhelnatý a uhlovodíky obsažené ve spalinách na oxid uhličitý a vodní páru. Kyslík potřebný k oxidaci se získává nastavením chudé směsi ( $\lambda > 1$ ) nebo vháněním vzduchu do výfukového systému před katalyzátor. Oxidy dusíku nedokáže oxidační katalyzátor převést.

Oxidační katalyzátory byly ve vozidlech poprvé použity v roce 1975 v USA kvůli tehdy platným limitům pro emise škodlivých látek. Dnes se katalyzátory pracující výhradně na principu oxidace používají již velmi zřídka.

### Třícečný katalyzátor

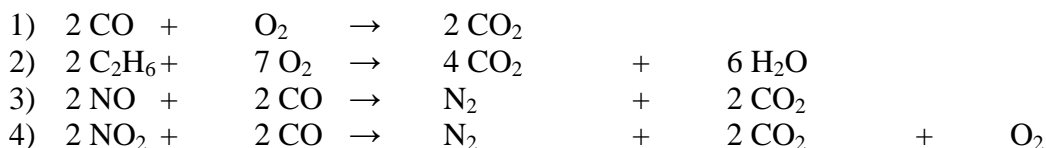
Třícečný katalyzátor je součástí systému čištění spalin jak u motorů se vstřikováním do sacího potrubí tak i u přímého vstřikování benzínu.

## Úkol

Třícestný katalyzátor má za úkol převádět (konvertovat) tři složky škodlivých látek vznikajících při spalování směsi paliva se vzduchem - tedy: HC (nespálené uhlovodíky), CO (oxid uhelnatý) a  $\text{NO}_x$  (oxidy dusíku) na neškodné součásti. Jako konečné produkty vznikají  $\text{H}_2\text{O}$  (vodní pára),  $\text{CO}_2$  (oxid uhličitý) a  $\text{N}_2$  (dusík).

## Způsob činnosti

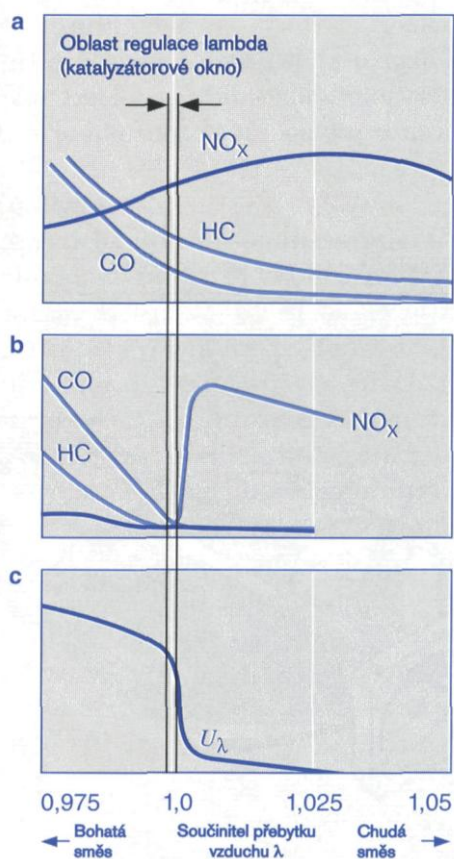
Konverze škodlivých látek (čištění spalin) probíhá ve dvou fázích: oxid uhelnatý a uhlovodíky jsou převedeny oxidací (reakční rovnice 1 a 2). Kyslík potřebný k oxidaci je buď k dispozici ve spalinách jako zbytkový kyslík na základě neúplného spalování nebo je odebírán oxidům dusíku, které jsou tímto způsobem současně redukovány (reakční rovnice 3 a 4).



Koncentrace škodlivých látek ve spalinách před katalyzátorem závisí na nastaveném součiniteli přebytku vzduchu  $\lambda$  (Obrázek 64a). Převodní poměr pro uhlovodíky (HC) a pro oxid uhelnatý roste se stoupajícím součinitelem přebytku vzduchu (Obrázek 64b). Při  $\lambda = 1$  je podíl těchto složek škodlivých látek již velmi malý. Se stoupajícím součinitelem přebytku vzduchu ( $\lambda > 1$ ) zůstává koncentrace těchto škodlivých látek na této nízké úrovni.

Konverze oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ) je v oblasti bohaté směsi ( $\lambda < 1$ ) dobrá. Nejnižší koncentrace  $\text{NO}_x$  je při stechiometrickém provozu ( $\lambda = 1$ ). Avšak již malé zvýšení podílu kyslíku ve spalinách v důsledku provozu s  $\lambda > 1$  zabrání redukci oxidů dusíku a způsobí prudký růst jejich koncentrace.

Aby byl převodní poměr třícestného katalyzátoru pro všechny tři složky škodlivých látek pokud možno vysoký, musí být škodlivé látky v chemické rovnováze. To vyžaduje složení směsi ve stechiometrickém poměru s  $\lambda = 1,0$ . Oblast regulace lambda sondy, v kterém se musí nacházet součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$ , je proto velmi úzká. Tvorba směsi musí být řízena regulačním okruhem lambda.



Obrázek 64 Škodlivé látky ve spalinách

- a Před katalytickou úpravou (před katalyzátorem)
- b Po katalytické úpravě
- c Průběh napětí u dvoubodové lambda sondy

## Konstrukce

Katalyzátor (Obrázek 65) se skládá z plechového pouzdra (Poz. 6), tělesa nosiče (Poz. 5) obsahujícího aktivní katalytickou vrstvu z ušlechtilého kovu (Poz. 4). [2]

## Těleso

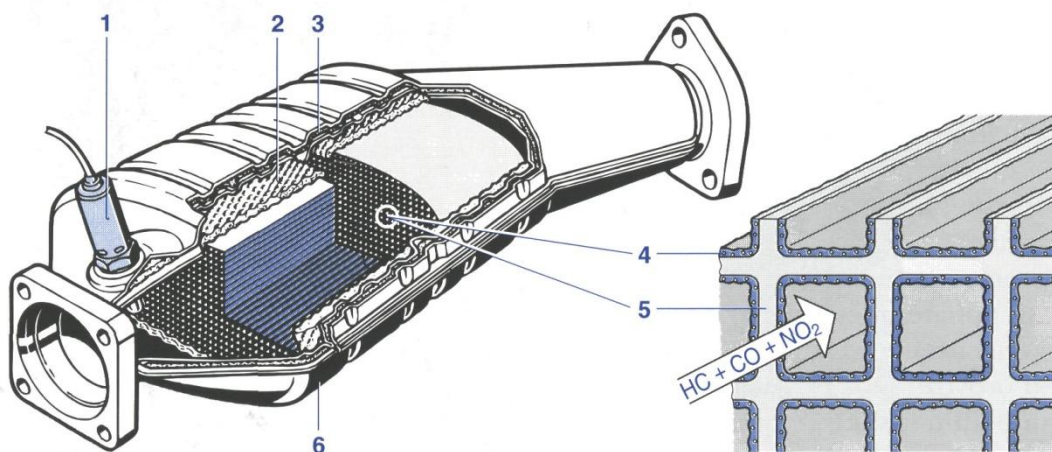
U těles se prosadily dva systémy:

- Keramické monolity - Keramické monolity jsou keramická tělesa, kterými prochází tisíce malých kanálů. Těmi prochází spaliny. Keramika je složena ze silikátu magnézia a alumina, který je velmi odolný proti vysokým teplotám. Monolit, který velmi citlivě reaguje na mechanické namáhání, je upevněn v plechovém pouzdře. K tomu se používají minerální rohože (Poz. 2), které se při prvním zahřátí trvale roztáhnou a poté zajišťují plynotěsnost. Keramické monolity jsou v současnosti nejpoužívanějšími tělesy katalyzátorů.
- Kovové monolity - Alternativu ke keramickým monolitům představuje kovový katalyzátor. Je navinutý z jemně válcované, 0,05 mm tenké kovové fólie a spájený ve vysokoteplotním procesu. Díky tenkým stěnám je možné na stejné ploše umístit více kanálů. To znamená nižší odpor pro spaliny, což přináší výhody při optimalizaci výkonu vysoce výkonných motorů.

## Aktivní vrstva

Keramické a kovové monolity vyžadují nosnou vrstvu („washcoat“) z oxidu alumina ( $Al_2O_3$ ) (Poz. 4). Tato vrstva zvětšuje účinnou plochu katalyzátoru o faktor 7000. Na ní je nanášena katalyticky účinná vrstva, která je u oxidačních katalyzátorů z ušlechtilých kovů - platiny a palladia, u třicestných katalyzátorů navíc z rhodia. Platina a palladium urychlují oxidaci uhlovodíků a oxidu uhelnatého, rhodium redukcí oxidů dusíku.

Hmotnost ušlechtilých kovů v jednom katalyzátoru činí cca 1 ... 3 g. Tato hodnota závisí na zdvihovém objemu motoru.



Obrázek 65 Třicestný katalyzátor s lambda sondou

1	Lambda sonda	4	Nosná vrstva z $Al_2O_3$ s aktivní vrstvou
2	Minerální rohož	5	Těleso
3	Tepelně izolační dvojitý plášť	6	Pouzdro

## Provozní teplota

Teplota katalyzátoru hraje při čištění spalin velmi důležitou roli. Přeměna škodlivých látek začíná být u třicestného katalyzátoru účinná teprve od provozní teploty přibližně 300 °C. Ideální podmínky pro vysoký stupeň přeměny a dlouhou životnost leží v teplotní oblasti 400 ... 800 °C.

Teplotní stárnutí je mnohem silnější v oblasti 800 ... 1000 °C, kdy dochází k sintraci (spékání) ušlechtilých kovů a nosné vrstvy  $Al_2O_3$ , což přispívá k redukci aktivní povrchové vrstvy. Přitom hraje velmi významnou úlohu také čas provozu v této teplotní oblasti. Při teplotě nad 1000 °C se velmi silně urychluje stárnutí katalyzátoru, které vede až k jeho plné nefunkčnosti.



Chybnou funkcí motoru (např. vynecháváním zapalování) může teplota v katalyzátoru stoupnout až na 1400 °C. Takové teploty vedou k roztavení nosného materiálu a tedy k úplnému zničení katalyzátoru. Aby se tomu zabránilo, je nezbytně nutné, aby byl zapalovací systém velmi spolehlivý a v podstatě bezúdržbový. Moderní systémy řízení motoru dokáží rozpoznat výpadky zapalování a spalování. V takovém případě přeruší vstřikování do příslušného válce, takže do výfukového systému se nedostane žádná nespálená směs.

### **Bezolovnaté palivo**

Dalším předpokladem pro spolehlivý dlouhodobý provoz je použití bezolovnatého paliva. Sloučeniny olova se usazují v pórech aktivní povrchové vrstvy a tím ji zmenšují. Také zbytky motorového oleje mohou vést k úplné ztrátě účinnosti katalyzátoru.

### **Umístění**

Přísné předpisy limitující emise škodlivých látek vyžadují speciální koncepce pro zahřátí katalyzátoru po nastartování motoru. Tyto koncepce (např. vhánění sekundárního vzduchu, přestavení předstihu směrem k „později“) určují umístění katalyzátoru. Vlastnosti třícestných katalyzátorů týkající se provozní teploty omezují možnosti umístění. Z teplotních poměrů, které jsou nutné pro vysokou přeměnu škodlivin, nevyhnutelně vyplývá umístění třícestného katalyzátoru poblíž motoru.

U třícestného katalyzátoru se výrazně prosadilo dělené uspořádání s jedním předřadným katalyzátorem poblíž motoru a druhým pod podlahou vozidla. Katalyzátory umístěné poblíž motoru vyžadují optimalizaci aktivní vrstvy, která musí odolávat vysokým teplotám, katalyzátory pod podlahou musí být účinné od co nejnižší teploty a musí dobře konvertovat podíl  $\text{NO}_x$ .

Alternativně k tomu se používají koncepce pouze s jedním katalyzátorem, který je namontován v blízkosti motoru.

### **Efektivita**

Katalytická úprava spalin pomocí třícestného katalyzátoru je v současnosti nejúčinnější metodou čištění spalin pro zážehový motor při homogenním rozložení směsi s  $\lambda = 1$ . Součástí je regulace lambda, která kontroluje složení směsi paliva se vzduchem. Pomocí třícestného katalyzátoru lze při homogenním rozložení a stechiometrickém složení směsi téměř zcela potlačit emise oxidu uhelnatého, uhlovodíků a oxidů dusíku. Tyto ideální provozní podmínky však není možné dodržet vždy. Přesto lze v průměru vycházet z redukce škodlivých látek o více než 98 %.

### **Zásobníkový katalyzátor $\text{NO}_x$**

#### **Úkol**

Při provozu s chudou směsí nedokáže třícestný katalyzátor zcela převádět oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ) vznikající při spalování. Kyslík potřebný pro oxidační rozklad oxidu uhelnatého a uhlovodíků se v tomto případě nezískává štěpením oxidů dusíku, ale odebírá se z vysokého podílu zbytkového kyslíku ve spalinách. Zásobníkový katalyzátor  $\text{NO}_x$  odbourává oxidy dusíku jiným způsobem.

#### **Konstrukce a použitá aktivní vrstva**

Zásobníkový katalyzátor má podobnou konstrukci jako třícestný katalyzátor. Kromě vrstev z platiny, palladia a rhodia obsahuje ale ještě speciální přísady, které mohou ukládat oxidy dusíku. Typické zásobníkové materiály obsahují například oxidy draslíku, vápníku, stroncia, zirkonu, lanthanu a barya.

Aktivní vrstvu k ukládání  $\text{NO}_x$  a aktivní vrstvu třícestného katalyzátoru lze nanést najedno společně těleso.

## Způsob činnosti

Působením aktivní vrstvy z ušlechtilých kovů pracuje zásobníkový katalyzátor  $\text{NO}_x$  za provozu s  $\lambda = 1$  jako třicestný katalyzátor. Kromě toho redukuje oxidy dusíku, které nejsou redukovány ve spalínách s přebytkem kyslíku. Tato konverze však neprobíhá kontinuálně jako u oxidu uhelnatého a uhlovodíků, ale probíhá ve třech stupních:

1. ukládání (absorpce)  $\text{NO}_x$ ,
2. uvolnění (desorpce)  $\text{NO}_x$ ,
3. konverze.

## Ukládání $\text{NO}_x$

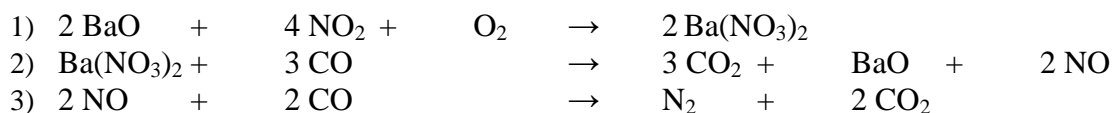
Oxidy dusíku jsou katalytickým působením aktivní platinové vrstvy oxidovány na oxid dusičitý ( $\text{NO}_2$ ). Následně reaguje  $\text{NO}_2$  se speciálními oxidy katalytické vrstvy a kyslíkem na dusičnany. Například reakcí  $\text{NO}_2$  s oxidem barnatým  $\text{BaO}$  vzniká chemická sloučenina dusičnan barnatý  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  (reakční rovnice 1). Zásobníkový katalyzátor tak ukládá oxidy dusíku vznikající při provozu s přebytkem vzduchu.

Existují dvě možnosti, jak zjistit, kdy je katalyzátor nasycen a fáze ukládání je ukončena:

- Metodou založenou na modelu se při zohlednění teploty katalyzátoru (Obrázek 66, Poz. 4) vypočítá množství uložených  $\text{NO}_x$ .
- Snímač  $\text{NO}_x$  (6) za katalyzátorem  $\text{NO}_x$  měří koncentraci  $\text{NO}_x$  ve spalínách.

## Uvolnění $\text{NO}_x$ a konverze

S rostoucím množstvím oxidů dusíku uložených v katalyzátoru klesá schopnost vázat další oxidy dusíku. Od určitého množství se musí provést regenerace, tzn. že usazené oxidy dusíku se musí odstranit a konvertovat. K tomu se krátkodobě přepne na homogenní provoz s bohatou směsí ( $\lambda < 0,8$ ). Procesy uvolnění  $\text{NO}_x$  a konverze na dusík a oxid uhličitý probíhají odděleně. Jako redukční činidla se používají  $\text{H}_2$ ,  $\text{HC}$  a  $\text{CO}$ . Reakční rychlost redukce je s  $\text{HC}$  nejnižší, s  $\text{H}_2$  nejvyšší. Uvolnění - v následujícím textu je vysvětleno pro oxid uhelnatý jako redukční činidlo - probíhá tak, že reakcí oxidu uhelnatého s dusičnanem (např. dusičnanem barnatým  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ) vznikne oxid (např. oxid barnatý  $\text{BaO}$ ). Přitom vznikají ještě oxid uhličitý a oxid dusnatý (reakční rovnice 2). Aktivní vrstva rhodia následně redukuje oxidy dusíku pomocí oxidu uhelnatého na dusík a oxid uhličitý (reakční rovnice 3).



K rozpoznání ukončení fáze uvolňování existují dvě metody:

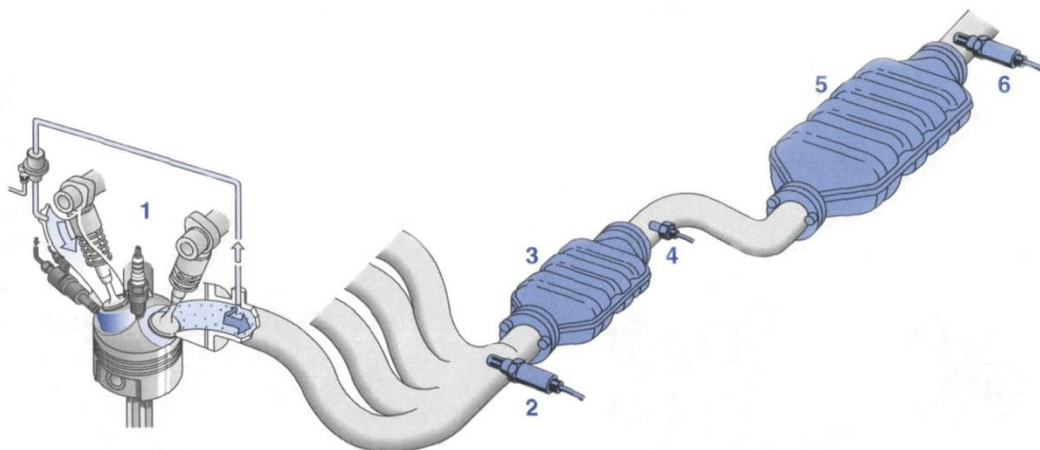
- Metoda založená na modelu vypočítává množství oxidů dusíku dosud obsažených v zásobníkovém katalyzátoru  $\text{NO}_x$ .
- Lambda sonda (Poz. 6) za katalyzátorem měří koncentraci kyslíku ve spalínách a vykáže napěťový skok z „chudá“ na „bohatá“, když je uvolňování ukončeno.

## Provozní teplota a umístění

Ukládací schopnost zásobníkového katalyzátoru  $\text{NO}_x$  je výrazně závislá na teplotě. Maxima dosahuje v rozsahu teplot 300 ... 400 °C. Proto je vhodná teplotní oblast mnohem nižší než u třicestného katalyzátoru. Z toho důvodu se musí pro katalytické čištění spalín používat dva oddělené katalyzátory - jeden, poblíž motoru umístěný třicestný katalyzátor, jako předřadný katalyzátor (Obrázek 66, Poz. 3) a jeden zásobníkový katalyzátor  $\text{NO}_x$  (Poz. 5) umístěný dále od motoru jako hlavní katalyzátor.

## Zanášení katalyzátoru sírou

Problém pro zásobníkový katalyzátor představuje obsah síry v benzínu. Síra obsažená ve spalínách s přebytkem kyslíku reaguje s oxidem barnatým (ukládací materiál) na síran barnatý. Množství ukládacího materiálu, které je k dispozici k ukládání  $\text{NO}_x$ , tak časem klesá. Síran barnatý je teplotně velmi stálý a proto je při regeneraci  $\text{NO}_x$  odbourán jen z části. Při používání paliva obsahujícího síru se musí neustále provádět odsíření. Přitom se katalyzátor cílenými opatřeními (nastavení druhu provozu s vrstvenou směsí a zahříváním katalyzátoru) zahřeje na  $600 \dots 650 \text{ }^\circ\text{C}$  a pak se po několik minut přivádí střídavě bohaté ( $\lambda = 0,95$ ) a chudé ( $\lambda = 1,05$ ) spaliny. Přitom je síran barnatý rozkládán opět na oxid barnatý.



Obrázek 66 Výfukový systém s třicestným předřadným katalyzátorem, následným zásobníkovým katalyzátorem  $\text{NO}_x$  a lambda sondami

1	Motor s recirkulací spalin	4	Snímač teploty
2	Lambda sonda před katalyzátorem	5	Zásobníkový katalyzátor $\text{NO}_x$
3	Třicestný předřadný katalyzátor	6	Dvoubodová lambda sonda

## Regulační obvod lambda sondy

### Úkol

Aby u systémů, které pracují pouze s jedním třicestným katalyzátorem, byla přeměna všech tří složek škodlivých látek co možná nejvyšší, musí být škodlivé látky v chemické rovnováze. To vyžaduje složení směsi ve stechiometrickém poměru s  $\lambda = 1,0$ . Oblast regulace lambda sondy, v které se musí nacházet součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$ , je proto velmi úzké. Tvorba směsi musí být proto řízena regulačním okruhem lambda. Pouhé řízení odměřování paliva nepostačuje.

Motory s přímým vstřikováním benzínu používají také směsi, jejichž složení se liší od stechiometrického poměru. Také u těchto systémů může být tvorba směsi regulována.

### Konstrukce

Lambda sonda (Obrázek 67, Poz. 3a) je umístěna ve výfukovém potrubí před katalyzátorem (Poz. 4 a 5). Signál ze sondy  $U_{Sa}$  se přivádí do řídicí jednotky motoru (Poz. 7). K tomuto účelu se může použít dvoubodová lambda sonda (dvoubodová regulace) nebo širokopásmová lambda sonda (spojitá regulace lambda). Za katalyzátorem může být umístěna další lambda sonda (Poz. 3b) - regulace se dvěma sondami. Na tomto místě se jedná vždy o dvoubodovou lambda sondu. Tato sonda dodává signál  $U_{sb}$ . [3]

### Způsob činnosti

Pomocí regulačního okruhu tvořeného jednou nebo dvěma lambda sondami lze rozpoznávat

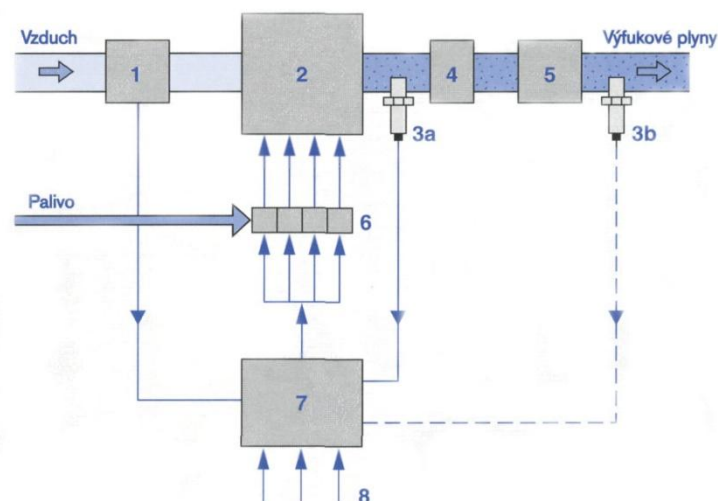
a korigovat odchylky od určitého poměru vzduchu a paliva. Princip regulace je založen na měření obsahu zbytkového kyslíku ve spalínách. Obsah zbytkového kyslíku je měřítkem pro složení směsi paliva se vzduchem přiváděné do motoru (Poz. 2).

### Dvoubodová regulace

Dvoubodová lambda sonda umístěná před katalyzátorem dodává při bohaté směsi ( $\lambda < 1$ ) vysoké, při chudé směsi ( $\lambda > 1$ ) nízké napětí  $U_{sa}$ . V oblasti okolo  $\lambda = 1$  dochází k prudkému napěťovému skoku. Dvoubodová lambda sonda dokáže tedy pouze rozlišovat mezi bohatou a chudou směsí.

Napětí sondy se v řídicí jednotce motoru převádí na dvouúrovňový signál. Ten je vstupní veličinou pro softwarovou regulaci lambda. Regulace lambda ovlivňuje tvorbu směsi a nastavuje poměr vzduchu a paliva přizpůsobováním vstřikovaného množství paliva. Akční veličina, složená ze skoku a lineárně rostoucího úseku, mění svůj směr při každém napěťovém skoku sondy. To znamená: skokem akční veličiny je složení směsi měněno nejprve „skokově“ a poté lineárně s mírným stoupáním. Při vysokém napětí sondy (bohatá směs) akční veličina reguluje směrem k chudé směsi, při nízkém napětí sondy (chudá směs) směrem k bohaté směsi. Pomocí této dvoubodové regulace lze směs paliva se vzduchem udržet v oblasti hodnot  $\lambda = 1$ .

Typické „chybné měření“ lambda sondy podmíněné střídáním složení směsi lze řízeně kompenzovat zvolením asymetrického průběhu akční veličiny (posun mezi bohatou a chudou směsí).



Obrázek 67 Funkční schéma regulace lambda

1	Měřič hmotnosti nasávaného vzduchu	5	Hlavní katalyzátor
2	Motor	6	Vstřikovací ventily
3	Lambda sonda	7	Řídicí jednotka motoru
4	Předřadný třístupňový katalyzátor	8	Vstupní signály

### Spojité regulace lambda

Širokopásmová lambda sonda dodává spojitý napěťový signál  $U_{sa}$ . Lze s ní proto měřit nejen oblast lambda (bohatá nebo chudá směs), ale také odchylku od  $\lambda = 1$ . Regulace lambda může proto rychleji reagovat na odchylky ve složení směsi. Z toho vyplývá lepší regulace s podstatně vyšší dynamikou.

Protože lze širokopásmovou lambda sondou měřit složení směsi lišící se od  $\lambda = 1$ , je také možné (na rozdíl od dvoubodové regulace) regulovat na taková složení směsi. Regulační oblast tak leží mezi hodnotami v rozsahu  $\lambda = 0,7 \dots 3,0$ . Spojitá regulace lambda je proto vhodná pro provoz s chudou a bohatou směsí u motorů s přímým vstřikováním benzínu.

## Regulace se dvěma sondami

Regulace lambda s lambda sondou před katalyzátorem má omezenou přesnost, protože sonda je vystavena silným vlivům svého okolí. Lambda sonda (3b) za katalyzátorem je těmto vlivům vystavena v podstatně menší míře.

Regulace lambda se sondou pouze za katalyzátorem by však byla kvůli dlouhé době průchodu spalin výfukovým systémem příliš pomalá. Princip regulace se dvěma sondami je založen na tom, že výsledek regulace před katalyzátorem udávající posun k bohatší nebo chudší směsi je aditivně upravován „pomalou“ korekční regulační smyčkou.

## Regulace lambda při přímém vstřikování benzínu

Zásobníkový katalyzátor  $\text{NO}_x$  plní dvojí funkci. Kromě ukládání  $\text{NO}_x$  a oxidace HC a CO při provozu s chudou směsí je pro provoz s  $\lambda = 1$  nutná stabilní třicestná funkce, která vyžaduje alespoň minimální schopnost ukládání kyslíku. Lambda sonda před katalyzátorem kontroluje stechiometrické složení směsi.

Úkolem dvoubodové lambda sondy s integrovaným snímačem  $\text{NO}_x$ , umístěné za zásobníkovým katalyzátorem  $\text{NO}_x$ , je kromě regulace pomocí dvou sond, kontrola kombinovaného ukládání  $\text{O}_2$  a  $\text{NO}_x$  (rozpoznání konce fáze uvolňování  $\text{NO}_x$ ).

## Zahřátí katalyzátoru

### Přestavení předstihu směrem k „později“

K dosažení nízkého obsahu škodlivých látek ve výfukových plynech hned po startu, musí katalyzátor co nejrychleji dosáhnout své provozní teploty. Toho je mimo jiné dosahováno pomocí přestavení předstihu směrem k „později“.

Toto opatření sníží tepelnou účinnost a ponechá ve spalinách větší množství tepla, kterým je katalyzátor zahříván.

### Vhánění sekundárního vzduchu

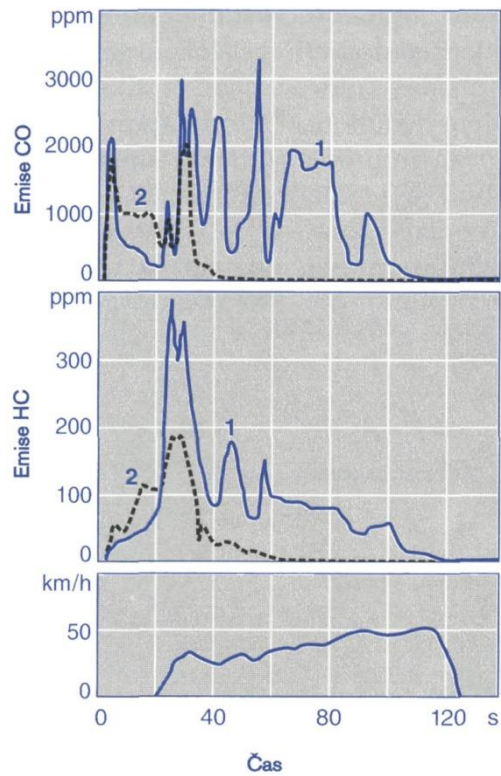
Pomocí dodatečného termického spalování je možné nespálené součásti směsi paliva se vzduchem obsažené ve spalinách dodatečně spálit. Při chudém složení směsi je kyslík potřebný k dodatečnému spalování obsažen jako zbytkový kyslík ve spalinách. Při bohaté směsi, která je potřebná pro motor ve fázi po startu a při zahřívání na provozní teplotu, urychluje zahřívání vzduch vháněný do výfukového kanálu (sekundární vzduch).

Tato exotermická reakce redukuje na jedné straně obsah uhlovodíků a oxidu uhelnatého. Na druhé straně dodatečné spalování rychleji zahřívá katalyzátor na jeho provozní teplotu. Tato operace podstatně zlepšuje přeměnu škodlivých látek ve fázi zahřívání a přispívá k rychlé provozní pohotovosti katalyzátoru. Na obrázku 68 je průběh emisí uhlovodíků a oxidu uhelnatého v prvních sekundách měření emisí s vháněním sekundárního vzduchu a bez něj.

Vhánění sekundárního vzduchu je v současné době zajišťováno dmychadly sekundárního vzduchu.

### Dodatečné vstřikování

U benzínových motorů s přímým vstřikováním benzínu se používá k rychlému zahřátí katalyzátoru na jeho provozní teplotu jiná metoda. V druhu provozu „s vrstveným plněním a zahříváním katalyzátoru“, kdy má směs vysoký přebytek vzduchu, se během doby expanze vstříkne do válce další palivo. Toto palivo shoří velmi pozdě a silně zahřívá oblast výfuku a výfukové potrubí. Tím může, v případech, kdy nelze požadovaných limitů pro emise dosáhnout konvenčními opatřeními (přestavení předstihu směrem k „později“), odpadnout dmychadlo sekundárního vzduchu obvyklé při vstřikování do sacího potrubí.



Obrázek 68 Vliv vhánění sekundárního vzduchu na emise CO a HC

1 Bez vhánění sekundárního vzduchu      2 S vháněním sekundárního vzduchu

## Použitá literatura

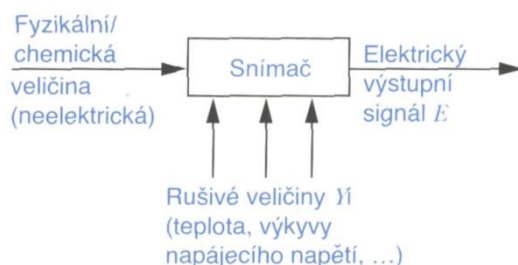
- [1] ROBERT BOSCH GmbH, Řízení zážehového motoru – Základy a komponenty, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 2002.
- [2] FERENC, B., Spalovací motory – karburátory a vstřikování paliva, Brno: Computer Press, a.s., 2004.
- [3] ROBERT BOSCH GmbH, Snímače v motorových vozidlech, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 2003.

## 10. Snímače

Význam elektroniky v motorových vozidlech stále roste. Snímače jsou přitom „smyslovými orgány“ vozidla pro dráhu, úhel, otáčky, rychlost, zrychlení, vibrace, tlak, průtok, koncentraci plynů, teplotu a další ovlivňující veličiny. Jejich signály se staly nepostradatelnými pro mnoho řídicích a regulačních funkcí různých systémů pro řízení motoru, podvozku, bezpečnosti, komfortu a dalších. Elektronické zpracování dat v současné době umožňuje rychlé vyhodnocování uvedených veličin a jejich zpracování pro různé funkce vozidla.

### 10.1 Základní pojmy

Snímače převádí fyzikální nebo chemickou (většinou neelektrickou) veličinu  $\Phi$  při zohlednění rušivých veličin  $Y_i$  na elektrickou veličinu  $E$ . Často se to provádí prostřednictvím dalších neelektrických mezistupňů. Za elektrické veličiny jsou zde považovány nejen proud a napětí, ale také amplituda proudu a napětí, frekvence, perioda, fáze nebo délka impulsu elektrického kmitu, ale i elektrické charakteristické veličiny odpor, kapacita a indukčnost. [1]



Obrázek 69 Základní funkce snímače

Snímač lze charakterizovat pomocí následujících rovnic:

1. Výstupní signál snímače

$$E = f(\Phi, Y_1, Y_2, \dots) \quad (1)$$

2. Požadovaná měřená veličina

$$\Phi = g(E, Y_1, Y_2, \dots) \quad (2)$$

Jsou-li známy funkce  $f$  nebo  $g$ , pak představují „model snímače“, pomocí kterého je možné požadovanou měřenou veličinu z výstupního signálu  $E$  a chybových veličin  $Y_i$  vypočítat matematicky.

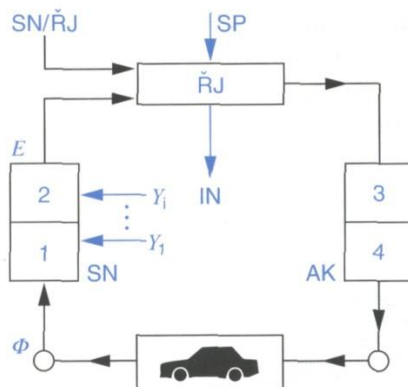
#### Použití v motorových vozidlech

Snímače a akční členy tvoří jako periférie rozhraní mezi vozidlem s jeho komplexními funkcemi (pohon, brzdy, podvozek, karosérie, řízení, navigace a další) a většinou digitální řídicí jednotkou, provádějící zpracování. Zpravidla se signály snímačů upravují pomocí přizpůsobovacích obvodů do standardizovaného tvaru požadovaného řídicí jednotkou (Obrázek 70).

Velké množství těchto přizpůsobovacích obvodů navržených pro speciální snímače a pro určité vozidlo je k dispozici v integrované formě. Bez přizpůsobovacích obvodů by použití snímačů nebylo možné. Také přesnost měření snímačů je definována jen ve spojení s přizpůsobovacími obvody.

Ve znázorněném regulačním okruhu může být tento proces ovlivňován i informacemi snímačů jiných jednotek, stejně tak jako řídicím prostřednictvím jednoduchých ovládacích

spínačů. Zobrazovací jednotky informují řidiče o stavu a průběhu celkového procesu.



Obrázek 70 Regulační okruh

1	Snímač měřené veličiny	SP	Spínač
2	Přizpůsobovací obvod	SN	Snímač
3	Budič	ŘJ	Řídicí jednotka
4	Akční členy	$\Phi$	Fyzikální veličina
AK	Akční člen	$E$	Elektrická veličina
IN	Indikace	$Y_{1...i}$	Chybové veličiny

### Typy snímačů

Snímače pro motorová vozidla lze rozdělit do tří skupin:

- funkční snímače, převážně pro řídicí a regulační úkoly,
- snímače pro bezpečnost a zabezpečení (ochrana proti odcizení),
- snímače pro kontrolu vozidla (palubní diagnostika OBD, veličiny spotřeby a opotřebení).

### Druhy charakteristik snímačů

K řízení, regulaci a sledování musí snímače vykazovat různé charakteristiky:

#### Spojitě lineární charakteristiky

Spojitě lineární charakteristiky (Obrázek 71a) se používají především pro úkoly řízení v širokém měřicím rozsahu. Lineární charakteristiky mají navíc výhodu snadné kontroly a snadného vyvážení.

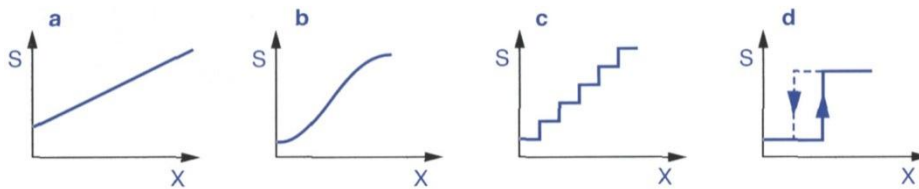
#### Spojitě nelineární charakteristiky

Spojitě nelineární charakteristiky (Obrázek 71b) slouží často k regulaci měřené veličiny ve velmi úzkém rozsahu (např. regulace spalín na  $\lambda = 1$ ). Výrazně nelineární charakteristiky speciálního tvaru (např. logaritmické) mají výhodu také tehdy, když je například v celém měřicím rozsahu požadována přípustná odchylka relativní vůči měřené hodnotě (např. měřič množství vzduchu).

#### Nespojitě dvou a víceúrovňové charakteristiky

Nespojitě dvouúrovňové charakteristiky, příp. s hysterezí (Obrázek 71d) slouží ke sledování takových mezních hodnot, při jejichž dosažení lze snadno provést nápravu. Při požadavku na dosažení větší přesnosti mezních hodnot lze použít vícenásobného odstupňování (Obrázek 71c).





Obrázek 71 Druhy charakteristik snímačů

## Druh výstupního signálu

Snímače se liší také podle druhu svého výstupního signálu.

**Výstupní signál analogový (spojitý)**, odpovídající:

- proudu nebo napětí či jeho amplitudě,
- frekvenci nebo periodě,
- délce impulsu nebo střídě.

**Diskrétní (nespojité) výstupní signál:**

- dvouúrovňový (binárně kódovaný),
- víceúrovňový nejednotně odstupňovaný (analogově kódovaný),
- víceúrovňový ekvidistanční, tzn. stupňovaný ve stejných odstupech (analogově nebo digitálně kódovaný).

## Hlavní požadavky

Snímače pro motorová vozidla jsou přizpůsobeny požadavkům speciálních elektronických systémů v automobilu. Je na ně kladeno pět důležitých požadavků, které musí být vývojem splněny a kterým odpovídají také nejdůležitější vývojové trendy:

### Vysoká spolehlivost

Podle svých úkolů se snímače pro motorová vozidla dělí do tří tříd spolehlivosti:

- 1.tř. - řízení, brzdy, ochrana pasažérů,
- 2.tř. - motor, hnací ústrojí, podvozek, pneumatiky,
- 3. tř. - komfort, diagnostika, informační systémy a zajištění proti odcizení.

V oblasti automobilové techniky odpovídají požadavky nejvyšší třídy v plné míře takovým vysokým hodnotám spolehlivosti, známým např. z letecké techniky.

### Nízké výrobní náklady

Dnešní moderní vozidla jsou vybavena vysokým počtem snímačů, což předpokládá nízké výrobní náklady.

### Náročné provozní podmínky

Snímače jsou umístěny na obzvlášť exponovaných místech vozidla. Proto jsou vystaveny extrémnímu zatížení a musí odolávat nejrůznějšímu namáhání:

- mechanickému (vibrace, nárazy),
- klimatickému (teplota, vlhkost),
- chemickému (např. voda, solná mlha, palivo, motorový olej, kyselina akumulátoru),
- elektromagnetickému (vnější rušivé záření, rušivé impulsy přenášené kabely, přepětí, ...)

## Malé rozměry

Stále rostoucí počet elektronických systémů ve vozidle na jedné straně a stále kompaktnější tvar vozidel na straně druhé při současném zachování komfortu vnitřního prostoru pro pasažéry nutí výrobce k extrémně malým konstrukčním provedením. Rostoucí tlak na úsporu paliva vyžaduje také důslednou minimalizaci hmotnosti vozidla.

## Vysoká přesnost

Přípustné odchylky se obecně pohybují okolo 1 % z konečné hodnoty měřicího rozsahu, zejména při zohlednění nevyhnutelného procesu stárnutí. Těchto přesností je obecně dosahováno pomocí přesné techniky kompenzace rozptylu u vzorků a techniky vyrovnání účinných kompenzačních opatření proti rušivým vlivům.

## 10.2 Základní typy snímačů

### Snímače polohy (dráha/úhel)

#### Potenciometrické snímače

Potenciometr s běžcem a odporovou dráhou využívá závislosti mezi délkou drátového nebo vrstevového odporu (cermetového nebo z vodivého plastu) a hodnotou odporu k měřicím účelům. V současnosti je to nejlevnější snímač dráhy/úhlu. K ochraně před přetížením je napětí připojeno k odporové dráze většinou přes menší předřadné odpory  $R_v$  (také pro vyrovnání nulového bodu a strmosti). Tvarováním šířky měřicí odporové dráhy (i po úsecích) se ovlivňuje tvar charakteristiky. Běžec je připojen většinou pomocí druhé kontaktní dráhy se stejným povrchem, pod nímž je však nanesen vodivý materiál s nízkým odporem. [1]

Opotřebením a zkreslením měřené hodnoty lze snížit tím, že běžec bude co nejméně elektricky zatěžován (z běžce odebíraný proud  $I_A < 1 \text{ mA}$ ) a prachotěsným zapouzdrněním. Předpokladem pro malé opotřebením je také optimální přizpůsobení dvojice běžec - dráha s ohledem na tření.

#### Výhody potenciometrických snímačů

- jednoduchá konstrukce,
- velmi velký měřicí efekt (měřicí zdvih = napájecí napětí),
- není potřeba žádná elektronika,
- dobrá odolnost vůči rušivým napětím,
- široká teplotní oblast ( $< 250 \text{ }^\circ\text{C}$ ),
- vysoká přesnost (lepší než 1 % z celkového rozsahu),
- široký měřicí rozsah (možno měřit téměř  $360^\circ$ ),
- bezproblémové redundantní provedení,
- flexibilní charakteristika (proměnná šířka dráhy),
- flexibilní montáž (rovná i zakřivená plocha),
- mnoho výrobců.

#### Nevýhody potenciometrických snímačů

- mechanické opotřebením, odírání,
- chyby měření způsobené obroušenými zbytky,
- problémy při provozu v kapalině,
- proměnný přechodový odpor mezi běžcem a odporovou dráhou,
- nadzvednutí běžce při velkém zrychlení nebo vibracích,
- nákladné zkoušení,
- omezená možnost miniaturizace,
- šum.

## Příklady použití potenciometrických snímačů

### Snímač polohy škrticí klapky

#### Použití

Snímač polohy škrticí klapky snímá úhel natočení škrticí klapky zážehového motoru. U motorů se systémem M-Motronic se tím určuje pomocný signál zatížení, který se používá mimo jiné jako doplňující informace pro funkce dynamiky, rozpoznání pracovní oblasti (volnoběh, částečné nebo plné zatížení) a jako signál nouzového režimu při výpadku hlavního snímače zatížení (měřiče hmotnosti vzduchu). Při použití snímače polohy škrticí klapky jako hlavního snímače zatížení je potřebné přesnosti dosaženo použitím dvou potenciometrů pro dva rozsahy úhlu. [1]

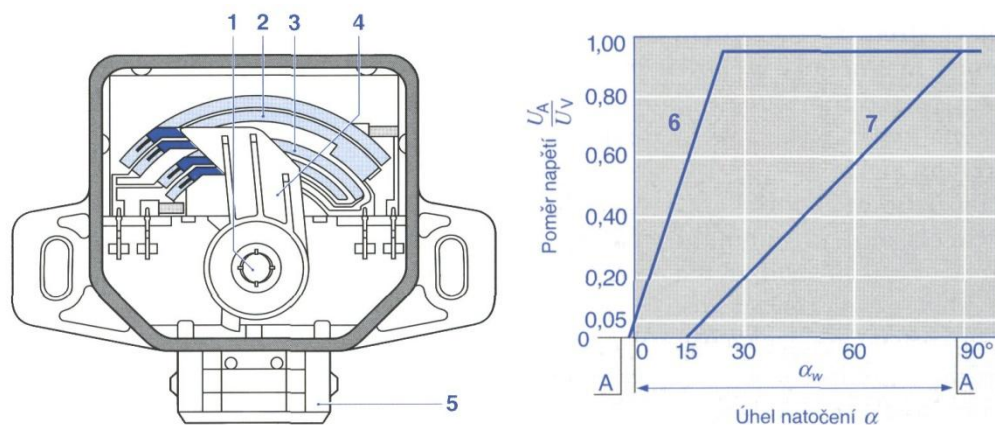
ME-Motronic nastavuje požadovaný točivý moment motoru pomocí škrticí klapky. K ověření, zda škrticí klapka vypočtenou polohu také zaujme, se pomocí snímače vyhodnocuje poloha škrticí klapky. K jištění funkce obsahuje tento snímač dva paralelně pracující (redundantní) potenciometry s odděleným referenčním napětím.

#### Konstrukce a způsob činnosti

Snímač polohy škrticí klapky je potenciometrický snímač úhlu s jednou lineární charakteristikou (nebo dvěma). Rameno spojené s hřídelem škrticí klapky přejíždí se svými běžci podélně po odporových drahách. Přitom převádí úhel natočení škrticí klapky na jemu úměrný poměr napětí  $U_A / U_V$  (Obrázek 72), kde provozní napětí činí  $U_V = 5 \text{ V}$ . Běžec je připojen většinou pomocí druhé kontaktní dráhy se stejným povrchem, avšak s naneseným vodivým materiálem o malém odporu.

K ochraně před přetížením je napětí připojeno k odporové dráze přes menší předřadné odpory (slouží také pro vyvážení nulového bodu a strmosti). Změna šířky měřicí dráhy (i v dílčím úseku) se projeví na tvaru charakteristiky.

Signál o úhlu natočení škrticí klapky  $\alpha$  slouží elektronické řídicí jednotce k výpočtu polohy a rychlosti změn úhlu jejího natočení. Poloha škrticí klapky je důležitou vstupní veličinou pro funkce získání hodnot plnění vzduchem popř. pro výpočet doby vstřiku a zpětné hlášení o poloze nastavovače škrticí klapky při sepnutém volnoběžném kontaktu (systém M-Motronic).



Obrázek 72 Snímač polohy škrticí klapky a jeho převodní charakteristiky

1	Hřídel škrticí klapky	6	Charakteristika pro vysoké rozlišení v rozsahu úhlu 0° - 23°
2	Odporová dráha 1	7	Charakteristika pro rozsah úhlu 15° - 88°
3	Odporová dráha 2	A	Vnitřní doraz
4	Rameno s běžci	$U_A$	Měřené napětí
5	Elektrické připojení	$U_V$	Provozní napětí
		$\alpha_w$	Využitelný rozsah měření úhlu

Zjištění úhlové rychlosti škrticí klapky je nutné hlavně k přechodové kompenzaci. Potřebná přesnost rozlišení  $\alpha$ -signálu určuje plnění vzduchem. Aby bylo dosaženo bezproblémových jízdních a emisních poměrů, musí být rozlišení plnění vzduchem, jakož i doby vstříku, odstupňováno v co nejmenších digitálních krocích (kvantování) tak, aby mohl být nastaven poměr vzduchu s palivem s přesností do 2 %. Rozsah pole charakteristik motoru, ve kterém se plnění vzduchem v závislosti na  $\alpha$  nejvíce mění, leží v oblasti malého úhlu natočení škrticí klapky  $\alpha$  a nižších otáček  $n$ , tzn. při volnoběhu a ve spodní oblasti částečného zatížení. V této oblasti vedou změny úhlu např.  $\pm 1,5^\circ$  k relativním změnám plnění vzduchem popř. změnám lambdy asi  $\pm 17$  %. Mimo tuto oblast má při větším otevření škrticí klapky stejná změna úhlu téměř zanedbatelný vliv. Z toho vyplývá, že je při volnoběhu a ve spodní oblasti částečného zatížení nutné vysoké rozlišení úhlu natočení škrticí klapky. Aby bylo zaručeno vysoké rozlišení signálu, je rozsah úhlu natočení škrticí klapky mezi volnoběhem a plným zatížením rozdělen na dvě odporové dráhy. Každé ze dvou odporových drah je přiřazena jedna vodivá dráha (kolektorová dráha). Jak odporové, tak i kolektorové dráhy jsou zhotoveny technologií tlusté vrstvy.

Raménko má čtyři jezdce, z nichž každý je přiřazen jedné potenciometrové dráze. Jezdci pro odporovou a přiřazenou vodivou dráhu jsou vzájemně vodivě propojeny, čímž je signál z odporové dráhy přenášen na dráhu kolektorovou.

První dráha zahrnuje úhlový rozsah  $0^\circ \dots 23^\circ$ , druhá rozsah  $15^\circ \dots 88^\circ$ . V elektronické řídicí jednotce jsou úhlové signály  $\alpha$  zpracovávány odděleně, každý v jednom kanálu analogově digitálního převodníku. Vliv stárnutí a kolísání teplot potenciometru je kompenzován v řídicí jednotce vyhodnocováním napěťových poměrů. V drážce po obvodě krycího víčka potenciometru je těsnění kruhového průřezu spolehlivě zabraňující vnikání vlhkosti a nečistot. Vnitřní prostor potenciometru je spojen s vnějším prostředím přes odvětrávací zařízení.

## **Snímač hladiny paliva v nádrži**

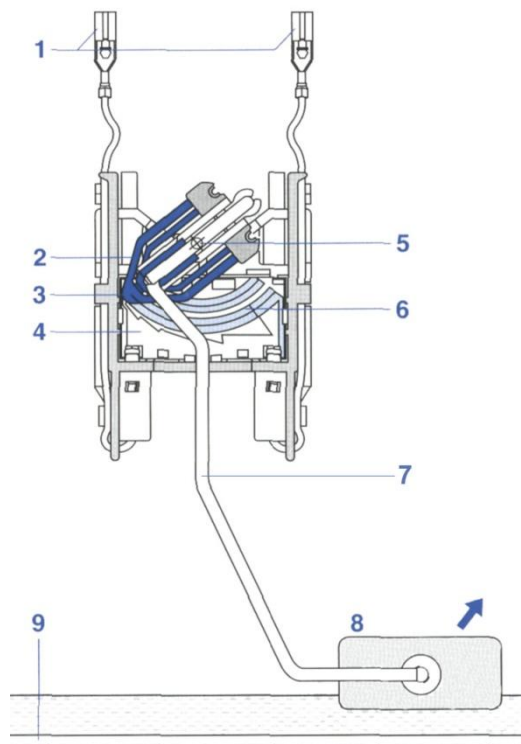
### **Použití**

Snímač hladiny paliva má za úkol snímat aktuální stav hladiny palivové nádrže a dodávat odpovídající signál řídicí jednotce nebo ukazateli na přístrojové desce vozidla. Spolu s elektrickým palivovým čerpadlem, palivovým filtrem a dalšími prvky je součástí vestavných modulů, které jsou umístěny v palivových nádržích, a zajišťují bezporuchové zásobování motoru palivem. [1]

### **Konstrukce a způsob činnosti**

Snímač hladiny (Obrázek 73) se skládá ze zapouzdřeného, proti vniknutí paliva utěsněného potenciometru, zapojeného jako proměnný odpor. Potenciometr je opatřen ramenem běžce, odporovými drahami (dvojitý kontakt), deskou s rezistory a elektrickými přípojkami. S otočným hřídelem potenciometru a tím i s pružinou běžce je pevně propojena páka plováku, na jejímž konci je upevněn plovák z nitrofylu odolného vůči palivu. Rozvržení desky s rezistory, tvar páky plováku a plovák jsou přizpůsobeny danému tvaru palivové nádrže.

Pružina běžce, pevně propojená přes hřídel potenciometru s pákou plováku, přejíždí při měnící se hladině nádrže svými speciálními běžci (kontaktní nýty) po odporových drahách dvojitého potenciometru. Tím převádí úhel natočení plováku na jemu úměrný poměr napětí. Koncové dorazy vymezují rozsah otáčení  $100^\circ$  pro minimální a maximální hladinu a současně zabraňují vzniku šumu na konci dráhy. Provozní napětí je 5...13 V.



Obrázek 73 Snímač hladiny paliva

1	Elektrické přívody	6	Dvojitý kontakt
2	Pružina běžce	7	Páka plováku
3	Kontaktní nýt	8	Plovák
4	Deska s rezistory	9	Dno palivové nádrže
5	Hřídel potenciometru		

## Snímače pedálu akcelerace

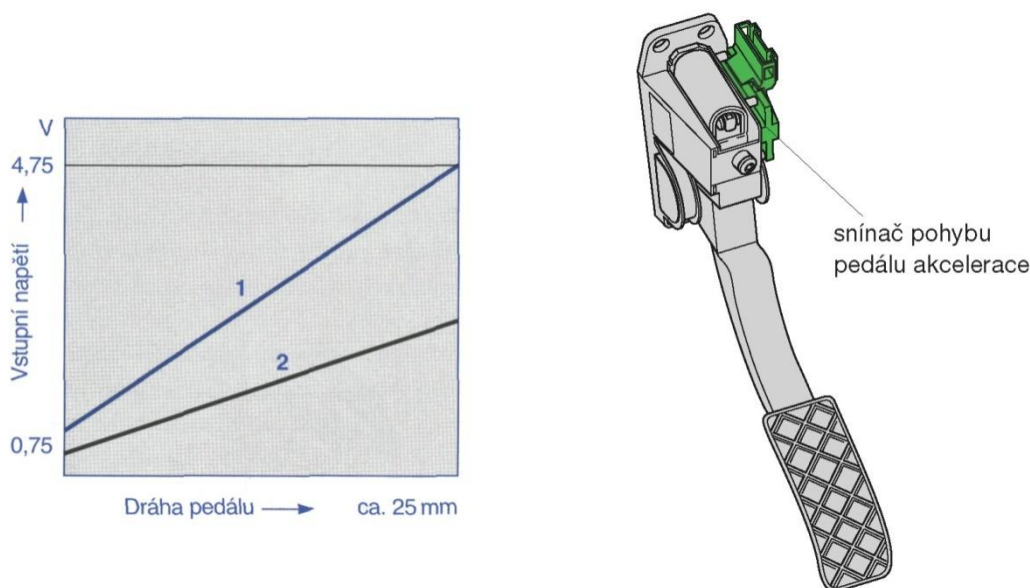
### Použití

U běžného řízení motoru zadává řidič svůj požadavek např. na zrychlení, konstantní nebo snižující se rychlost jízdy tím, že pedálem akcelerace ovládá mechanicky přes lanovod nebo táhlo škrticí klapku zážehového motoru. U elektronických systémů řízení motoru přebírá snímač pedálu akcelerace funkci mechanického propojení. Snímá dráhu příp. úhel natočení pedálu a tuto informaci předává ve formě elektrického signálu řídicí jednotce. [1]

### Konstrukce a způsob činnosti

#### Potenciometrický snímač pedálu akcelerace

Hlavní součástí je potenciometr, na kterém se v závislosti na poloze pedálu akcelerace nastavuje napětí. Pomocí charakteristiky snímače, uložené v paměti, přepočítává řídicí jednotka toto napětí na relativní dráhu pedálu, příp. úhlovou polohu jeho hřídele. Pro diagnostické účely a pro případ závady je integrován redundantní (dvojitý) snímač. Je součástí kontrolního systému. Snímač obsahuje druhý potenciometr, který ve všech pracovních bodech dodává poloviční napětí oproti prvnímu potenciometru, aby byly k dispozici dva nezávislé signály, umožňující rozpoznání závady (Obrázek 74). Jiné provedení používá místo druhého potenciometru spínač volnoběhu, který řídicí jednotce signalizuje volnoběžnou polohu pedálu akcelerace. [2]



Obrázek 74 Příklad provedení snímače pedálu akcelerace a převodní charakteristiky

1 Potenciometr 1 (hlavní potenciometr)      2 Potenciometr 2 (poloviční napětí)

### Hallův snímač úhlu

Hallův snímač úhlu ARS (Angle of Rotation Sensor) je odvozen od principu pohyblivého magnetu, kde se magnet pohybuje na kruhovém oblouku kolem Hallova snímače. Konstrukčním provedením tohoto snímače lze dosáhnout v měřicím rozsahu téměř lineární charakteristiky. Tento snímač lze mechanicky dobře integrovat do modulu pedálu akcelerace.

### Induktivní snímače otáček motoru

#### Použití

Snímače otáček motoru se používají k:

- Měření otáček motoru,
- Určování polohy klikového hřídele (poloha pístů motoru).

Otáčky se vypočítávají z časového odstupu signálů snímače otáček. Signál snímače otáček je jednou z nejdůležitějších veličin elektronického řízení motoru. [1, 3]

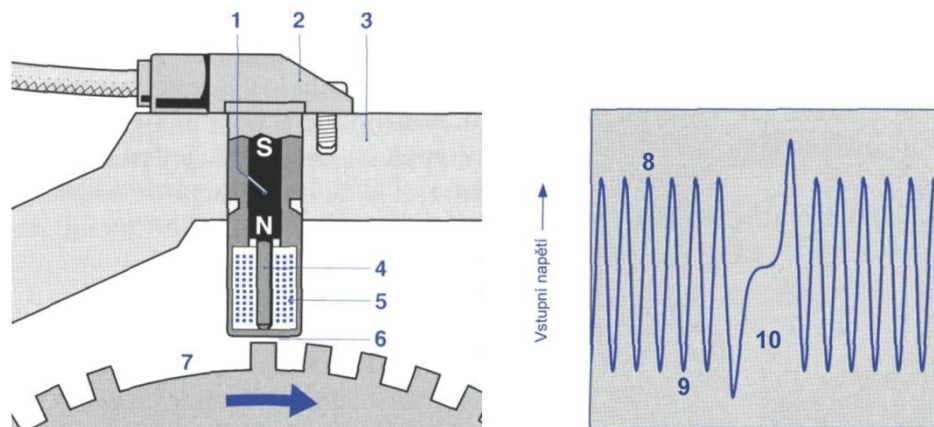
#### Konstrukce a způsob činnosti

Snímač je, oddělen vzduchovou mezerou, namontován přímo proti feromagnetickému impulsnímu kolu (Obrázek 75, Poz. 7). Obsahuje magneticky měkké jádro (pólový nástavec) (Poz. 4), na němž se nachází vinutí cívky (Poz. 5). Pólový nástavec je spojen s trvalým magnetem (Poz. 1). Magnetické pole se rozprostírá přes pólový nástavec až do impulsního kola. Magnetický tok cívkou závisí na tom, zda je před snímačem mezera nebo zub impulsního kola. Zub soustřeďuje rozptylový tok magnetu. Přitom dochází k zesílení užitečného toku cívkou. Mezera naopak magnetický tok zeslabuje. Tyto změny magnetického toku indukují v cívce přibližně sinusové výstupní napětí, které je úměrné změnám rychlosti a tím i otáčkám. Amplituda střídavého napětí se stoupajícími otáčkami prudce roste (několik mV ... >100 V). Dostatečná amplituda je k dispozici od minimálních otáček cca 30 min<sup>1</sup>.

Počet zubů impulsního kola závisí na daném použití. U systémů řízení motoru ovládaných elektromagnetickými ventily se používají impulsní kola s šedesátinným dělením, přičemž dva

zuby jsou vynechány (Poz. 7). Impulsní kolo má tak  $60 - 2 = 58$  zubů. Obzvlášť velká mezera mezi zuby představuje vztažnou značku a je přiřazena definované poloze klikového hřídele. Slouží k synchronizaci řídicí jednotky.

Další provedení impulsního kola má po obvodu pro každý válec vždy jeden zub. U čtyřválcového motoru to jsou čtyři zuby, tzn. na jednu otáčku připadají čtyři impulsy. Geometrie zubů a pólů musí být vzájemně přizpůsobena. Vyhodnocovací obvod v řídicí jednotce převádí přibližně sinusové napětí s velmi proměnnou amplitudou na obdélníkové napětí s konstantní amplitudou. Tento signál se vyhodnocuje v mikrokontroléru řídicí jednotky.



Obrázek 75 Induktivní snímač otáček motoru a jeho signál

1	Trvalý magnet	6	Vzduchová mezera
2	Pouzdro snímače	7	Impulsní kolo se vztažnou značkou
3	Kryt motoru	8	Zub
4	Pólový nástavec	9	Mezera mezi zuby
5	Vinutí	10	Vztažná značka

## Hallový snímač fáze

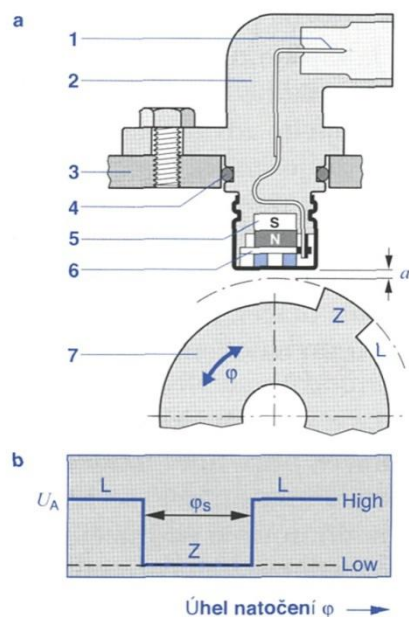
### Použití

Převodový poměr mezi vačkovým a klikovým hřídelem je 1:2. Poloha vačkového hřídele udává, zda se píst motoru pohybující se k horní úvrati nachází v době komprese nebo v době výfuku. Snímač polohy vačkového hřídele (nazývaný také fázový snímač) předává tuto informaci řídicí jednotce. [1, 3]

## Konstrukce a způsob činnosti

### Hallový tyčový snímač

Hallový tyčový snímač (Obrázek 76a) využívají Hallův jev: spolu s vačkovým hřídelem se otáčí rotor (Poz. 7), např. impulsní kolo se zuby příp. segmenty, nebo s clonou s otvory, z feromagnetického materiálu. Hallův IO (Poz. 6) se nachází mezi rotorem a trvalým magnetem (Poz. 5), který vytváří magnetické pole kolmo k Hallově prvku. Přiblíží-li se nyní zub (Z) k prvku snímače (polovodičová destička), kterým protéká proud, změní se intenzita magnetického pole kolmého k Hallově prvku. Tím jsou elektrony, které se pohybují na základě napětí připojeného podélně k prvku, silněji vychylovány příčně ke směru proudu. Tím vzniká signál (Hallově napětí) o napětí několika milivoltů, který je nezávislý na relativní rychlosti mezi snímačem a impulsním kolem. Vyhodnocovací elektronika integrovaná v Hallově IO zpracuje signál a na výstup posílá obdélníkový průběh (Obrázek 76b).

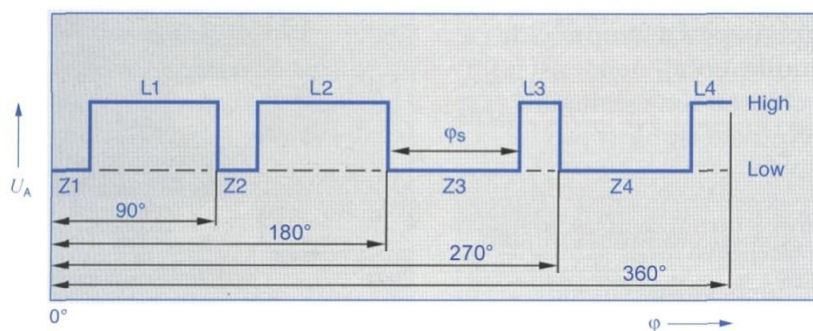


Obrázek 76 Hallův tyčový snímač a výstupní signál

a	Umístění snímače a impulsního kola	5	Trvalý magnet
b	Průběh výstupního napětí $U_A$	6	Hallův IO
1	Elektrická přípojka	7	Impulsní kolo se zuby (Z) a mezerou (L)
2	Pouzdro snímače	$\varphi$	Úhel natočení
3	Kryt motoru	a	Vzduchová mezera
4	Těsnicí kroužek		

### Diferenciální Hallovy tyčové snímače

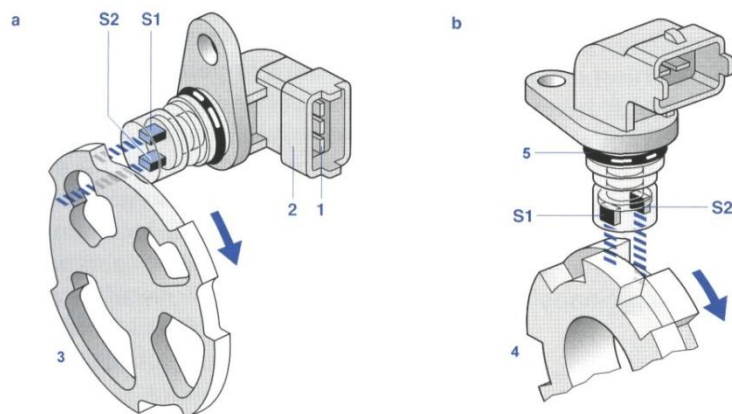
Tyčové snímače pracující na diferenciálním principu mají dva prostorově radiálně, nebo axiálně posunutá Hallovy prvky (Obrázek 78, poz. S1 a S2). Ty dodávají výstupní signál, který je úměrný rozdílu intenzit pole mezi dvěma měřicími body. Nutností je zde ovšem dvoustopá clona s otvory (Obrázek 78a), nebo dvoustopé impulsní kolo (Obrázek 78b), aby bylo možné v obou Hallových prvcích vytvářet signál opačného smyslu (Obrázek 77).



Obrázek 77 Průběh výstupního signálu diferenciálního Hallova tyčového snímače

Tyto snímače se používají při vysokých požadavcích na přesnost. Dalšími výhodami je relativně velký rozsah vzduchové mezery a dobrá teplotní kompenzace.





Obrázek 78 Diferenciální Hallovy tyčové snímače

a	Axiální snímání	2	Pouzdro snímače
b	Radiální snímání	3	Clona s otvory
S1, S2	Hallovy prvky	4	Dvoustopé impulsní kolo
1	Elektrická přípojka	5	Těsnicí kroužek

## Hallův snímač pro tranzistorové zapalování

### Použití

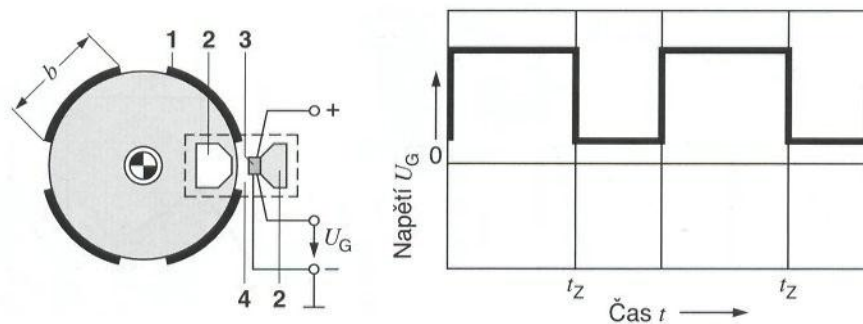
Hallův snímač slouží k iniciaci zážehu např. pro tranzistorové zapalování TZ-H. Signál této „Hallovy závory“ v rozdělovači svým obsahem informací odpovídá signálu kontaktů přerušovače. Zatímco přerušovač v rozdělovači určuje úhel sepnutí tvarem vačky hřídele rozdělovače, Hallův snímač v rozdělovači udává střidu pomocí clon rotoru. [1]

### Konstrukce

Hallův snímač (Obrázek 79) je umístěn v rozdělovači. Jeho magnetická závora je namontována na pohyblivou nosnou desku. Hallův integrovaný obvod je umístěn na keramickém nosiči a je proti vlhkosti, znečištění a mechanickému poškození zalit do umělé hmoty. Magnetické vodivé prvky a rotor s clonami jsou vyrobeny z magneticky měkkého materiálu. Počet clon je shodný s počtem válců. Šířka  $b$  jednotlivých clon může podle provedení spínací jednotky určovat maximální úhel sepnutí zapalovacího systému. Úhel sepnutí proto zůstává po celou dobu životnosti Hallova snímače prakticky konstantní; odpadá tak seřizování úhlu sepnutí.

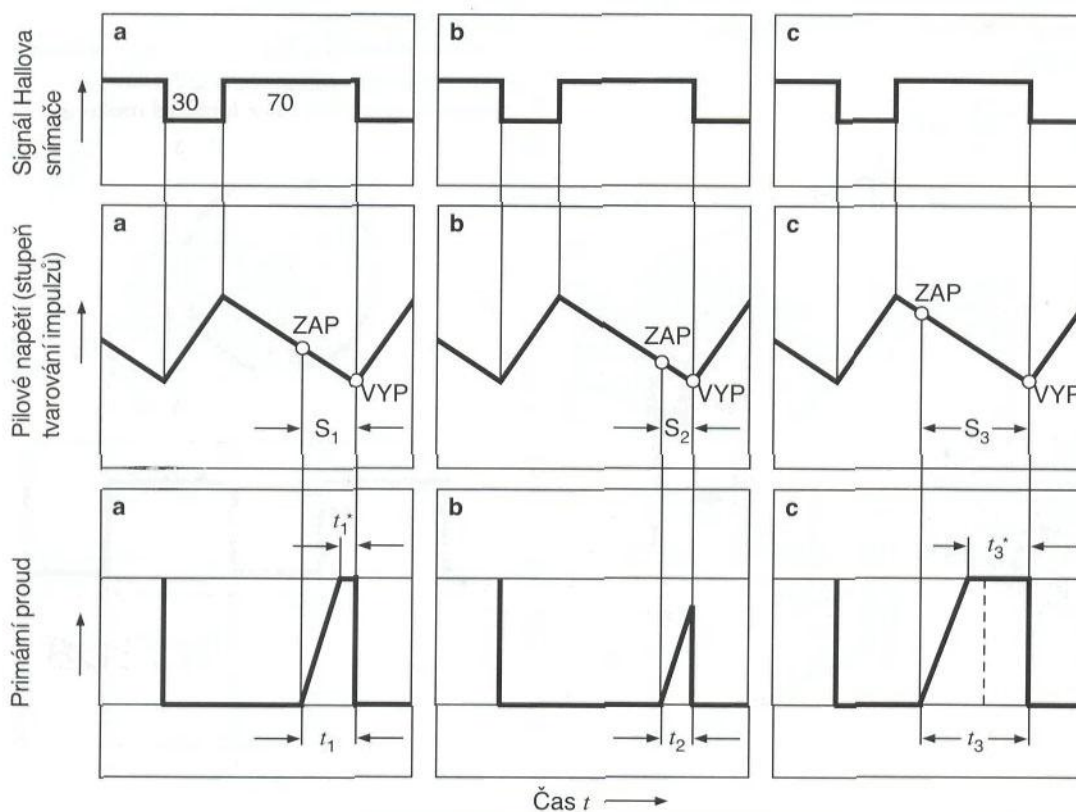
### Způsob činnosti

Pokud se otáčí hřídel rozdělovače, pohybují se clony rotoru bez dotyku ve vzduchové mezeře Hallovy závory. Pokud je vzduchová mezera volná, prochází magnetické pole vestavěným Hallovým snímacím prvkem (Obrázek 80). Na Hallově snímacím prvkem je vysoká hustota magnetického toku a Hallovo napětí dosahuje maxima. Hallův integrovaný obvod je sepnut. Pokud jedna ze clon vnikne do vzduchové mezery, probíhá magnetický tok z větší části clonou a nepůsobí tak na IO. Hustota magnetického toku na Hallově snímacím prvkem klesne až na malou zbytkovou hodnotu, která pochází z rozptylového pole. Hallovo napětí dosáhne minima. Tvar clon rotoru určuje úhel sepnutí tak, že se z napětí signálu  $U_G$  vytváří v dalším kroku pilovité napětí, na kterém se posouvá počátek úhlu sepnutí.



Obrázek 79 Hallův snímač v rozdělovači

1	Clonka s šířkou $b$	4	Vzduchová mezera
2	Vodící prvek s trvalým magnetem	$U_G$	Upravené Hallovo napětí
3	Hallův IO	$t_z$	Okamžik zážehu



Obrázek 80 Změna úhlu sepnutí posunutím spouštěcí úrovně u Hallova snímače

a	Úhel sepnutí $S_1$ je v pořádku	$t_1 \dots t_3$	Doba pro koncový řídicí stupeň
b	Úhel sepnutí $S_2$ je příliš malý	$t_1^*$	Doba omezení proudu je v pořádku
c	Úhel sepnutí $S_3$ je příliš velký	$t_3^*$	Doba omezení proudu je příliš velká

Pravouhlej signál Hallova snímače je pomocí nabíjení a vybíjení kondenzátorů přeměněn na pilový signál. Poměrné sepnutí Hallova snímače se pohybuje mezi dvěma okamžiky zapálení 30:70. Na konci šířky clonky, která odpovídá 70%, leží stanovený okamžik zapálení, který je určen přestavením rozdělovače. Regulace je nastavena tak, že doba regulace proudu  $t_1$  přesně

odpovídá potřebnému dynamickému časovému předstihu. Z hodnoty  $t_I$  je vytvořeno napětí a je porovnáno s klesající větví pilového napětí. Na průsečiku "ZAP" je primární proud zapnut, začíná úhel sepnutí. Tímto způsobem může být prostřednictvím změny hodnoty napětí, odvozené z doby regulace proudu, libovolně měněn bod spuštění úhlu sepnutí posunutím průsečiku na pilovém napětí. Tak je vytvořen správný úhel sepnutí pro každý provozní stav. [5]

Jiné provedení zapalovacího systému má řídicí spínací jednotku s koncovým stupněm pro regulaci proudu a úhlu sepnutí a ta automaticky reguluje úhel sepnutí.

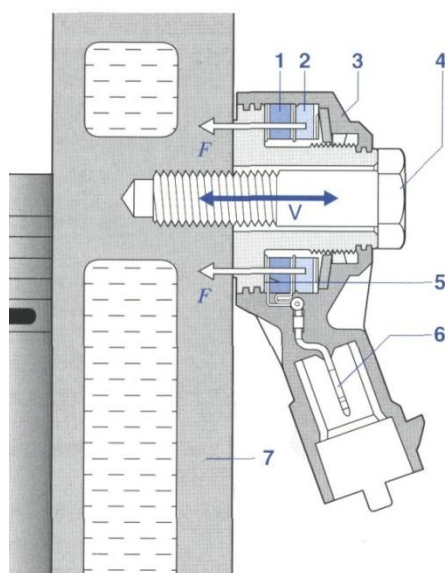
## Snímače vibrací

### Principy měření

Piezoelektrické vzorky materiálu vytváří za působení mechanických napětí, která jsou vyvolána vnějšími silami  $F$ , na svém povrchu opatřeném elektrodami náboje  $Q$ . Hmotnost působí na základě své setrvačnosti tlačnými silami v rytmu budících kmitů na piezoelektrický prvek. Tyto síly vyvolávají v piezokeramice posun náboje: mezi spodní a horní stranou keramiky vniká elektrické napětí, které se snímá kontaktními kruhovými ploškami a dále zpracovává v řídicí jednotce. Napětí dodávané snímačem je pomocí střídavého napětíového zesilovače s vysokým vstupním odporem vyhodnotitelné např. v řídicí jednotce zapalování nebo systému řízení motoru. [1, 7]

### Použití

Snímače klepání jsou svým funkčním principem snímače vibrací a hodí se ke snímání kmitů šířících se tělesy. Ty se v motorových vozidlech vyskytují např. v motorech jako „klepání“ při nekontrolovaném spalování. Snímač je převádí na elektrické signály, které předává do řídicí jednotky. Zpravidla se 4-válcové řadové motory vybavují jedním, 5 a 6-válcové motory dvěma, 8 a 12-válcové motory dvěma nebo více snímači klepání.



Obrázek 81 Snímač klepání

1	Piezokeramika	5	Připojení
2	Seizmická hmotnost s tlačnými silami $F$	6	Elektrická přípojka
3	Pouzdro	7	Blok motoru
4	Upevňovací šroub	V	Směr šíření vibrací

## Umístění

Umístění snímače klepání se u daného motoru volí tak, aby mohlo být rozpoznáno klepání z každého válce. Obvykle je to na širší straně bloku motoru. Aby vznikající signály (kmity šířící se tělesy) mohly být vedeny z místa měření na bloku motoru bez rezonancí a v souladu s uvedenou charakteristikou přímo do snímače upevněného šroubem:

- musí být upevňovací šroub dotažen definovaným utahovacím momentem,
- upevňovací plocha a závitový otvor v motoru musí mít předepsanou kvalitu,
- nesmí se k zajištění používat žádné vymezovací nebo pružné podložky.

## Snímače tlaku

### Měřené veličiny

Měření tlaku se provádí přímo, prostřednictvím deformování membrány, nebo snímačem síly, pro následující aplikace:

- Tlak v sacím potrubí příp. tlak přeplňování (1...5 bar) u vstřikování benzínu,
- Přetlak nebo podtlak v nádrži (0,5 bar) a „on board diagnostika“,
- Tlak ve spalovacím prostoru (100 bar, dynamicky) pro rozpoznání vynechávání zapalování a klepání
- Tlak paliva v tlakovém zásobníku (Common Rail) benzínu (100 bar).

### Principy měření

#### Přímé měření tlaku

Zvláště k měření velmi vysokých tlaků ( $>10^4$  bar) by stačilo jednoduše vystavit rezistor tlakovému médiu, neboť všechny známé rezistory vykazují menší nebo větší závislost na tlaku (objemový efekt). Obtížněji se však přitom realizuje potlačení jejich současné závislosti na teplotě a tlakověsné vyvedení jejich vývodů z tlakového média. Příznivější vlastnosti zde mají v závislosti na použití lehce vyrobitelné kapacitní měřicí členy.

#### Membránové snímače

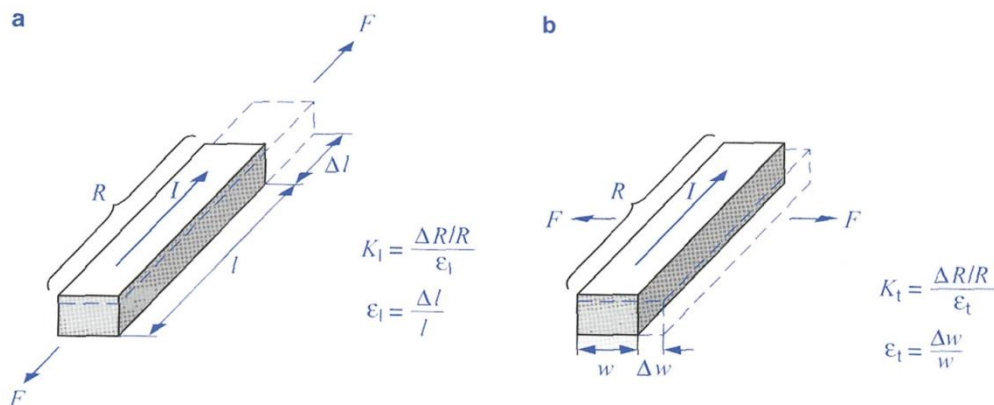
Nejvíce rozšířená metoda snímání tlaku používá k získání signálu nejprve jako mechanický mezistupeň tenkou membránu, která je jednou stranou vystavena měřenému tlaku a jeho působením se méně nebo více prohýbá. Její tloušťka a průměr může být v širokém rozmezí přizpůsobována danému rozsahu tlaku. Nízké rozsahy měřeného tlaku vedou k relativně velkým membránám s průhyby, které se mohou pohybovat v oblasti 1 ... 0,1 mm. Vysoké tlaky vyžadují silnější membrány menšího průměru, které se prohýbají většinou jen o několik  $\mu\text{m}$ .

U nižších tlaků přicházejí v úvahu ještě metody snímání měřicí vzdálenost (např. kapacitní), v oblasti středních a vysokých tlaků dominují metody měření napětí a zde prakticky výhradně technika DMS (něm. DehnMessStreifen - Roztažný měřicí pásek příp. roztažný rezistor)

V motorových vozidlech se používá několik druhů snímačů DMS, které se navzájem odlišují podle druhu materiálu měřicí membrány a použité techniky DMS. Různé techniky DMS vykazují velmi různé vlastnosti s ohledem na velikost a druh jejich měřicího efektu. Činitel  $K$  charakterizuje velikost měřicího efektu u roztažných rezistorů. Udává relativní změnu jejich odporu  $R$  vztaženou na relativní změnu jejich délky  $l$ .

O podélném činiteli  $K$  se hovoří, když je rezistor protahován ve směru proudu, o příčném činiteli  $K$ , když je rezistor protahován příčně ke směru proudu (Obrázek 82). Prohnutí membrány závisí na rozdílu tlaků působících na její horní a spodní stranu. Na základě toho existují čtyři různé základní typy snímačů tlaku, tedy pro:

- Absolutní tlak,
- Referenční tlak,
- Barometrický tlak,
- Diferenční (rozdílový) tlak.



Obrázek 82 Činitel  $K$

a	Podélný činitel $K$	$l$	Délka
b	Příčný činitel $K$	$w$	Šířka
$F$	Působící síla	$\varepsilon$	Prodloužení
$I$	Proud	$K$	Činitel $K$
$R$	Odpor		

## Příklady použití

### Tlustovrstvé snímače tlaku

#### Použití

Tlustovrstvé snímače tlaku se používají (např. u systémů řízení motoru M-Motronic a ME-Motronic) jako vestavná jednotka do řídicí jednotky nebo samostatná součást. Používají se jako:

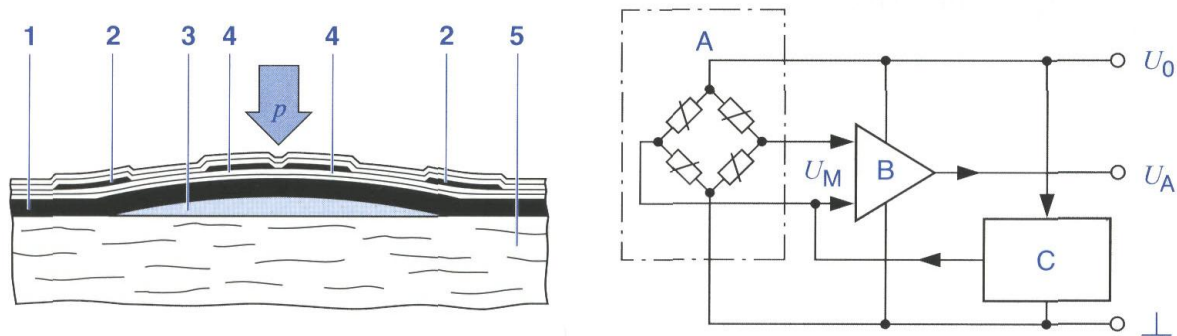
- Snímače tlaku v sacím potrubí a snímače tlaku přeplynování (měřicí rozsah tlaku 20...400 kPa, příp. 0,2...4,0 bar),
- Snímač okolního tlaku (rozsah měřeného tlaku 60... 115 kPa, příp. 0,6...1,15 bar).

#### Konstrukce a způsob činnosti

Snímač je rozdělen na měřicí buňku a prostor pro vyhodnocovací obvod. Obě části jsou umístěny na společném keramickém substrátu.

Měřicí buňka (Obrázek 83) se skládá z tlustovrstvé membrány, která uzavírá referenční tlak 0,1 bar. V závislosti na velikosti měřeného tlaku je membrána různě silně vychylována. V oblasti membrány jsou umístěny čtyři roztažné rezistory v můstkovém zapojení. Dva aktivní roztažné rezistory se nachází uprostřed membrány a mění svou vodivost podle mechanického napětí (měřený tlak). Dva pasivní referenční roztažné rezistory jsou na okraji membrány. Fungují primárně jako doplňkové rezistory můstku pro teplotní kompenzaci a výstupní signál ovlivňují jen málo.

Vychýlení membrány působením tlaku způsobí změnu vyvážení můstku. Měřené napětí můstku je tak měřítkem pro měřený tlak  $p$ . Vyhodnocovací obvod zesiluje napětí můstku, kompenzuje vlivy teploty a linearizuje tlakovou charakteristiku. Výstupní napětí  $U_A$  vyhodnocovacího obvodu se přivádí do řídicí jednotky.



Obrázek 83 Tlustovrstvý snímač tlaku a jeho zapojení

1	Tlustovrstvá membrána	A	Měřicí buňka DMS
2	Pasivní referenční resistor	B	Zesilovač
3	Referenční tlaková komůrka	C	Teplotní kompenzační obvod
4	Aktivní resistor	$U_O$	Napájecí napětí
5	Keramický substrát	$U_M$	Měřené napětí
$P$	Měřený tlak	$U_A$	Výstupní napětí

## Mikromechanické snímače tlaku

### Použití

#### Snímač tlaku v sacím potrubí a snímač tlaku přepřívání

Tento snímač měří absolutní tlak v sacím potrubí mezi dmychadlem a motorem (typicky 250 kPa, příp. 2,5 bar) vůči referenčnímu vakuu a nikoli vůči vnějšímu tlaku. Tím je možné přesně určit hmotnost vzduchu a regulovat tlak přepřívání podle požadavků motoru.

#### Snímač okolního tlaku

Tento snímač je umístěn v řídicí jednotce nebo v prostoru motoru. Jeho signál slouží ke korekci hodnot požadovaných pro regulační okruhy v závislosti na nadmořské výšce, např. recirkulace spalin nebo regulace tlaku přepřívání. Tím lze zohlednit různou hustotu okolního vzduchu. Snímač okolního tlaku měří absolutní tlak (60...115 kPa, příp. 0,6...1,15 bar).

#### Snímače tlaku oleje a paliva

Snímače tlaku oleje se montují k olejovému filtru a měří absolutní tlak oleje, aby mohlo být určeno namáhání motoru pro servisní ukazatele. Rozsah měřeného tlaku je 50 ... 1000 kPa, příp. 0,5 ..10,0 bar. Měřicí buňka se pro svou vysokou odolnost vůči médiím používá také k měření tlaku v nízkotlaké části palivové soustavy. Snímač je namontován v nebo na palivovém filtru. Pomocí jeho signálu se sleduje stupeň znečištění filtru (měřicí rozsah tlaku 20 ... 400 kPa, příp. 0,2 ... 4 bar).

### Provedení snímače s referenčním vakuem na straně struktury

#### Konstrukce

Měřicí buňka je srdcem mikromechanického snímače tlaku. Skládá se z křemíkového čipu (Obrázek 84, Poz. 2), do kterého je mikromechanicky vyleptána tenká membrána (Poz. 1). Na membráně jsou nadifundovány čtyři roztažné rezistory ( $R_1$ ,  $R_2$ ), jejichž elektrický odpor se mění v závislosti na mechanickém napětí. Víčko, pod kterým je uzavřeno referenční vakuum, obklopuje měřicí buňku na straně struktury a utěšňuje ji. V pouzdru snímače tlaku může být integrován ještě snímač teploty, jehož signál se vyhodnocuje nezávisle.

## Způsob činnosti

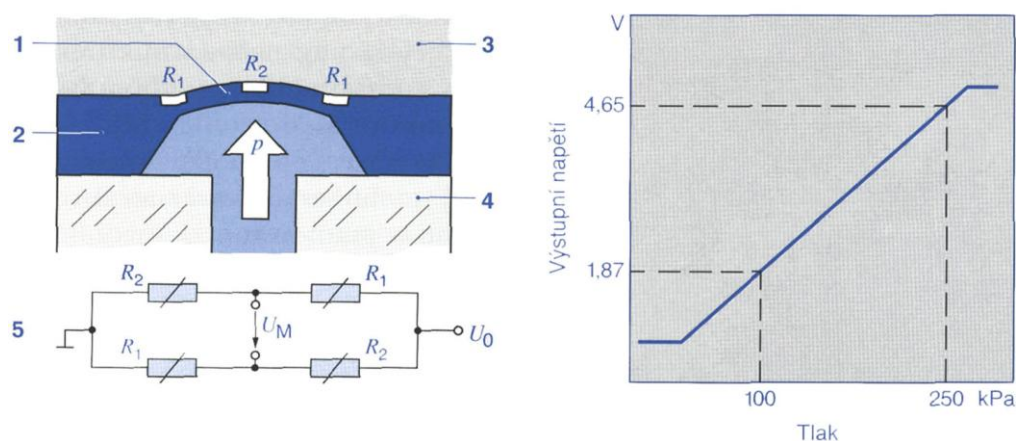
V závislosti na měřeném tlaku se membrána měřicí buňky různě prohýbá (10 ... 1000  $\mu\text{m}$ ). Čtyři roztažné rezistory na membráně mění svůj elektrický odpor v závislosti na vznikajícím mechanickém napětí.

Měřicí rezistory jsou na křemíkovém čipu umístěny tak, aby při deformování membrány u dvou měřicích rezistorů jejich odpor rostl a u dvou dalších klesal. Měřicí rezistory jsou zapojeny ve Wheatstonově můstkovém zapojení (Obrázek 84, Poz. 5). Změnou odporů se mění také poměr elektrických napětí na měřicích rezistorech. Tím se mění měřené napětí  $U_M$ . Toto dosud nezesílené měřené napětí je tak měřítkem pro tlak na membráně.

Při můstkovém zapojení je k dispozici větší měřené napětí než při vyhodnocování jediného odporu. Wheatstonovo můstkové zapojení tak zvyšuje citlivost snímače.

Strana membrány se strukturou, na kterou nepůsobí tlak, je vystavena referenčnímu vakuu, takže snímač měří absolutní hodnotu tlaku.

Elektronika pro zpracování signálu je integrována na čipu a má za úkol zesilovat napětí z můstku, kompenzovat vliv teploty a linearizovat tlakovou charakteristiku. Výstupní napětí se pohybuje v rozsahu 0...5 V a přes vývody je propojeno k řídicí jednotce. Řídicí jednotka vypočítá z tohoto výstupního napětí tlak.



Obrázek 84 Měřicí buňka tlaku s referenčním vakuem na straně struktury

1	Membrána	$p$	Měřený tlak
2	Křemíkový čip	$U_O$	Nápaájecí napětí
3	Referenční vakuum	$U_M$	Měřené napětí
4	Skleněná patice	$R_1$	Rozatžný rezistor (stlačovaný)
5	Můstkové zapojení	$R_2$	Rozatažný rezistor (protahovaný)

## Provedení s referenčním vakuem v dutině

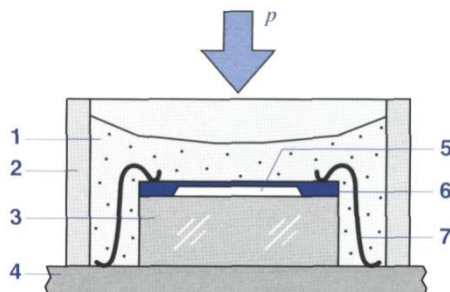
### Konstrukce

Snímač tlaku s referenčním vakuem v dutině pro použití jako snímač tlaku v sacím potrubí a snímač tlaku přepřívání je jednodušší konstrukce než provedení s referenčním vakuem na straně struktury. Křemíkový čip s vyleptanou membránou a čtyřmi roztažnými rezistory v můstkovém zapojení je usazen jako měřicí buňka na skleněné patici. Skleněná patice nemá žádný otvor, kterým by měřený tlak působil ze zadní strany na měřicí buňku. Křemíkový čip je naopak vystaven působení tlaku tou stranou, na které se nachází vyhodnocovací elektronika. Proto musí být tato strana chráněna speciálním gelem proti vlivům prostředí (Obrázek 85, Poz. 1). Referenční vakuum se nachází v dutině mezi křemíkovým čipem (Poz. 6) a skleněnou paticí (Poz. 3). Celý měřicí prvek je nesen keramickým hybridním substrátem, který má pájecí

plochy pro následné připojení ve snímači. V pouzdru snímače tlaku může být kromě toho integrován snímač teploty.

### Způsob činnosti

Způsob činnosti a tím i zpracování a zesílení signálu, jakož i charakteristika souhlasí se snímačem tlaku s víčkem a s referenčním vakuem na straně struktury. Jediný rozdíl spočívá v tom, že se membrána měřicí buňky deformuje opačným směrem a tedy i roztažné odpory jsou vystaveny opačné deformaci.



Obrázek 85 Měřicí článek snímače tlaku s referenčním vakuem v dutině

1	Ochranný gel	5	Dutina s referenčním vakuem
2	Gelový rámeček	6	Měřicí čip
3	Skleněná patice	7	Přivařené vývody
4	Keramický hybridní substrát	$p$	Měřený tlak

### Snímače vysokého tlaku

#### Použití

Snímače vysokého tlaku se používají v motorovém vozidle k měření tlaku paliva.

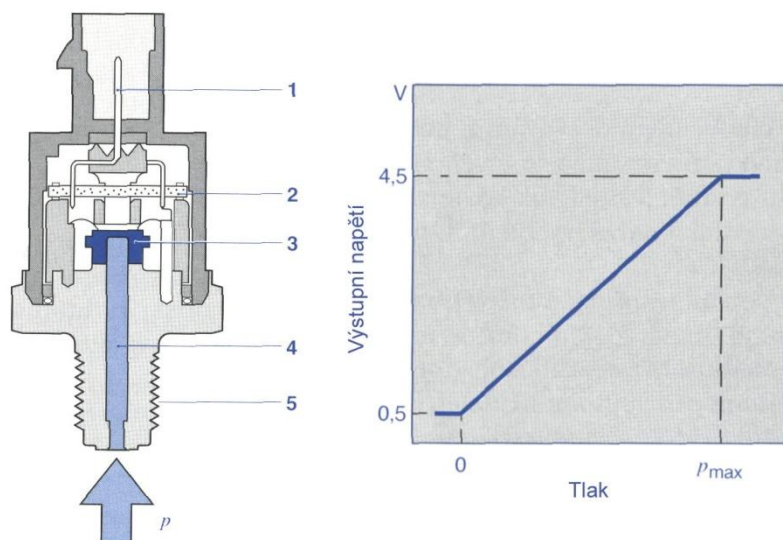
#### Snímač tlaku benzínu v tlakovém zásobníku

Snímač tlaku benzínu v tlakovém zásobníku měří tlak v rozdělovacím potrubí (Rail) systému MED-Motronic s přímým vstřikováním benzínu, který činí v závislosti na zatížení a otáčkách 5...12 MPa (50...120 bar). Měřený tlak se používá jako skutečná veličina k regulaci tlaku v zásobníku. Požadovaná hodnota závislá na otáčkách a zatížení je uložena v poli charakteristik a nastavuje se v zásobníku ventilem pro řízení tlaku.

#### Konstrukce a způsob činnosti

Jádro snímače je tvořeno ocelovou membránou, na které jsou napařeny roztažné rezistory v můstkovém zapojení (Obrázek 86, Poz. 3). Měřicí rozsah snímače závisí na tloušťce membrány (silnější membrána při vyšších tlacích, tenčí membrána při nižších tlacích). Když měřený tlak přes tlakovou přípojku (Poz. 4) působí na jednu stranu membrány, změní roztažné rezistory na základě prohnutí membrány (např. cca 20  $\mu\text{m}$  při 1500 bar) svůj odpor. Napětí vzniklé v můstku 0...80 mV je propojovacími vodiči vedeno k vyhodnocovacímu obvodu (Poz. 2) ve snímači. Ten zesílí signál můstku na 0...5 V a vede jej k řídicí jednotce, kde je pomocí uložené charakteristiky vypočítán tlak.





Obrázek 86 Snímač vysokého tlaku a příklad převodní charakteristiky

1	Elektrická přípojka	4	Tlaková přípojka
2	Vyhodnocovací obvod	5	Upevňovací závit
3	Ocelová membrána s napařenými rezistory		

## Průtokoměry

### Měřené veličiny

Měření průtoku v motorovém vozidle zaujima významnou úlohu především ve snímání množství vzduchu nasávaného motorem pro spalování. [1, 2]

### Měření průtoku vzduchu

U chemického procesu spalování paliva se používají ve vztahu k spalované palivové směsi tzv. hmotnostní poměry, z čeho vyplývá, že cílem měření průtoku vzduchu je „hmotnost“ nasávaného nebo také přeplňovaného vzduchu. Hmotnostní tok vzduchu je u zážehových motorů jednou z nejdůležitějších veličin pro zatížení. Snímače měřící množství vzduchu nebo obecně proudění plynů se nazývají také „anemometry“.

Maximální měřený hmotnostní tok vzduchu se v časovém průměru podle výkonu motoru pohybuje v rozsahu 400 ... 1200 kg/h. Z důvodu nízké spotřeby moderních motorů při volnoběhu činí poměr mezi minimálním a maximálním průtokem 1 : 90 ... 1 : 100. Kvůli přísným požadavkům na spaliny a spotřebu musí být dosaženo přesnosti 1 ... 2 % z měřené hodnoty. Vztaženo na měřicí rozsah to může znamenat, pro motorová vozidla neobvykle vysokou, přesnost měření  $10^{-4}$ .

Motor však neodebírá vzduch jako kontinuální proud, ale v taktu otevírání sacích ventilů. To způsobuje, že hmotnostní proud vzduchu, zejména při široce otevřené škrtkové klapce, ještě silně pulsuje i v místě měření, které leží vždy v sacím potrubí mezi čističem vzduchu a škrtkové klapkou. Následkem rezonancí v sacím potrubí je pulsace v určitých fázích sání tak silná, že dochází i ke krátkodobému zpětnému proudění. To platí především pro 4-válcové motory, u kterých se fáze sání a komprese nepřekrývají. Přesný průtokoměr musí toto zpětné proudění snímat se správným znaménkem. Pulsace se u 4-válcového motoru vyskytují v dvojnásobku frekvence klikového hřídele, tedy průměrně s frekvencemi 50 ... 100 Hz. Používané měřiče množství vzduchu mají zakřivené (nelineární) charakteristiky. Proto se měřené signály před jejich vyhodnocením musí elektronicky linearizovat. Měřiče množství vzduchu musí dostatečně rychle sledovat pulsace, které kvůli svému průběhu (který se většinou silně odchyluje od

sinusového průběhu) obsahují značný podíl vyšších harmonických. To vyžaduje šířku pásma cca 1000 Hz. Kromě velké šířky pásma musí mít měřiče množství vzduchu také krátkou časovou konstantu spínání, aby mohly správně měřit již ve fázi startování motoru.

Průtokoměry používané v motorových vozidlech jsou kalibrovány pro proudění potrubím se symetrickým profilem proudění, tzn. pro proudění, jehož vektor rychlosti  $v$  je v téměř každém bodě průřezu proudění o ploše  $A$  závislý pouze na poloměru  $p$ . V motorovém vozidle je možno vycházet z čistě turbulentního proudění. Turbulence je v případě potřeby vynucena předřazenou síťovitou mřížkou. Mřížka slouží také k mechanické ochraně citlivých měřicích systémů.

### Principy měření

Hmotnost nasávaného vzduchu, a tedy i okamžité zatížení motoru, lze zjišťovat různými způsoby s využitím rozličných fyzikálních principů. Může to být například prostřednictvím mechanické vzdouvací klapky umístěné do proudu nasávaného vzduchu v sacím potrubí. Tento způsob je známý ze starších systémů vstřikování, např. Bosch KE-Jetronic nebo L-Jetronic. V současnosti se nejčastěji využívá termické metody měření průtoku vzduchu, konkrétně se jedná o snímače s vyhřívaným drátem nebo vyhřívaným filmem.

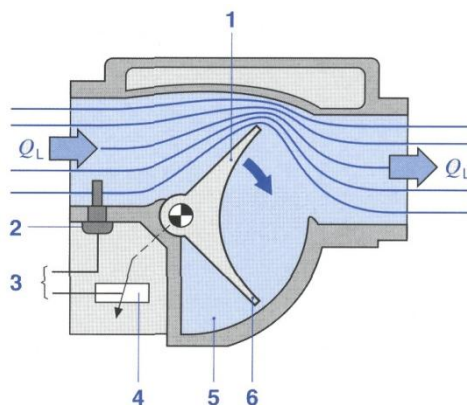
### Měřič množství vzduchu měřící náporový tlak LMM

#### Použití

Měřič množství vzduchu LMM, měřící náporový tlak, byl používán v četných zážehových motorech s určitým provedením systémů L-Jetronic a M-Motronic. Je umístěn mezi čističem vzduchu a škrtkou a snímá motorem nasávaný proud vzduchu  $Q_L$  za účelem určování zatížení motoru na principu měření náporového tlaku. [1, 3]

#### Konstrukce a způsob činnosti

Pohyblivá vzdouvací klapka měřiče množství vzduchu (Obrázek 87, Poz. 1) vytváří proměnnou clonu. Proud nasávaného vzduchu  $Q_L$  vychyluje klapku proti konstantní síle vratné pružiny tak, že se volný průřez s rostoucím množstvím vzduchu stále zvětšuje.



Obrázek 87 Měřič množství vzduchu měřící náporový tlak

1	Vzduchová klapka	5	Tlumicí objem
2	Snímač teploty vzduchu	6	Kompenzační klapka
3	Vedení k řídicí jednotce	$Q_L$	Proud nasávaného vzduchu
4	Potenciometr		

Změna volného průřezu měřiče množství vzduchu v závislosti na poloze klapky je zvolena tak, aby mezi úhlem natočení klapky a množstvím nasávaného vzduchu byl logaritmický vztah. To má za následek vysokou citlivost měřiče množství vzduchu při menších množstvích vzduchu,

kteřá vyžadují vysokou přesnost měření. Požadovaná přesnost měření činí 1...3% z měřené hodnoty v rozsahu  $Q_{\max} : Q_{\min} = 100:1$ .

Potenciometr (Poz. 4) snímá úhel natočení klapky a převádí jej na elektrické výstupní napětí  $U_A$ , které se vede do řídicí jednotky. Aby stárnutí a teplotní závislost potenciometru neměly vliv na přesnost, vyhodnocuje řídicí jednotka jen poměry odporů.

Dalším jevem, na který je nutné brát ohled, jsou sací zdvihy v jednotlivých válcích, které vyvolávají kmitání v sacím systému. Snímač může takové výkyvy sledovat až do 10 Hz. Aby byly tyto vlivy udržovány pokud možno na minimu, kompenzační klapka (Poz. 6), pevně spojená s hlavní klapkou, ve spojení s „tlumícím objemem“ (Poz. 5) tlumí kmitání pulsujícího nasávaného vzduchu.

Měření na principu náporového tlaku snímá místo požadovaného hmotnostního toku, který je úměrný součinu  $p \cdot v$ , pouze míru průtoku, která je úměrná součinu  $\sqrt{p} \cdot v$ . Pro přesné odměřování paliva je proto nutná korekce hustoty (teplota a tlak vzduchu).

Aby byly zohledněny změny hustoty vzduchu při měnění se teplotě nasávaného vzduchu, zjišťuje řídicí jednotka korekční hodnotu z teplotně závislého odporu snímače teploty (Poz. 2) integrovaného v měřiči množství vzduchu. U provedení systému M-Motronic se provádí navíc barometrická korekce tlaku. K tomu je snímač tlaku sání se sacím potrubím propojen a snímá v něm tak absolutní tlak. Je buď integrován přímo do řídicí jednotky (s hadičkou napojenou na sací potrubí) nebo je upevněn v blízkosti sacího potrubí, nebo přímo na sacím potrubí.

## **Měřič hmotnosti vzduchu s vyhříváním drátem HLM**

### **Použití**

Měřič hmotnosti vzduchu s vyhříváním drátem HLM se nachází u určitých motorů se systémem LH-Jetronic nebo M-Motronic jako „termický“ snímač zatížení mezi čističem vzduchu a škrticí klapkou. Snímá motorem nasávaný hmotnostní proud vzduchu  $Q_M$  za účelem určení zatížení motoru.

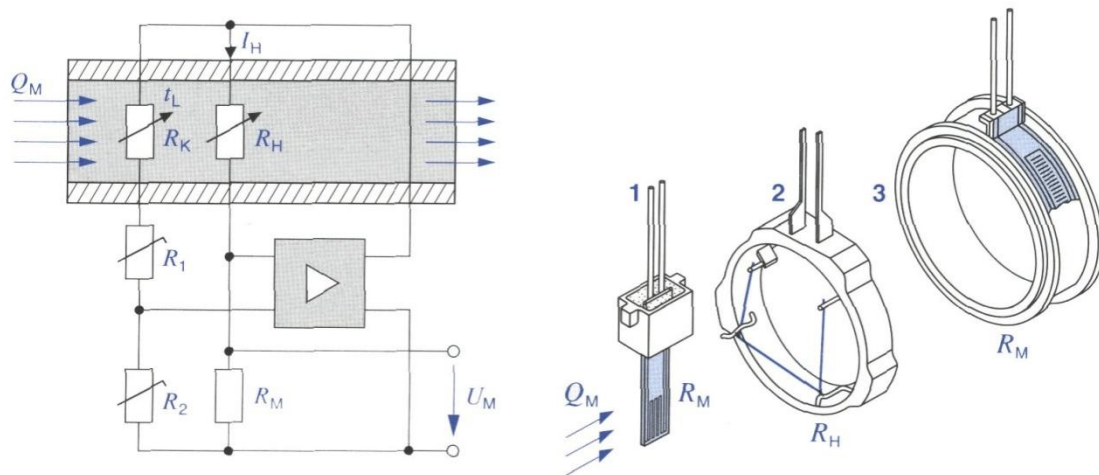
HLM je nejrychlejší používaný vzduchový průtokoměr, neboť může sledovat průměrné kolísání až do 1 kHz. [1]

### **Konstrukce**

HLM se skládá z válcového pouzdra oboustranně chráněného mřížkami, kterým proudí proud nasávaného vzduchu. V průřezu této měřicí trubky je lichoběžníkově natažen vyhřívání, 70  $\mu$ m tenký drát z platiny a snímá tak s dobrou přesností celý průtočný průřez. Před ním (proti směru proudění) zasahuje do proudu vzduchu rezistor pro teplotní kompenzaci. Oba komponenty jsou součástí regulačního obvodu a působí zde jako teplotně závislé rezistory. Regulační obvod se většinou skládá z můstkového zapojení a zesilovače (Obrázek 88).

### **Způsob činnosti**

Rezistor pro kompenzaci teploty měří nejprve teplotu procházejícího nasávaného vzduchu, který následně ochladí vyhřívání drát. Regulační obvod řídí vyhřívání proud tak, aby vyhřívání drát měl teplotu, která je oproti teplotě nasávaného vzduchu vyšší o konstantní rozdíl. Tento princip měření zohledňuje hustotu vzduchu tak, že určuje velikost tepla odevzdaného vyhříváním drátem vzduchu. Vyhřívání proud je tak měřítkem pro hmotnostní proud vzduchu. Vyhřívání proud vytváří na přesném rezistoru (měřicí rezistor  $R_M$ ) napěťový signál  $U_M$ , úměrný hmotnostnímu proudu vzduchu, a tento signál se vede do řídicí jednotky. HLM ovšem neumí rozpoznat směr proudění. Aby se zabránilo nepřesnostem výsledků měření kvůli usazeninám na platinovém drátku, je vyhřívání drát po každém vypnutí motoru přibližně na jednu sekundu zahříván na vypalovací teplotu cca 1000 °C, při které se usazeniny vypálí. Přitom se usazené nečistoty odpaří, příp. odloupnou a drát je vyčištěn.



Obrázek 88 Měřič hmotnosti vzduchu s vyhříváním drátem

1	Rezistor pro kompenzaci teploty $R_K$	$R_{1,2}$	Rezistory pro vyvážení můstku
2	Kroužek snímače s vyhříváním drátem $R_H$	$U_M$	Měřené napětí
3	Přesný měřicí rezistor $R_M$	$I_H$	Vyhřívací proud
$R_K$	Rezistor pro kompenzaci teploty	$I_L$	Teplota vzduchu
$R_H$	Odporový vyhřívací drát	$Q_M$	Proud vzduchu
$R_M$	Měřicí rezistor		

## Měřič hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem HFM2

### Použití

Měřič hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem HFM2 je tlustovrstvý snímač, který byl používán u určitých zážehových motorů se systémem LH-Jetronic nebo M-Motronic jako „termický“ snímač zatížení mezi čističem vzduchu a škrtkací klapkou. Snímá s vysokou přesností motorem nasávaný hmotnostní proud vzduchu  $Q_M$  pro určení zatížení motoru. [1, 3, 6]

### Konstrukce

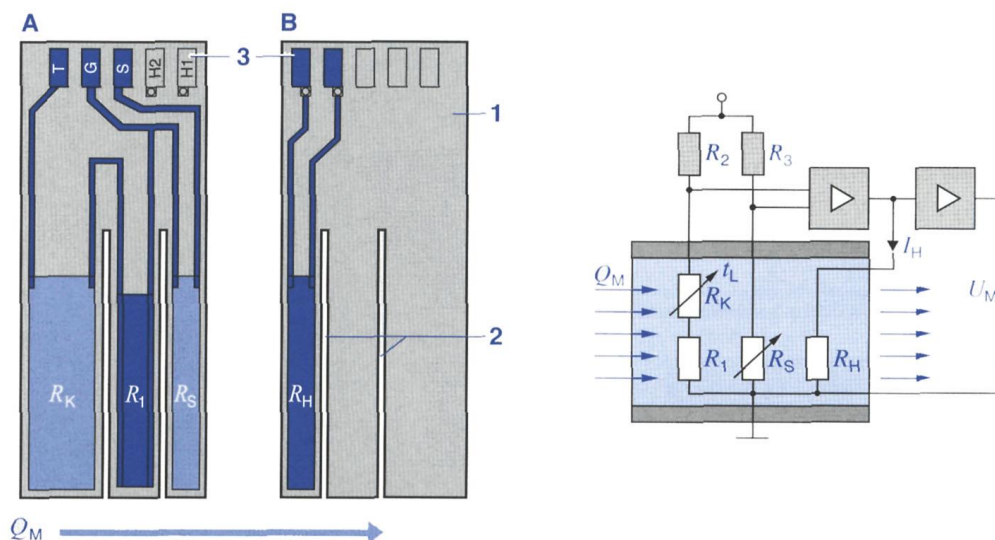
Elektricky vyhříváný platinový rezistor  $R_H$  (vyhřívací prvek) snímače hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem HFM2 se nachází společně s dalšími rezistory tvořícími můstek na keramické destičce. Součástí můstku je také teplotně závislý rezistor  $R_S$  (snímač průtoku), který snímá teplotu vyhřívacího prvku. Vyhřívací prvek a rezistor pro kompenzaci teploty vzduchu  $R_K$  jsou termicky odděleny pomocí dvou proříznutých štěrbin. Protože se nečistoty usazují hlavně na čelní hraně snímacího prvku, jsou prvky, které jsou rozhodující pro přechod tepla, umístěny na keramickém substrátu po proudu vzduchu. Snímač je navíc navržen tak, aby nanášení nečistot neovlivnilo obtékání snímače vzduchem.

### Způsob činnosti

Elektricky vyhříváný platinový rezistor ční do proudu nasávaného vzduchu, kde jej proudící vzduch ochlazuje. Regulační obvod řídí vyhřívací proud tak, aby vyhřívací rezistor měl oproti nasávanému vzduchu konstantní vyšší teplotu. Hustota vzduchu je při tomto principu měření zohledněna tím, že určuje velikost tepla odevzdaného vyhříváním tělesem vzduchu. Vyhřívací proud  $I_H$ , příp. napětí na vyhřívacím prvku, je pak nelineární mírou pro hmotnostní proud vzduchu  $Q_M$ .

Elektronika snímače hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem převádí toto napětí na napětí  $U_M$ , upravené pro řídicí jednotku. Z něj vypočítá počítač řídicí jednotky hmotnost vzduchu nasátého během jednoho pracovního cyklu. HFM2 ovšem neumí rozpoznat směr proudění. Dlouhodobá přesnost měření  $\pm 4\%$  vztažená na měřenou hodnotu zůstává zachována i bez

vypalování nečistot.



Obrázek 89 Měřič hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem

A	Přední strana	$R_S$	Snímací rezistor
B	Zadní strana	$R_1, R_2, R_3$	Rezistory můstku
1	Keramický substrát	$U_M$	Měřené napětí
2	Dva prořezy	$I_H$	Vyhřívací proud
3	Kontakty	$I_L$	Teplota vzduchu
$R_K$	Snímač pro kompenzaci teploty	$Q_M$	Proud vzduchu
$R_H$	Vyhřívací rezistor		

## Měřič hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem HFM5

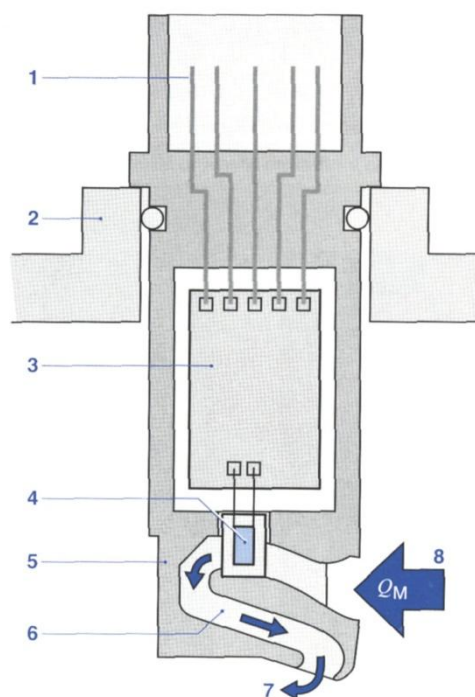
### Použití

Optimální spalování v rámci zákonem stanovených limitů emisí škodlivých látek předpokládá, že se přivádí přesně takové množství vzduchu, které je v daném provozním režimu potřebné. K tomu účelu měří měřič hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem velmi přesně dílčí proud z celkového proudu vzduchu, který proudí čističem vzduchu příp. měřicí trubkou. Zohledňuje i pulsace a zpětná proudění vyvolaná otevíráním a zavíráním sacích a výfukových ventilů. Změny teploty nasávaného vzduchu nemají vliv na přesnost měření. [1, 3, 6]

### Konstrukce

Měřič hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem HFM5 zasahuje svým pouzdem (Obrázek 90, Poz. 5) do měřicí trubky (Poz. 2), která může mít v závislosti na množství vzduchu potřebném pro motor různý průměr. Měřicí trubka je v sacím systému umístěna za čističem vzduchu. Existují také zásuvné snímače, které se montují do čističe vzduchu.

Hlavními součástmi snímače jsou měrný článek (Poz. 4), okolo kterého proudí dílčí proud vzduchu přiváděný vstupem (Poz. 8) a integrovaná vyhodnocovací elektronika (Poz. 3). Prvky měrného článku jsou napájeny na polovodičovém substrátu a prvky vyhodnocovací elektroniky (hybridní obvod) na keramickém substrátu. To umožňuje velmi malé rozměry. Vyhodnocovací elektronika je elektrickými propojkami (Poz. 1) spojena s řídicí jednotkou. Měřicí kanálek pro dílčí proud (Poz. 6) má takový tvar, aby vzduch mohl bez víření proudit kolem měrného článku snímače a výstupem (Poz. 7) se vracet zpět do měřicí trubky. Tím se zlepšuje chování snímače při silných pulsacích proudění, a kromě přímého proudění k motoru je rozpoznáno i zpětné proudění.



Obrázek 90 Měřič hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem HFM5

1	Elektrické přípojky	5	Pouzdro snímače
2	Měřicí trubka	6	Měřicí kanál pro dílčí proud
3	Vyhodnocovací elektronika	7	Výstup měřeného dílčího proudu $Q_M$
4	Měrný článek snímače	8	Vstup měřeného dílčího proudu $Q_M$

### Způsob činnosti

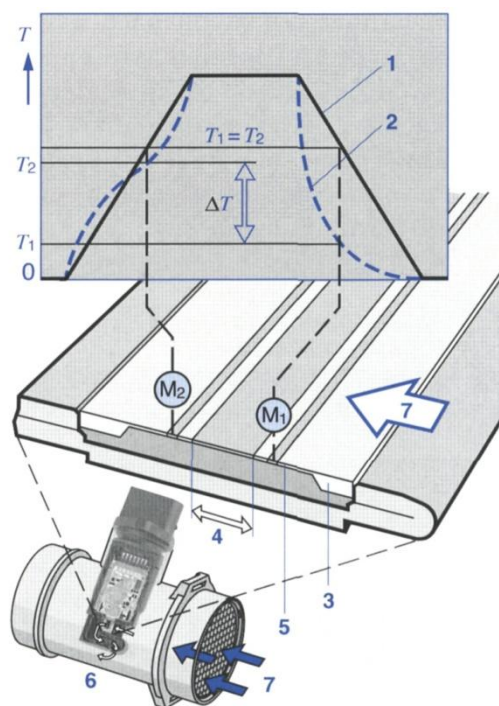
Měřič hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem je „termický snímač“. Na měrném článku senzoru (Obrázek 91, Poz. 3) ohřívá uprostřed umístěný vyhřívací rezistor mikromechanickou membránu snímače (Poz. 5) a udržuje ji na konstantní teplotě. Mimo tuto regulovanou vyhřívanou zónu (Poz. 4) teplota na obou stranách klesá.

Dva teplotně závislé rezistory (měřicí body  $M_1$ ,  $M_2$ ), které jsou umístěny na membráně symetricky k vyhřívacímu rezistoru, ve směru a proti směru proudění vzduchu, snímají rozdělení teploty na membráně. Bez proudění vzduchu je teplotní profil (Poz. 1) na obou stranách stejný ( $T_1 = T_2$ ). Proudí-li vzduch nad měrným článkem snímače, rovnoměrný teplotní profil na membráně (Poz. 2) se posouvá. Na straně sání je průběh teploty strmější, protože okolo proudící vzduch tuto oblast ochlazuje. Na protilehlé straně směrem k motoru se měrný článek snímače nejprve ochladí. Vzduch ohřátý topným článkem v dalším průběhu však měrný článek ohřeje. Změna teplotního rozdělení vede k rozdílu teplot ( $\Delta T$ ) mezi měřicími body  $M_1$  a  $M_2$ .

Teplu předané vzduchu a tím průběh teplot na měrném článku snímače závisí na hmotnosti vzduchu proudícího okolo článku. Rozdíl teplot je, nezávisle na absolutní teplotě okolo proudícího vzduchu, mírou pro hmotu proudícího vzduchu; navíc je závislý na směru, takže snímač hmotnosti vzduchu může snímat jak množství, tak i směr proudícího vzduchu.

Díky velmi tenké mikromechanické membráně reaguje snímač na změny velmi rychle ( $< 15$  ms). To je důležité především u proudění se silnými pulsacemi.

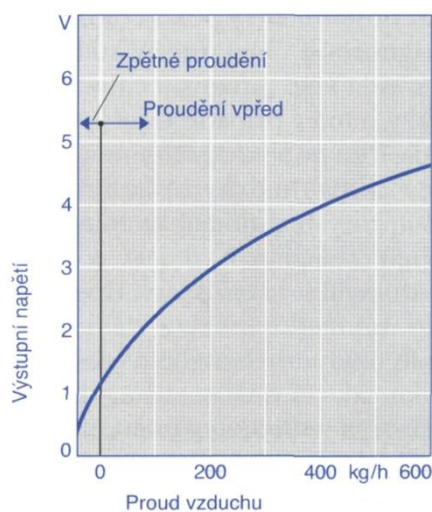
Rozdíl odporů v měřících bodech  $M_1$  a  $M_2$  převádí vyhodnocovací elektronika integrovaná do snímače na analogový signál, přizpůsobený pro zpracování řídicí jednotkou (0 ... 5 V). Pomocí charakteristiky (Obrázek 92) uložené v řídicí jednotce se naměřené napětí přepočítá na hodnotu hmotnosti proudu vzduchu [kg/h].



Obrázek 91 Princip měření měřiče hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem

1	Teplotní profil bez proudění	6	Měřicí trubka s měřičem hmotnosti vzduchu
2	Teplotní profil s prouděním	7	Proud nasávaného vzduchu
3	Měrný článek snímače	$M_1, M_2$	Měřicí body
4	Vyhřívaná zóna	$T_1, T_2$	Hodnoty teploty v měřicích bodech $M_1, M_2$
5	Membrána snímače	$\Delta T$	Rozdíl teploty

Charakteristika je navržena tak, aby integrovaná diagnostika v řídicí jednotce rozpoznala závady jako např. přerušení vedení. V měřiči hmotnosti nasávaného vzduchu HFM5 může být integrován snímač teploty pro doplňková vyhodnocení. Nachází se na měrném článku snímače před vyhřívanou zónou. Pro určení hmotnosti vzduchu není potřebný. Pro aplikace v určitých vozidlech se používají dodatečná opatření pro lepší odloučení vody a nečistot.



Obrázek 92 Příklad převodní charakteristiky měřiče hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem

## Měřiče koncentrace plynů

### Měřené veličiny

Koncentrace látky udává, s jakým hmotnostním nebo objemovým podílem je určitá látka obsažena v jiné látce nebo ve směsi jiných látek. U snímače koncentrace (nazývaného také koncentrační sonda) záleží na tom, aby byl citlivý jen na jednu měřenou látku a v ideálním případě ostatní látky pokud možno zcela ignoroval. Ve skutečnosti má však každá sonda také „křížovou citlivost“ na jiné látky, a to i v případě, že jsou parametry měření „teplota“ a „tlak“ udržovány konstantní. V řídicích systémech zážehových spalovacích motorů se měří obsah kyslíku ve spalinách.

### Dvoubodová lambda sonda

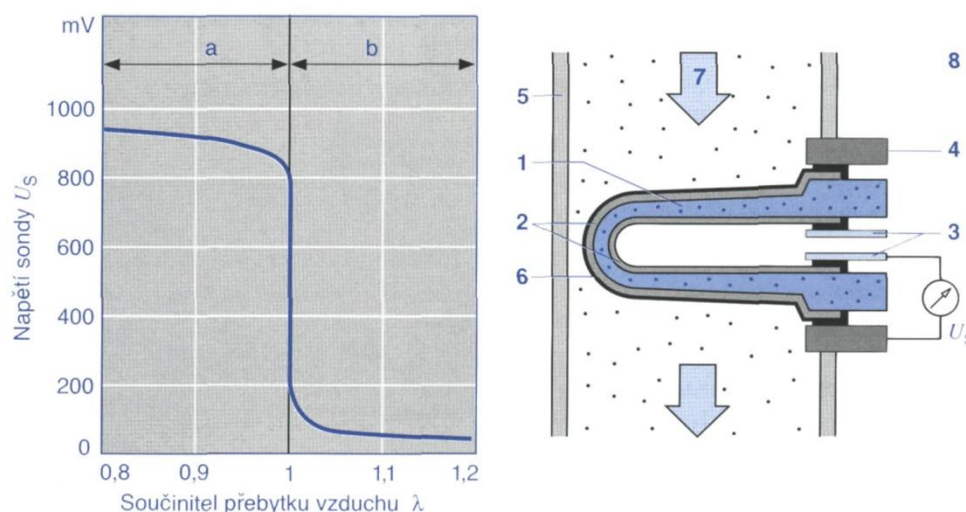
#### Použití

Dvoubodové lambda sondy se používají u zážehových motorů s dvoubodovou regulací lambda. Zasahují do výfukového potrubí a snímají rovnoměrně proud spalin ze všech válců. Jejich činnost je založena na principu galvanického koncentračního kyslíkového článku s elektrolytem v pevné fázi. Dvoubodové sondy dávají signál, zda se ve spalinách vyskytuje bohatá ( $\lambda < 1$ ) nebo chudá směs ( $\lambda > 1$ ). Skoková charakteristika těchto sond umožňuje regulaci směsi na  $\lambda = 1$  (Obrázek 93). [1]

#### Konstrukce

#### Tyčové sondy

Pevný elektrolyt se skládá z jednostranně uzavřeného, pro plyn neprostupného keramického tělesa z oxidu zirkoničitého, který je stabilizován oxidem yttritým. Povrch je oboustranně opatřen elektrodami z porézní tenké vrstvy platiny. Platinová elektroda na vnější straně, která zasahuje do výfukového potrubí, pracuje jako malý katalyzátor. Přiváděné spaliny jsou zde kataly-



Obrázek 93 Převodní charakteristika dvoubodové lambda sondy a její umístění ve výfukovém potrubí

a	Bohatá směs (nedostatek vzduchu)	5	Výfukové potrubí
b	Chudá směs (přebytek vzduchu)	6	Porézní keramická ochranná vrstva
1	Keramické tělísko sondy	7	Spaliny
2	Elektrody	8	Vnější atmosféra
3	Kontakty	$U_S$	Napětí sondy
4	Pouzdro		



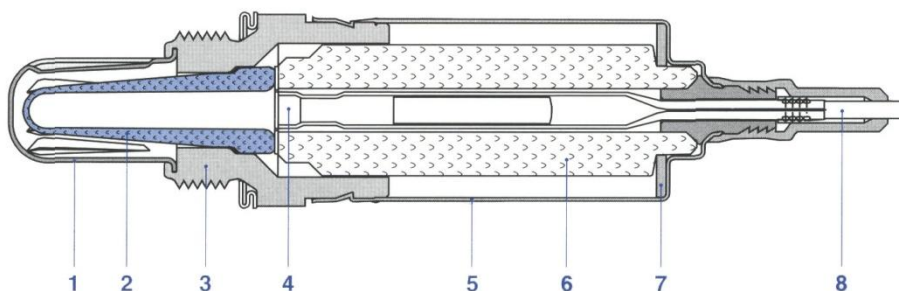
lyticky zpracovány a uvedeny do stechiometrické rovnováhy ( $\lambda = 1$ ). Kromě toho je na straně spalín porézní keramická vrstva k ochraně před nečistotami. Kovová trubička s více otvory chrání keramické tělíčko před mechanickým poškozením a tepelnými šoky. Ve vnitřním prostoru slouží okolní vzduch jako referenční plyn.

### Nevyhříváná tyčová sonda LS21

Keramická opěrná trubice a talířová pružina drží aktivní keramiku sondy kuželového profilu v jejím pouzdře a utěsňují ji (Obrázek 94). Kontaktní díl mezi opěrnou trubicí a aktivní keramikou sondy zajišťuje připojení vnitřní elektrody k připojovacímu kabelu. [1]

Kovový těsnicí kroužek spojuje vnější elektrodu s pouzdrem sondy. Kovová ochranná objímka, která slouží současně jako opera pro talířovou pružinu, drží a fixuje všechny prvky uvnitř sondy. Rovněž chrání vnitřek sondy před znečištěním. Připojovací kabel je připojen na ven vyvedený kontaktní díl a je proti vlhkosti a mechanickým poškozením chráněn teplotně odolným víčkem.

Aby byla keramika sondy chráněna před zbytky spalování obsaženými ve spalínách, je na pouzdru sondy na straně spalín upevněna ochranná trubka speciálního tvaru. Štěrbiny v ochranné trubce jsou uspořádány tak, aby obzvláště účinně chránily před velkým termickým a chemickým zatížením.

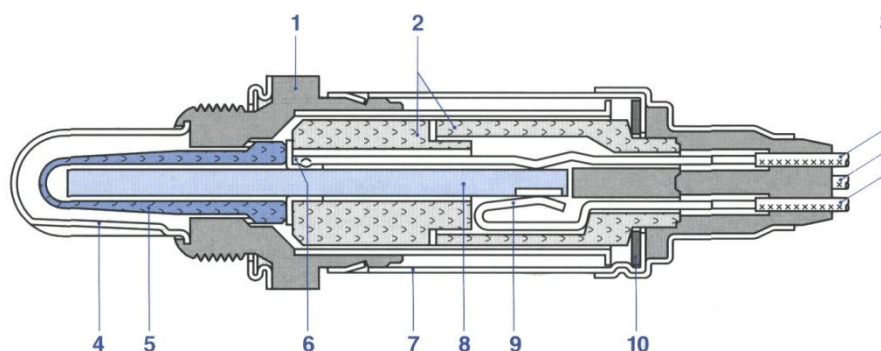


Obrázek 94 Nevyhříváná tyčová lambda sonda LS21

1	Ochranná trubice	5	Ochranná objímka
2	Aktivní keramika sondy	6	Keramická opěrná trubice
3	Pouzdro sondy	7	Talířová pružina
4	Připojovací část	8	Připojovací kabel

### Vyhříváná tyčová sonda LSH24

Vyhříváná tyčová sonda (Obrázek 95) obsahuje navíc vyhřívací prvek. U této sondy je teplota keramického tělesa při nízkém zatížení motoru, tzn. při nízké teplotě spalín po nastartování motoru, určována elektrickým vyhříváním, při vysokém zatížení pak teplotou spalín. Vyhříváná tyčová sonda může být umístěna ve větší vzdálenosti od motoru, takže i dlouhodobá jízda při plném zatížení není problematická. Externí vyhřívání způsobí rychlé ohřátí, takže během 20...30 s po nastartování motoru je dosažena provozní teplota a regulace lambda může pracovat. Protože má vyhříváná lambda sonda stále optimální provozní teplotu, je dosaženo nízkých a stabilních emisí škodlivin.



Obrázek 95 Vyhřívaná tyčová lambda sonda LSH24

1	Pouzdro sondy	6	Kontaktní díl
2	Keramická opěrná trubice	7	Ochranná objímka
3	Přípojovací kabel	8	Vyhřívací prvek
4	Ochranná trubka se štěrbinami	9	Přípojovací svorky pro vyhřívací prvek
5	Aktivní keramika sondy	10	Talířová pružina

### Planární lambda sondy

Planární sondy odpovídají funkčně vyhřívaným tyčovým sondám se skokovou charakteristikou při  $\lambda = 1$ . Pevný elektrolyt se skládá z jednotlivých, na sebe laminovaných keramických fólií (Obrázek 96). Ochranná trubka s dvojitou stěnou chrání těleso před termickými a mechanickými vlivy. Planární keramický prvek měřícího článku má tvar protáhlé destičky s obdélníkovým průřezem. Povrch měřícího článku je opatřen mikroporézní vrstvou z ušlechtilého kovu. Ta je na straně vystavené spalínám zakryta navíc porézní keramickou ochrannou vrstvou k zabránění erozivního poškození zbytky obsaženými ve spalínách. Vyhřívací prvek se skládá z meandru z ušlechtilého kovu, který je izolovaně integrován do keramických destiček a zajišťuje rychlé zahřátí. [1]

Zatímco referenční komůrka uvnitř sondy LSF4 (Obrázek 97) je přístupná pro okolní vzduch, sonda LSF8 (Obrázek 98) obsahuje uzavřenou kyslíkovou referenční komůrku.

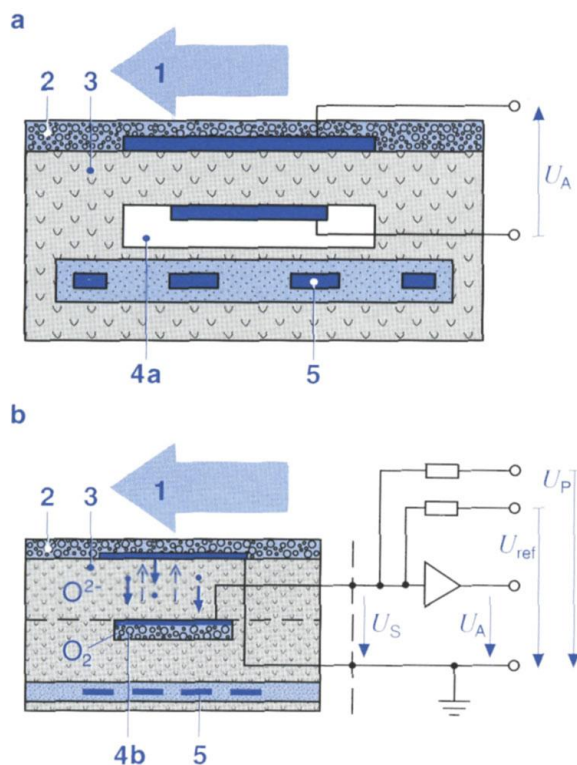
### Způsob činnosti

Keramický materiál dvoubodové sondy pracující na Nernstově principu se od přibližně 350 °C stává vodivým pro ionty kyslíku. Protože i při provozu s přebytkem paliva obsahují spaliny ještě zbytkový kyslík (např. při  $\lambda = 0,95$  ještě 0,2...0,3 objemových procent), vzniká mezi oběma plochami platinových elektrod, kvůli odlišnému podílu kyslíku na obou stranách sondy, elektrické napětí. Podíl kyslíku ve spalínách je tak možné použít jako míru pro poměr vzduchu a paliva.

Sonda LSF8 má tu zvláštnost, že zbytkový kyslík ve spalínách porovnává s kyslíkem v uzavřené referenční komůrce uvnitř sondy. Při přivedení přečerpávacího napětí  $U_P$  ke dvěma elektrodám protéká proud přibližně 20  $\mu A$ , který permanentně přečerpává kyslík ze spalín přes keramický materiál  $ZrO_2$ , vodivý pro kyslík, do referenční komůrky s porézní výplní. Kyslík ale z referenční komůrky permanentně difunduje na stranu spalín, podle tam přítomného obsahu kyslíku. Výsledkem této výměny je snímané napětí. Napětí dodávané sondou, které je tedy závislé na obsahu kyslíku ve výfukových plynech, dosahuje při bohaté směsi ( $\lambda < 1$ ) 800...1000 mV, při chudé směsi ( $\lambda > 1$ ) pouze cca 100 mV. Při přechodu z bohaté k chudé směsi je napětí cca 450...500 mV.

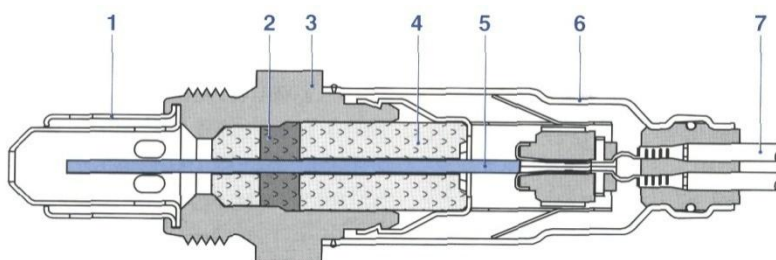
Také teplota keramického tělíska ovlivňuje vodivost iontů kyslíku a tím průběh napětí sondy v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu  $\lambda$ . Kromě toho je doba odezvy napěťové změny při změně složení směsi silně závislá na teplotě. Jestliže leží doby odezvy při teplotě keramiky do 350 °C v oblasti sekund, pak při optimální provozní teplotě cca 600 °C reaguje sonda v čase

kratším než 50 ms. Po nastartování motoru je proto až do dosažení minimální provozní teploty cca 350 °C regulace lambda vypnuta. Motor přitom pracuje v řízeném provozu. Příliš vysoké teploty zkracují životnost. Proto musí být lambda sonda umístěna tak, aby při déletrvajícím plném zatížení nepřesáhla její teplota 850 °C; po kratší dobu je přípustná teplota 930 °C.



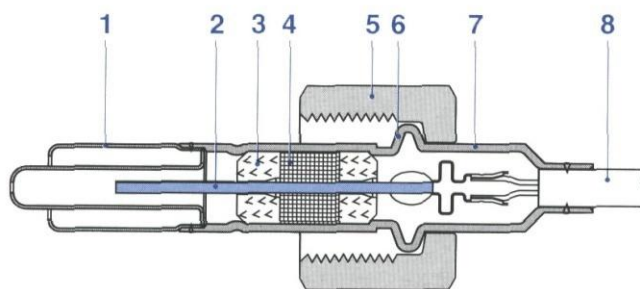
Obrázek 96 Schématické uspořádání planární lambda sondy

a	Provedení LSF4	4b	Referenční komůrka s O <sub>2</sub>
b	Provedení LSF8	5	Vyhřívací prvek
1	Spaliny	U <sub>A</sub>	Výstupní napětí
2	Porézní keramická ochranná vrstva	U <sub>S</sub>	Napětí sondy
3	Měřicí článek s mikroporézní vrstvou	U <sub>P</sub>	Čerpací napětí
4a	Referenční vzduchový kanál	U <sub>Ref</sub>	Referenční napětí



Obrázek 97 Planární lambda sonda LSF4

1	Ochranná trubice	5	Planární měřicí článek
2	Keramická těsnicí hmota	6	Ochranná objímka
3	Pouzdro sondy	7	Připojovací kabel
4	Keramická opěrná trubice		



Obrázek 98 Planární lambda sonda LSF8

1	Ochranná trubice	5	Převlečná matice
2	Planární měřicí článek	6	Utěšňovací příruba
3	Izolační objímka	7	Pouzdro sondy
4	Keramická těsnicí hmota	8	Kovové opláštění

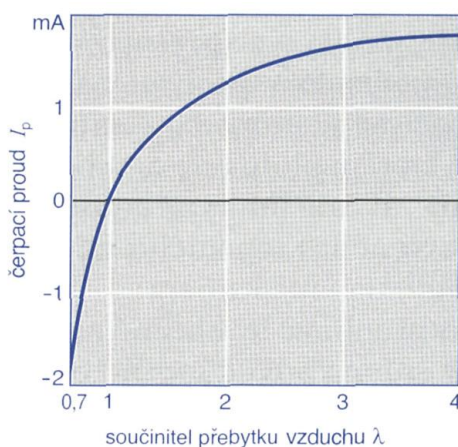
### Planární širokopásmová lambda sonda LSU4

#### Použití

Pomocí širokopásmové lambda sondy je možné v širokém rozsahu určovat koncentraci kyslíku ve spalínách a z toho usuzovat na poměr vzduchu a paliva ve spalovacím prostoru. Tento poměr vzduchu a paliva popisuje součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$ . Širokopásmové lambda sondy dokáží přesně měřit nejen ve „stechiometrickém“ bodu při  $\lambda = 1$ , ale také v oblasti bohaté ( $\lambda < 1$ ) a chudé ( $\lambda > 1$ ) směsi. Dodávají v rozsahu  $0,7 < \lambda < \infty$  ( $\infty =$  vzduch s 21 %  $O_2$ ) jednoznačný, spojitý elektrický signál. [1, 8]

Díky těmto vlastnostem se širokopásmová lambda sonda nepoužívá jen u systémů řízení motoru s dvoubodovou regulací ( $X = 1$ ), ale také u systémů regulace, pracujících s chudou a bohatou směsí paliva se vzduchem. Hodí se ale také pro regulaci vznětových motorů, plynových motorů a plynových topidel (proto označení LSU: Lambda Sonde Universal).

Sonda zasahuje do výfukového potrubí a snímá proud spalín ze všech válců. Pro přesnou regulaci se u některých systémů používá i více sond, například před a za katalyzátorem, nebo i v jednotlivých větvích výfukového systému (řady válců).

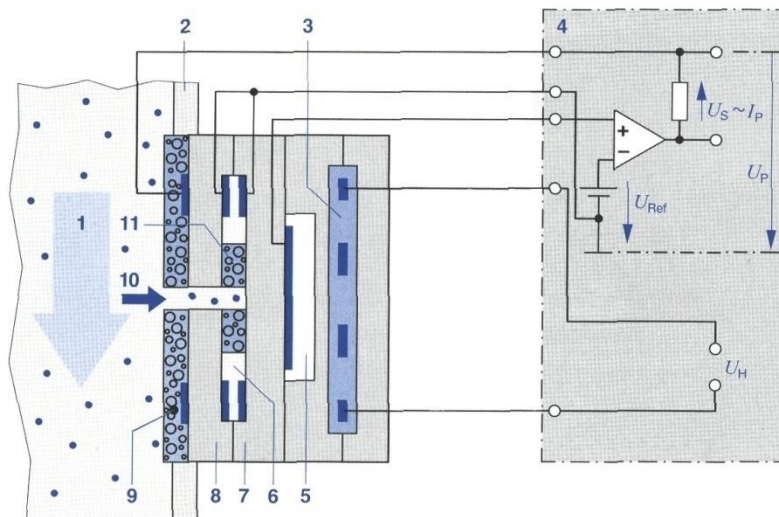


Obrázek 99 Čerpací proud  $I_p$  širokopásmové lambda sondy v závislosti na  $\lambda$

## Konstrukce

Širokopásmová lambda sonda LSU4 je planární dvoučláneková sonda využívající princip mezního proudu. Její měřicí článek (Obrázek 100) je vyroben z keramiky (oxid zirkoničitý,  $ZrO_2$ ). Je kombinací Nernstova koncentračního článku (snímací článek, funkce jako u dvoubodové lambda sondy) a kyslíkového čerpacího článku, který přečerpává ionty kyslíku.

Kyslíkový čerpací článek (Poz. 8) je vůči Nernstově koncentračnímu článku (Poz. 7) umístěn tak, aby mezi oběma vznikl difuzní kanálek (Poz. 6) široký přibližně 10...50  $\mu\text{m}$ . Difuzní kanálek je přes otvor pro vstup plynů (Poz. 10) přístupný pro spaliny; porézní difuzní bariéra (Poz. 11) přitom omezuje proud molekul kyslíku ze spalín.



Obrázek 100 Měřicí článek planární širokopásmové lambda sondy

1	Spaliny	9	Pórovitá ochranná vrstva
2	Výfukové potrubí	10	Otvor pro vstup plynů
3	Vyhřívací prvek	11	Pórovitá difuzní bariéra
4	Regulační elektronika	$I_P$	Čerpací proud
5	Referenční komora s ref. vzduchovým kanálem	$U_P$	Čerpací napětí
6	Difuzní kanálek	$U_H$	Vyhřívací napětí
7	Nernstův koncentrační článek	$U_{REF}$	Referenční napětí (450 mV/ $\lambda=1$ )
8	Kyslíkový článek s vnitřní a vnější elektrodou	$U_S$	Napětí sondy

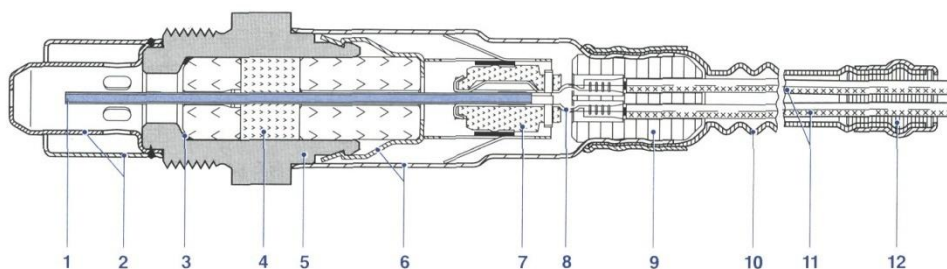
Nernstův koncentrační článek je na jedné straně spojen referenčním vzduchovým kanálem (Poz. 5) přes otvor s okolní atmosférou; na druhé straně je vystaven spalínám v difuzním kanálku. Sonda dodává použitelný signál teprve po dosažení provozní teploty 600...800  $^{\circ}\text{C}$ . Aby bylo rychle dosaženo provozní teploty, je v sondě integrován vyhřívací prvek (Poz. 3).

## Způsob činnosti

Spaliny se dostávají malým otvorem čerpacího článku do vlastního měřicího prostoru (difuzní kanálek) Nernstova koncentračního článku. Aby bylo možné nastavit v difuzním kanálku součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$ , porovnává Nernstův koncentrační článek plyn v difuzním kanálku s okolním vzduchem v referenčním vzduchovém kanálu.

Připojením čerpacího napětí  $U_P$  k platinovým elektrodám čerpacího článku může být kyslík přes difuzní bariéru přečerpáván ze spalín do difuzního kanálku, nebo opačným směrem. Pomocí Nernstova koncentračního článku reguluje elektronický obvod řídicí jednotky toto napětí  $U_P$ , připojené k čerpacímu článku tak, že plyn v difuzním kanálku má konstantní složení se součinitelem přebytku vzduchu  $\lambda = 1$ . Při chudých spalínách čerpá čerpací článek kyslík ven (kladný čerpací proud). Při bohatých spalínách se kyslík naopak (katalytickým rozkladem  $\text{CO}_2$

a  $H_2O$  na elektrodě vystavené spalinám) čerpá ze spalin do difuzního kanálku (záporný čerpací proud). Při  $\lambda = 1$  se nemusí transportovat žádný kyslík. Čerpací proud je proto nulový. Čerpací proud je úměrný koncentraci kyslíku ve spalinách a představuje tak nelineární míru pro součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$ .



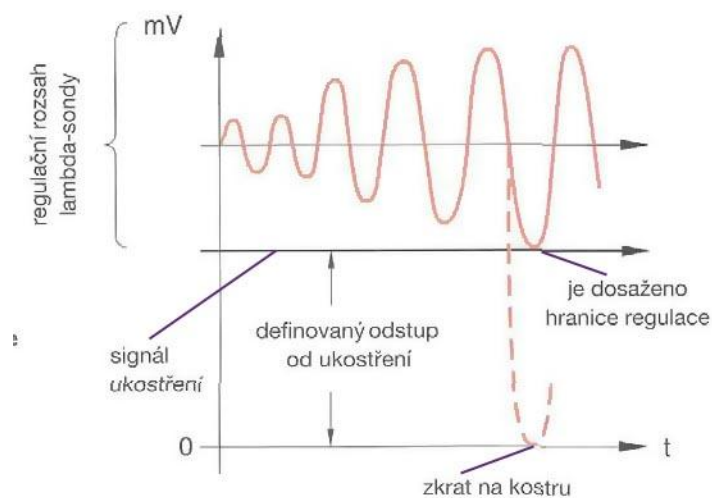
Obrázek 101 Planární širokopásmová lambda sonda LSU4

1	Měřicí článek	7	Držák kontaktu
2	Dvojitá ochranná trubka	8	Připojovací klips
3	Těsnící kroužek	9	Průchodka PTFE
4	Těsnící hmota	10	Tvarovaná hadice PTFE
5	Pouzdro sondy	11	Pět přívodních vodičů
6	Ochranná objímka	12	Těsnění

### Potenciálně volná lambda-sonda s definovaným odstupem od ukostření

Potenciálně volná lambda-sonda znamená, že lambda-sonda není ukostřena pomocí závitu ve výfukovém potrubí, jako tomu bylo dříve, ale má k dispozici samostatné ukostřovací vedení, které ústí do řídicí jednotky motoru. Potenciálně volná lambda-sonda má definovaný odstup od ukostření. Potenciálně volnou lambda-sondu lze poznat podle svorkovnice se 4 konektory. [9]

Definovaný odstup od ukostření znamená, že regulační rozsah je posunut o hodnotu (Obrázek 102) definovaného odstupu od ukostření. Výhodou tohoto řešení je, že vlastní diagnostika může rozlišovat, zda lambda-sonda dosáhla hranice regulace (závada je ve vstřikovacím zařízení) nebo zda došlo ke zkratu na kostru.



Obrázek 102 Definovaný odstup od ukostření

## Snímače teploty

### Měřené veličiny

Teplota je veličina charakterizující energetický stav média. U plynných nebo kapalných médií lze obecně měřit bezproblémově ve všech prostorových bodech. U pevných těles se měření omezuje většinou na povrch. U nejčastěji používaných snímačů teploty je nezbytný bezprostřední, těsný kontakt s měřeným médiem, aby mohl co nejpřesněji snímat teplotu média. Pro speciální případy se však používají i bezdotykové snímače teploty, které teplotu tělesa nebo média určují na základě jím vyzařovaného tepelného záření. [1]

Teplotní snímač by obecně měl tuto závislost snímat pokud možno bezchybně, tzn. měl by pokud možno nezkresleně reprodukovat lokální rozdělení teploty a její časové změny. Pro dobré místní rozlišení snímače, ale také pro rychlé reakční chování by měl být snímač pokud možno malý, tzn. měl by vykazovat malou tepelnou kapacitu.

Aby byla vlastní teplota snímaná snímačem udržována nezávisle na teplotě jeho upevnění (držáku), měl by být od svého upevnění dobře tepelně izolován. Vlastní teplo vyvíjené většinou snímačů v aktivním stavu by mělo být co možná nejmenší, protože také zkresluje výsledek měření.

Dynamické chování snímače je dáno jeho časovou konstantou  $\tau$ . Ta udává dobu, kterou při skokové změně teploty snímač potřebuje, aby např. ukázal 63 %, 90 % nebo 99 % konečné hodnoty. Tento čas nezávisí jen na tepelné kapacitě snímače, ale značně také na součiniteli přestupu tepla k médiu. Čím je větší, tím rychleji snímač indikuje konečnou hodnotu. Toto číslo je u kapalných médií mnohem vyšší než u plynných.

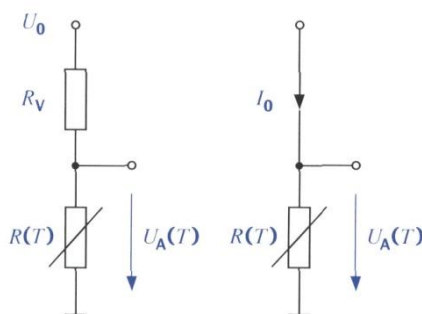
Při měření teploty v motorových vozidlech se téměř výhradně využívá teplotní závislosti elektrických odporových materiálů s kladným (PTC) nebo záporným (NTC) teplotním koeficientem, ve formě dotykového teploměru. Převod změny odporu na analogové napětí se převážně provádí doplněním rezistoru teplotně neutrálního, nebo s opačnou závislostí, jehož přidáním vznikne dělič napětí.

Velmi odlišné měřicí rozsahy vyžadují množství koncepcí a technologií snímačů, ale také požadavek na přesnost a dynamické chování vedou k velmi odlišným konstrukcím snímačů.

### Principy měření

#### Dotykové snímače

Protože téměř všechny fyzikální pochody jsou závislé na teplotě, existuje mnoho možností měření teploty. Preferují se ovšem metody, u kterých je teplotní efekt velmi výrazný a dominantní a má pokud možno lineární charakteristiku. Dále by měřicí prvky měly být vhodné pro levnou, hromadnou výrobu a přitom být ještě dostatečně reprodukovatelné a odolné proti stárnutí.



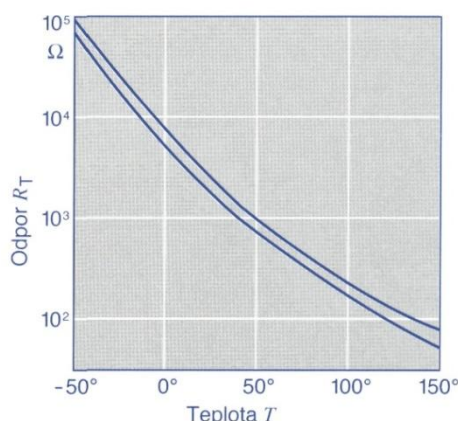
Obrázek 103 Metody převodu odporu na napětí

## Odporové snímače

Elektrické rezistory, jejichž odpor je závislý na teplotě, jsou jako dvoupólové součástky obzvláště vhodné k měření teploty, ať už ve formě vinutých drátových rezistorů, spékané keramiky, fóliových rezistorů, tenkovrstvých nebo tlustovrstvých rezistorů nebo rezistorů v monokrystalické formě. Obvykle jsou pro převod na napěťový analogový signál doplněny pevným rezistorem  $R_v$  do děliče napětí nebo jsou napájeny přiváděným konstantním proudem.

### Rezistory NTC ze spékané keramiky

Kvůli svému velkému měřicímu efektu a levné výrobě se nejčastěji používají polovodičové rezistory z oxidů těžkých kovů a oxidovaných krystalových směsí. Spékají se do tvaru perliček nebo terčů a mají polykrystalickou strukturu. Mají výrazně klesající teplotní křivku a označují se jako „termistory“. Strmost jejich charakteristiky s rostoucí teplotou výrazně klesá. Hodnota odporu se často mění v rozsahu 4 ... 5 řádů, např. typicky od několika 100 k $\Omega$  do několika 10  $\Omega$ . Velká teplotní závislost umožňuje použití jen v určitém rozmezí (200 K); toto rozmezí se ovšem může volit v rozsahu -40 ... 850 °C.



Obrázek 104 Příklad převodní charakteristiky rezistoru NTC s mezemi rozptylu

### Tenkovrstvé a tlustovrstvé kovové rezistory PTC

Tenkovrstvé kovové rezistory PTC integrované společně se dvěma teplotně neutrálními vyvažovacími rezistory na jednom společném substrátu vykazují obzvláště velkou přesnost, protože jsou s ohledem na svou charakteristiku vyráběny s velmi malou tolerancí a dlouhodobou stabilitou a dodatečně se mohou pomocí řezů (trimování) laserem „doladit“. Použitá vrstevná technika umožňuje přizpůsobit nosný materiál (keramika, sklo, umělohmotné fólie) a krycí vrstvy (umělohmotná zálivka příp. lakování, zavaření do fólie, skleněný nebo keramický povlak), chránící před měřeným médiem, danému úkolu. Vůči polovodičovým oxidkeramickým snímačům vykazují kovové vrstvy sice menší teplotní závislost, avšak výhodnější charakteristiku, co se týká linearitu a reprodukovatelnosti. Materiálem snímačů bývá nejčastěji nikl, měď a platina. Platinové odpory (Pt) se považují za nejpřesnější a dlouhodobě nejstabilnější odporové teplotní snímače. Pro použití až do teplot 1000 °C jsou vhodné platinové snímače v tlustovrstvé technice, jejichž platinová vrstva je stabilizována pomocí speciálních příměsí.

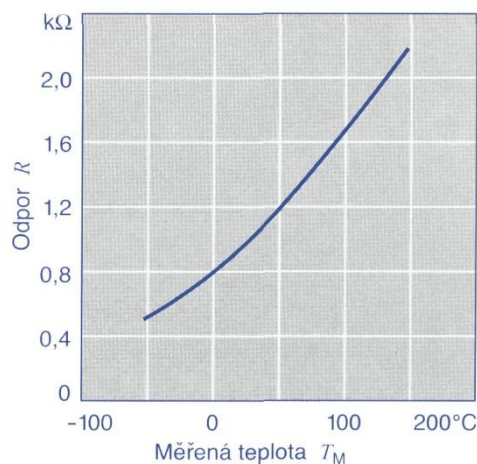
### Tlustovrstvé rezistory (PTC/NTC)

Tlustovrstvé pasty s vyšším specifickým odporem s kladným nebo záporným teplotním koeficientem slouží převážně jako teplotní snímače ke kompenzačním účelům. Mají nelineární charakteristiku a je možné je doladovat, např. trimováním laserovým paprskem. Ke zvýšení měřicího efektu mohou být obvody napěťových děličů tvořeny materiálem NTC a PTC.



### Monokrystalické křemíkové polovodičové rezistory (PTC)

U teplotních snímačů z monokrystalických polovodičových materiálů jako křemík (Si) je možné na čip snímače integrovat další aktivní a pasivní součástky (první zpracování signálu je možné v místě měření). Citlivost měření je téměř dvakrát větší než u platinového rezistoru. Teplotní charakteristika má výrazně progresivnější zakřivení než u kovového snímače (Obrázek 105). Vlastní vodivost materiálu omezuje měřicí rozsah směrem nahoru na cca +150 °C. Zvláštní provedení jsou použitelná až do 300 °C.



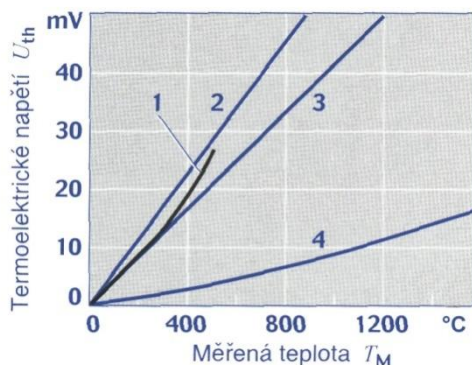
Obrázek 105 Příklad převodní charakteristiky polovodičového rezistoru PTC

### Termočlánky

Pro měřicí rozsahy  $\geq 1000$  °C se používají termočlánky. Využívají „Seebeckova jevu“, který říká, že mezi konci kovového vodiče vzniká elektrické napětí, když mají tyto konce odlišné teploty  $T_1$  a  $T_2$ . Toto „termoelektrické napětí“  $U_{th}$  závisí výhradně na rozdílu teplot  $\Delta T$  na koncích vodiče (nezávisle na průběhu teplot mezi nimi). Protože se měřicí vodič musí kvůli měření tohoto napětí připojit pomocí dvou připojovacích kabelů (např. z mědi), které jsou opět vystaveny stejnému rozdílu teplot, lze snímat jen rozdíl měřicího materiálu vůči připojovacím vodičům. K dosažení obzvláště velkých napětí se používají vhodné páry materiálů; např. železo/konstantan atd. Termočlánky mají většinou jen krátkou délku. Prodloužení až k místu snímání signálu lze vytvořit pomocí „vyrovnávacích vedení“, vyrobených ze stejného páru materiálů. Důležité je, aby oba volné konce takového termočlánekového uspořádání měly stejnou referenční teplotu, protože jinak by se měřil i případný rozdíl teplot mezi nimi. Termočlánky měří tedy vždy jen rozdíl teploty vůči referenčnímu místu. Pokud se má měřit absolutní teplota místa měření, musí se pomocí dalších prostředků (např. pomocí odporového snímače) určovat ještě teplota referenčního místa. Závislost termoelektrických napětí na teplotě není většinou zcela lineární. Pro zesílení většinou malých signálů a jejich linearizaci jsou k dispozici integrované obvody.

### Polovodičové přechody

Napětí v propustném směru polovodičových přechodů (např. diod a přechodů báze-emitor tranzistorů) vykazuje při konstantním proudu velmi dobrou lineární závislost na teplotě. Výhodou těchto snímačů je, že dodávají přímo napětí, závislé na teplotě. Dvoupólový snímač je svým principem závislý na polaritě. Propustné napětí klesá u každého snímače celkem přesně o 2 mV/°C, zatímco absolutní napětí každého přechodu se značně liší kus od kusu a musí být někdy k přesnému měření kompenzováno dalšími členy. Vlastní vodivost křemíku omezuje však použití těchto snímačů na rozsahy do  $< 150$  °C.



Obrázek 106 Převodní charakteristiky běžných termočlánků

1	Měď/konstantan	3	Chromnikl/nikl
2	Železo/konstantan	4	Platinrhodium/platina

Občas se podobným způsobem k měření teploty využívají páry tranzistorů s propojenými emitory. U tohoto měření teploty představuje poměr kolektorových proudů velmi dobře reprodukovatelnou míru pro teplotu; obvykle se tento poměr převádí pomocí doplňujícího obvodu na stejném čipu na analogové výstupní napětí.

Dobře použitelný snímač teploty představují také Zenerovy diody zapojené v závěrném směru; jejich změna napětí je velmi závislá na Zenerově napětí. Zde lze volit mezi různě velkým poklesem napětí při Zenerově napětí do  $< 4,7$  V a růstem napětí při Zenerově napětí nad  $> 4,7$  V. Tyto snímače se často používají i pro účely interní teplotní kompenzace čipů.

## Snímače teploty

### Použití

#### Snímač teploty motoru

Tento snímač je namontován do okruhu chladicí kapaliny, aby řízení motoru mohlo z teploty chladicí kapaliny usuzovat na teplotu motoru (měřicí rozsah  $-40 \dots +130$  °C).

#### Snímač teploty vzduchu

Tento snímač v sacím traktu snímá teplotu nasávaného vzduchu, s jejíž pomocí je možné ve spojení se snímačem tlaku přepřínování vypočítat hmotnost nasávaného vzduchu. Kromě toho se požadované hodnoty pro regulační okruhy (např. recirkulace spalin, regulace tlaku přepřínování) mohou přizpůsobit teplotě vzduchu (měřicí rozsah  $-40 \dots +120$  °C).

#### Snímač teploty motorového oleje

Signál snímače teploty motorového oleje se používá při výpočtu intervalu údržby (měřicí rozsah  $-40 \dots +170$  °C).

#### Snímač teploty spalin

Tento snímač je namontován na teplotně kritických místech výfukového systému. Používá se pro regulaci systému dodatečného zpracování spalin. Měřicí odpor je většinou z platiny (měřicí rozsah  $-40 \dots +1000$  °C).

### Konstrukce a způsob činnosti

Snímače teploty jsou v závislosti na použití nabízeny v různých provedeních. V pouzdře je zabudován teplotně závislý měřicí rezistor z polovodičového materiálu. Tento rezistor má

obvykle záporný teplotní koeficient (NTC, Negative Temperature Coefficient), méně často kladný teplotní koeficient (PTC), tzn. že jeho odpor se výrazně zmenšuje popř. zvětšuje se stoupající teplotou.

Měřicí rezistor je součástí napět'ového děliče napájeného napětím 5 V. Napětí měřené na měřicím rezistoru je tak závislé na teplotě. Zpracovává se analogově-digitálním převodníkem a je mírou pro teplotu na snímači. V řídicí jednotce motoru je uložena charakteristika, která každému odporu resp. hodnotě výstupního napětí přiřazuje odpovídající teplotu.

## **Použitá literatura**

- [1] ROBERT BOSCH GmbH, Snímače v motorových vozidlech, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 2002.
- [2] ŠKODA AUTO a. s., Dílenská učební pomůcka č.23 – Motory 1,8 l / 110 kW/92 kW , Mladá Boleslav: Škoda Auto a. s., 2000.
- [3] JIČÍNSKÝ, Š., Osciloskop a jeho využití v autoopravářské praxi, Praha: Grada Publishing, a.s., 2006.
- [4] ROBERT BOSCH GmbH, Řízení zážehového motoru – Zapalování, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 1999.
- [5] FERENC, B., Spalovací motory – karburátory a vstřikování paliva, Brno: Computer Press, a.s., 2004.
- [6] ROBERT BOSCH GmbH, Formule Bosch 1/2005 – Princip činnosti a diagnostika měřičů hmotnosti vzduchu Bosch HFM2 a HFM5, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 2005.
- [7] ROBERT BOSCH GmbH, Formule Bosch 2/2004 – Snímače, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 2004.
- [8] ROBERT BOSCH GmbH, Formule Bosch 3/2003 – Snímače v motorových vozidlech, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 2003.
- [9] ŠKODA AUTO a. s., Dílenská učební pomůcka č.15 – Škoda Octavia , Mladá Boleslav: Škoda Auto a. s., 1998.

## 11. Zpracování signálů snímačů

### Zpracování signálů

Dříve, než se signály snímačů přivedou k obecnému digitálnímu vyhodnocení, potřebují specifické zpracování. Toto zpracování signálu, pokud je potřebné, může obsahovat následující funkce:

- Zesílení (stejnoseměrné, střídavé),
- Usměrnění (také fázově synchronní),
- Vyhodnocení prahových úrovní, tvarování impulsů,
- Napěťová a frekvenční konverze, pulsně šířková modulace,
- Frekvenčně závislé filtrování včetně přepětové ochrany,
- A/D nebo D/A převod,
- Kompenzace offsetu a zesílení,
- Linearizace,
- Vyvážení teplotní kompenzace (analogové, digitální),
- Automatické nulování, případně také kalibrace za provozu,
- Vlastní kontrola (on board diagnostika, výstup diagnostiky) a testovací funkce,
- Regulace u snímačů regulovaných servomechanismy (princip kompenzace),
- Generování střídavého napětí u snímačů napájených nosným kmitočtem,
- Stabilizace napájecího napětí,
- Výstupní a budicí stupně odolné proti zkratu a přepětí,
- Signální multiplexery, analogový nebo digitální převod signálů na sériový kód, kódování, včetně rozpoznání chyb,
- Sběrníková rozhraní (např. CAN), atd.

Všechny tyto funkce jsou většinou k dispozici ve formě integrovaných obvodů pro specifické aplikace s označením ASIC (Application Specific Integrated Circuits). Tyto obvody přizpůsobené pro dané použití snímače se mohou nacházet buď jako zabudované ve snímači, nebo v řídicí jednotce. V mnoha případech, kdy je to vhodné, jsou funkce rozděleny mezi snímačem a řídicí jednotkou. Integrace obvodů do snímače má tu výhodu, že se snímač a zpracování signálu mohou vyvažovat a kompenzovat společně. Vytváří nedělitelnou jednotku velmi odolnou proti rušení, která se v případě výpadku jedné části vyměňuje jako celek. [1]

Současné smíšené technologie (např. BICMOS, BCD) umožňují integraci celé funkce včetně event. potřebných digitálních paměťových buněk (PROM) na jednom čipu. Obecně je téměř ve všech případech možné monoliticky integrovat snímač a zpracování signálu (např. u křemíkových snímačů tlaku v sacím potrubí a Halloových snímačů).

### Zpracování dat v motorových vozidlech

#### Požadavky

Požadavky na množství specifických dílčích systémů v motorovém vozidle ohledně funkce, bezpečnosti, ochrany životního prostředí a komfortu je možné uspokojit jen pomocí vysoce vyspělých řídicích a regulačních koncepcí. Řídicí a regulační veličiny, snímané snímači, jsou v řídicí jednotce převedeny na signály potřebné k řízení akčních členů. Vstupní signály mohou být analogové (např. průběh napětí na snímači tlaku), digitální (např. poloha spínače) nebo pulsní (tzn. informační obsah v časovém výskytu impulsů; např. snímač otáček). Zpracování těchto signálů se provádí po odpovídající úpravě (filtrování, zesílení, tvarování impulsů) a převodu (analogově-digitální) především metodami digitálního zpracování signálů.

S moderní polovodičovou technikou je možné integrovat výkonné počítače včetně programových a datových pamětí, jakož i speciální periferní obvody, určené pro aplikace běžící v reálném čase, do několika málo součástek.

Moderní výbavy vozidel zahrnují více digitálních řídicích jednotek, např. pro řízení motoru,

ABS, řízení převodovky a další. Výhodné vlastnosti a doplňkové funkce je možné realizovat tím, že se procesy ovládané jednotlivými řídicími jednotkami synchronizují a jejich parametry průběžně, tzn. v reálném čase, vzájemně sladují. Příkladem takové funkce je regulace prokluzu, která při protáčejších se hnacích kolech odpovídajícím způsobem redukuje hnací moment.

### **Mikropočítač**

Mikropočítač obsahuje kromě centrální jednotky (CPU) provádějící aritmetické a logické operace i speciální funkční moduly ke snímání externích signálů a k vytváření výstupních signálů pro externí akční členy. Tyto periferní moduly přebírají do značné míry samostatně úkoly, prováděné v reálném čase.

## **11.1 Řídicí jednotka**

### **Digitální vstupní signály**

Snímání polohy spínačů nebo digitálních signálů snímačů (např. impulsy otáček Hallova snímače). Rozsah napětí: 0 V až napětí akumulátoru.

### **Analogové vstupní signály**

Signály analogových snímačů (např. lambda sonda, snímač tlaku, potenciometr). Rozsah napětí: jednotky mV až 5 V.

### **Pulsní vstupní signály**

Signály induktivních snímačů otáček. Po úpravě se signál dále zpracovává, jako digitální. Rozsah napětí: 0,5 V ... 100 V.

### **Úprava signálu**

Vstupní signály jsou pomocí ochranných obvodů (pasivní: zapojení R, RC; aktivní: speciální napěťově odolné polovodičové prvky) omezovány na přípustnou napěťovou úroveň (pracovní napětí mikropočítače). Užitečný signál je filtrováním zbaven obsažených rušivých signálů a zesílením přizpůsoben vstupnímu napětí mikropočítače. Rozsah napětí: 0 V ... 5 V.

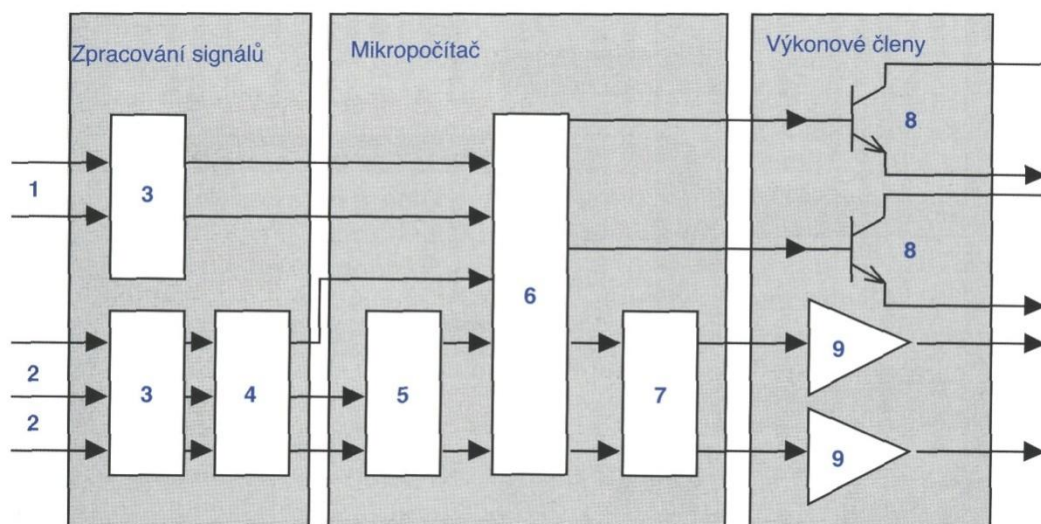
### **Zpracování signálu**

V řídicích jednotkách se zpracování signálu provádí digitálně. Rychlé, periodicky se opakující signály vztažené k reálnému času se zpracovávají v hardwarových modulech, které jsou speciálně přizpůsobeny dané funkci. Výsledky, např. stav čítače nebo okamžik některé události, se pomocí registrů předávají centrální jednotce k dalšímu zpracování. Tímto způsobem se značně redukuje požadavky na dobu odezvy centrální jednotky při stavu přerušení (oblast  $\mu$ s). Čas, který je k dispozici pro výpočetní operace, je určen řídicí příp. regulační soustavou (oblast ms). [1, 2]

Vlastní řídicí a regulační algoritmy jsou realizovány pomocí softwaru. V závislosti na datech mohou být realizovány téměř libovolné logické operace a data ve formě parametrů, charakteristik a vícerozměrných datových polí mohou být ukládána a zpracovávána.

### **Výstupní signály**

Výkonovými spínači a zesilovači jsou výstupní signály mikropočítače (0 V ... 5 V, jednotky mA) zesíleny na výkonovou úroveň, vyžadovanou akčními členy (napětí akumulátoru, jednotky A).



Obrázek 107 Zpracování signálů v řídicí jednotce

1	Digitální vstupní signály	6	Digitální zpracování signálů
2	Analogové vstupní signály	7	D/A převodník
3	Ochranné obvody	8	Výkonové spínače
4	Zesilovač, filtr	9	Výkonový zesilovač
5	A/D převodník		

## Řídicí systém

### Uspořádání systému

Podstatou je segmentování celkového elektrického systému vozidla do jednodušších podsystémů. Jednotky, které jsou funkčně úzce propojeny (jednotky s velkou vzájemnou výměnou dat), jsou sdruženy do dílčí sítě. Tato koncepce uspořádání vede k dílčím sítím s různými požadavky na přenosovou kapacitu, ne však k různým protokolům pro výměnu dat.

### Topologie

Všechny známé komunikační systémy vyvinuté pro motorová vozidla jsou logicky založeny na jediném sériovém propojení řídicích jednotek. Z fyzikálního pohledu lze toto propojení realizovat jako jednodrátové nebo diferenciální dvoudrátové rozhraní, které formou sběrnice vzájemně spojuje odpovídající řídicí jednotky.

### Protokol

Protokol se skládá z množiny pravidel, podle kterých se má provádět výměna dat mezi jednotlivými řídicími jednotkami. Definují se zde postupy pro přístup ke sběrnici, pro strukturu přenášených zpráv, bitové a datové kódování, rozpoznání a ošetření chyb, jakož i lokalizaci porouchaných systémů připojených ke sběrnici (CAN).

### Přenosová rychlost

Multiplexní sběrnice: 10 kBit/s...125 kBit/s,

Sběrnice hnacího ústrojí: 125 kBit/s... 1 MBit/s,

Telekomunikační sběrnice: 10 kBit/s... 125 kBit/s.

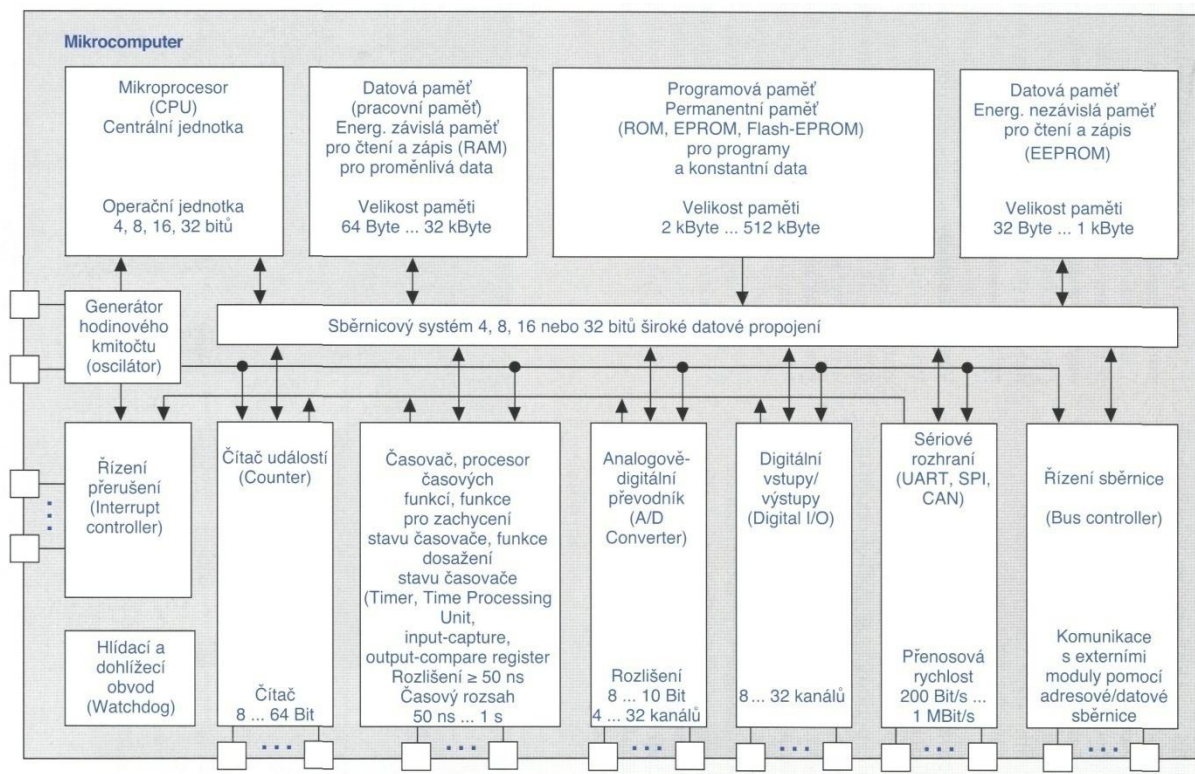
## Čekací doba

Čekací doba je doba mezi požadavkem na přenos vysílající stanice a příjmem bezchybné zprávy cílovou stanicí.

Multiplexní sběrnice: 5 ms...100 ms,

Sběrnice hnacího ústrojí: 0,5 ms...10 ms,

Telekomunikační sběrnice: 5 ms...100 ms.



Obrázek 108 Blokové schéma mikropočítače

## Použitá literatura

[1] ROBERT BOSCH GmbH, Snímače v motorových vozidlech, Praha: Robert Bosch odbytová spol. s r.o., 2002.

[2] AUTOEXPERT, 1- 2/2004, Praktická dílna – Řízení a regulace, Autopress s. r. o., 2004.

## 12. EOBD - evropská „on board“ diagnostika

Každé vozidlo se zážehovým motorem vyrobené po 1.1.2001 musí být vybaveno systémem řízení motoru, který splňuje náročné požadavky evropské „on board“ diagnostiky, zkráceně EOBD. [1]

Vývoj systémů řízení motoru se v posledních desetiletích soustřeďuje nejen na vývoj systémů s co nejlepšími výkonovými parametry a co nejnižší spotřebou paliva, ale zejména na co možná nejnižší obsah škodlivých látek ve výfukových plynech. Ve snaze o co nejmenší vliv provozu vozidel na čistotu ovzduší je světovým průkopníkem americký stát Kalifornie, který byl veden snahou omezit smogové situace způsobené provozem vozidel. První opatření omezující provoz osobních vozidel bylo v Kalifornii zavedeno již v roce 1968. V roce 1970 byly poprvé zpřísněny emisní limity v dokumentu „Clean Air Act“ (CAA). V roce 1975 byly v USA zavedeny do sériové výroby třicetkrát řízené katalyzátory.

Za prosazování neustále se zpřísnujících norem je v Kalifornii zodpovědný „Kalifornský úřad pro čistotu vzduchu“ (California Air Resources Board - CARB). Tento úřad jako první na světě zavedl povinnost prvních systémů řízení s „vlastní diagnostikou na palubě vozidla“ (On Board Diagnostics - OBD). Předpisy k těmto účelům byly stanoveny 1. definicí OBD I a byly v Kalifornii povinně zavedeny u vozidel s modelovým rokem 1988. Účelem bylo sledovat škodlivé emise přímo v místě jejich vzniku, tedy ve vozidle. Řídicí systémy OBD I sledovaly všechny důležité komponenty ovlivňující vznik emisí, ovšem tato kontrola byla omezena jen na zjištění jejich chybné funkce. Závada musela být uložena do paměti závad v řídicí jednotce a její přítomnost byla signalizována přímo řidiči pomocí kontrolky MIL (Malfunction Indicator Light) vestavěné v přístrojové desce. Tím byla současně umožněna jednoduchá kontrola policejními hlídkami. Vyhodnocování závad uložených v řídicí jednotce probíhalo vyčtením blikacího kódu v odborné dílně. Ve stejném roce byl také zaveden program inspekce a údržby I/M (Inspection and Maintenance), jehož cílem bylo provádět pravidelné inspekce vozidel v certifikovaných zkušebních stanicích vybavených potřebnou diagnostickou technikou a odborně vyškoleným personálem.

Přísné ekologické normy se dále vyvíjely a od modelového roku 1994 platí pro vozidla prodávaná v USA 2. stupeň, tzv. OBD II. Její zavádění bylo postupné a přechodová lhůta pro výrobce vozidel a systémů vypršela 1. 1. 1996. Nároky kladené na systémy OBD II jsou však podstatně vyšší než u systémů OBD I. Systémy OBD II musí např. trvale sledovat:

- účinnost katalyzátoru,
- výpadky ve spalování,
- funkci systému odvodu palivové nádrže a jeho těsnost,
- funkci systému sekundárního vzduchu,
- funkci lambda-sond,
- funkci systému recirkulace spalin.

Kromě závad jsou do paměti závad v řídicí jednotce ukládány také provozní podmínky, tzv. „Freeze Frame“, za kterých k závadě došlo (např. otáčky motoru, teplota apod.). Dosavadní dva možné stavy kontrolky MIL (zhasnuta - bez závad, svítící - závada) byly rozšířeny o funkci jejího blikání. Velkého pokroku bylo dosaženo také normalizací:

- protokolů komunikace mezi testerem a řídicí jednotkou systému řízení motoru (odpadla funkce blikacího kódu),
- tvaru a umístění diagnostické zásuvky a jednotného obsazení jednotlivých pinů,
- testerů pro komunikaci s ŘJ,
- struktury a formátu kódů závad,
- označení komponentů/systémů, které byly v detailech stanoveny a popsány normovací organizací (Society of Automobile Engineers - SAE) v celé řadě norem.



## Vývoj v Evropě

Znečištění ovzduší způsobené automobilovou dopravou nebylo v šedesátých a sedmdesátých letech minulého století v evropských zemích ani zdaleka tak vysoké jako v některých státech USA. Proto také první opatření omezující provoz vozidel z hlediska emisí byla v Evropě zaváděna až v osmdesátých letech. Vzorem pro Evropu byly americké předpisy a normy, které byly v letech 1985 až 1989 zpracovány a upraveny mezinárodní normovací organizací ISO (International Organization for Standardization - ISO).

Norma ISO 9141, vydaná v roce 1989, se pokusila stanovit:

- jednotné diagnostické zásuvky,
- požadavky na diagnostickou techniku,
- obsahy komunikačních protokolů,
- rozsah přenášených dat.

Tento návrh se však v praxi téměř neuplatnil. Nejpřesvědčivějším důkazem jsou rozdílné tvary a zapojení diagnostických zásuvek a rozdílný obsah komunikačních protokolů u různých výrobců vozidel v nedávné minulosti.

Podle normy OBD II byla v roce 1991 vytvořena norma DIN ISO 9141-2, která přizpůsobila americkou normu OBD II evropským podmínkám. Diagnostická zásuvka, popisy diagnostických testerů, obsahy komunikačních protokolů a definice chybových kódů byly převzaty prakticky beze změn. Evropští výrobci vozidel a systémů přitom dokázali prosadit, aby nově vzniklá evropská norma ISO 9141-2 byla zahrnuta do definice OBD II. Tím bylo zajištěno, že řídicí jednotky podle OBD II dokázaly komunikovat jak podle americké normy SAE, tak také podle evropské normy ISO.

Evropský parlament, podporovaný MVEG (Motor Vehicle Emission Group), navrhl, aby byla vytvořena evropská směrnice, která v Evropské unii závazně zavede systém podobný OBD II. Vznikla tak směrnice 98/69/ES, která přinesla celou řadu změn, z nichž nejvýznamnější jsou:

- přepracovaný jízdní cyklus pro typové zkoušky vozidel,
- předepsané emisní limity pro období 2000 až 2005,
- dodatečné testovací cykly pro emise par z palivové nádrže a klikové skříně,
- dodatečné testovací cykly také při startu se studeným motorem,
- zkoušky vozidel v provozu s povinností výrobce vozidla odstranit zjištěné závady,
- povinnost zavedení EOBD s uvedením časového harmonogramu pro různé kategorie vozidel,
- povinnost výrobců vozidel a systémů uvolnit všechny informace, které jsou nezbytné pro diagnostiku, údržbu nebo opravu vozidel.

Praktickým výsledkem této směrnice bylo, že všechny nově přihlašované typy osobních vozidel se zážehovým motorem musely v Evropské unii s platností od 1. 1. 2000 splňovat emisní limity dle Euro III a jejich systém řízení motoru musel být kompatibilní s EOBD. Od 1. 1. 2001 se tato povinnost vztahovala na všechna vyráběná vozidla se zážehovým motorem bez ohledu na to, kdy proběhla jejich typová zkouška. V následujících letech probíhalo další zavádění zpřísněných emisních limitů Euro III a Euro IV pro různé druhy vozidel.

### Popis systémem monitorovány okruhů a funkcí

Systémy řízení zážehových motorů s EOBD se od klasických systémů liší zejména v tom, že trvale sledují:

- funkci lambda-sondy;
- účinnost katalyzátoru;
- výpadky ve spalování;
- funkci systému odvodu palivové nádrže a jeho těsnost (předpis jen pro OBD II);
- funkci systému sekundárního vzduchu;
- funkci systému recirkulace spalin.
- funkci regulace plnicího tlaku vzduchu
- funkci elektrického pedálu akcelerace
- funkci sběrnice CAN-BUS

U modelů s OBD II (USA) je navíc trvale sledována těsnost systému klimatizace.

### **Sledování funkce lambda-sond**

Systém řízení motoru s EOBD používá dvě lambda-sondy. První, označovaná jako regulační, je umístěna před katalyzátorem a její signál využívá řídicí jednotka k regulaci bohatosti směsi. Regulační frekvence je podmíněna vlastnostmi lambda-sondy a dobou, za kterou výfukové plyny urazí vzdálenost ze spalovacího prostoru k lambda-sondě. Regulační frekvence u nové lambda-sondy je ve volnoběhu asi 0,5 Hz a s rostoucím množstvím proudícího plynu vzrůstá. V důsledku postupného stárnutí lambda-sonda reaguje pomaleji na změny obsahu kyslíku ve výfukových plynech. Regulační frekvence tak se stárnutím lambda-sondy klesá. Vlivem stárnutí klesá také amplituda napětíového signálu, což je způsobeno nárůstem napětí u chudé směsi. U nové lambda-sondy dosahuje minimální napětí odpovídající chudé směsi přibližně hodnoty 100 mV. U stárnoucí lambda-sondy může dosáhnout hodnoty až 400 mV. Dochází tak k postupnému snižování amplitudy z 800 mV (900 mV - 100 mV) až na hodnotu 500 mV (900 mV - 400 mV).

Druhá lambda-sonda, označovaná jako monitorovací, je umístěna za katalyzátorem, kde je vystavena menšímu namáhání než sonda před katalyzátorem. Proto ji lze kromě monitorování účinnosti katalyzátoru použít také jako řídicí regulátor pro konvenční lambda regulaci a pro odstranění nepříznivého efektu stárnutí první lambda-sondy. [1, 2]

U obou lambda-sond se trvale kontroluje:

- vnitřní odpor;
- výstupní napětí;
- rychlost přechodu „chudá“ na „bohatá“;
- rychlost přechodu „bohatá“ na „chudá“;
- přerušení;
- zkrat na plus a na minus;
- vyhřívací proud.

U lambda-sondy před katalyzátorem se navíc kontroluje perioda signálu. Kontrola se provádí při jízdě, asi po 20 sekundách relativně konstantních provozních podmínek, zejména otáček motoru, jeho zatížení a teploty. Kontrola se neprovádí, pokud není motor zahřátý na provozní teplotu nebo pokud řídicí jednotka pracuje v nouzovém režimu. Naměřené hodnoty trvale sledovaných veličin jsou porovnávány s předepsanými hodnotami uloženými v řídicí jednotce. Pokud je naměřená hodnota mimo tolerance, je aktivována kontrolka (MIL).

Během každého jízdního cyklu se navíc kontroluje doba ohřevu lambda-sond na provozní teplotu. Provádí se měřením doby od nastartování studeného motoru do okamžiku, než lambda-sonda začne generovat napětí. Změřená doba se porovnává s hodnotou uloženou v řídicí jednotce.

### **Sledování účinnosti katalyzátoru**

Funkce katalyzátoru (snížení obsahu uhlovodíků a oxidu uhelnatého) není možná bez chemických reakcí s kyslíkem. Při těchto chemických reakcích je kyslík spotřebováván. Za měřítko účinnosti katalyzátoru může být tedy považována jeho schopnost snižovat obsah kyslíku. Aby do katalyzátoru vstupovaly výfukové plyny s obsahem kyslíku, potřebným pro chemické reakce vedoucí ke snížení obsahu škodlivých látek, je před katalyzátorem umístěna lambda-sonda, měřící obsah vstupujícího kyslíku. Amplituda napětíového signálu první lambda-sondy dosahuje v optimálním případě hodnoty přibližně 800 mV (900 mV - 100 mV).

Pro získání informace o účinnosti katalyzátoru je za katalyzátorem umístěna druhá lambda-sonda, která měří obsah kyslíku ve výfukových plynech vystupujících z katalyzátoru. Regulační napětí lambda-sondy za katalyzátorem je u správně fungujícího katalyzátoru ovlivněno podstatně nižším, v optimálním případě nulovým obsahem kyslíku. Napětíový signál druhé lambda-sondy je tak relativně konstantní a má hodnotu přibližně 700 mV. Z rozdílu amplitud regulačního kmitání obou lambda-sond lze zjistit stupeň účinnosti katalyzátoru. Pokud bude naopak klesat, bude hodnota amplitudy napětíového signálu druhé lambda-sondy stoupat.

U systému s EOBD se provádí kontrola účinnosti katalyzátoru jednou za jízdní cyklus. Podmínky této kontroly jsou stejné jako u kontroly funkce lambda-sond. Katalyzátor je hodnocen jako vadný, pokud jsou překročeny následující emisní limity: 3,2 g/km CO; 0,4 g/km HC; 0,6 g/km NO<sub>x</sub>.

### **Sledování výpadků ve spalování**

Výpadky ve spalování nastávají v okamžiku, kdy v některém válci nedojde ke spalování vlivem chybné funkce zapalování, přípravy směsi nebo mechanické závady.

V důsledku výpadků ve spalování může dojít ke zvýšeným emisím škodlivých látek ve výfukových plynech a vlivem vysokých teplot může dojít až k trvalému poškození katalyzátoru. Teploty nad 1400 °C vedou k úplnému zničení katalyzátoru v důsledku roztavení nosného materiálu.

Sledování výpadku ve spalování je založeno na tom, že v okamžiku výpadku dochází k poklesu úhlové rychlosti klikové hřídele. Řídící jednotka sleduje úhlovou rychlost klikové hřídele pomocí příslušného snímače. Každému válci je přiřazen stejný počet impulzů, které za čas tvoří jeden cyklus. Pokud je délka cyklu pro všechny válce stejná, pracuje motor rovnoměrně. Při výpadku spalování se doba cyklu příslušného válce prodlouží. Pro jednoznačnou identifikaci válce, jehož spalování bylo chybné, je potřebná identifikace 1. válce např. ve formě snímače polohy vačkové hřídele.

Nerovnoměrné otáčení klikové hřídele však kromě výpadků ve spalování může způsobit závady v mechanice motoru, stejně jako nerovný povrch vozovky, použití sněhových řetězů nebo nestandardní chování řidiče. Účinek těchto vlivů se na nerovnoměrné otáčení klikové hřídele projeví zpětně přes kola a pohonnou soustavu.

Tyto uvedené příčiny změny úhlové rychlosti je nutno odlišit od výpadků ve spalování. K jejich identifikaci lze např. použít snímače zrychlení na karoserii nebo velmi podrobné analýzy signálu ze snímače klikové hřídele.

Kontrola výpadků ve spalování se neprovádí, pokud je v nádrži méně paliva než 20 % z celkové kapacity a pokud otáčky motoru překročí hodnotu 4500 min<sup>-1</sup>.

Výpadky ve spalování jsou řídicí jednotkou rozpoznány během jedné otáčky klikové hřídele. Jejich vyhodnocování probíhá ve dvou časových úsecích, které se liší počtem vykonaných otáček motoru. Pokud je zjištěn výpadek ve spalování v cyklu odpovídajícím 200 až 1000 otáčkám KH, hrozí vážné nebezpečí poškození katalyzátoru. Je vypnuta dodávka paliva do příslušného válce, vypnuta lambda-regulace, závada je uložena do paměti a řidiči je tento stav signalizován blikáním kontrolky (MIL). Pokud nebezpečí výpadku pominulo a poškození katalyzátoru již nehrozí, přejde blikání kontrolky do trvalého svícení. Při následném startu je dodávka paliva a lambda-regulace opět obnovena.

Pokud je výpadek ve spalování zjištěn v cyklu, během kterého motor provedl 1000 až 4000 otáček, hrozí nebezpečí zvýšení emisí škodlivých látek. Tato závada je nejprve uložena do paměti řídicí jednotky. Pokud je v následujícím cyklu opět zjištěn výpadek ve spalování, je navíc rozsvícena kontrolka (MIL). Do paměti bude uložena další závada, pokud během dalších 80 cyklů (jeden cyklus odpovídá 1000 až 4000 otáčkám) došlo k výpadku za obdobných provozních podmínek (otáčky motoru ± 375 min<sup>-1</sup>, rozdíl zatížení do 20 %, porovnatelná teplota motoru).

### **Sledování systému odvodu palivové nádrže a jeho těsnosti**

V palivové nádrži dochází k odpařování paliva nejčastěji vlivem teploty okolí a vlivem ohřátého přebytečného paliva, které se do nádrže vrací zpětným vedením palivového systému. Zanedbatelný není ani vliv poklesu tlaku okolí, např. při jízdě do kopce s velkým výškovým převýšením. U starších motorových vozidel se dostávalo toto palivo v plynné formě přes odvodu palivové nádrže a příp. netěsnosti do atmosféry. U klasických systémů řízení motoru byly výpary benzinových par z palivové nádrže pohlcovány v nádobce s aktivním uhlím a v určitých režimech motoru přiváděny do sacího potrubí motoru a následně spalovány. Vlivem stárnutí a mechanických poškození však docházelo k netěsnostem, jejichž důsledkem bylo odpařování paliva do atmosféry. Přísné normy pro emise uhlovodíků tak nebyly v praxi dodržovány. U systému řízení motorů s OBD II (USA)

je proto systém odvodu vzduchu navržen tak, aby bylo možné upozornit na jeho netěsnost. Norma EOBD tento velmi přísný požadavek výrobcům vozidel nepředepsala. Přesto však evropští výrobci tento systém u svých vozidel používají.

Plynné výpary paliva jsou u stojícího motoru zachycovány filtrem s aktivním uhlím. Palivová nádrž je regeneračním ventilem spojena se sacím potrubím. Při běžícím motoru se regenerační ventil otevře a výpary paliva se podtlakem vyvolaným v sacím potrubím odsávají z filtru s aktivním uhlím. V důsledku toho je aktivní uhlí regenerováno a opět připraveno pro uložení benzinových výparů. Výpary paliva pocházející z filtru s aktivním uhlím jsou součástí nasávaného poměru palivo/vzduch a jsou tak zahrnuty do lambda-regulace.

Kontrola těsnosti systému odpařování paliva se provádí 1x za jízdní cyklus. Přitom se uzavře uzavírací ventil a současně se otevře regenerační ventil. V důsledku toho je celý systém odpařování paliva připojen na podtlak sacího potrubí. Potom se regenerační ventil znovu uzavře. Snímač tlaku sleduje změnu podtlaku v palivové nádrži. Tímto způsobem se zjistí případné netěsnosti. Tento systém vyžaduje pojistný ventil ve víku palivové nádrže, aby se zamezilo případným přetlakům, popř. podtlakům, pokud jeden z obou ventilů (uzavírací nebo regenerační) nebude pracovat správně.

Systém odvodu vzduchu palivové nádrže je u systému OBD II (USA) označen jako vadný, pokud dochází k úniku odpovídajícímu otvoru s průměrem 1 mm pro vozidla od modelového roku 1995 a 0,5 mm pro vozidla od modelového roku 2000.

### **Sledování systému sekundárního vzduchu**

Přifukováním sekundárního vzduchu (účinné pouze ve fázi po startu a ve fázi zahřívání) do výfukového potrubí se následným spálením snižuje obsah škodlivých látek CO a HC a vzniklým teplem se také dosahuje rychlejšího zahřátí katalyzátoru na provozní teplotu. Přifukování sekundárního vzduchu je ve fázi po startu a ve fázi zahřívání (do 40 °C) důležité, protože motor je provozován s bohatší směsí a v jeho výfukových plynech není pro exotermickou reakci dostatek kyslíku.

Kontrola funkce systému sekundárního vzduchu se provádí u systému s EOBD a OBD II (USA) rozdílným způsobem.

Systém EOBD kontroluje funkci systému pouze přes elektrický okruh dmyhadla sekundárního vzduchu. Při poklesu otáček dmyhadla klesá napětí a z jeho změny získává řídicí jednotka informace o výkonu dmyhadla nebo o jeho mechanickém a elektrickém stavu. Protože se při otevření a uzavření ventilu sekundárního vzduchu mění výkon dmyhadla, může být nepřímo sledována funkce ventilu sekundárního vzduchu. Někteří výrobci do tělesa sekundárního vzduchu integrují jednoduché měřiče hmotnosti vzduchu a vyhodnocují pak jeho signál.

Systém OBD II (USA) umožňuje kontrolu funkce systému pomocí lambda-sondy. Systém je označen jako vadný, když nelze udržet průtok sekundárního vzduchu v rámci výrobcem stanovených hodnot. Jedna z metod často používaných v praxi zapíná během první fáze volnoběhu po startu dmyhadlo sekundárního vzduchu na jednu a půl minuty. Během této doby je vstřikování paliva řízeno tak, že nereaguje na přebytek sekundárního vzduchu zjištěného lambda-sondou. Lambda-sonda, která je připravena k provozu přibližně po 20 sekundách, reaguje na přebytek vzduchu a hlásí tento stav řídicí jednotce. Množství sekundárního vzduchu se zjišťuje z odchylky lambda-integrátoru.

### **Sledování systému recirkulace spalin**

Recirkulace spalin slouží výhradně k tomu účelu, aby se v určitých provozních stavech přimíchaly do směsi vzduch/palivo výfukové plyny a tím se v důsledku nižšího obsahu kyslíku snížila špičková teplota spalování ve spalovacím prostoru. Poklesem maximálních spalovacích teplot se dosáhne redukce emisí NOx. Při stejném plnění válce čerstvým vzduchem je recirkulací spalin dosaženo většího celkového naplnění válce. Díky tomu musí být motor škrtící klapkou méně škrcen, aby bylo dosaženo určitého točivého momentu. Důsledkem je zvýšení účinnosti a snížení spotřeby paliva.

Pro ovládání recirkulace spalin se v současnosti nejčastěji používají pneumatické systémy, které v závislosti na množství vzduchu, poloze škrtkové klapky, tlaku v sání nebo protitlaku ve výfuku přivádějí zpět odpovídající množství výfukových plynů. Nejčastěji se používá recirkulace spalin ve spojení s tzv. ventilem recirkulace spalin, nazývaným také EGR-ventil (Exhaust Gas Recirculation). Tento ventil je nejčastěji otevírán podtlakem (např. ze sacího potrubí) a uzavírán tlakem pružin. Recirkulace se provádí vždy při zahřátém motoru ( $> 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), zejména v oblasti středního zatížení a množství zpětně vedených výfukových plynů může u zážehových motorů dosahovat až cca 10 % z nasávaného vzduchu. Recirkulace spalin neprobíhá ve volnoběhu.

Sledování funkce systému recirkulace spalin probíhá nejčastěji dvěma způsoby. U prvního způsobu se ventil recirkulace spalin krátkodobě otevře během decelerace motoru. Takto vzniklé zvýšení tlaku v sacím potrubí je důkazem správné funkce recirkulace spalin.

Druhý způsob vyžaduje snímač teploty integrovaný do ventilu recirkulace spalin. U zavřeného ventilu je měřená teplota velmi blízko teplotě nasávaného vzduchu. U otevřeného ventilu teplota vzrůstá a závisí na množství zpětně vedených výfukových plynů. Měřením teploty tak lze ověřit správnou funkci systému recirkulace spalin.

### **Sledování plicního tlaku vzduchu**

U turbomotorů je v rámci EOBD kontrolováno, zda plicní tlak vzduchu nepřekračuje maximální povolenou mez. Tím je motor chráněn, aby nebyl namáhán příliš velkým plicním tlakem vzduchu. Vlivem závady v regulaci plicního tlaku vzduchu se může stát, že dojde k překročení maximálního povoleného tlaku plicního vzduchu. Snímač plicního tlaku vzduchu hlásí řídicí jednotce motoru aktuální tlak plicního vzduchu a řídicí jednotka motoru je schopna rozpoznat závadu.

V případě závady v regulaci plicního tlaku vzduchu nestačí jen závadu signalizovat a uložit ji do paměti. Musí dojít k vypnutí turbodmyhadla, aby nedošlo k poškození motoru. Otevře se „Wast-Gate“ turbodmyhadla a výfukové plyny, které turbodmyhadlo v normálním případě pohánějí, budou vzniklým obtokem odvedeny (bypass).

### **Sledování systému elektrického pedálu akcelerace**

Požadavek řidiče přidáním nebo ubráním plynu se v podobě signálů z elektrického pedálu akcelerace přenáší do řídicí jednotky motoru. Řídicí jednotka motoru ze získaných signálů vypočítá, jak požadavek řidiče optimálně provést. Realizace se provádí přes elektromotoricky nastavitelnou škrtkovou klapku, zapalování a vstřikování. Tak je možno přizpůsobit nastavení škrtkové klapky za každé jízdní situace daným rámcovým požadavkům.

EOBD využívá i diagnostických funkcí elektrického pedálu akcelerace. Kontroluje se snímač polohy pedálu akcelerace a snímače úhlu pro pohon škrtkové klapky. Na závady upozorňuje kontrolka systému elektrického pedálu akcelerace – EPC (Electronic Power Control). Zůstanou-li závady i v následujících jízdních cyklech, rozsvítí EOBD i kontrolku emisí – MIL (Malfunction Indicator Light).

### **Sledování komunikace po datovém vedení CAN-BUS**

Řídicí jednotka motoru zná řídicí jednotky, které si vyměňují informace po datovém vedení CAN-BUS. Jestliže klesne výměna informací pod „minimální“ úroveň, vyhodnotí tuto situaci řídicí jednotka motoru jako závadu. Všechny řídicí jednotky napojené na CAN-BUS pravidelně vysílají do řídicí jednotky motoru zprávy. Ta pozná, že nechybí zpráva od žádné řídicí jednotky. Stav sběrnice CAN-BUS je označen jako funkční.

Za situace, že řídicí jednotka zprávy do řídicí jednotky motoru posílat nemůže, ať už z jakékoliv příčiny, pozná řídicí jednotka motoru, že zprávy nejsou kompletní. Identifikuje, z které řídicí jednotky zprávu nedostává, a uloží závadu do paměti.

### **Readinesscode**

V rámci EOBD je průběžně kontrolována činnost všech elektrických součástí, které se podílejí na složení výfukových plynů. Navíc jsou v pravidelných intervalech kontrolovány

systemy, které mají vliv na složení výfukových plynů, aby bylo možno zjistit odchylky (např. zpětné vedení výfukových plynů). Aby se zjistilo, že kontroly proběhly správně a úplně, používá se readinesscode.

Readinesscode je osmimístný číslicový kód, který informuje o stavu diagnostik ovlivňujících emise. Jestliže byla provedena diagnostika některého ze systémů (např. systému sekundárního vzduchu), nastaví se příslušné místo číslicového kódu z 1 na 0. Readinesscode 00000000 znamená, že jednotlivé diagnostiky proběhly úspěšně (Tabulka 1).

Tabulka 1 Význam 8-místného čísla Readinesscodu

Význam 8-místného čísla readinesscodu								Diagnostická funkce
1	2	3	4	5	6	7	8	
							0	katalyzátor
						0		vyhřívání katalyzátoru
					0			nádobka s aktivním uhlím
				0				system sekundárního vzduchu
			0					klimatizace
		0						lambda-sondy
	0							vyhřívání lambda-sondy
0								zpětné vedení výfukových plynů

Podle varianty motoru je možné, že některá z uvedených diagnostických funkcí nepřichází v úvahu. V takovém případě je na příslušném místě kódu „0“.

Diagnostiky se provádějí v normálním provozu v pravidelných odstupech. Po opravě systému, který má vliv na emise, se doporučuje vytvořit readinesscode, protože se tím zaručí, že systémy pracují podle předpisů. Jestliže je během diagnostiky rozpoznána závada, uloží se do paměti závad. Readinesscode se smaže při každém mazání paměti závad, příp. při přerušení napájení.

## 12.1 Komunikační protokoly

Činnost zážehového nebo vznětového motoru moderního vozu řídí elektronická řídicí jednotka - označuje se zkratkou ECU (z anglického "electronic control unit"). Řídicí program ECU neustále monitoruje snímací čidla a podle jejich stavu reguluje dodávku paliva, kontroluje otevírání ventilů, řídí časování zážehu a další činnosti. Motor ale není jediné zařízení, které má elektronickou řídicí jednotku. Moderní vozy jsou vybaveny protismykovým/protiprokluzovým systémem ABS/ASR, častá je automatická převodovka, svou ECU má palubní deska před řidičem ale i další systémy. [3]

Údaje z některých čidel jsou potřebné pro více zařízení. Například aktuální otáčky motoru jsou důležité i pro ECU automatické převodovky či palubní desky. Je sice možné propojit samostatnými vodiči všechny ECU s potřebnými snímacími čidly, ale takové „prodrátování“ není ideálním řešením: s rostoucím počtem vodičů roste pravděpodobnost špatných spojů, nastávají problémy s výkonovým zatížením čidel, se vzájemným ovlivňováním připojených jednotek.

Dalším problémem je správná koordinace činnosti několika zařízení. Uvažujme například součinnost motoru, ABS/ASR a automatické převodovky. Optimální funkce celého systému vyžaduje, aby bez ohledu na míru sešlápnutí akcelérátoru došlo před změnou převodového stupně ke snížení otáček motoru a po přeřazení opět k jejich zvýšení a to tak, aby nedošlo k prokluzu kol a přitom byl co nejrychleji splněn řidičův požadavek na rychlost, vyjádřený polohou akcelérátoru. Přenos informací k zabezpečení takových koordinací vyžaduje samostatná propojení vodiči. Některé funkce nelze klasickým „prodrátováním“ vyřešit vůbec – například

stabilizaci vozidla ve smyku, kdy je nutné koordinovat činnost motoru, ABS, převodovky, s ohledem na signály z čidel otáčení kol, zpomalení vozidla a rychlosti otáčení volantu. Dále by bylo vhodné koordinovat i činnost zařízení zvyšujících bezpečí a komfort jízdy: airbagů a bezpečnostních pásů s motorem a brzdami, immobilizérů a elektrických ovladačů oken se zabezpečujícími prvky, ovládání sedadel a zpětných zrcátek.

Moderní řídicí jednotka ECU je vlastně počítač; má řídicí procesor, má paměti pro výkonný program, pro předdefinované parametry i pro proměnná data, má vstupy a výstupy. A je přirozené jednotlivé ECU spolu propojovat a vytvářet z nich síť, v rámci které mohou ECU komunikovat. Aby mohly ECU vzájemně komunikovat a vyměňovat si informace, musí se řídit stejným souborem pravidel – stejným protokolem. Komunikační protokol definuje nejen vlastnosti fyzického propojení (počet vodičů a jejich vlastnosti, rozsah elektrických napětí, frekvenci...), ale i způsob zahajování a ukončování přenosu, adresování, kódování dat, kontrolní mechanismy a další.

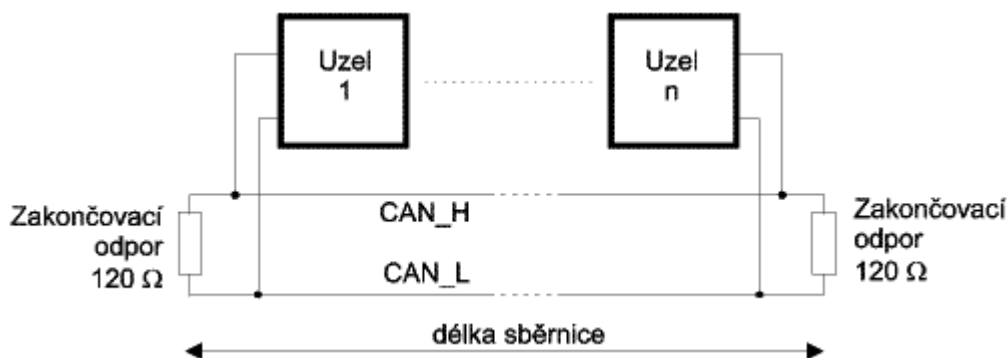
Standardsy komunikačních protokolů [4]:

- **SAE J1850 PWM** – datový komunikační protokol s rychlostí přenosu 41,6 kb/s (PWM – Pulse Width Modulation),
- **SAE J1850 VPW** – datový komunikační protokol s rychlostí přenosu 10,4 kb/s (VPW – Variable Pulse Width),
- **ISO 9141-2** – datový komunikační protokol s rychlostí přenosu 10 kb/s,
- **ISO 14230-3** – datový komunikační protokol KWP2000, jedná se o novější verzi ISO 9141-2 s rychlejší inicializací,
- **ISO 14230-4** – datový komunikační protokol KWP2000 ve vztahu k emisím škodlivin,
- U vozidel koncernu VW Group se lze pro vozidla vyrobená do roku 2000 setkat s datovým komunikačním protokolem **KWP1281**, který byl poté nahrazen novějším **KWP2000**
- Dalším standardem zahrnutým do komunikace s řídicí jednotkou je **CAN (ISO 15765-4)** – datový komunikační protokol s rychlostí přenosu 1 Mb/s,
- **LIN( Local Interconnect Network)** - je otevřený komunikační protokol primárně určený k propojování lokálních sítí v dopravních prostředcích. LIN umožňuje cenově efektivní propojení a sériovou komunikaci inteligentních senzorů a akčních členů v systémech, kde není požadována velká přenosová rychlost, univerzálnost a robustnost složitějších sběrnic, například CAN.

## 12.2 Controller Area Network – CAN ( ISO 11898, ISO 11519)

Výrobci elektronických součástek a řídicích jednotek postupně vytvořili celou řadu komunikačních protokolů s různým určením. V polovině 80-let dvacátého století se díky výsadnímu postavení německých automobilek začal prosazovat protokol Controller Area Network – CAN, vyvíjený firmou Bosch. [5, 6]

V roce 1991 firma Bosch zveřejnila popis protokolu "CAN Specification Version 2.0" a zároveň začala výrobcům elektronických součástek přidělovat bezplatné licence na výrobu integrovaných řadičů sběrnice CAN. O dva roky později byl protokol CAN ve specifikaci 2.0A (tzv. "standardní" 11-bitový identifikátor) a 2.0B (tzv. "rozšířený", 29-bitový identifikátor) vydán jako standard ANSI / ISO 11898. Tím začalo vítězné tažení protokolu, který se stal dominantním v konstrukci dopravní techniky, zemědělských strojů a ve strojírenství obecně, ale i v měřicí, kontrolní a řídicí technice výrobních celků. Na základě protokolu CAN se od 90-let dále vyvíjí další protokoly: DeviceNet, CANopen, SDS (Smart Distributed System)...



Obrázek 109 Principiální struktura sítě CAN podle ISO 11898

CAN je sériová sběrnice - fyzicky ji tvoří dva vodiče, v praxi nazývané „páteř“ a ve schématech označované CAN H a CAN L, na obou koncích propojené odpory o hodnotě 120 Ω. Pro zvýšení odolnosti vůči elektromagnetickému rušení se používají vodiče v provedení "kroucená dvojlinka" (twisted pair) nebo stíněné vodiče. Jednotlivá zařízení se k páteři připojují jako odbočky. Díky sběrnicevému uspořádání má každé zařízení přímý přístup ke všem ostatním zařízením, bez ohledu na to, zda z páteře odbočují hned vedle sebe nebo na opačném konci sběrnice. Délka odbočky by měla být do 1 metru, vzájemná vzdálenost dvou sousedních odboček z páteře alespoň 10 cm. Informace se po sběrnici předávají ve formě zpráv. Každé zařízení může vysílat libovolný počet zpráv. Vysílání může být periodické nebo jako reakce na určitý podnět (žádost o data od jiné jednotky, změna stavu...).

Základní filosofií výměny informací lze vyjádřit větou "kdo chce, ten vysílá, a koho to zajímá, ten reaguje". Rozhodnutí, zda je či není aktuální zpráva pro danou jednotku "důležitá", dělá řídicí program jednotky podle identifikátoru, který každou zprávu uvádí. Z toho samozřejmě vyplývá požadavek: v rámci jedné sítě CAN nesmí být stejný identifikátor pro dvě různé zprávy!

Název protokolu CAN (Controller Area Network - lokální síť řídicích jednotek) naznačuje, že síť založená na protokolu CAN je sítí "rovnoprávných" jednotek. Není tu žádná nadřazená jednotka (arbitr), která by řídila výměnu dat a provoz sběrnice. To je výhodné, protože porucha kterékoliv jednotky nebrání v pokračování komunikace těch zbylých, zatímco porucha případného arbitra by znamenala kolaps celé sítě. Musí ale existovat mechanismus, který zajistí rozhodování v případě, že se dvě nebo více jednotky pokusí začít vysílat současně. V identifikátoru zprávy je obsažena i informace o prioritě zprávy. Při kolizi ve vysílání jednotky vzájemně porovnávají prioritu vysílaných zpráv a ve vysílání pokračuje pouze jednotka s vyšší prioritou, zatímco zbývající se o vyslání své zprávy pokusí znovu po dokončení. Priorita není vlastnost jednotky, ale samotné zprávy; nejvyšší prioritu vyjadřuje hodnota 0. Za identifikátorem následuje datová část, jejíž obsah je identifikátorem určen. Informace o délce datové části (počtu bytů) je také kódována v identifikátoru zprávy.

Protokol CAN byl projektován pro nasazení v průmyslových podmínkách a proto základním požadavkem bylo zajištění vysoké spolehlivosti přenosu. Všechny jednotky monitorují všechny vysílané zprávy a kontrolují, zda aktuální zpráva je úplná a zda není poškozena. K tomu slouží několik mechanismů:

- kontrolní součet,
- přidavný bit opačné hodnoty automaticky vkládaný po 5 bitech stejné hodnoty,
- rámcový součet.

Pokud vše souhlasí, odvysílají přijímající jednotky potvrzení o správnosti, které přijme vysílající jednotka. Každá jednotka obsahuje mechanismus, který zajistí její automatické odpojení od CAN, pokud by byla zdrojem příliš mnoha chybových zpráv, aby kvůli vlastní poruše zbytečně nezatěžovala, případně úplně neblokovala komunikaci ostatních jednotek.



Zprávy vysílané na CAN můžeme podle účelu rozdělit na dva druhy:

- významové pro komunikaci mezi dvěma uzly (datová zpráva, žádost o data,...)
- režijní ..... pro správu sítě (chybová zpráva, zpráva o přetížení,...).

V definujících normách ISO 11898 a ISO 11519 se aplikuje protokol CAN na dva základní typy sběrnic:

- rychlý CAN (High-Speed) ..... přenosová rychlost od 125 000 bitů/s do 1 Mbitu/s, maximální délka páteřního vedení do 30 m
- pomalý CAN (Low-Speed) ..... přenosová rychlost nižší než 125 000 bitů/s, délka páteřního vedení může být do 1000 m a sběrnice by měla zůstat funkční i v případě přerušení jednoho z vodičů.

Podrobný popis vlastností a parametrů sběrnice CAN, jak ji definuje norma ISO 11 898, lze najít na specializovaných www stránkách, například CAN Introduction nebo CAN in Automation (CiA).

## **Příklad implementace sběrnice CAN v koncernu VW**

### **CAN v koncernu VW**

V rámci koncernu VW jsou používány různé varianty datové sběrnice CAN. První variantou byla datová sběrnice CAN komfortního systému s přenosovou rychlostí 62,5 kBit/s. Následovala datová sběrnice CAN hnacího agregátu s přenosovou rychlostí 500 kBit/s. Datová sběrnice CAN hnacího agregátu je dnes použita ve všech modelech. [6, 7]

Od modelového roku 2000 jsou používány i datové sběrnice CAN komfortního systému a informatiky, každá s přenosovou rychlostí 100 kBit/s. Nová datová sběrnice CAN komfortního systému/informatiky je schopna si přes přístrojový panel s Gateway, vyměňovat data i s datovou sběrníci CAN hnacího ústrojí.

Z důvodu různých požadavků na potřebnou frekvenci opakování signálů, vznikajícího objemu dat a dostupnosti (pohotovosti) jsou systémy datové sběrnice CAN členěny následovně:

- Datová sběrnice CAN hnacího ústrojí (High-Speed) s 500 kBit/s slouží k síťovému propojení řídicích jednotek hnacího ústrojí.
- Datová sběrnice CAN komfortního systému (Low-Speed) s 100 kBit/s slouží k síťovému propojení řídicích jednotek komfortního systému.
- Datová sběrnice CAN informatiky (Low-Speed) s 100 kBit/s slouží k síťovému propojení např. autorádia, telefonu a navigačního systému.

Společné rysy systémů:

- Systémy podléhají stejným provozním předpisům na datové dálnici - komunikačnímu protokolu.
- K optimálnímu zabezpečení proti rušení (např. z prostoru motoru), jsou všechny systémy datové sběrnice CAN realizovány jako dvoudrátové vedení se zkroucenými vodiči (Twisted Pair).
- Vysílaný signál je vysílacím a přijímacím zařízením (Transceiver) vysílající řídicí jednotky opatřen různými úrovněmi a odeslán oběma vodiči CAN. Teprve v diferenciálním zesilovači přijímající řídicí jednotky je vytvořen rozdílový signál obou úrovní signálu a jako jediný upravený signál odeslán do oblasti příjmu CAN řídicí jednotky.
- Datová sběrnice CAN informatiky je svými vlastnostmi shodná s datovou sběrníci CAN komfortního systému. V modelech Polo (od modelového roku 2002) a Golf IV jsou datová sběrnice CAN informatiky a datová sběrnice CAN komfortního systému provozovány na společném páru vodičů.

Podstatné rozdíly systémů:

- Datová sběrnice CAN hnacího agregátu se vypíná svorkou 15, resp. po krátké době doběhu.
- Datová sběrnice CAN komfortního systému je napájena svorkou 30 a musí zůstat v pohotovostním režimu. Pro minimalizaci zatížení palubní sítě přejde systém po „vypnutí svorky 15“ do tzv. režimu spánku (Sleepmode), pokud již nebude nutný pro celkový systém.
- Datová sběrnice komfortního systému/informatiky může být při zkratu na vedení datové sběrnice, resp. při přerušení jednoho z vedení CAN, provozována dále se zbývajícím vedením. V tomto případě dojde k automatickému přepnutí do „jednodrátového provozu“.
- Elektrické signály datové sběrnice CAN hnacího ústrojí a datové sběrnice CAN komfortního systému/ informatiky jsou rozdílné.

Narozdíl od datové sběrnice CAN komfortního systému/informatiky, nesmí být datová sběrnice CAN hnacího ústrojí elektricky propojena s datovou sběrnici CAN komfortního systému/informatiky! Různé systémy datové sběrnice CAN hnacího ústrojí a komfortního systému/informatiky jsou ve vozidle propojeny přes Gateway. Gateway může být součástí řídicí jednotky, např. přístrojového panelu nebo řídicí jednotky palubní sítě.

### **Vlastnosti vedení CAN**

Datová sběrnice CAN je dvoudrátový systém s přenosovou rychlostí 100 kBit/s (komfortní systém/informatika) nebo 500 kBit/s (hnací ústrojí). Datová sběrnice CAN komfortního systému/informatiky je označována také jako Low-Speed-CAN a datová sběrnice CAN hnacího ústrojí jako High-Speed-CAN. Datová sběrnice CAN je zapojena paralelně ke všem řídicím jednotkám příslušného systému CAN. Obě vedení datové sběrnice CAN jsou nazývána CAN-High a CAN-Low vedení. Dva společně zkroucené vodiče vedení jsou nazývány Twisted Pair. Přes tato dvě vedení probíhá výměna dat mezi řídicími jednotkami. Vedení CAN jsou ve svazku kabelů identifikovatelná podle oranžové základní barvy. Vedení CAN-High datové sběrnice CAN hnacího agregátu je kromě toho označeno černou identifikační barvou. U datové sběrnice CAN komfortního systému je identifikační barva vedení CAN-High zelená a u datové sběrnice CAN informatiky fialová. Vedení CAN-Low mají vždy zelenou identifikační barvu.

Zvláštností koncernové datové sběrnice CAN je stromová struktura (Obrázek 110) propojení mezi řídicími jednotkami, která pro CAN není normovaná. Tato struktura však umožňuje optimální instalaci propojení řídicích jednotek.

### **Diferenciální přenos dat na příkladu datové sběrnice CAN hnacího agregátu**

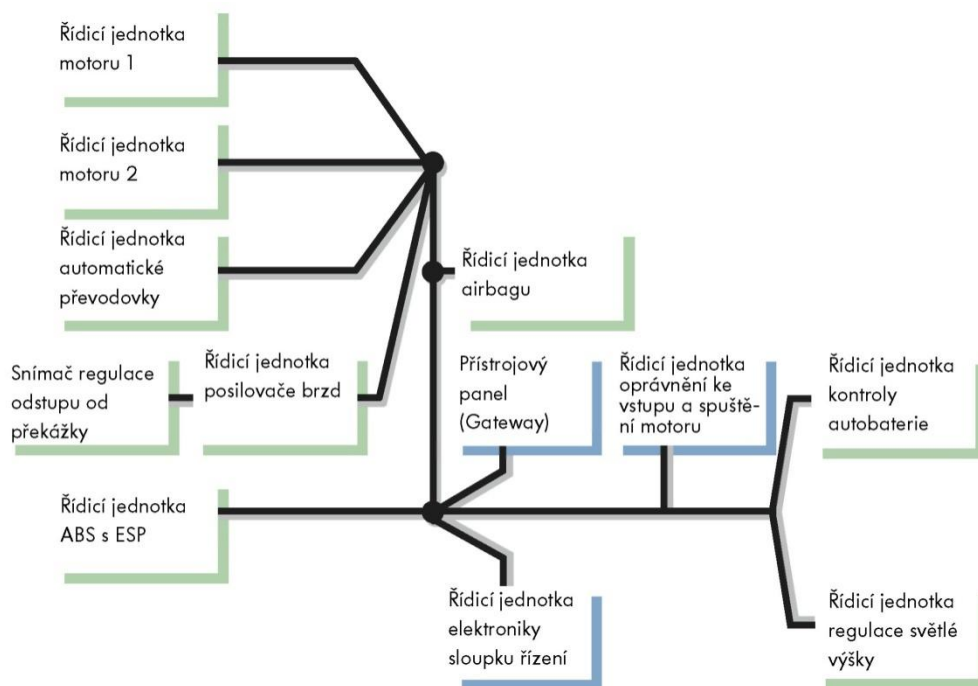
#### **Zvýšení spolehlivosti přenosu**

K dosažení vysoké spolehlivosti přenosu je u systémů datové sběrnice CAN používáno již zmiňované dvoudrátové vedení (Twisted Pair) s diferenciálním přenosem dat. Oba vodiče jsou pak označovány jako CAN-High a CAN-Low.

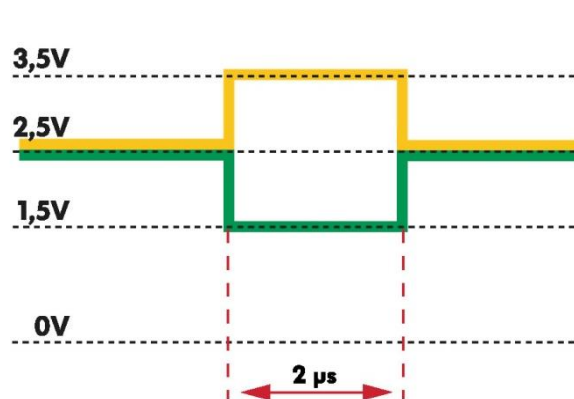
Změny napětí na vedeních CAN při změně mezi dominantním a recesivním stavem na příkladu datové sběrnice CAN hnacího ústrojí (Obrázek 111):

- V klidovém stavu jsou obě vedení na stejné definované hodnotě - klidové hladině. U datové sběrnice CAN hnacího agregátu se tato hodnota pohybuje kolem 2,5V. Klidová hladina je označována také za recesivní stav, protože může být změněna každou připojenou řídicí jednotkou.
- V dominantním stavu stoupne napětí na vedení CAN-High o definovanou hodnotu (u datové sběrnice CAN hnacího ústrojí min. o 1V). Napětí na vedení CAN-Low klesne o stejnou hodnotu (u datové sběrnice CAN hnacího ústrojí min. o 1V). Z toho vyplývá, že u datové sběrnice CAN hnacího ústrojí stoupne napětí na vedení CAN-High v aktivním stavu min. na 3,5V. Napětí na vedení CAN-Low klesne pak max. na 1,5V.

Z toho vyplývá rozdíl napětí mezi CAN-High a CAN-Low v recesivním stavu 0V a v dominantním stavu min. 2V.



Obrázek 110 Schéma topologie pro datovou sběrnici CAN hnacího ústrojí



Obrázek 111 Průběh signálu na příkladu datové sběrnice CAN hnacího ústrojí

## Vysílací a přijímací zařízení CAN (Transceiver)

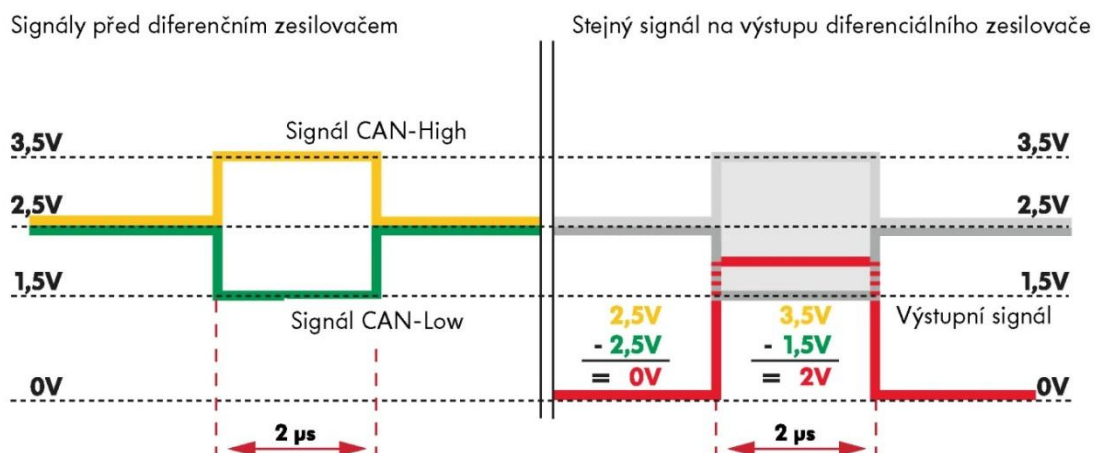
### Převod signálů z CAN-High a CAN-Low (datová sběrnice CAN hnacího ústrojí)

Přes transceiver jsou řídicí jednotky připojeny k datové sběrnici CAN hnacího ústrojí. V tomto zařízení je umístěn přijímač. Tento přijímač je diferenciálním zesilovačem na straně příjmu. Diferenciální zesilovač má za úkol vyhodnocovat přichozí signály z vedení CAN-High a CAN-Low. Kromě toho odesílá tyto převedené signály do oblasti příjmu řídicí jednotky. Tyto převedené signály jsou označovány jako výstupní napětí diferenciálního zesilovače.

Diferenciální zesilovač určuje výstupní napětí odečtem napětí na vedení CAN-Low ( $U_{CAN-Low}$ ) od

napětí na vedení CAN-High ( $U_{\text{CAN-High}}$ ). Tímto způsobem je odstraněna klidová hladina (u datové sběrnice CAN hnacího ústrojí 2,5V) nebo jiné překrývající napětí, např. poruchy.

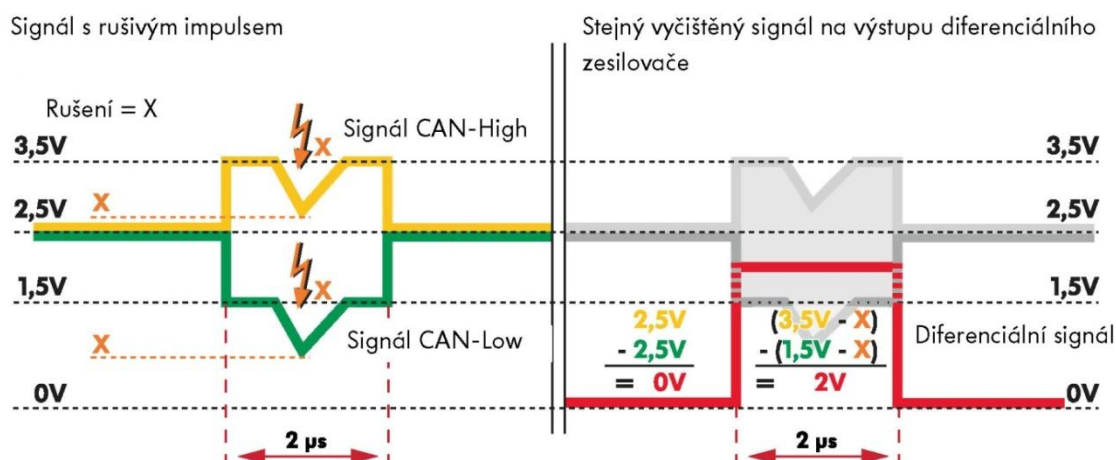
Narozdíl od datové sběrnice CAN hnacího agregátu je u datové sběrnice CAN komfortního systému /informatiky použit inteligentní diferenciální zesilovač. K umožnění tzv. „jednodrátového provozu“ vyhodnocuje tento zesilovač navíc signály na vedení CAN-High a CAN-Low jednotlivě.



Obrázek 112 Vyhodnocení v diferenciálním zesilovači na příkladu datové sběrnice CAN hnacího ústrojí

### Vyfiltrování rušení v diferenciálním zesilovači datové sběrnice CAN hnacího ústrojí

Vedení datové sběrnice jsou vedená i v prostoru motoru a jsou proto vystavena různým rušivým vlivům. Možnými poruchami mohou být zkratky na kostru a napětí baterie, přeskok jiskry zapalování a statické výboje. Díky vyhodnocování signálů vedení CAN-High a CAN-Low v diferenciálním zesilovači, jsou vlivy rušení na nejvyšší míru eliminovány. Další předností diferenciální techniky přenosu je, že kolísání palubní sítě (např. při spouštění motoru) nemá vliv na přenos dat k jednotlivým řídicím jednotkám (spolehlivost přenosu). Vzájemné zkroucení vedení CAN-High a CAN-Low (Twisted Pair) způsobí, že se rušivý impuls projeví stejnoměrně v obou vedeních. Protože diferenciální zesilovač odečítá napětí na vedení CAN-Low ( $1,5\text{V} - X$ ) od napětí na vedení CAN-High ( $3,5\text{V} - X$ ), rušivý impuls se při vyhodnocování anuluje a již se neobjeví v diferenciálním signálu  $(3,5\text{V} - X) - (1,5\text{V} - X) = 2\text{V}$ .



Obrázek 113 Vyfiltrování rušení v diferenciální zesilovači (datová sběrnice CAN hnacího ústrojí)

### **Zesílení signálů řídicí jednotky v transceiveru (datová sběrnice CAN hnacího ústrojí)**

Úkolem vysílací části transceiveru je zesílit relativně slabé signály CAN-řadičů (Controller) v řídicích jednotkách do té míry, aby dosáhly na vedeních CAN a na vstupech řídicích jednotek požadované hladiny.

Řídicí jednotky, připojené na datovou sběrnici CAN působí díky svým elektrickým součástkám jako zatěžovací odpor na vedeních CAN. Velikost zatěžovacího odporu závisí na počtu připojených řídicích jednotek a jejich odporu.

Řídicí jednotka motoru zatěžuje např. datovou sběrnici CAN hnacího ústrojí mezi CAN-High a CAN-Low 66 Ω. Každá z ostatních řídicích jednotek zatěžuje datovou sběrnici odporem 2,6 kΩ. Celkově to představuje zatížení 53-66 Ω, podle počtu připojených řídicích jednotek. Při vypnuté svorce 15 (zapalování) je možno tento odpor mezi CAN-High a CAN-Low změřit ohmmetrem.

Transceiver dodává signály CAN do obou vedení datové sběrnice CAN. Přitom odpovídá pozitivní změna napětí na vedení CAN-High stejně velké negativní změně napětí na CAN-Low. Na vedení CAN představuje změna napětí na datové sběrnici CAN hnacího ústrojí min. 1V, na datové sběrnici komfortního systému/informatiky min. 3,6V.

### **Zvláštnosti koncernové datové sběrnice CAN**

Narozdíl od datové sběrnice v její původní podobě, tedy se dvěma zakončovacími odpory na obou koncích datové sběrnice, používá VW rozptýlené zatěžovací odpory s jedním „centrálním zakončovacím odporem“ v řídicí jednotce motoru a vysokohohmovými odpory v ostatních řídicích jednotkách. Důsledkem jsou silnější reflexe, které však při malých délkách datové sběrnice v osobním vozidle nemají žádný negativní vliv. Zvláštností datové sběrnice komfortního systému/informatiky je, že zatěžovací odpory v řídicích jednotkách již nejsou umístěny mezi CAN-High a CAN-Low, nýbrž od každého vedení proti kostře, resp. proti 5V. Při vypnutí napětí baterie dojde i k vypnutí odporů, takže je není možno měřit ohmmetrem.

### **Vlastnosti a zvláštnosti datové sběrnice CAN hnacího ústrojí**

Datová sběrnice CAN hnacího agregátu s přenosovou rychlostí 500 kBit/s slouží k síťovému propojení řídicích jednotek u datové sběrnice CAN hnacího ústrojí.

Řídicí jednotky datové sběrnice CAN hnacího ústrojí jsou např.:

- řídicí jednotka motoru
- řídicí jednotka ABS
- řídicí jednotka ESP
- řídicí jednotka převodovky
- řídicí jednotka airbagu
- přístrojový panel

Výměna dat mezi řídicími jednotkami je uskutečňována přes vedení CAN-High a CAN-Low datové sběrnice CAN hnacího ústrojí. Datové zprávy jsou cyklicky vysílány řídicími jednotkami, tzn. že opakovací frekvence zpráv se běžně pohybuje v rozsahu 10-25 ms. Datová sběrnice CAN hnacího ústrojí se zapíná a také, po krátkém doběhu, zcela vypíná svorkou 15 (zapalování).

### **Síťové propojení systémů přes Gateway**

Spojení datové sběrnice CAN hnacího ústrojí a datové sběrnice CAN komfortního systému/informatiky není z důvodu odlišných hladin napětí a uspořádání odporů možné. Kromě toho mají oba systémy datové sběrnice různé přenosové rychlosti, což znemožňuje vyhodnocování různých signálů. Mezi oběma systémy datové sběrnice musí tedy být provedena konverze. K této konverzi dochází v Gateway.

Podle typu vozidla je Gateway umístěn v přístrojovém panelu, v řídicí jednotce palubní sítě nebo ve vlastní řídicí jednotce. Gateway má přes datovou sběrnici CAN k dispozici všechny informace, proto je používán i jako diagnostické rozhraní. Diagnostické informace jsou v současné době načítány přes K-vedení Gateway, od modelu Touran však přes diagnostické vedení datové sběrnice CAN.

## Použitá literatura

- [1] AUTOEXPERT, 3-5/2001, EOBD – evropská on board diagnostika, Autopress s. r. o., 2001.
- [2] ŠKODA AUTO® a. s., Dílenská učební pomůcka č.39 – Euro-On-Board-Diagnose, Mladá Boleslav: Škoda Auto a. s., 2000.
- [3] CALDA, St., ELBAS Choceň, Technická informace - Sběrnice CAN ve vozidlech, Choceň, 2002.
- [4] RŮŽIČKA, B., Jak na chiptuning, Brno: Computer Press, a.s., 2007.
- [5] Ing. SPURNÝ, Fr., Controller Area Network (CAN), <http://measure.feld.cvut.cz/usr/staff/spurny>, (5.8.2008).
- [6] ŠKODA AUTO® a. s., Dílenská učební pomůcka č.24 – Octavia CAN-BUS, Mladá Boleslav: Škoda Auto a. s.
- [7] VOLKSWAGEN® Group, Samostudijní program 269 – Výměna dat na datové sběrnici CAN II

### 13. Diagnostika řídicího systému motoru

Pod tímto pojmem si můžeme představit servisní operace, jejichž úkolem je vyhodnotit správnost funkce motoru a na základě výsledku provést potřebná opatření. K tomuto účelu slouží speciální zařízení, která dokáží komunikovat s řídicí jednotkou a současně také sledovat hodnoty některých veličin tak, aby bylo možno odhalit příčinu případných problémů.

Následující text se věnuje převážně problematice diagnostiky vozů koncernu Volkswagen® Group (VW, AUDI, ŠKODA, SEAT).

#### Sériová diagnostika

Pomineme-li starší metodiky sledování závad, je základním standardem palubní diagnostika OBD. Tento druh diagnostiky, nazývaný též jako sériová, je založen na čtení uložených chybových hlášení v paměti ECU, a tedy slouží k upozornění na již vyskytnuvší se závady. OBD však také umožňuje sledovat okamžité hodnoty některých vybraných parametrů motoru v chodu.[1]

Sériová diagnostika se provádí pomocí testerů, tzv. „čteček“, pro komunikaci s řídicími jednotkami vozidel jednotlivých značek a nebo vozidel s OBD. Umožňují přečíst paměť závad řídicí jednotky, vymazat závady, otestovat akční členy, přečíst vybrané provozní parametry, provést základní nastavení, případně některé další funkce. Některé fungují jako samostatné přístroje, jiné jsou řešeny softwarově prostřednictvím osobního počítače. Jejich úloha je v procesu diagnostiky nezastupitelná, ale pro zjištění skutečných závad provozních problémů motorů jsou jejich schopnosti nedostačující. Poskytují totiž zprostředkované, a někdy také bohužel žádné informace. Pokud se případná odchylka pohybuje v tolerančním poli dat řídicí jednotky a nedosáhne krajních mezí, ta ji neoznačí jako chybové hlášení. U některých testerů zahraniční výroby bývají problémy i se správným pochopením formulace chybového hlášení. Navíc zde platí skutečnost, že „vše souvisí se vším“ – jeden snímač ovlivňuje další, výpadek může nastat na velice krátkou dobu atd.

Při volbě vhodného systému pro OBD diagnostiku musíme vycházet především z toho, na jaký vůz, popř. značku se budeme specializovat. Vzhledem k tomu, že neexistuje předepsaný jednotný standard pro diagnostické systémy, můžeme se setkat u jednotlivých značkových diagnostik s odlišnostmi jak v ovládání, tak i v komunikaci s ECU. Jak již bylo výše uvedeno, existuje několik komunikačních protokolů, které automobilky různě využívají pro jednotlivé modelové řady, což také úzce souvisí s typem použité řídicí jednotky. Přestože jsou na trhu k dispozici i univerzální diagnostiky, jejich funkce není schopna pokrýt naprosto všechna specifika každé značky vozu. Obecně se dá říci, že nejobsáhlejší možnosti nabízí značková diagnostika, ovšem za cenu její jednoúčelovosti.

Dalším nezbytným krokem při volbě diagnostiky je rozhodnutí mezi samostatným speciálním přístrojem nebo variantou standardního osobního počítače (nejčastěji notebooku), rozšířeného o potřebné softwarové vybavení a komunikační adaptér. V další části tohoto textu se nebudeme zabývat špičkovými, vysoce sofistikovanými diagnostickými systémy, jejichž pořizovací náklady dosahují až několika stovek tisíců korun, ale zaměříme se především na výše uvedenou druhou variantu. Použití počítače s připojeným periferním systémem bývá ve většině případů z hlediska uživatele více „uživatelsky přívětivé“ a nabízí se zde i širší možnosti softwarového vyhodnocení dat.

#### Paralelní diagnostika

Přestože palubní diagnostika zahrnuje sledování všech podstatných funkcí vozidla, často odhalení příčin problému, resp. kontrola správné funkčnosti některých prvků řídicího systému vyžaduje zcela jiné metody. Jedná se především o měření skutečných hodnot elektrických veličin, podle nichž dokáže zkušený diagnostik získat další potřebné informace. V praxi jsou pro tyto účely nejznámější a nejčastěji používané především sdružené měřicí přístroje – multimetry, pomocí nichž lze měřit základní veličiny jako proud, napětí a odpor na elektrických prvcích,

a dále osciloskopy, které umožňují monitorovat a zaznamenávat průběh elektrického signálu v reálném čase.

Osciloskop by měl být nejlépe vícekanálový, s adaptérem pro snímání vysokého napětí. Další rozšiřující funkce jsou určitě výhodou. Vzhledem k tomu, že mnoho závad může způsobovat problém v palivové soustavě, je vhodné mít k dispozici přístroj pro velice přesné měření tlaku a podtlaku. Některé osciloskopy fungují opět jako samostatné přístroje, jiné přes osobní počítač. Vzhledem k tomu, že u oscilogramů je velice důležité vidět přesně průběh děje a hlavně případné anomálie, jeví se jako vhodnější ovládání osciloskopu pomocí počítače. Současně s tím máme k dispozici větší zobrazovací plochu, software umožňuje zvětšovat nasnímané průběhy signálů, archivovat naměřené údaje, vytvářet jejich databáze, využívat dalších zdrojů informací – Autodata, VIVID Workshop atd.

Pro diagnostiku je důležité to, že osciloskop, na rozdíl od čtečky, poskytuje přímé a reálné informace v daném čase a není vázán na diagnostikovanou značku vozidla. Snímá děje přímo na snímačích nebo na řídicí jednotce, tzn. na jejich vstupech nebo výstupech. Skutečností je, že mnoho funkcí čtečky osciloskop nahradit nemůže (kódování, zákl. nastavení atd.), obsluhovat osciloskop je mnohem těžší, osciloskop nás neupozorňuje na chyby, ale také nás nesvádí z cesty. Nad měřením je nutno přemýšlet a dávat si naměřené výsledky do vzájemných souvislostí, abychom skutečnou příčinu provozních problémů vozidla správně určili.

## **Jak vybrat správný osciloskop**

Automobilový osciloskop je měřicí přístroj, jenž musí splňovat určitá kritéria. Při výběru vhodného osciloskopu se musíme soustředit na základní parametry, důležité pro lokalizaci závad.[2]

### **Design a rozměry osciloskopu**

Tato skutečnost by se v žádném případě neměla opomíjet. Osciloskop musí být připraven na hrubší zacházení (ochranné pouzdro), musí být mobilní a upevnění vstupních konektorů musí být spolehlivé, bez plastových dílů.

Mobilita osciloskopu je dnes již samozřejmostí. Uvědomme si, že závady je třeba zjišťovat při takovém režimu motoru, při kterém si na ně stěžuje zákazník. Pokud se například snažíme volnou akcelerací simulovat závady projevující se pouze při jízdě, můžeme měřit velice dlouho a bez výsledků.

### **Rychlost nasazení pro zkušební jízdu**

Malé rozměry jsou vítány, jakož i možnost napájet osciloskop napětím z notebooku. Svazek měřicích vodičů musí být z odolného materiálu včetně řádného odstínění a uspořádání kabelového svazku musí co nejméně překážet při napojení více kanálů.

### **Maximální vstupní napětí, přepět'ová ochrana, odstínění**

Pokud budeme měřit primární napětí zapalování, musíme si uvědomit, že se na vstupu osciloskopu objevují napět'ové špičky o hodnotě cca 350 až 500 V. Elektromagnetické vyzařování rovněž může ovlivnit funkci neodrušeného osciloskopu. Proto by měl být automobilový osciloskop dobře odstíněn a vybaven přepět'ovou ochranou, popř. externími atenuátory, které snižují napětí v přesném poměru.

### **Počet kanálů osciloskopu**

Při hledání závad nepotřebujeme jen vadné signály, ale také tzv. doprovodné, které informují o provozním stavu motoru (poloha škrticí klapky, signál lambda-sondy, tlak v sacím potrubí apod.). Navíc čtyř a vícekanálový osciloskop učí hlouběji poznávat funkci samotného elektronického systému. Některé osciloskopy disponují vzájemně oddělenými kanály, takže je možné u každého kanálu zvlášť napojit kostřící sondu na kterýkoliv potenciál.



### **Vzorkovací frekvence**

Vhodný osciloskop musí vykreslovat křivky pravdivě i u velmi rychle se měnících signálů. Proto je při výběru osciloskopu nutné zohlednit i odpovídající vzorkovací frekvenci. Pro činnosti v oblasti vývoje je uspokojivá maximální vzorkovací frekvence 50 MHz. Pro hledání závady postačuje maximálně 5 MHz. Je třeba si uvědomit, že maximální vzorkovací frekvenci využijeme pouze pro měření velmi rychlých dějů, jako například CAN-Bus či zapalovací napětí. Pro měření ostatních signálů postačí rychlost 2 až 50 kHz. Vzorkovací frekvence se mění automaticky se změnou časové základny. Některé osciloskopy ale disponují nastavením časové základny a vzorkovací frekvence zvlášť. Tak je možné individuálně měnit velikost zásobníkové paměti, ve které prohlížíme uložený záznam.

### **Paměť osciloskopu**

Vhodný osciloskop nesmí vynechat žádný snímek a musí být schopen ukázat závadu i u rychlých dějů několik sekund nazpět. Osciloskop musí umožnit uložit historii signálu. Zde vznikají často největší omyly při výběru vhodného osciloskopu. V technickém popisu osciloskopu může být uvedeno, že lze ukládat až několik hodin záznamu. V tomto případě ale jde o maximální dobu záznamu při minimální vzorkovací frekvenci (kolem 5 až 20 vzorků za sekundu). Se zvětšující se vzorkovací frekvencí je doba záznamu kratší. Protože jednotlivé vzorkovací frekvence nejsou většinou udávány, je zapotřebí provést vlastní test.

Test vzorkovací frekvence a paměti provedeme měřením sekundárního napětí při vysokých otáčkách motoru. Osciloskop nastavíme tak, aby bylo vidět jehlovité výkmity před hořením jiskry. Poté uložíme záznam a zjistíme podle časové základny, jak dlouhý čas je uložen v paměti.

### **Grafické vykreslení křivek**

Program osciloskopu vykresluje křivky na obrazovku. Základní podmínkou je displej s vysokým rozlišením (800 x 600 bodů je minimum) a co nejtenčí vykreslení křivek. Pokud bude křivka silná, nebudeme schopni rozeznávat děje při nastavení větší časové základny.

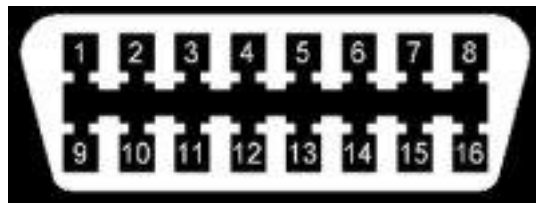
### **Použitá literatura**

- [1] First Car Diagnostics, <https://www.fcd.eu/index.aspx>, (13.7.2008).
- [2] AUTOEXPERT, 10/2006, Osciloskopická analýza – Jak vybrat správný osciloskop? Autopress s. r. o., 2006.

## 14. Sériová diagnostika

### Uplatnění sériové diagnostiky v praxi

Automobily splňující normu OBDII jsou vybaveny standardizovaným konektorem SAE-J1962, který je umístěn ve vozidle obvykle v dosahu řidiče; zpravidla na spodní straně palubní desky či na středovém panelu, a slouží k připojení diagnostického systému k ECU. [1, 2]



Obrázek 114 Konektor OBD II a zapojení jednotlivých pinů

1	Nezapojeno	9	Nezapojeno
2	J1850 PWM Bus + ( J1850 VPW Bus)	10	J1850 PWM Bus -
3	Nezapojeno	11	Nezapojeno
4	Kostra vozidla	12	Nezapojeno
5	Komunikační kostra	13	Nezapojeno
6	CAN-Bus High (J2284)	14	CAN-Bus Low (J2284)
7	Komunikační linka K-line	15	Inicializační linka L-line ( 2. K-line )
8	Nezapojeno	16	Palubní napětí +12V

V současnosti se můžeme setkat se čtyřmi různými variantami hardwarového protokolu pro OBDII. Jedná se o protokol ISO9141 resp. ISO14230 (zkráceně ISO), který používají nebo používaly všechny evropské, drtivá většina asijských a některé americké vozy (např. DaimlerChrysler), dále protokol SAE-J1850-VPW (Variable Pulse Width, zkráceně VPW) používaný koncernem General Motors a Daimler Chrysler pro některé americké modely a dále protokol SAE-J1850-PWM (Pulse Width Modulation, zkráceně PWM ) ve vozidlech Ford, a to i u některých evropských modelů. Čtvrtou variantou je zcela odlišné hardwarové rozhraní typu CAN (Controller Area Network, resp. ISO15765), kterým jsou v současnosti vybavována nová vozidla. Zapojení jednotlivých pinů v konektoru SAE-J1962 v závislosti na použitém komunikačním protokolu je uvedeno v Tabulce 2.

Tabulka 2 Zapojení pinů v konektoru SAE-J1962 podle komunikačního standardu

ISO9141-2	4) kostra, 5) komunikační kostra, 7) K-Line, 15) L-Line/2.K-Line, 16) +12V
J1850 VPW	2) Bus, 4) kostra, 5) komunikační kostra, 16) +12V
J1850 PWM	2) Bus+, 4) kostra, 5) komunikační kostra, 10) Bus-, 16) +12V
CAN BUS (J2284)	4) kostra, 5) komunikační kostra, 6) CAN-Bus High, 14) CAN-Bus Low, 16) +12V

Specifický standard pro automobilovou diagnostiku, používaný koncernovými vozidly, je postavený na protokolech KWP 1280 a KWP 2000. Je podstatně bohatší než unifikovaný OBDII a poskytuje tedy obsluhu daleko větší možnosti.

Ve značkových servisech se pro práci používají zpravidla diagnostické přístroje VAG 1552 nebo VAG 1551, resp. moderní VAS 5051 a VAS 5052.

To co dokáží uvedené přístroje za mnoho desítek nebo stovek tisíc, lze také provádět pomocí osobního počítače, propojovacího kabelu a vhodného softwaru. Jedním z nejoblíbenějších a nej-

rozšířenějších programů je program VAG-COM® od firmy ROSS-TECH®.

## 14.1 VAG-COM®

### Základní informace

VAG-COM® je počítačový program, který komunikuje s řídicími jednotkami automobilů koncernu Volkswagen® Group a umožňuje tak vozy diagnostikovat. Svými funkcemi je kompatibilní např. s VAG 1552, nebo VAS 5052, které jsou používány autorizovanými servisy. [3, 4]

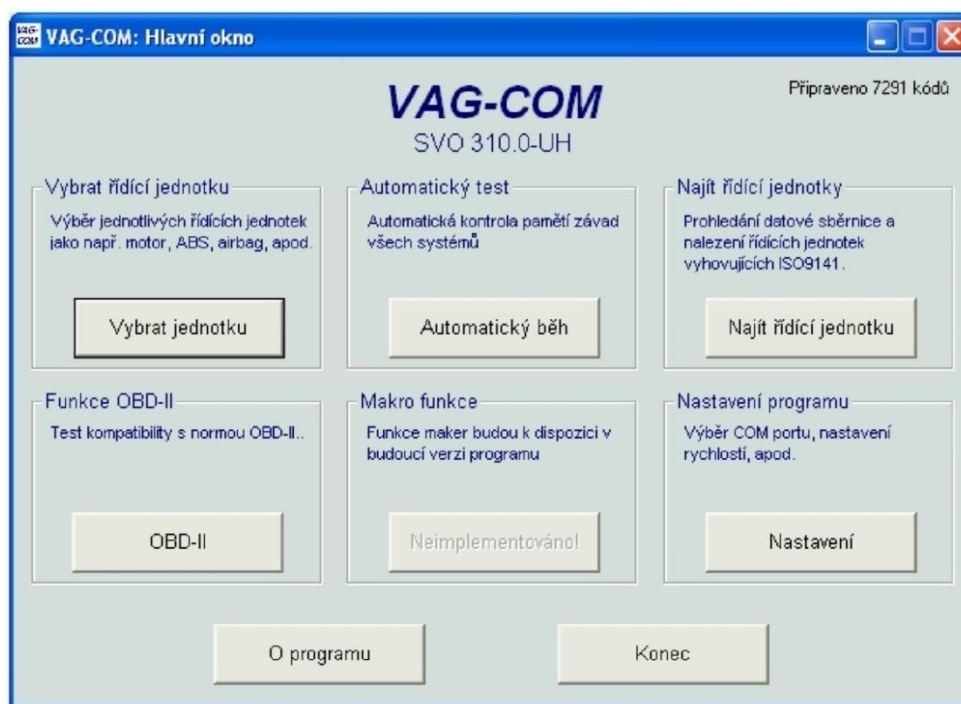
K propojení počítače s diagnostickou OBD zásuvkou slouží speciální propojovací kabel. Propojovací kabel obsahuje rozhraní, které zprostředkovává komunikaci. Je vybaven OBD konektorem. Další variantou, se kterou se můžeme setkat je propojovací kabel HEX-COM nebo HEX-USB. V těchto kabelech je namontován hardwarový klíč, který zaktivuje program VAG-COM®.

### Komunikace

Konektor sériového (USB) portu na dodaném kabelu zasuneme do sériového (USB) portu počítače. Konektor diagnostiky zasuneme do diagnostické zásuvky testovaného vozu. Zapneme počítač a spustíme program VAG-COM®. Zapneme zapalování a klikneme na řídicí jednotku, se kterou se chceme spojit. Řídicí jednotka odpoví a zobrazí se její identifikace a přehled dalších funkcí.

Při propojování počítače s vozem je **nutné mít vždy vypnuté zapalování i počítač** (neplatí pro HEX-USB)! Během komunikace nikdy neodpojujeme konektor od vozu!

### Používání programu VAG-COM®



Obrázek 114 Hlavní okno programu VAG-COM®

### VAG-COM®: Hlavní okno

Nainstalovaný a zaregistrovaný program se spouští kliknutím na ikonu VAG-COM®.

Otevře se hlavní okno programu (Obrázek 114).

### Tlačítko VYBRAT JEDNOTKU

Kliknutím na tlačítko *VYBRAT JEDNOTKU* se pod jednotlivými záložkami zobrazuje přehled jednotlivých řídicích jednotek. Pokud chceme ručně zvolit adresu řídicí jednotky, můžeme tak učinit pomocí přímého vstupu a tlačítka *START* (Obrázek 115).



Obrázek 115 Výběr řídicí jednotky



Obrázek 116 Řídicí jednotka

Kliknutím na tlačítko jednotlivé řídicí jednotky, např. *17-Přístrojová deska* se program začne spojovat se zvolenou řídicí jednotkou. Pokud je počítač propojen s vozem prostřednictvím

kabelu a je zapnuté zapalování, dojde k úspěšnému spojení, zobrazí se identifikace řídicí jednotky a další výběr funkcí.

### Tlačítko NASTAVENÍ

Kliknutím na tlačítko *NASTAVENÍ* (Obrázek 114), se otevře okno (Obrázek 117) s možnostmi nastavování portu, přenosové rychlosti, otestování komunikace po kabelu, barev monitoru a další nastavení. Při prvním spuštění programu je nutné v tomto okně nastavit a otestovat port a kliknout na *ULOŽIT*.



Obrázek 117 Nastavení programu

### Tlačítko OBD II

Tato funkce (Obrázek 114) zjistí, zda je vozidlo kompatibilní s normou OBD II.

### Tlačítko NAJÍT ŘÍDÍCÍ JEDNOTKU

Pomocí této funkce (Obrázek 114) se počítač připojí na datovou sběrnici testovaného vozu a pokouší se o spojení s jednotlivými řídicími jednotkami na adrese 01 až 7F, poté vypíše jejich seznam a identifikaci.

### Tlačítko AUTOMATICKÝ BĚH

Pomocí této funkce (Obrázek 114) počítač vyhledá všechny řídicí jednotky ve voze a vypíše jejich seznam a případný počet závad v jednotlivých jednotkách.

### VAG-COM: Řídicí jednotka

Tato obrazovka (Obrázek 116) se objeví po volbě řídicí jednotky v době, kdy se VAG-COM snaží navázat komunikaci s řídicí jednotkou.



Obrázek 118 Řídicí jednotka

### Stav komunikace

Zobrazuje momentální stav komunikace (Obrázek 118). Je-li komunikace navázaná, zobrazuje  $IC = x$  počet inicializací. Jestliže je  $IC$  větší než 1, není navázání komunikace 100% spolehlivé.  $Blk = x$  je počítadlo, které ukazuje běžící číslo bloku protokolu. Mělo by neustále růst až do 255 a pak se vrací zpět na 0. Jestliže se zastaví, objevila se v komunikaci porucha. Během několika sekund se komunikace opětovně automaticky inicializuje.  $TE = x$  a  $RE = x$  jsou počítadla chyb uvnitř datových souborů.

### Identifikace řídicí jednotky

Jestliže je navázaná komunikace, zobrazí se (Obrázek 118) všechna identifikační data řídicí jednotky na obrazovce. *Objednací číslo* je identifikační číslo dílu VAG řídicí jednotky. *Systém* identifikuje řídicí jednotku, může obsahovat číslo verze firmware řídicí jednotky. *Kódování* uvádí typ softwarového kódování a tím určuje vlastnosti řídicí jednotky. *Dílna #* zobrazuje kód opravy, který byl uložen v diagnostickém programu přístroje, se kterým bylo naposledy změněno kódování. Pole označená *Extra* mohou obsahovat čísla dílu podřízených řídicích jednotek.

### Základní funkce

Seskupení do “bezpečných” funkcí (Obrázek 118), slouží k čtení různých dat z řídicí jednotky.

### Rozšířené funkce

Pomocí těchto funkcí se dají provádět nejrůznější změny v programování řídicí jednotky.

Tlačítkem *Ukončení komunikace* ukončíme zadávání funkce a vrátíme se k oknu „Volba řídicí jednotky“.

## Paměť závad

Na této obrazovce jsou programem VAG-COM® zobrazeny chybové kódy, uložené v paměti řídicí jednotky. VAG-COM® zobrazuje vedle kódů závad i stručný český popis závady.



Obrázek 119 Chybové kódy

Příkaz *Vymazat paměť závad* odstraní chybová hlášení z paměti. V případě, že se jedná o sporadickou, tj. občasnou chybu, bude dodatečně znázorněno: *Sporadická*. Samotné odstranění závad z paměti závadu neodstraní!. V takovém případě je potřeba použít jiné funkce k odhalení závady jako např. *Akční členy*, nebo *Měřené hodnoty*, popřípadě paralelní diagnostiku. Chybová hlášení je vhodné mazat až po důkladném prostudování příčin hlášení a jejich případném odstranění. Možnost vymazání jedné samotné chyby neexistuje, vymaže se vždy celá paměť se všemi závadami. To není omezení programu, ale je to typická funkce protokolů VAG tak, jak je definuje koncern VW.

*Vytisknout kódy* vytiskne protokol s chybovými hlášeními. *Kopírovat kódy* zkopíruje vypsání chybových kódů do Schránky. Tlačítko *Zpět* nás vrátí k obrazovce “VAG-COM®: Řídicí jednotka”, kde můžeme pokračovat volbami dalších funkcí.

## Měřené hodnoty

Na této obrazovce lze zobrazovat všechny typy dat vysílaných řídicí jednotkou v reálném čase. K pohybu jednotlivými kanály (u většiny řídicích jednotek je to od 000 do 255) nahoru a dolů lze použít tlačítka  $\pm$ . Skupinu je možno zvolit také přímým zadáním čísla skupiny a stisknutím tlačítka *Start*. Data z bloku naměřených hodnot lze protokolovat stisknutím tlačítka *Log*. Data zobrazovaná v jednotlivých skupinách *Bloku měřených hodnot*, se značně mění podle modelů, typu řídicích jednotek a roku výroby. Některé skupiny jsou v dílenských příručkách zdokumentovány, jiné ne. VAG-COM® překonvertuje původní nezpracovaná data z řídicí jednotky přímo na jednotky jako jsou např.: °C, km/h, mbar atd. Pokouší co nejlépe interpretovat, co konkrétní data reprezentují. Bohužel informace o typu dat nejsou v řídicích jednotkách vždy dokonale uváděny. Tak může například VAG-COM® sdělovat, že se v poli

zobrazuje teplota, ale řídicí jednotka již neupřesňuje, zda se jedná o hodnoty chladící kapaliny nebo teplotu nasávaného vzduchu.



Obrázek 120 Měřené hodnoty

Pro snížení možnosti chybné interpretace dat, podporuje VAG-COM® tzv. Label-soubory (tj. soubory s upravenými popisy polí) a ukazuje tak popis aktuálně zobrazovaných dat na základě dat, uložených v Label-souboru. Kliknutím na tlačítko *Měřené hodnoty*, hledá VAG-COM® nejprve soubor s názvem TEST-XX.LBL, přičemž XX znamená adresu ŘJ (01 pro motor, 03 pro ABS/brzdy, 15 pro airbag atd.). Když jej VAG COM® nenalezne, hledá soubor typu XXX-XXX-XXX.LBL, přičemž XXX-XXX-XXX představují prvních devět číslic z čísla dílu VAG řídicí jednotky, které můžeme sledovat v okně „VAG-COM®: Řídicí jednotka“. Jestliže ani tato informace není k dispozici, zobrazí VAG-COM® na obrazovce standardní označení polí a vychází přitom z algoritmu “inteligentního rozpoznávání” toho, co zobrazovaná data představují.

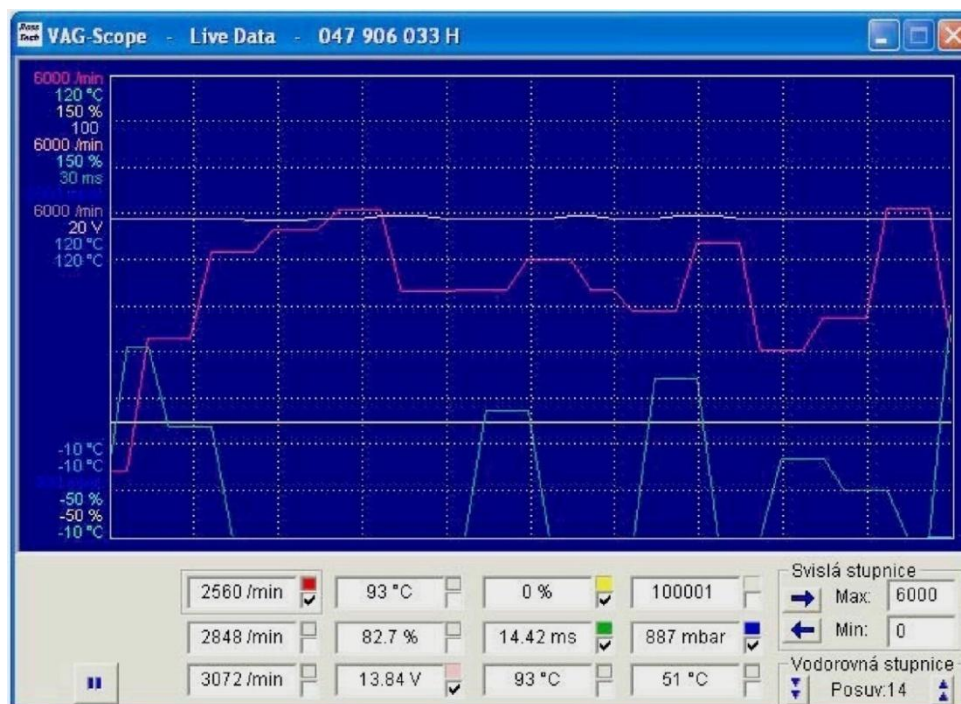
Ve funkci *Měřené hodnoty* lze také provádět logování. Je to funkce, která (např. při zkušební jízdě) cyklicky ukládá měřené hodnoty do souboru v počítači, tak jak byly otevřeny v jednotlivých skupinách. Hodnoty se ukládají s periodou 0,3 s.

Kliknutím na tlačítko *Log* se otevře okno, ve kterém je potřeba pojmenovat soubor, do kterého se budou data ukládat a stisknout tlačítko *Start*. V průběhu zkušební jízdy lze označovat jednotlivé úseky zkušební jízdy, např. okamžit projev závady. Pro ukončení logování je třeba stisknout tlačítko *Stop*. Tento log soubor se automaticky ukládá do adresáře, ve kterém je nainstalovaný VAG-COM®, do podadresáře *Logs*. Hodnoty naměřené v módu bloku měřených hodnot lze uložit ve formě CSV souboru. Tento typ dat lze poté zpracovávat v libovolném tabulkovém editoru, např. MICROSOFT EXCEL®.

Další funkcí *Měřených hodnot* je *VagScope*. Kliknutím na tlačítko *Vag-Scope* se otevře program *VagScope*, který funguje jako grafická nadstavba. Tak, jak jsou otevřeny jednotlivé skupiny měřených hodnot, se budou v okně *VagScope* zobrazovat průběhy signálů v podobě křivek. Program *VagScope* lze také spustit nezávisle na spojení s vozem. Nachází se v adresáři,



ve kterém je nainstalován VAG-COM®. Ve VagScope lze otevřít soubor log, který byl pořízen během zkušební jízdy a zobrazit tak průběh zkušební jízdy v podobě grafu jednotlivých hodnot.



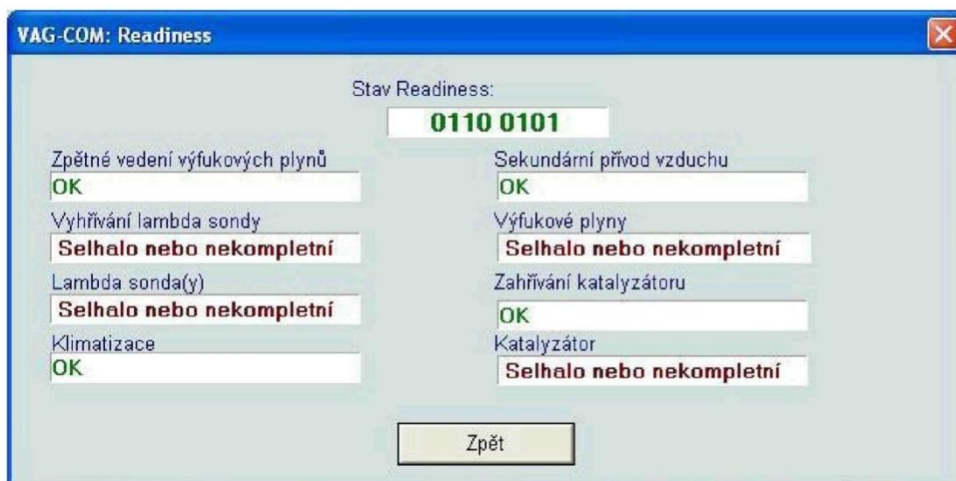
Obrázek 121 VAG-SCOPE

### Jednotlivá hodnota

Tato funkce umožňuje z řídicích jednotek podporujících tuto funkci číst data v reálném čase. V tomto případě však řídicí jednotka neposkytuje ani ten nejmenší návod, co data znamenají nebo jak by se nechaly co nejdříve přepočítat na konkrétní jednotky. V dílenských příručkách nebývají tyto funkce popsány a proto nejsou v opravárenské praxi téměř využívány.

### Readiness

*Readiness* je funkce, pomocí které lze přečíst osmimístný kód (readiness kód), který informuje o stavu jednotlivých okruhů ovlivňujících spalování. Požadovaný stav je „00000000“. Pokud tomu tak není, je potřeba přečíst paměť závad, využít dalších funkcí k odhalení závady (např. *Akční členy*, *Měřené hodnoty*, popřípadě paralelní diagnostiku). Potom je vhodné vytvořit nový readiness kód. K tomu, aby byly při jízdě otestovány automaticky všechny systémy, je zapotřebí, aby vozidlo prošlo různými jízdními režimy, včetně krátké jízdy po dálnici, a pak by se všechny aktivní readiness-bity měly přepnout do stavu „OK“.

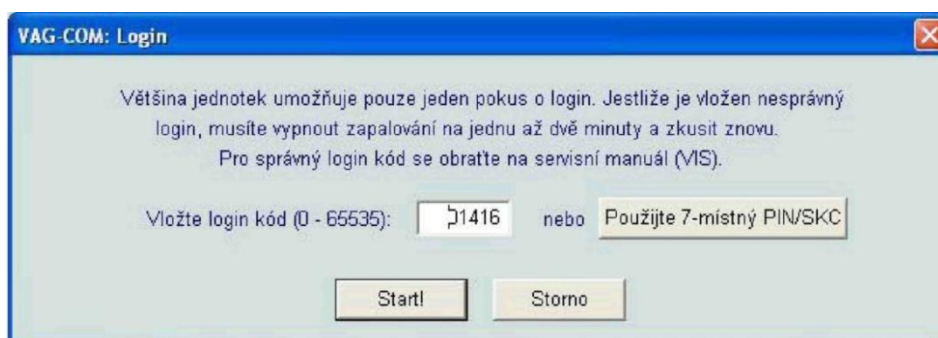


Obrázek 122 Readiness

### Login

*Login* funkci je nutné použít u některých řídicích jednotek předtím, než je provedeno přizpůsobení nebo kódování. U některých aktivuje login určité funkce, např. tempomaty. Platné kódy *Login* se dají nalézt v dílenské příručce vozidla.

Použití 7-místného PIN/SKC zpřístupní funkci přizpůsobení klíčků od zapalování a přizpůsobení imobilizéru.

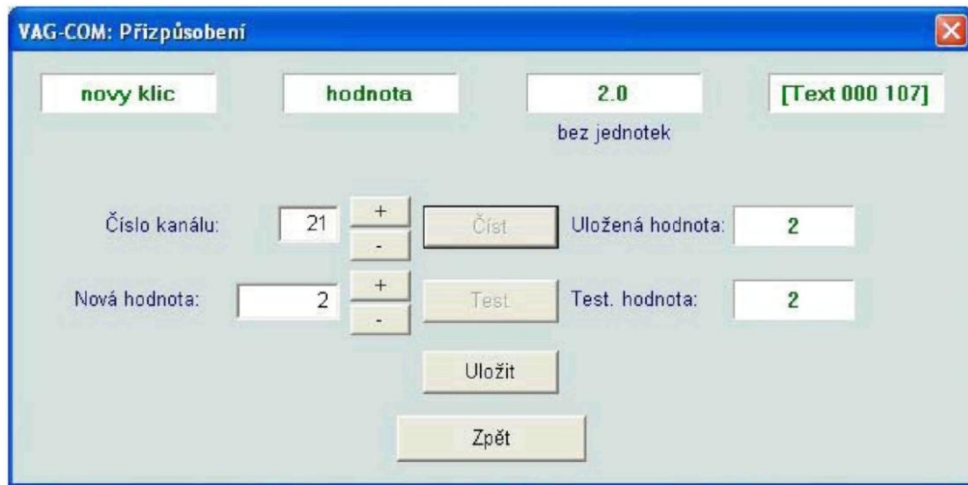


Obrázek 123 Login

### Přizpůsobení

Funkce přizpůsobení (Obrázek 124) umožňuje měnit určitá nastavení nebo hodnoty řídicí jednotky, pokud je tato funkce podporována.

Před jakoukoliv manipulací s funkcí *Přizpůsobení* se důsledně seznamte s pokyny v dílenské příručce nebo jiné vhodné dokumentaci! Je nutné upozornit na skutečnost, že mnoho funkcí, kde *Přizpůsobení* funguje, není ani v příručkách zdokumentováno.



Obrázek 124 Přizpůsobení

Vedle přímé volby *Číslo kanálu* lze použít i k pohybu mezi kanály tlačítko  $\pm$ . Po zadání čísla kanálu a kliknutí na tlačítko *Číst* ukáže VAG-COM® *Uloženou hodnotu*. Pokud neexistuje, bude v poli *Uložená hodnota* zobrazeno „N/A“ nebo „—“. Pokud řídicí jednotka posílá jiná data, jsou dekódována a zobrazena ve čtyřech polích v horní části okna.

Jestliže jsme navolili kanál, který nás zajímá, lze hodnotu šipkami vedle pole *Nová hodnota* změnit. Kliknutím na tlačítko *Testovat* se přechodně aktivuje hodnota, kterou jsme zadali. Jestliže jsme s nově zadanou hodnotou spokojeni, můžeme se rozhodnout ji uložit do paměti řídicí jednotky, kliknutím na tlačítko *Uložit*.

Příklady pro možná přizpůsobení:

- Změna volnoběžných otáček (jen u některých motorů)
- Nastavení servisních intervalů
- Výměny řídicích jednotek motorů
- Přizpůsobení klíčů do spínací skříňky

## Základní nastavení

Tato okno je podobné oknu s blokem měřených hodnot a i obsah skupin je stejný. Rozdíl je jen v tom, že řídicí jednotka v tomto módu umožňuje různé hodnoty nastavovat. Před použitím programu v tomto módu prostudujte důkladně dokumentaci vozidla!

V tomto okně lze zadat číslo požadované skupiny rovnou do okénka a stisknout tlačítko *Start*.

Tlačítko *Přepnout na měřené hodnoty* přepíná do pasivního a bezpečného módu *Měřených hodnot*.

Funkce základního nastavení se používá nejčastěji k nastavení škrtecí klapky. Toto se provádí ve skupině 098 nebo 060, podle typu motoru. Správnou skupinu hledáme nejlépe v *Měřených hodnotách*.

Základním předpokladem je zapnuté zapalování, ale motor nesmí běžet! Ještě jednou se ujistíme, že jsme zvolili správnou skupinu. Proces *Základního nastavení* spustíme tlačítkem *Start*. Hodnoty v zobrazených polích 1 a 2 by se měly změnit, protože se škrtecí klapka nastavuje do jiné polohy. Po několika sekundách by se mělo ve 4. poli zobrazit *OK*. Počkáme cca 30 sekund, aby se dokončila stabilizace a tím je nastavení ukončeno. Další časté použití najde *Základní nastavení* například při odvodušňování čerpadla hydraulické jednotky ABS.



Obrázek 125 Základní nastavení

### Akční členy

Diagnostika akčních členů se používá k testování elektrických výstupů z řídicí jednotky, k ověření funkčnosti akčních členů včetně kabelových svazků, které akční členy s řídicí jednotkou propojují. V jakém pořadí jsou které výstupy testovány určuje výhradně řídicí jednotka. Většina řídicích jednotek dovolí projít diagnostiku akčních členů jen jednou v jednom testovacím procesu. Chceme-li všechny výstupy znovu otestovat, musíme ukončit komunikaci a znovu ji otevřít.

Některé akční členy vyžadují zvláštní podmínky k tomu, aby byla jejich diagnostika spuštěna, např. vstřikovací ventil, který lze otestovat jedině se sešlápnutým pedálem akcelerace. Přesné detaily pro úspěšný průběh testu akčních členů lze najít v dílenské příručce k příslušnému vozidlu. U řídicích jednotek motoru je diagnostika akčních členů přístupná jen tehdy, je-li motor v klidu!

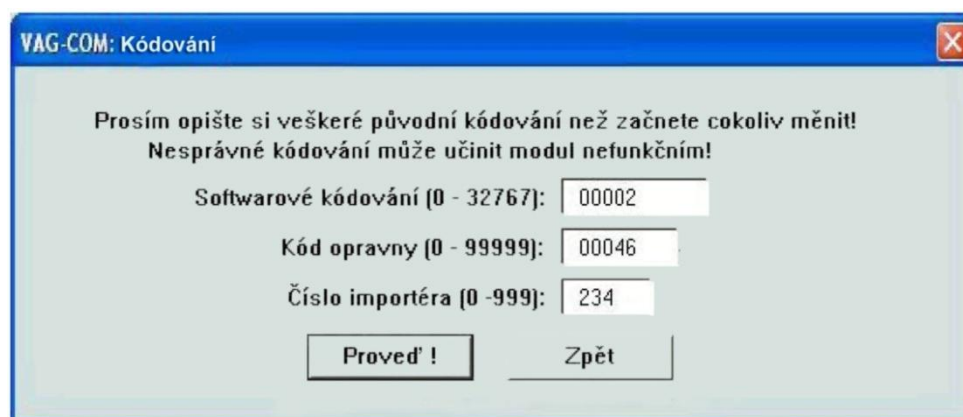
Nikdy nepoužívejte na žádném systému diagnostiku akčních členů, když je vozidlo v pohybu! Na brzdovém systému ABS může diagnostika akčních členů vyřadit z činnosti funkci brzd a může dojít k zablokování některých kol. Důrazně upozorňuji na nutnost prostudovat vždy dílenskou příručku vozidla před diagnostikou akčních členů.



Obrázek 126 Akční členy

## Kódování

Kódování se používá k aktivaci různých nestandardních nebo nadstandardních funkcí řídicí jednotky.



Obrázek 127 Kódování

Před jakýmkoliv pokusem cokoli kódovat, je bezpodmínečně nutné se dokonale seznámit s návodem, uvedeným v dílenské příručce. Rozhodně doporučuji zapsat si původní kód. Při neúspěšném pokusu o kódování řídicí jednotky nezbyvá nic jiného, než vypsát číslo původního kódu zpět do pole. Řídicí jednotka motoru použije zadané kódování teprve po vypnutí zapalování. Při kódování lze zachovat původní číslo opravy, nebo zadat jakékoliv číslo jiné.

Chybné kódování vede například k:

- Závadám za jízdy (např. trhání při řazení, rázové střídavé zatížení, atd.)
- Ke zvýšené spotřebě paliva a zvýšeným hodnotám emisí
- K ukládání neexistujících závad do paměti závad
- Některé funkce nejsou prováděny (např. lambda-regulace, aktivace odvětrávacího systému s aktivním uhlím, atd.)
- U vozidel s předním náhonem nepracuje regulace prokluzu pohonu (ASR)
- Snížení životnosti převodovky

Tabulka 3 Příklad kódového čísla řídicí jednotky Marelli 4LV motoru ŠKODA FABIA, r.v. 2000, motor 1,4/55kW, kód motoru AUA, AUB

Kódové číslo	pro vozidla vybavená
00001	mechanickou převodovkou
00011	mechanickou převodovkou s ABS
00021	mechanickou převodovkou s airbagem
00031	mechanickou převodovkou s ABS a airbagem
00041	mechanickou převodovkou s klimatizací
00051	mechanickou převodovkou s klimatizací a ABS
00061	mechanickou převodovkou s klimatizací a airbagem
00071	mechanickou převodovkou s klimatizací s ABS a airbagem
00003	automatickou převodovkou
00013	automatickou převodovkou s ABS
00023	automatickou převodovkou s airbagem
00033	automatickou převodovkou s ABS a airbagem
00043	automatickou převodovkou s klimatizací
00053	automatickou převodovkou s klimatizací a ABS
00063	automatickou převodovkou s klimatizací a airbagem
00073	automatickou převodovkou s klimatizací s ABS a airbagem

## 14.2 Logování

Ve funkci *Měřené hodnoty* lze provádět tzv. logování. Je to funkce, která periodicky ukládá měřené hodnoty do souboru v počítači, tak jak byly otevřeny v jednotlivých skupinách. V průběhu zkušební jízdy lze označovat jednotlivé úseky zkušební jízdy, např. okamžik projevu závady. Tento log soubor se automaticky ukládá do adresáře, ve kterém je nainstalovaný VAG-COM®, do podadresáře Logs. Hodnoty naměřené v módu bloku *Měřených hodnot* lze uložit ve formě textového souboru s příponou CSV. Slouží k uložení dat jako textového souboru s textem odděleným pomocí středníků, popř. čárek. Tento typ dat lze poté zobrazit v programu VAG-SCOPE, nebo dále zpracovávat v libovolném tabulkovém editoru, např. MICROSOFT EXCEL®. [2]

Příklad datového souboru, získaného logováním skupin 010, 011:

```
Friday,22,February,2008,10:11:08
038 906 012 M „0000SG 2813,
```

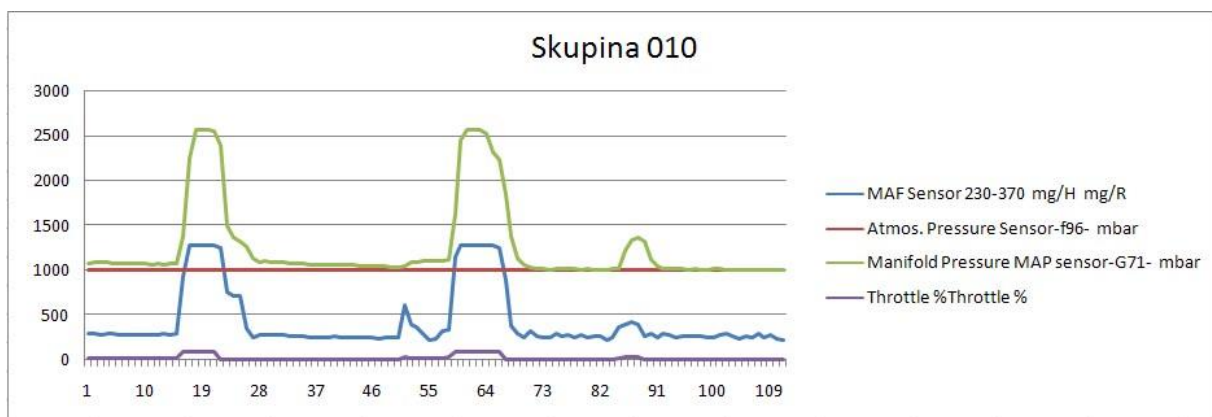
```
,Group A:,'010,,,,Group B:,'011,,,,Group C:, Not Running
,,MAF Sensor,Atmos. Pressure,Manifold Pressure,Throttle,,Engine speed,Specified MAP,Actual MAP,D.cycle MAP v.,,,,,
,TIME,230-370 mg/H,Sensor-f96-,MAP sensor-G71-,%Throttle,TIME,rpm,1850-1950 mbar,1700-2080 mbar,45-95%,TIME,,,,
MARKER,STAMP, mg/R, mbar, mbar,%STAMP, /min, mbar, mbar, %,STAMP,,,,
,0.36,290.0,1000,1081,15.3,0.00,1554,1010,1091,38.6,,,,,
,1.19,290.0,1000,1091,15.3,0.77,1554,1010,1081,38.6,,,,,
,1.99,275.0,1000,1091,15.3,1.59,1554,1010,1091,38.6,,,,,
,2.79,290.0,1000,1091,15.7,2.39,1554,1010,1081,38.6,,,,,
,3.59,290.0,1000,1081,15.7,3.19,1554,1010,1091,38.6,,,,,
,4.39,275.0,1000,1081,15.3,3.99,1533,1010,1081,38.6,,,,,
,5.19,280.0,1000,1081,15.7,4.79,1554,1010,1081,38.6,,,,,
,5.99,285.0,1000,1081,15.7,5.59,1533,1010,1081,38.6,,,,,
,6.79,280.0,1000,1081,15.7,6.39,1533,1010,1081,38.6,,,,,
,7.59,285.0,1000,1081,15.7,7.19,1512,1010,1081,38.3,,,,,
,8.39,275.0,1000,1071,15.7,7.99,1512,1010,1081,38.3,,,,,
,9.19,285.0,1000,1081,15.3,8.79,1512,1010,1081,38.3,,,,,
,9.99,295.0,1000,1071,15.3,9.59,1533,1010,1081,38.6,,,,,
,10.79,285.0,1000,1081,15.7,10.39,1533,1010,1081,38.6,,,,,
,11.59,290.0,1000,1081,17.3,11.19,1512,1010,1071,38.6,,,,,
,12.39,935.0,1000,1387,100.0,11.99,1554,1918,1122,38.3,,,,,
,13.19,1275.0,1000,2244,100.0,12.79,1764,1989,1805,51.4,,,,,
,13.99,1275.0,1000,2560,100.0,13.59,2037,1989,2519,83.7,,,,,
,14.79,1275.0,1000,2560,100.0,14.39,2331,1989,2560,93.2,,,,,
,15.59,1275.0,1000,2560,100.0,15.19,2604,1989,2560,94.4,,,,,
,16.39,1275.0,1000,2540,100.0,15.98,2877,1989,2570,94.4,,,,,
,17.18,1240.0,1000,2387,0.0,16.78,3150,1989,2509,93.6,,,,,
,17.98,755.0,1000,1499,0.0,17.58,3171,1051,1714,52.6,,,,,
,18.78,715.0,1000,1367,0.0,18.38,3066,1051,1408,52.6,,,,,
,19.58,705.0,1000,1326,0.0,19.18,2982,1040,1346,52.6,,,,,
,20.38,355.0,1000,1265,0.0,19.98,2919,1040,1336,52.2,,,,,
,21.18,245.0,1000,1142,0.0,20.78,2835,1030,1183,51.8,,,,,
,21.98,285.0,1000,1102,0.0,21.58,2772,1030,1112,51.0,,,,,
,22.78,285.0,1000,1112,0.0,22.38,2709,1030,1112,51.0,,,,,
,23.58,275.0,1000,1102,0.0,23.18,2625,1020,1112,50.6,,,,,
,24.38,280.0,1000,1102,0.0,23.98,2583,1020,1102,50.2,,,,,
,25.18,275.0,1000,1091,0.0,24.78,2499,1020,1091,49.8,,,,,
,25.98,265.0,1000,1081,0.0,25.58,2436,1010,1091,49.0,,,,,
```

Jestliže se soubor po otevření v tabulkovém editoru neroztřídí na přehledné sloupce a bude vypadat jako výše uvedený výpis, je nutné provést převod textu na sloupce použitím příkazu *Text do sloupců...* na záložce *Data/Datové nástroje* (platí pro Microsoft Office Excel 2007®).

LOG-22-02-2008.xlsx - Microsoft Excel nekomerční použití											
R5C3 MAF Sensor											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Friday,22,February,2008,10:11:08										
2	038 906 012 M „00005G 2813,										
3											
4	Group A: '010					Group B: '011					
5		MAF Sensor	Atmos. Pressure	Manifold Pressure	Throttle		Engine speed	Specified MAP	Actual MAP	D.cycle MAP v.	
6	TIME	230-370 mg/H	Sensor-f96-	MAP sensor-G71-	%Throttle	TIME	rpm	1850-1950 mbar	1700-2080 mbar	45-95%	
7	MARKER	STAMP	mg/R	mbar	mbar	%	STAMP	/min	mbar	mbar	%
8		0.36	290	1000	1081	15.3	0	1554	1010	1091	38.6
9		1.19	290	1000	1091	15.3	0.77	1554	1010	1081	38.6
10		1.99	275	1000	1091	15.3	1.59	1554	1010	1091	38.6
11		2.79	290	1000	1091	15.7	2.39	1554	1010	1081	38.6
12		3.59	290	1000	1081	15.7	3.19	1554	1010	1091	38.6
13		4.39	275	1000	1081	15.3	3.99	1533	1010	1081	38.6
14		5.19	280	1000	1081	15.7	4.79	1554	1010	1081	38.6
15		5.99	285	1000	1081	15.7	5.59	1533	1010	1081	38.6
16		6.79	280	1000	1081	15.7	6.39	1533	1010	1081	38.6
17		7.59	285	1000	1081	15.7	7.19	1512	1010	1081	38.3
18		8.39	275	1000	1071	15.7	7.99	1512	1010	1081	38.3
19		9.19	285	1000	1081	15.3	8.79	1512	1010	1081	38.3
20		9.99	295	1000	1071	15.3	9.59	1533	1010	1081	38.6
21		10.79	285	1000	1081	15.7	10.39	1533	1010	1081	38.6
22		11.59	290	1000	1081	17.3	11.19	1512	1010	1071	38.6
23		12.39	935	1000	1387	100	11.99	1554	1918	1122	38.3
24		13.19	1275	1000	2244	100	12.79	1764	1989	1805	51.4
25		13.99	1275	1000	2560	100	13.59	2037	1989	2519	83.7
26		14.79	1275	1000	2560	100	14.39	2331	1989	2560	93.2
27		15.59	1275	1000	2560	100	15.19	2604	1989	2560	94.4
28		16.39	1275	1000	2540	100	15.98	2877	1989	2570	94.4
29		17.18	1240	1000	2387	0	16.78	3150	1989	2509	93.6
30		17.98	755	1000	1499	0	17.58	3171	1051	1714	52.6
31		18.78	715	1000	1367	0	18.38	3066	1051	1408	52.6
32		19.58	705	1000	1326	0	19.18	2982	1040	1346	52.6

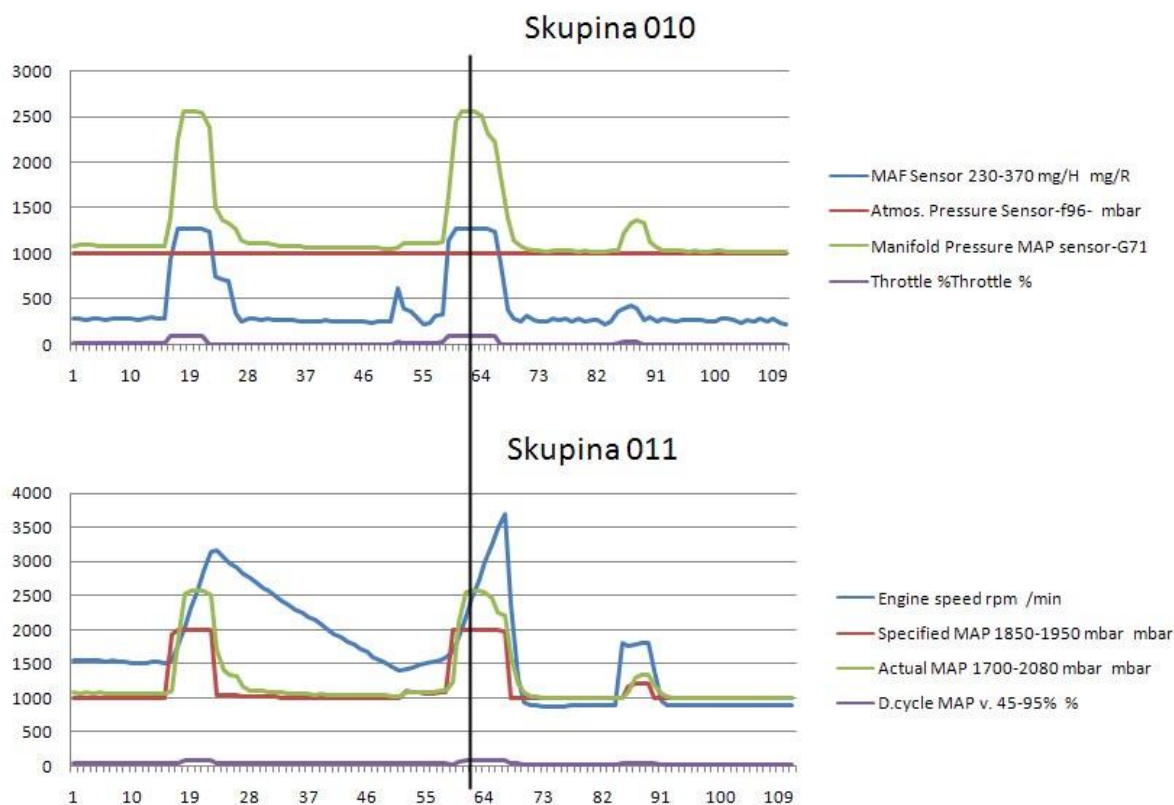
Obrázek 128 Datový soubor, připravený k dalšímu zpracování

Myši označíme oblast požadovaného bloku Naměřených hodnot, kterou chceme znázornit graficky. Na záložce *Vložení/Grafy* vybereme typ grafu *Spojnicový*, který nám umožňuje zachytit trend za určitou dobu.



Obrázek 129 Graf skupiny 010

Jestliže chceme sledovat více kanálů najednou, je vhodné nevybírat všechny kanály najednou do jednoho grafu. Když si zvolíme několik grafů, bude představovat každý z nich jinou oblast dat. Pokud si umístíme grafy pod sebe, získáme zobrazení hodnot tak, jak se udály v čase a jsme tak schopni odečítat i dynamické jevy.



Obrázek 130 Přehledné zobrazení dat získaných logováním

Sledování křivek grafu nám umožní získat větší přehled o jednotlivých dějích a jejich vzájemných vztazích při hledání závady.

## Použitá literatura

- [1] RŮŽIČKA, B., Jak na chiptuning, Brno: Computer Press, a.s., 2007.
- [2] First Car Diagnostics, <https://www.fcd.eu/index.aspx>, (12.8.2008).
- [3] SVOBODA, J., VAG-COM – Uživatelský manuál, Praha: B.J. Servis, 2004, <http://www.vag-com.cz>, (25.8.2008)
- [4] IHR Technika s.r.o., ROSS-TECH VAG-COM – Příručka verze 304.0n, Kosmonosy: IHR Technika s.r.o., 2003, <http://www.ihr-tech.cz>, (26.8.2008).



## 15. Paralelní diagnostika

### Diagnostika spalovacího motoru měřením fyzikálních veličin

Podíl elektroniky na řízení systémů v automobilu neustále roste. Spolehlivost a dokonalost, které jsou cílem výrobců automobilů, s sebou nesou i problematiku metod hledání stále menšího počtu, zato však složitějších závad. Technologie používané ve vozech a rostoucí počet komponent podílejících se na řízení jednotlivých systémů nutí ke změně filozofie odhalování těchto závad. Jednou z možností diagnostiky elektronických systémů automobilů je metoda prostého dynamického měření fyzikálních veličin během funkce systémů v době, kdy se závady prakticky projevují - tedy za provozu. [1, 2]

#### Základní metody pro hledání závad:

- Měření a porovnávání odporů jednotlivých členů a jejich vodičů s hodnotami předepsanými výrobcem.
- Měření emisí čtyř-, popř. pětisložkovým analyzátozem za účelem zjištění kvality hoření směsi a těsnosti systému výfuku a sání.
- Dynamické měření fyzikálních veličin na motoru pomocí programů a digitálního paměťového osciloskopu, kde lze kontrolovat zapalování, vstřikování, komprese, těsnosti sání, mechanické poškození katalyzátoru, mechanické závady, účinnosti jednotlivých válců apod.

Pro každou poruchu je třeba vždy vybrat optimální metodu její diagnostiky. Nelze kategoricky konstatovat, že vystačíme s jednou z výše uvedených metod. Některé totiž mohou být v konkrétních případech více či méně nepřesné a v konečném efektu zavádějící, nebo dokonce nevhodné.

#### Výhody a nevýhody jednotlivých metod

##### Metoda měření odporů jednotlivých komponentů a jejich vodičů

Veškerá statická měření napětí provádíme moderními vysokoohmickými digitálními multimetry. Na vozidle se nachází i tzv. měkké zdroje napětí, které nelze příliš zatěžovat. Budeme-li například volit k měření napětí na lambda-sondě analogový „ručičkový“ voltmetr, který má vnitřní odpor řádově 10 k $\Omega$ , svede tento přístroj proud přes sebe a měřené napětí na takovémto měkkém zdroji se zhroutí. Naměřená hodnota je tedy silně deformována samotným přístrojem, a přístroj tedy poskytuje naprosto falešný údaj. Digitální přístroj s hodnotou vnitřního odporu řádově 1 M $\Omega$  až 10 M $\Omega$  tento jev nevyvolává. Metoda měření odporů je velmi rozšířená a často je hodnocena jako metoda dostačující. Bohužel např. z hlediska úspěšnosti nalezení závady spočívající v nekvalitních spojích kabelových svazků je to metoda velmi povrchní, a může být i zavádějící. Např. přechodový odpor se chová zpravidla jinak za klidu než v případě, prochází-li jím proud, a stejně tak je jeho hodnota závislá na teplotě. Pouhým měřením odporu např. u vodičů vedoucích z řídicí jednotky ke vstřikovacímu ventilu (měříme za klidu, kdy není člen pod napětím) nezjistíme přechodový odpor, který se důsledkem průtoku intenzivnějšího proudu cívkou za chodu motoru může dynamicky velmi rychle měnit. Za chodu motoru je proud několikanásobně vyšší než při měření odporu ohmmetrem. Přechodový odpor je chová zpravidla nestabilně, z toho vyplývá, že metoda měření odporem na součástech, na kterých za provozu protéká proud o hodnotách nesrovnatelně vyšších než při měření ohmmetrem, je metodou nevhodnou a zavádějící!

##### Výhody metody měření odporů:

- Možnost rychlého prověření dílu, pokud jde o zkrat či přerušeni nebo orientační ověření jeho hodnoty v klidovém stavu ( v případě vnitřního přechodového odporu se nelze na toto měření spolehnout).
- Využitelnost na všech spotřebičích (čidlech), kde jsou proudy tekoucí spotřebičem za provozu podobné proudům tekoucím obvodem při měření ohmmetrem.

### **Nevýhody metody měření odporů**

- Odpor lze měřit pouze na členech, které nejsou pod napětím, tedy ve stavu, který je z hlediska stavu v provozu nestandardní.
- Odpor členů nebo vodičů nelze měřit v dynamických režimech, v jakých se předmět měření za provozních podmínek nachází.

### **Metoda dynamického měření fyzikálních hodnot spolu s měřením emisí**

Metoda dynamického měření fyzikálních hodnot na je měření napětí, proudu a tlaku v časové ose, která je zviditelněna na obrazovce monitoru motortesteru nebo připojeného počítače jako křivka. Záznam pořízený osciloskopem se pak nazývá oscilogram. Osciloskop je proto velmi vhodným prostředkem k hledání závad za provozu, protože zprostředkovává informace o systému tak, jak funguje za normálního provozu.

### **Výhody metody dynamického měření fyzikálních hodnot a emisí za provozu**

- Systém je diagnostikován bez jakéhokoliv ovlivňování v normálním provozním stavu, tedy ve stavu, v jakém se nachází při jízdě, nebo právě v tom režimu, kde se závada nejčastěji projevuje.
- V oscilogramu lze pozorovat dynamické jevy probíhající ve zlomcích milisekund, což je vhodné zejména pro zachycení jevů doprovázejících přechodové odpory, rušení signálu vnějšími vlivy apod.
- Oscilogram poskytuje daleko více informací než měření odporů. Na průbězích křivek oscilogramů pořízených na nejrůznějších komponentech systému řízení se objevují další důležité informace, např. o mechanice vstřikovacího ventilu, stavu snímače otáček a poloh včetně jejich vodičů apod.
- Osciloskop poskytuje možnost dynamického prověření všech kostřicích bodů.
- Digitální paměťový osciloskop je díky své vysoké hodnotě vnitřního odporu použitelný k měření všech elektronických systémů.
- Dynamické měření emisí informuje o tvorbě směsi, případných výpadcích zapalování či vstřikování v provozních stavech.

### **Nevýhody metody dynamického měření fyzikálních hodnot a emisí za provozu**

- Měření lze provádět pouze s kvalitním digitálním paměťovým osciloskopem s velmi dobrým rozlišením, pokud možno mobilním.
- Nemožnost vymazání chybových hlášení
- Nutnost mobility analyzátoru výfukových plynů a možnosti jeho napájení ze sítě vozu.

## **15.1 Diagnostická měření**

Jak již slovo „diagnostika“ naznačuje, je u každé poruchy motorového vozidla třeba nejprve určit její diagnózu. Diagnóza se určuje nejlépe tehdy, je-li k dispozici co možná největší množství informací. [3]

Sběr informací je možné zahájit čtením paměti závad, je-li jím řídicí systém vybaven. Druhým, stejně hodnotným zdrojem informací je majitel nebo řidič vozidla, který svou výpovědí dokáže problém popsat. Z výpovědi majitele nebo řidiče vozidla by mělo např. vyplynout, jakým způsobem, při jaké příležitosti a od kdy se závada projevuje. Majitel by neměl zamlčet důležité skutečnosti, např. že se již někdo, popř. on sám o opravu pokoušel.

Po vyčtení paměti závad řídicí jednotky a výpovědi řidiče či majitele vozidla musíme podrobit systém měření. Zde musí být k dispozici vhodné měřicí přístroje a technické údaje. Mezi nejdůležitější měření z hlediska rychlé lokalizace závady patří tyto segmenty:

- složení výfukových plynů, zejména  $CO_2$
- mechanika motoru,
- dynamické průběhy napětí a proudů v řídicích a kontrolních okruzích,
- dynamické průběhy tlakových pulzací v sání,
- dynamická kontrola synchronních funkcí,

- kvalita elektrických spojů, kontrola dynamické průchodnosti elektrických cest pod zátěží, a zejména kontrola napájení a ukostření jednotlivých členů.

Každá závada, která se v systému vyskytne, má negativní dopad na jednu nebo několik z uvedených oblastí:

- spotřebu paliva,
- obsah škodlivin ve výfukových plynech,
- výkon motoru,
- jízdní vlastnosti a provozní komfort.

Problém, který přivedl zákazníka s vozidlem na diagnostiku, nemusí být příčinou závady, ale jejím důsledkem. Pro získání celkové informace je potřeba provést celou řadu měření. S rostoucím počtem ověřených údajů je vytvářen postupně komplexní obraz o možných příčinách a důsledcích. Jinými slovy - čím více údajů naměříme, tím blíže jsme u cíle. Postupujeme od nejjednodušších měření k měřením složitějším, tzn. od méně náročných k obtížněji proveditelným. Cílem souboru měření je získání komplexního obrazu, sestávajícího z jednotlivých dílčích informací.

Snažme se navrhnout vyčerpávající postup v pořizování komplexního obrazu o stavu systému motoru. V získávání informací hraje velkou roli strategie v jejich sběru. Např. střílí-li motor při deceleraci do výfuku, nebudeme na prvním místě volit test dobíjení, ale jedním z prvních měření bude určitě test těsnosti výfuku a palivového systému.

K doporučeným měřením patří:

- **kontrola těsnosti systému výfuku a emisí - především  $CO_2$  a  $O_2$**

Emisní test provádíme za účelem ověření těsnosti systému výfuku. Systém výfuku prověřujeme při provozní teplotě motoru vždy několika měřeními v různých otáčkových pásmech. Netěsnost nacházející se při volnoběhu v oblasti, kde je tlaková pulzace silnější než podtlaková, lze odhalit pouze změnou otáček, kdy se vlivem měnících se otáček mění i dynamika tlakových vln v celé délce výfuku. Při měření v několika otáčkových pásmech sledujeme na analyzátoru výfukových plynů orientačně:

- 1) zda součet plynů  $CO$  a  $CO_2$  ( $CO$  korr.) je vyšší nebo roven přibližně 15 %,
- 2) zda objemové množství  $O_2$  nepřekračuje hodnotu 3 %,
- 3) zda se poměrné číslo  $\lambda$  pohybuje v mezích 0,900 až 1,000.

Citelné odchylky od uvedených orientačních hodnot poukazují na netěsnost systému výfuku. Oxid uhličitý  $CO_2$  vzniká při dokonalém hoření, a je tedy z hlediska diagnostiky nejzajímavějším parametrem pro hodnocení kvality hoření směsi ve válci - je tedy v přímé úměrnosti k účinnosti motoru. U systémů bez katalyzátoru je nejnižší akceptovatelnou hranicí 12,5 % objemového množství, u motorů s fungujícím katalyzátorem 14,5 %.

Emise jsou vedlejším a nežádoucím produktem každého spalovacího motoru. Spalovací motor emituje plyny, podle jejichž přítomnosti ve výfukových plynech se nechá práce motoru hodnotit:

- $CO$  (oxid uhelnatý) představuje produkt nedokonalého hoření. Například při problematických startech motoru je vidět na obsahu tohoto plynu, zda byla vůbec snaha palivo zažehnout. Když je obsah vysoký ( $CO$  okolo 6% a výše) a k tomu je obsah  $HC$  vyšší než 2000 ppm, jedná se o nedostatečnou kompresi nebo o nekvalitní palivo.
- $HC$  (nespálené uhlovodíky) představují nespálené podíly paliva a organických maziv. Slouží pro kontrolu přítomnosti paliva. Při nespáleném motoru je potřeba prověřit, zda obsah  $HC$  dosahuje hodnot alespoň 5000 ppm u teplého a 1000 ppm u studeného motoru. To jsou hodnoty, na které by měl motor s normální kompresí a s bodem zážehu od 20° před HÚ do 30° po HÚ chytit bez problému.

- $CO_2$  (oxid uhličitý) je produkt dokonalého hoření. U motorů s možností seřízení volnoběžné směsi odpojíme odvětrání klikové skříně a seřizujeme směs zásadně na maximální obsah  $CO_2$ . Teprve potom se přesvědčíme o obsahu  $CO$  a  $HC$ , které jsou jen kontrolními hodnotami, nikoliv seřizovacími! U motorů s katalyzátorem by se měl tento obsah pohybovat od hodnot 13,5% výše, u motorů bez katalyzátoru pak od 12%  $CO_2$ .
- $O_2$  (kyslík) představuje nespálený podíl kyslíku ve výfukových plynech. Nespálený kyslík je dokladem přebytku vzduchu, ale může svědčit o mnohém, např. o chudé směsi, netěsnosti výfukového systému, netěsnosti sání, o nepracujícím jednom nebo více válcích apod. Zdroj kyslíku je třeba dále prověřit motortesterem.
- $\lambda$  (lambda) představuje poměrné číslo, které je výsledkem poměru skutečného množství vzduchu přivedeného do spalovacího prostoru k teoreticky potřebnému množství vzduchu ke shoření 1 kg paliva. U benzínu je ke shoření 1 kg paliva potřeba teoreticky cca 14,7 kg vzduchu.
- $CO\ korr.$  představuje hodnotu složky  $CO$ , zpětně vypočítanou. Tento údaj  $CO\ korr.$  by měl být shodný s údajem, zobrazeným ve složce  $CO$  měřené. Rozcházejí-li se tyto dva údaje, není systém řízení motoru v pořádku. V takovém případě se může jednat o závadu ve spalování směsi ve válci, netěsnost výfukového systému, nesprávné nastavení ventilové vůle, přeskočený rozvodový řemen, nebo o ztrátu komprese. Příčin může být mnoho.

Uživatelé analyzátorů výfukových plynů, které kolonku s údajem o  $CO\ korr.$  nemají, nepřichází o tuto informaci zcela. Lze si pomoci součtem procentuálních hodnot  $CO+CO_2$ , a výsledek by se měl přiblížit teoreticky k číslu 15 % (např.:  $CO_2=13,5\%$ ;  $CO=1,5\%$ ; součet = 15%). Není-li tomu tak, lze zkontrolovat ještě údaj o hodnotě zbytkového kyslíku, který by se měl pohybovat u vozidel bez katalyzátoru do maximální hodnoty 1,5 %  $O_2$  a u vozidel s katalyzátorem a lambda regulací po dostatečném prohrátí katalyzátoru do 0,5%  $O_2$ .

#### • kontrola funkce lambda-sondy

Lambda-sondu měříme po prověření výfukové soustavy na netěsnost a důkladném zahřátí několika způsoby:

- 1) proti její vlastní kostře v zapojeném stavu,
- 2) proti kostře řídicí jednotky v zapojeném stavu,
- 3) proti kostře karoserie, resp. motoru v zapojeném stavu,
- 4) proti její vlastní kostře v rozpojeném stavu při akceleraci (kontrola funkčnosti samotné sondy). Všechna měření provádíme dynamicky pomocí osciloskopu, nikoliv multimetru.

#### • prověření těsnosti systému sání

Těsnost sání prověříme po zahřátí motoru na provozní teplotu:

- 1) měření rovnoměrnosti chodu motoru - tedy rozlišení na netěsnosti v oblasti společné pro všechny válce a na netěsnosti ve vztahu k jednotlivým válcům,
- 2) měření tlaku v sání proti atmosférickému tlaku okolního vzduchu. Neudává-li výrobce jinak, slouží pro volnoběh orientační hodnota podtlaku v sání 60 až 75 kPa (600 až 750 mbar). Hodnota lišící se od hodnoty uváděné výrobcem při volnoběhu, event. při zvýšeném volnoběhu bez zátěže o více než 5 kPa může být již považována za závadu v těsnosti sacího systému,
- 3) dynamickým měřením podtlakových pulzací v sání ve vztahu k jednotlivým válcům lze usuzovat i na závady v nastavení ventilových vůlí, těsnosti ventilových sedel, funkci hydraulických vymezení vůlí či na nesprávné nastavení rozvodů.

Při podezření na netěsnost sání se při bližší lokalizaci místa netěsnosti řídíme dvěma metodami:

- 1) zvukovou metodou hledáním za pomoci fonendoskopu;
- 2) metodou lokálního ofukování plynem  $CO_2$  nebo hořlavým plynem s okysličovadlem (pomocný startovací sprej pro nástřik do sání) za současného odvedení hubice sání filtru vzduchu na vzdálenější místo mimo motorový prostor. Při této metodě lze pozorovat pokles (při použití

plynu  $CO_2$ ), nebo nárůst otáček (při použití startovacího spreje). Pro dokreslení informace je vhodné sledovat i změnu složení výfukových plynů za katalyzátorem, především  $CO_2$  a  $O_2$ .

- **kontrola systému na výpadky v zapalování**

Sledujeme výpadky v hoření směsi pomocí osciloskopu zapalování jednotlivých válců, provádíme kontrolu průběhu hoření na svíčkách, kontrolu délky a průběhu vstříků.

- **kontrola těsnosti palivového systému**

Kontrolujeme těsnost sedel vstřikovacích ventilů a podtlakového regulátoru systémového tlaku paliva, dále průchodnost přívodu a zpětné větve paliva do nádrže, kontrolujeme systém odvětrání palivových par.

- **kontrola regulace předstihu**
- **kontrola správné činnosti rozvodů - synchronizace časování**
- **kontrola dynamické komprese**

Při provádění měření je nutné dbát následujících zásad:

- postupné odstraňování závad zabraňujících dalším měřením,
- vyčerpání všech měřicích kombinací na měřeném komponentu,
- správný úsudek z logických souvislostí v dimenzích „myšlení“ řídicí jednotky.

Správný úsudek se musí opírat o fakta. Faktem není v žádném případě hlášení chybového kódu, ani hodnota zprostředkovaná řídicí jednotkou, případným čtením hodnot. Tyto hodnoty jsou zprostředkované a mohou být v ojedinělých případech dokonce zavádějící. Jedinou věrohodnou informací je měření, odpovídající svými podmínkami provozním podmínkám měřené komponenty, tj. podmínkám, ve kterých se závada projevuje. Např. signál vstříku se měří v zapojeném okruhu dynamicky ve volnoběhu a akceleraci, nikoliv staticky ohmmetrem. Měření musí být provedeno správně. Napojení měřicích sond musí odpovídat zásadám charakteru měření a očekávaným požadavkům.

Adaptivní systémy se učí jezdit s odchylkami od standardních hodnot. Velikost povolených odchylek je definována řídicí jednotkou a systém je dovede kompenzovat. Překročí-li odchylka povolenou mez, přepíná řídicí jednotka do nouzového režimu a adaptivní hodnoty zůstávají v řídicím systému uloženy z posledních jízdních režimů. Po odstranění závady je nutné naučené hodnoty vymazat nebo provést jízdní zkoušku delší než 20 km, aby se adaptivní hodnoty přizpůsobily podmínkám po opravě. Opravený systém se po startu projevuje zpravidla nerovnoměrným chodem motoru, což je jev zcela normální a je důsledkem toho, že řídicí jednotka používá hodnoty veličin odlišné od základních.

## 15.2 Postup diagnostikování závad

### Určení povahy závady

1) Kdy se závada vyskytuje a jak se projevuje?

Určení povahy závady je velmi důležitým faktorem před volbou strategie. Majitel vozu mluví např. o občasném zhasínání motoru, ale blíže jej nedovede specifikovat. Zhasíná motor při následujících stavech? [4]

- jen za studena (příčinou závady může být např. teplotní snímač);
- jen za tepla (např. potenciometr škrticí klapky);
- za tepla i za studena (např. snímač otáček);
- při spuštění el. spotřebičů (např. alternátor);
- při zatočení kol do rejdu či spuštění klimatizace (např. spínače tlaku v servořízení nebo klimatizaci);

- po akceleraci při stoupání otáček (např. netěsnost sání);
- po deceleraci při klesání otáček (např. nepřihlášená škrticí klapka);
- při zařazeném rychlostním stupni a pozvolném zatěžování uvolňováním pedálu spojky (např. vadná řídicí jednotka);
- při krátkém prudkém „třknutí“ do pedálu akcelerace (např. vadný kabel zapalování).

Všechny uvedené podmínky testování jsou cíleně vedenými dotazy, které upřesňují postup, tedy volbu dalšího postupu měření fyzikálních hodnot na motoru. Postup by pak měl dotvářet celkový obraz o správném nebo nesprávném chování jednotlivých komponent v systému a o logické návaznosti typu „příčina – důsledek“. Ke každému z uvedených bodů se váže celý seznam doporučených zkoušek a měření, které však musejí být správně provedeny.

## 2) Ve které systémové části se závada nachází?

Zde je po provedené zkušební jízdě již potřeba určit, ve které části řízení motoru se závada může nacházet. K dispozici jsou dvě metody:

- Metoda logická - klade na znalosti diagnostika poměrně vysoké nároky ohledně znalosti systému, se kterým pracuje. Zde musí diagnostik určit postup, které části systému podrobí důkladnému a správnému měření.
- Metoda vylučovací - Neklade tak vysoké nároky na znalost chování systému, klade však nároky na znalost měření jednotlivých komponent. Metodou vylučovací je myšlen postup, kdy při volbě strategie hledání závady je vylučována ta část systému, která nepřichází v úvahu jako defektní. Zákazníkem je reklamováno např. zhasínání ve volnoběhu, přičemž všechny ostatní režimy zatížení jsou bez problémů. Nebudeme tedy považovat za defektní dopravní tlak paliva, takže nemusíme při volbě strategie okruh palivového čerpadla řadit mezi zkoušky, které je třeba provést jako první. Zbylé v úvahu přicházející části systému podrobíme důkladnému a správnému měření.

Poznámka k metodě vylučovací: před měřením na jednotlivých komponentech musíme brát na vědomí i existující systémová opatření, která výrobce používá u jednotlivých typů. Mezi tato opatření, která se čím dál více vyskytují u nejmodernějších systémů, patří např. kontrolní signály a hlášení periferních systémů, jako spínač brzdových světel, brzdová světla apod., kdy po datové lince centrálního komunikačního systému řízení docházejí informace z okolních řídicích jednotek o stavu jejich systému. Když například u některého typu vozidla nesvítí brzdová světla, dozví se to právě u tohoto typu i řídicí jednotka motoru, která úmyslně omezí maximální rychlost vozidla, aby nedošlo k havárii zaviněné nefunkčními brzdovými světly. V tomto případě budeme marně pátrat po příčině úbytku výkonu, protože řídicí jednotka programově sníží výkon motoru. Tyto detailní informace je nutné nastudovat zvlášť ke každému modelu v příslušné literatuře!

## Sledování parametrů

Drtivou většinu příznaků nesprávného chování motoru lze pozorovat na základě sledování elektrických signálů, popř. za podpory analýzy výfukových plynů.

### Elektrické signály

Elektrické signály jsou zprávy, které jsou vysílány od vysílače k přijímači. Jednou je vysílačem snímač, jednou řídicí jednotka, stejně jako jednou je přijímačem řídicí jednotka a jednou akční člen nebo další řídicí jednotka. Pro potřeby diagnostiky není důležité, jaký prvek je přijímačem a jaký je vysílačem. Je potřeba vidět signál tak, jak ho přijímač z kabelu přijímá. Proto je nutné klást zvýšený důraz na kvalitu signálu.

## **Kvalita signálu**

Každý elektrický obvod musí mít svůj napájecí zdroj a k plnění své funkce musí být uzavřený. Z hlediska hledání závady musíme zvažovat všechny v úvahu přicházející stavy, které mohou v okruhu nastat. Pro kontrolu kvality informace rozlišujeme měření na:

- analogových signálech,
- digitálních signálech.

U obou těchto druhů signálů je zapotřebí kontrolovat:

- kvalitu, popř. stabilitu zdroje napájení,
- kvalitu ukostření,
- průběh signálu.

Všechny tyto parametry musíme sledovat dynamicky!

## **Třídění důležitých informací od nedůležitých**

Máme-li přístroj správně nastavený a provádíme-li měření při správném napojení, je třeba se dobře orientovat při čtení důležitých informací. Všeobecně se měření opírá o dva principy:

- Princip čtení dynamického děje

Princip čtení dynamického děje z průběhu napětí v čase je základem, který je třeba si osvojit, aby si diagnostik vypěstoval schopnost z oscilogramu určit to, co se v měřeném obvodu odehrává. Úsudek ze zakřivení oscilogramu by měl vést k vytváření dalšího postupu v měření – tedy ke stanovení strategie, zda lze z výsledku měření vyvodit závěry, popř. jakým dalším měřením diagnózu doplnit či potvrdit. Schopnost posoudit nestandardní zakřivení a vyvodit z něj další souvislosti závisí na znalostech a zkušenostech diagnostika.

- Princip porovnávání signálů se standardními vzory

Druhý princip je stejně důležitý jako princip první. Jedná se o porovnávání naměřených průběhů se vzorovými signály stejného modelu vozidla. Zakřivení, které se při posuzování oscilogramu signálu ze známého standardního čidla nebo akčního členu zdá být defektní a napovídá na závadu, se může vyskytovat i na standardním vzorovém signálu příslušného typu vozidla.

Měření elektrických signálů na motorových vozidlech je složité. Protože jde ve většině případů o spínání a rozpínání okruhů, odráží se tato dynamičnost i na měřených průbězích. Protože se v každém elektrickém obvodu vyskytuje jiný spotřebič nebo kombinace spotřebičů, je zřejmé, že každý signál bude mít jiné specifické zakřivení. Pro každé vozidlo může být průběh signálu oscilogramu charakteristický svým specifickým zakřivením. Jakákoliv odlišnost je na signálu pozorovatelná, a tak z ní lze usuzovat na příčiny.

Křivky oscilogramů pořízených na všech systémech řízení motoru poskytují určité informace. Tyto informace můžeme využívat podle svých schopností. Je vhodné průběžně si porovnávat signály jak z funkčních, tak i z defektních systémů, aby bylo možné v případě potřeby s čím srovnávat.

Osciloskop je velmi účinnou zbraní pro vyhledávání závad. Je-li však nesprávně nastaven, dokáže diagnostika dokonale zmást. Proto je důležitá kontrola zásad správného měření. Obzvláště v začátcích je při praktických měřeních zapotřebí všechna nastavení a zapojení ověřovat zejména tehdy, je-li měření v obvodu, kde očekáváme signál, nestandardní nebo negativní. Chyba může být právě v provádění měření, nikoliv v měřeném elektrickém obvodu! Abychom získali relevantní výsledky, musíme dbát na správné napojování měřicích sond, nastavení měřicích rozsahů, trigování a režimu měření, musíme znát podobu a specifika vzorových oscilogramů, aby nedošlo k nesprávnému úsudku.

## Použitá literatura

- [1] AUTOEXPERT, 1-2/2000, Diagnostika spalovacího motoru měřením fyzikálních veličin, Autopress s. r. o., 2000.
- [2] First Car Diagnostics, <https://www.fcd.eu/index.aspx>, (12.9.2008).
- [3] AUTOEXPERT, 3/2000, Diagnostika spalovacího motoru měřením fyzikálních veličin 2, Autopress s. r. o., 2000.
- [4] AUTOEXPERT, 4/2000, Diagnostika spalovacího motoru měřením fyzikálních veličin 3, Autopress s. r. o., 2000.



## 16. Osciloskopická analýza základních signálů

### Test spínače

V automobilech se vyskytuje mnoho různých typů spínačů. Mají za úkol rozlišovat dva stavy:

- sepnuto (el. obvod je spojen, protéká el. proud)
- rozepnuto (el. obvod rozpojen, neprotéká el. proud)

Některé spínače mají úlohu pouze signalizační, jiné spínají proudové obvody akčních členů.

V elektrických schématech jsou spínače znázorněny v klidovém stavu.[1]

### Některé typy spínačů a jejich funkce

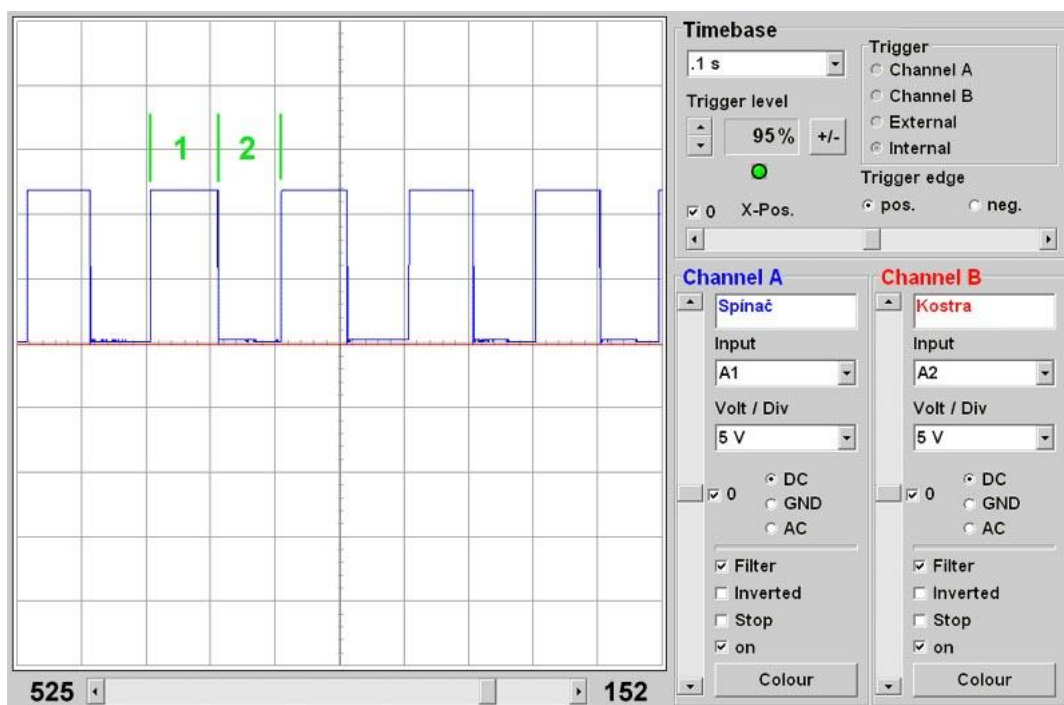
Dvojitý spínač brzdového pedálu - informuje řídicí jednotku o sešlápnutém pedálu a zároveň spíná el. proud do žárovky brzdového světla popř. do dalších el. systémů (ABS). V klidovém stavu je jeden spínač rozepnut (spínač pro brzdová světla a ABS), a druhý spínač sepnut (informace pro řídicí jednotku).

Spínač spojkového pedálu – informuje řídicí jednotku o probíhající řazení (redukce točivého momentu motoru při záběru spojky). V klidovém stavu je spínač sepnut.

Spínač volnoběhu – informuje řídicí jednotku o režimu volnoběhu (aktivuje regulaci volnoběhu).

Spínače v dalších elektronických systémech (spínače dveřních zámků, servořízení, klimatizace apod.)

Většina spínačů podléhá vlastní diagnostice. Test spínače proto provádíme nejčastěji z důvodu hlášení v paměti závad. Pokud hlášení v paměti závad zní na "poruchu obvodu spínače", měl by se provést jeho test pomocí bloku naměřených hodnot. V požadované skupině hodnot pozorujeme funkci spínače. Může se stát, že test spínače pomocí OBD diagnostiky probě-



Obrázek 131 Průběh vzorového signálu spínače

hne s výsledkem tohoto testu „bez závad“, ale přesto bude spínač nebo jeho obvod vadný, např. v obvodu zatíženém proudem akčního členu nemusí přenášet požadovaný proud. Proto je potřeba provést test spínače pomocí osciloskopu (Obrázek 131).

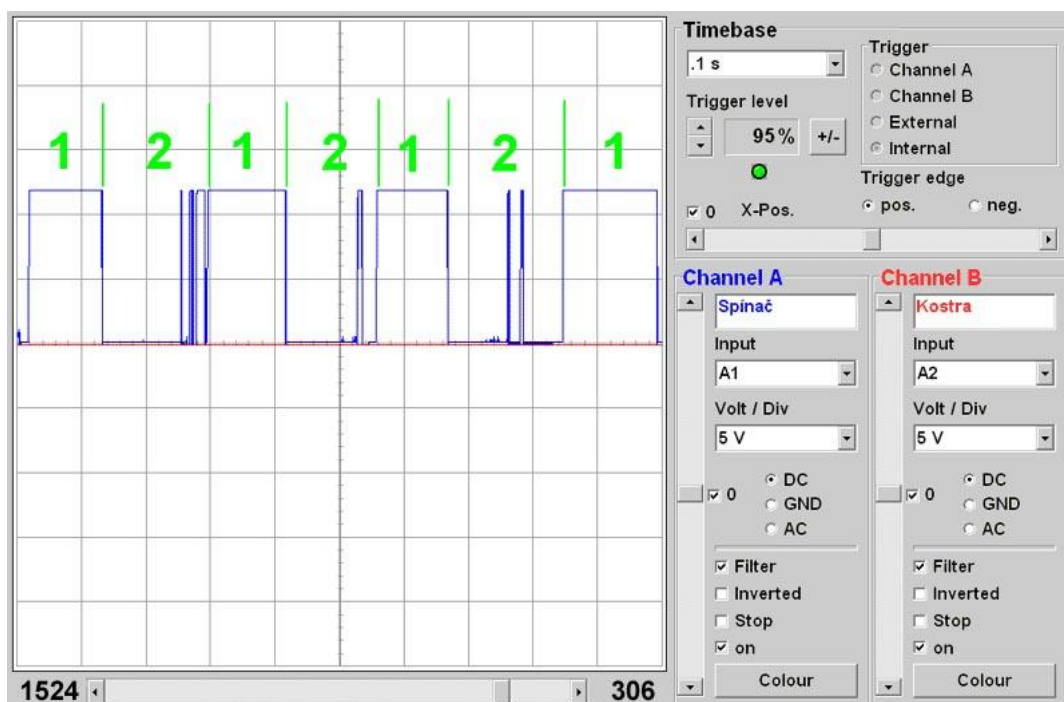
Kanál A (modrá barva, Obrázek 131) ukazuje průběh sepnutí napájení spínače na kostru – spínač je napájen napětím 5V a spíná na kostru (napětí blízké 0V - malé odchylky dle zatížení jsou možné).

Pozice 1 (Obrázek 131) znamená rozepnutý spínač

Pozice 2 (Obrázek 131) znamená sepnutý spínač.

Kanál B (červená barva, Obrázek 131) ukazuje, že ukostření spínače je v pořádku.

Je zřetelně vidět, že sepnutí napájecího napětí probíhá bez výpadků. Ukostření je kvalitní a není rušeno ani přerušeno. Test opakujeme v několika cyklech. Protože je v reálném čase krátkodobý defekt přehlédnutelný, je zapotřebí uložit hodnoty do paměti a prozkoumat funkci spínače v delším časovém úseku.

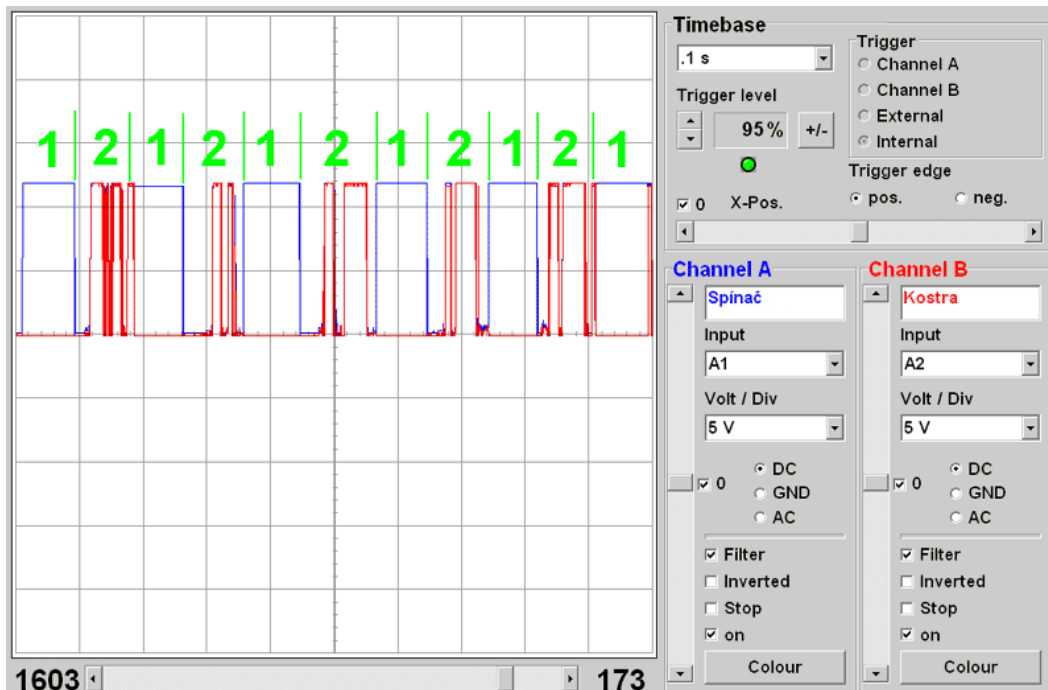


Obrázek 132 Průběh defektního signálu spínače

Na obrázku 132 je zobrazen defektní průběh signálu spínače, kde na Poz. 2 (sepnutý spínač na kostru) dochází k přerušení – vadný spínač.

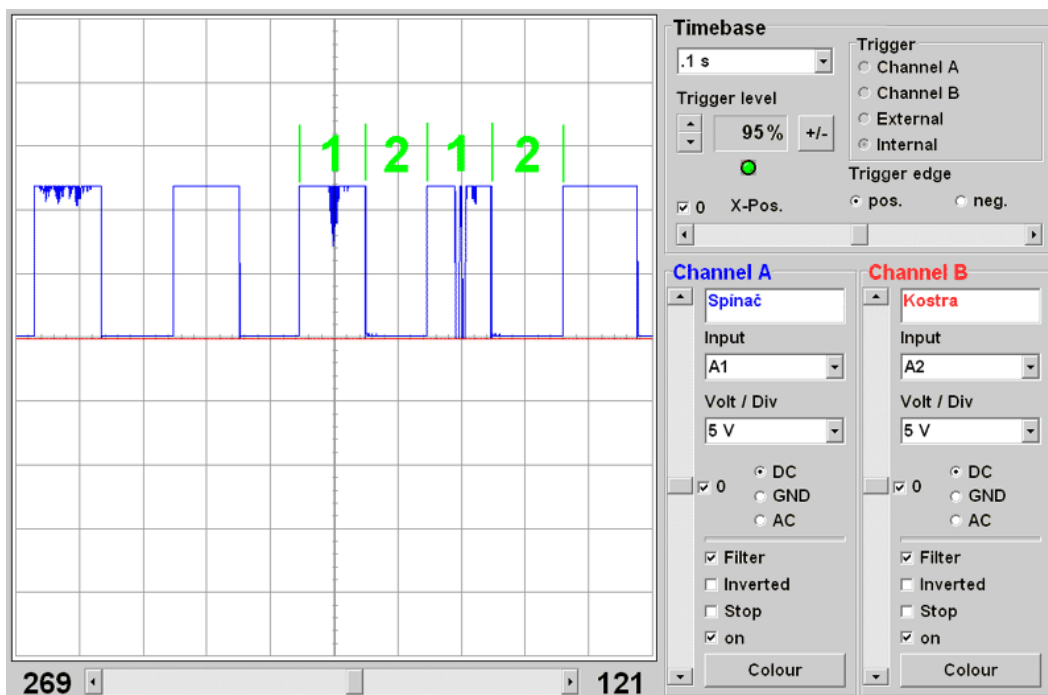
V obvodu spínače je několik míst, kde se nejčastěji vyskytují závady :

- znečištění, oxidace kontaktu spínače
- vada ve svorkovnici (studený spoj, uvolněný kontakt)
- vadné napájecí nebo ukostřovací vedení (přerušení, zmenšený průřez vodiče)



Obrázek 133 Průběh defektního signálu spínače

Kanál B (červená barva, Obrázek 133) ukazuje, že v době sepnutí (Poz. 2) dochází k přerušování kostřícího vedení.



Obrázek 134 Průběh defektního signálu spínače

Kanál A (modrá barva, Obrázek 134) ukazuje, že v době rozeptutí (Poz.1) dochází k přerušování napájecího vedení.

## Test akumulátoru

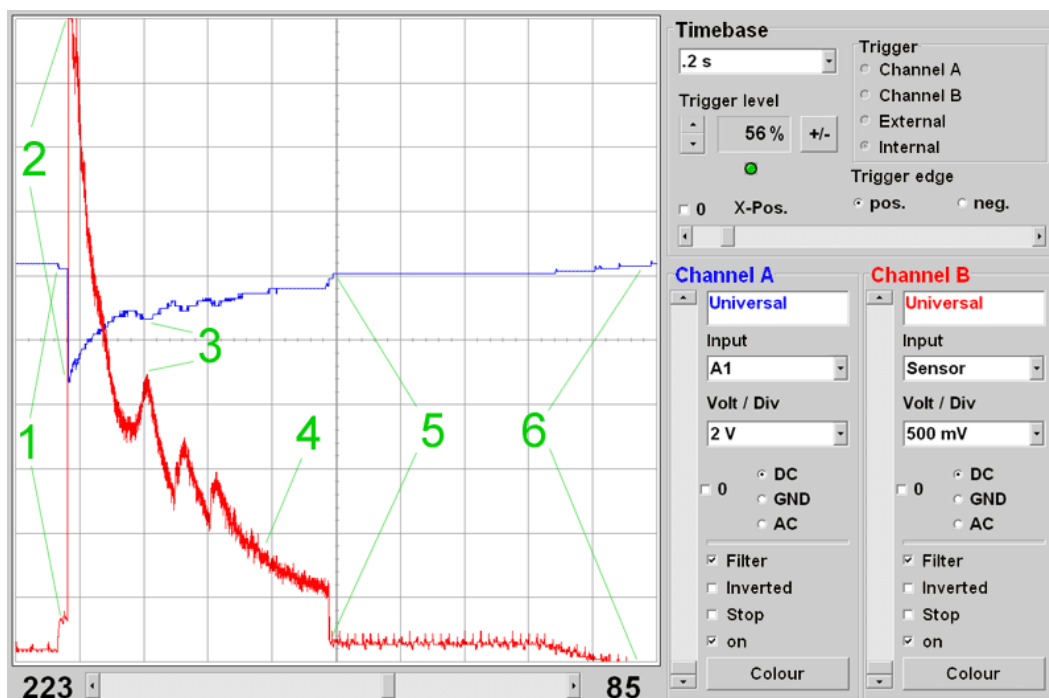
Test akumulátoru provádíme při problémech se startováním motoru nebo při výskytu chybového hlášení, týkajícího se napětí v síti či napětí akumulátoru. [1]

Při startování dochází k poklesu napětí v celé 12 V elektrické síti a elektronické systémy musí s tímto napětím pracovat. Podle napětí a proudu při startování poznáme, v jakém technickém stavu je akumulátor a s jakým napětím elektronický systém pracuje. Je to test je velmi objektivní, protože akumulátor je měřen v podmínkách, které odpovídají skutečnému provozu.

Podmínky pro objektivní test akumulátoru :

- Nabítený akumulátor - min. 12,4 V, max. 12,7 V
- Povrchová čistota akumulátoru (vlhko, mastnota, prach apod.).
- Vizuální kontrola svorek akumulátoru (svorky nesmí být zoxídované a nesmí mít porušenou stykovou plochu).
- Napájení osciloskopu musí být nezávislé na napětí akumulátoru.

Protože zjišťujeme, s jakým napětím pracuje akumulátor, musíme připojit měřicí sondy přímo na jeho kontakty. Startujeme motor a záznam uložíme do paměti osciloskopu. Pokud v době maximálního odběru proudu klesne hodnota napětí pod 8 V, je akumulátor "slabý" nebo defektní. Pokud je při startování hodnota napětí nižší než 9 V, elektronický systém zpravidla nepracuje a motor nenastartuje.



Obrázek 135 Průběh vzorového signálu při testu akumulátoru

Kanál A (modrá barva, Obrázek 135) – kladný kontakt akumulátoru.

Kanál B (červená barva, Obrázek 135) – proudové kleště (10mV=1A) na záporném vedení od akumulátoru na karoserii.

Kostra osciloskopu – záporný kontakt akumulátoru.

Poz. 1 - Přivedení napětí na svorku 50 spouštěče, vysouvání pastorku.

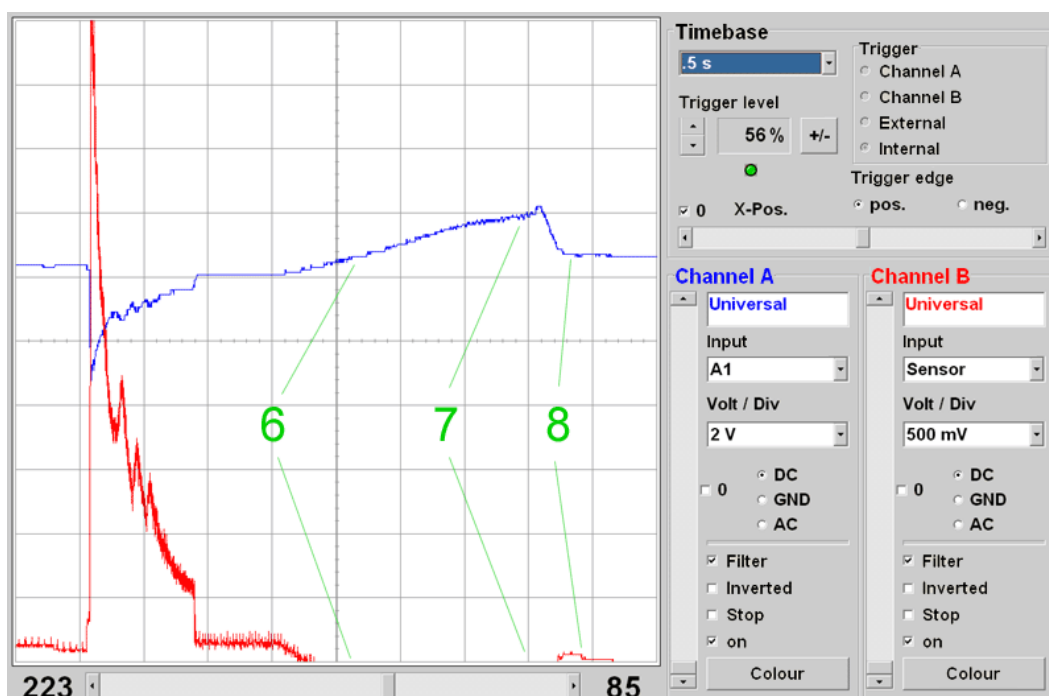
Poz. 2 - Zasunutí pastorku, motor se ještě neotáčí. Proud je maximální (nad 500 A), napětí pokleslo na hodnotu 9V. Tento parametr je nejobektivnější pro zjištění stavu akumulátoru.

Poz. 3 - Motor se pomalu roztáčí a spouštěč překonává první kompresi jednoho válce. Proud se zvyšuje a napětí snižuje. Při této hodnotě napětí musí elektronický systém motoru aktivovat vstřikovací ventily a zapalovací cívky.

Poz. 4 - Proud klesá, protože práci spouštěče aktivně přebírá motor. V tomto okamžiku již není vidět proudová komprese, protože píst již není hnán spouštěčem, ale expanzí jiného válce.

Poz. 5 - Odpojení napětí ze svorky 50 spouštěče. Rotor alternátoru ještě není magneticky nabuzen (12V).

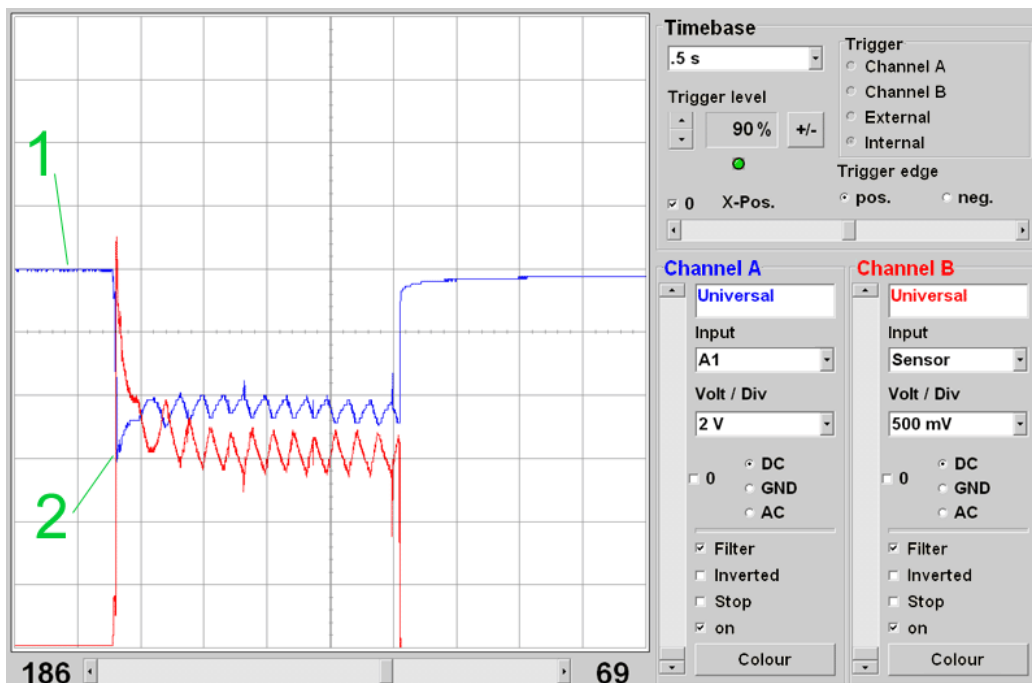
Poz. 6 - Postupný náběh napětí alternátoru.



Obrázek 136 Průběh vzorového signálu při testu akumulátoru

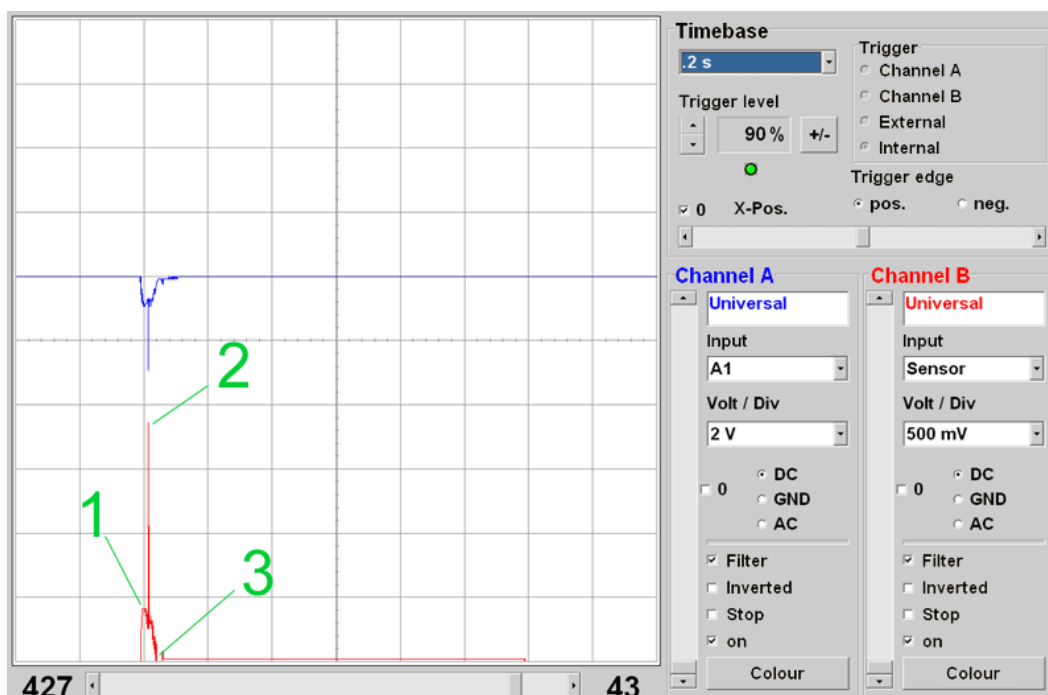
Poz. 7 - Plné nabuzení alternátoru (14V).

Poz. 8 - Vypnutí motoru.



Obrázek 137 Průběh defektního signálu při testu akumulátoru

Příliš velký pokles napětí (6V) při maximálním proudu (Poz. 2) může mít příčinu v nenabitém akumulátoru – napětí bez zátěže (Poz. 1) je pouze 12 V místo min.12,4 V. Pokud je i po nabití akumulátoru první maximální pokles napětí příliš velký, je akumulátor vadný.



Obrázek 138 Průběh defektního signálu při testu akumulátoru

Zde (Obrázek 138) nedošlo k roztočení spouštěče. Je vidět pouze fáze zasunutí pastorku (Poz. 1). Při dalším požadavku na větší proud (tj. roztočení elektromotoru) došlo pouze

k proudovému výkmitu (Poz. 2) s následným přerušení obvodu (Poz. 3). Závada byla způsobená opálenými kontakty elektromagnetického spínače spouštěče.

## Test komprese

Podle napětí a proudu při startování neurčujeme jen technický stav akumulátoru. Při startování je spouštěč proměnlivě zatěžován roztáčejícím se motorem. Při pohybu pístu do horní úvratě je spouštěč zatěžován více (kompresní zdvih) a při pohybu do dolní úvratě je naopak spouštěč zatěžován méně. Podle průběhu elektrického proud v čase jsme schopni poznat, zda jednotlivé válce mají stejné tlakové poměry. V případě doplňujícího měření osciloskopem je možné poznat další závady mechanické či elektrické povahy. [1]

Test komprese provádíme na základě :

- Chybových hlášení v podobě vynechávání zapalování,
- Potíží s nastartováním motoru,
- Nízkého výkonu motoru.

Výhody proti klasické metodě měření úbytku tlaku ve válci :

- Bezdemontážní a rychlá metoda za provozních podmínek,
- Pokud je výsledek v pořádku, vylučuje se hned několik okruhů závad (elektrický startovací obvod, komprese, třecí síly v klikovém a vačkovém mechanismu),
- Díky možnosti určit skutečnou horní úvrat' pístu, je možné ve spojení se signálem zapalování či vstřikování určit hodnotu předstihu nebo předvstříku.

Nevýhody testu komprese :

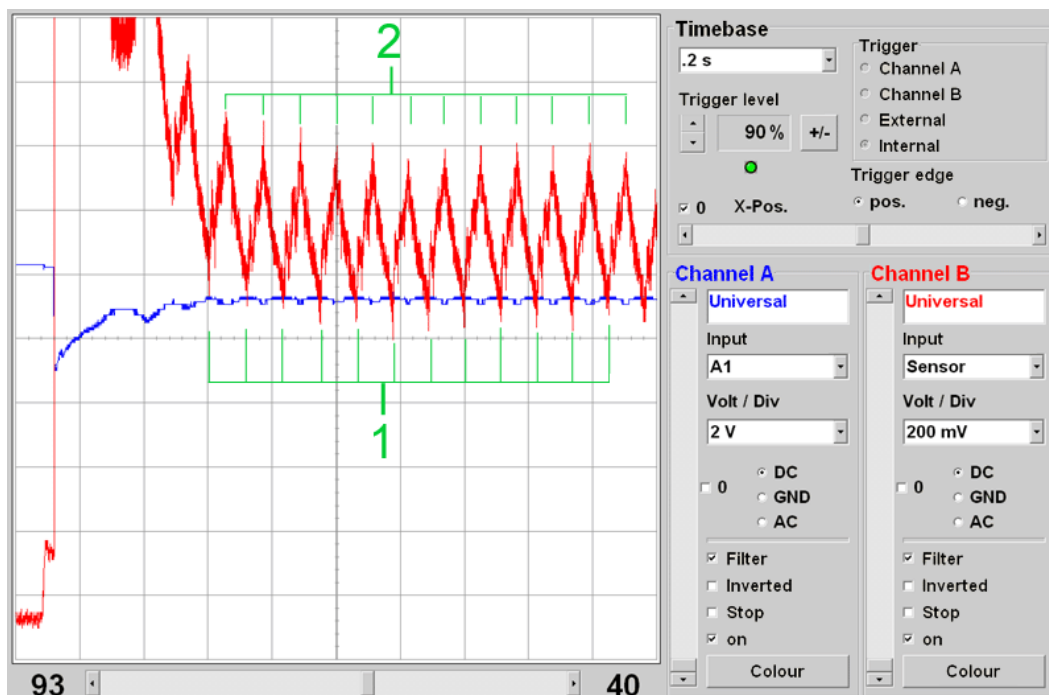
- Pokud je výsledek negativní, musí následovat další metody měření (měření úbytku tlaku ve válci, v případě elektrické poruchy měření osciloskopem),
- Neobjektivní výsledky u 8 a víceválcových motorů – malé proudové rozdíly mezi válci,
- Nemožnost určit absolutní hodnotu tlaku ve válci, pouze porovnání mezi nimi.

Podmínky pro objektivní test komprese :

- Využít první startování studeného motoru při teplotě kolem 20°C. Ve výsledku je pak zahrnuta i případná netěsnost pístních kroužků
- Zabránit nastartování motoru odpojením přívodu paliva. U zážehových motorů můžeme odpojit zapalování, ale ztrácíme tak možnou identifikaci válců.
- Akumulátor v pořádku.

## Základní vyhodnocení

Maximální tolerance proudových špiček mezi válci zážehového motoru: počet válců x 2,5 A.



Obrázek 139 Průběh vzorového signálu při testu komprese

Kanál A (modrá barva, Obrázek 139) – kladný kontakt spouštěče (napojením přímo na závit kontaktu získáme informaci, s jakým napětím pracuje vlastní spouštěč).

Kanál B (červená barva, Obrázek 139) – proudové kleště (10mV=1A) na kladném vedení od akumulátoru ke spouštěči (získáme informaci, s jakým proudem pracuje spouštěč).

GND – záporný kontakt akumulátoru

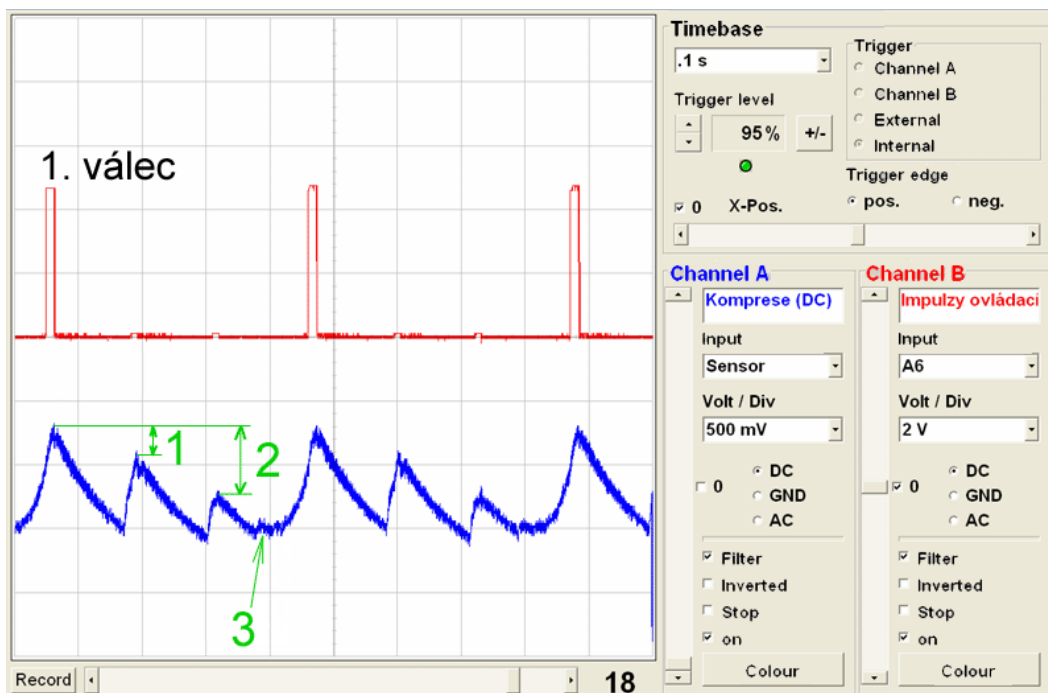
Vhodným nastavením časové základny osciloskopu získáme lepší přehled o tlakových poměrech válců. Dostaneme tak obraz nezkrácený počáteční fází startu, kdy se ztěžka začíná roztáčet celý mechanismus z klidu, získáme přehled o otáčkách klikového hřídele. Přepnutím osciloskopu do režimu AC (zobrazovaná je pouze střídavá složka signálu) získáváme možnost lepšího grafického rozlišení pro posuzování detailů křivky. V konečném důsledku tak získáme lepší možnost rozlišení nárůstů proudu, způsobených mechanickými odpory klikového a rozvodového mechanismu motoru.

Poz. 1 – tzv. proudový zlom - píst se po předchozí kompresi nachází přibližně ve stejné části zdvihu, jako píst přicházející do komprese. Práce startéru již není tolik podporována vzniklým vzduchovým polštářem předchozího válce (minimální hodnota elektrického proud - z hlediska hodnocení hodnot proudu nevýznamná část křivky, z hlediska hodnocení časových odstupů - pomocný parametr).

Poz. 2 - horní úvrat' kompresního válce - maximální hodnoty el.proudu jednotlivých válců reprezentují maximální kompresní tlaky jednotlivých válců. Proudové špičky odpovídají horní nebo dolní úvratí jednotlivých válců (u čtyřválcového motoru).

Podle maximálních dosažených proudových špiček lze posuzovat jen větší úbytky komprese (nepatrné netěsnosti válce se neprojeví změnami maximálního proudu a rychlostí pístu do horní úvratě).





Obrázek 140 Průběh defektního signálu při testu komprese

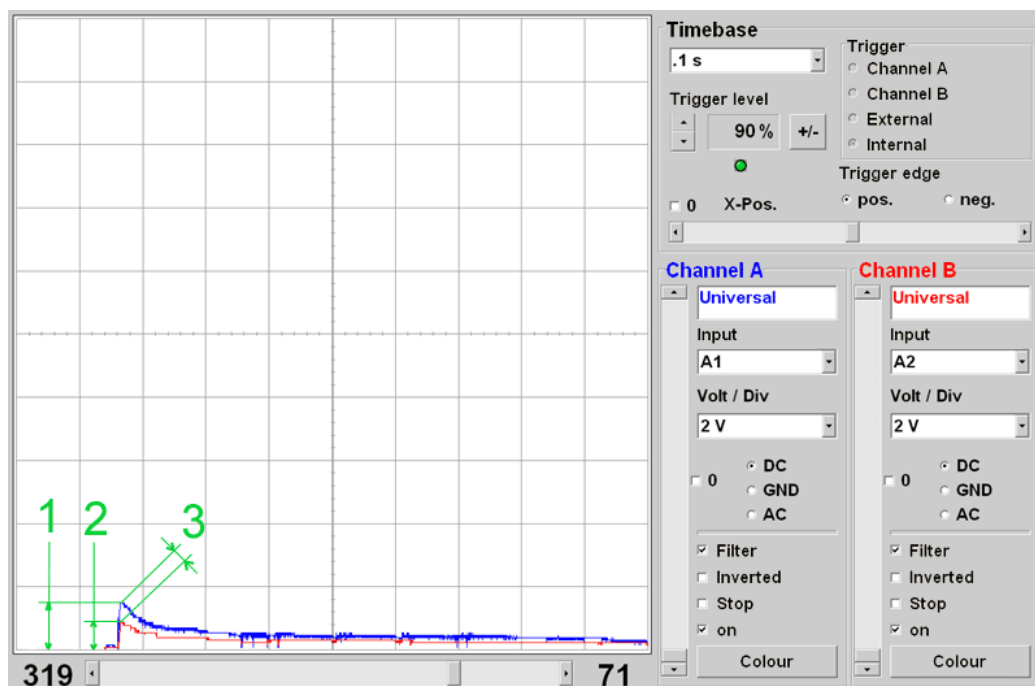
Kanál A (modrá barva, Obrázek 140) - proudový průběh spouštěče (proudový převodník 10mV=1A).

Kanál B (červená barva, Obrázek 140) - napěťové impulzy zapalování 1. válce pro rozlišení válců.

Maximální tolerance (pro definici defektu orientačně platí: počet válců  $\times$  2,5 A, tzn.:  $3 \times 2,5 \text{ A} = 7,5 \text{ A}$ ) mezi válci je překročena. Rozdíl mezi 1. a 2. válcem je přibližně 25 A (Poz. 1) a mezi 1. a 3. je přibližně 50 A (Poz. 2). Poz. 3 vyznačuje předčasnou práci startéru, která je vyvolána menší silou slabšího vzduchového polštáře předchozího válce.

## Test kostřícího vedení

Závada v kostřícím vedení může způsobit stejné problémy při startování jako závada v napájecím vedení. Protože v kostřícím vedením tečou také proudy jiných spotřebičů, může se závada projevit i při běžícím motoru jejich nefunkčností. Test provádíme při startování, kdy teče obvodem maximální proud. [1]



Obrázek 141 Průběh signálu při testu ukostření

Kanál A (modrá barva, Obrázek 141) - kostra startéru.

Kanál B (červená barva, Obrázek 141) - kostra karoserie.

GND - záporný pól akumulátoru.

Poz. 1 - celkový úbytek na vedení mezi kosterou startéru a záporným pólem akumulátoru (1,5 V), kde je připojena kostřící svorka osciloskopu.

Poz. 2 - úbytek na vedení mezi karoserií a záporným pólem akumulátoru (1 V).

Poz. 3 - úbytek na vedení mezi kosterou startéru a karoserií (rozdíl obou hodnot - 0,5 V).

Vyhodnocení úbytků ve vedení :

Při průchodu startovacího proudu je přirozený úbytek celého vedení 1 V – 4 V (kladné vedení do 2 V, kostřící vedení do 2 V). Z tohoto vyplývá nutnost měřit také startovací proud pomocí proudového převodníku. Velký úbytek napětí ve vedení může mít příčinu buď v příliš vysokých třecích odporech motoru (vysoký proud), nebo v porušeném vedení (nízký nebo nulový proud).

Pokud je úbytek nulový, ale proud prochází, tzn. motor startuje, není osciloskop správně napojen (např. vadný kontakt měřící sondy).

Pro lokalizaci místa závady je zapotřebí použít vícekanálový osciloskop nebo postupně nahrazovat určité části vedení a sledovat poklesy úbytků napětí.

## Test startovací soustavy

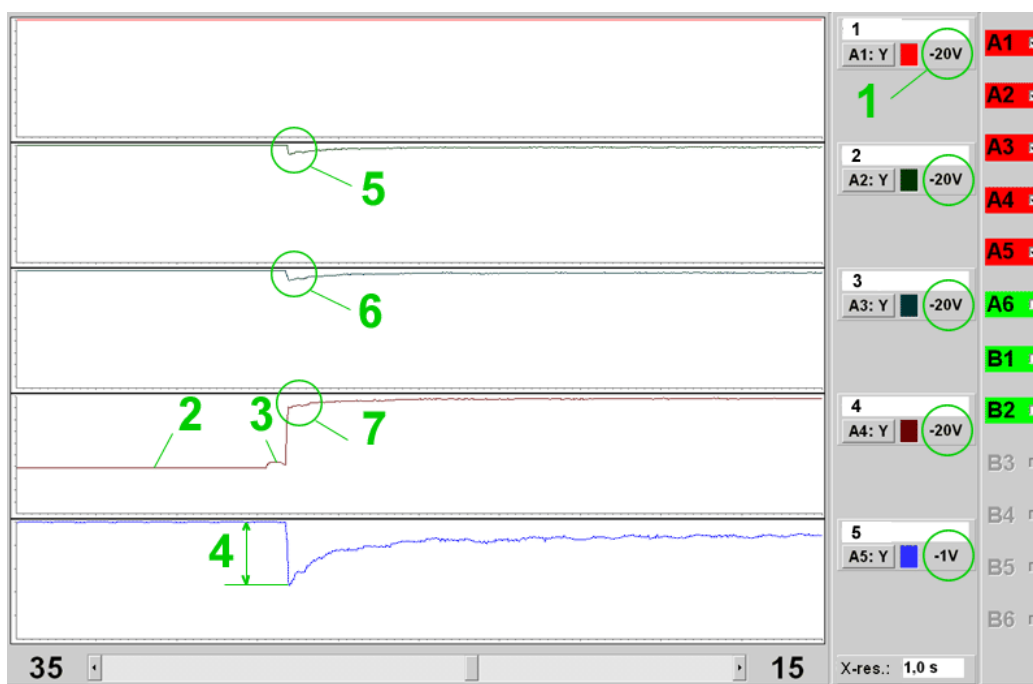
Napojením vícekanálového osciloskopu jsme schopni určit místo a charakter závady – lokalizační test. [1] Podmínky efektivního nalezení závady ve startovací soustavě :

- Poslech projevu závady.
- Důkladná vizuální prohlídka kritických míst.
- Napojení vícekanálového osciloskopu na několik míst v obvodu proti kladnému nebo zápornému potenciálu akumulátoru.

Lokalizační test kladného vedení provedeme nejlépe napojením "kostřící" (černé) sondy osciloskopu na kladný pól akumulátoru. Osciloskop tak ukáže úbytek ve vedení bez poklesu napětí akumulátoru. Napojíme-li více kanálů na různá místa v obvodu, jsme informováni o úbytcích napětí mezi příslušnými sondami osciloskopu.

Určení závady ve vedení při průchodu proudem:

Čím je měřicí sonda na měřeném vedení blíže kostřící sondě osciloskopu, tím vedení musí vykazovat menší úbytek. Pokud se objeví nelogicky větší úbytek v některé části vedení při současně menším proudu, jedná se o závadu v dané části vedení.



Obrázek 142 Průběh signálu při lokalizačním testu vedení svorky 30

Kanál A1 (Obrázek 142) - svorka kladného pólu akumulátoru.

Kanál A2 (Obrázek 142) - kabelové očko na svorce 30 startéru.

Kanál A3 (Obrázek 142) - šroub kontaktu 30 startéru.

Kanál A4 (Obrázek 142) - šroub kontaktu startéru přivádějící proud do vinutí vlastního elektromotoru.

Kanál A5 (Obrázek 142) - proudové kleště (1V/1000A) na přívodním kabelu startéru svorky 30.  
GND - kladný pól akumulátoru.

Pro přehledné zobrazení případných závad je vhodné nastavit rozsah do 2V/div.

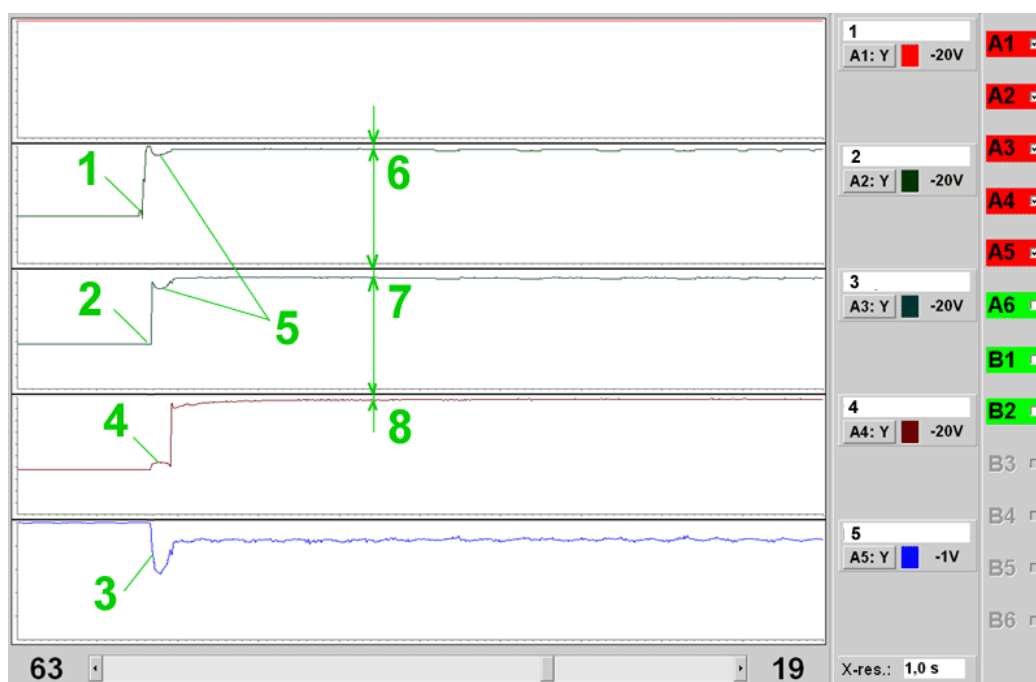
Poz. 1 - rozsah napětí musí být v záporných hodnotách, protože potenciál, proti kterému měříme, je větší.

Poz. 2 - na svorce vlastního spouštěče je měřen potenciál 12V, protože vinutí statoru a rotoru musí být ukostřeno.

Poz. 3 - zasouváním pastorku je odebírán proud z akumulátoru, na kterém poklesne napětí. Protože proud ještě neprochází měřeným vedením sv. 30 startéru, jedná se pouze o zmenšený napět'ový potenciál vyvolaný poklesem napětí na akumulátoru.

Poz. 4 - proud odebíraný ještě neotáčejícím se startérem při zasunutí pastorku. Hodnota, kterou bereme v úvahu jako první při hledání závad. V zásadě platí, že proud ukazuje závadu a napětí konkretizuje a lokalizuje příčinu.

Poz. 5, 6 a 7 - přirozené úbytky napětí mezi kladným pólem akumulátoru a konkrétními napojenými místy. Úbytek se logicky zvyšuje s větší délkou vedení - bez závad.



Obrázek 143 Průběh signálů při lokalizačním testu vedení svorky 50

Kanál A1 (Obrázek 143) - konektor svorky 30 na spínací skřínce.

Kanál A2 (Obrázek 143) - konektor svorky 50 na spínací skřínce.

Kanál A3 (Obrázek 143) - konektor svorky 50 na startéru.

Kanál A4 (Obrázek 143) - šroub kontaktu startéru přivádějící proud do vinutí vlastního elektromotoru (zde se nejedná již o svorku 50, signál je pouze doplňující).

Kanál A5 (Obrázek 143) - proudové kleště (1V/100A) na přívodním kabelu startéru svorky 50.

GND - kladný pól akumulátoru.

Pro přehledné zobrazení případných závad je vhodné nastavit rozsah 2V/div.

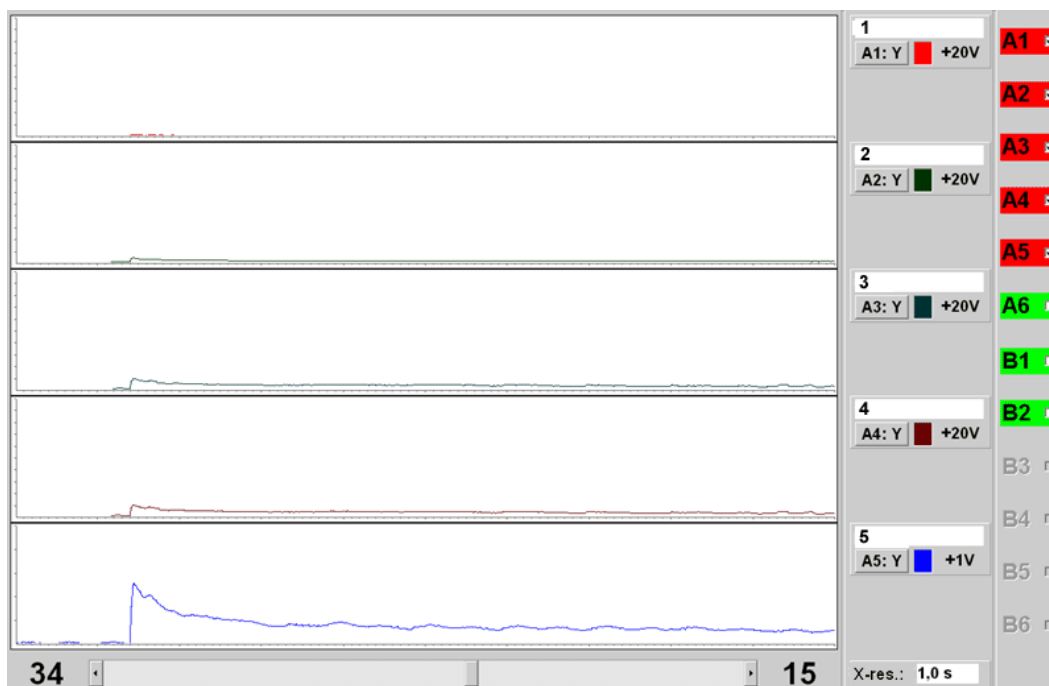
Poz. 1 a 2 - přivedení napětí na svorku 50.

Poz. 3 - budování proudu ve vinutí zasouvací cívky startéru. Pokud není cívka postupně sycena proudem (dáno vlastností cívky) je vadná.

Poz. 4 - zasouváním pastorku je odebírán proud z akumulátoru, na kterém poklesne napětí. Protože proud ještě neprochází vedením sv. 30 startéru, jedná se pouze o zmenšený napěťový potenciál vyvolaný poklesem napětí na akumulátoru..

Poz. 5, 6 a 7 - přirozené úbytky napětí mezi kladným pólem akumulátoru a konkrétními napojenými místy. Úbytek se logicky zvyšuje s větší délkou vedení - bez závad.

Poz. 8 - přirozený úbytek napětí ve vedení svorky 30.



Obrázek 144 Průběh signálů při lokalizačním testu kostřičího vedení

Kanál A1 (Obrázek 144) - svorka záporného pólu akumulátoru.

Kanál A2 (Obrázek 144) - kostřicí bod karoserie.

Kanál A3 (Obrázek 144) – kostřicí bod bloku motoru.

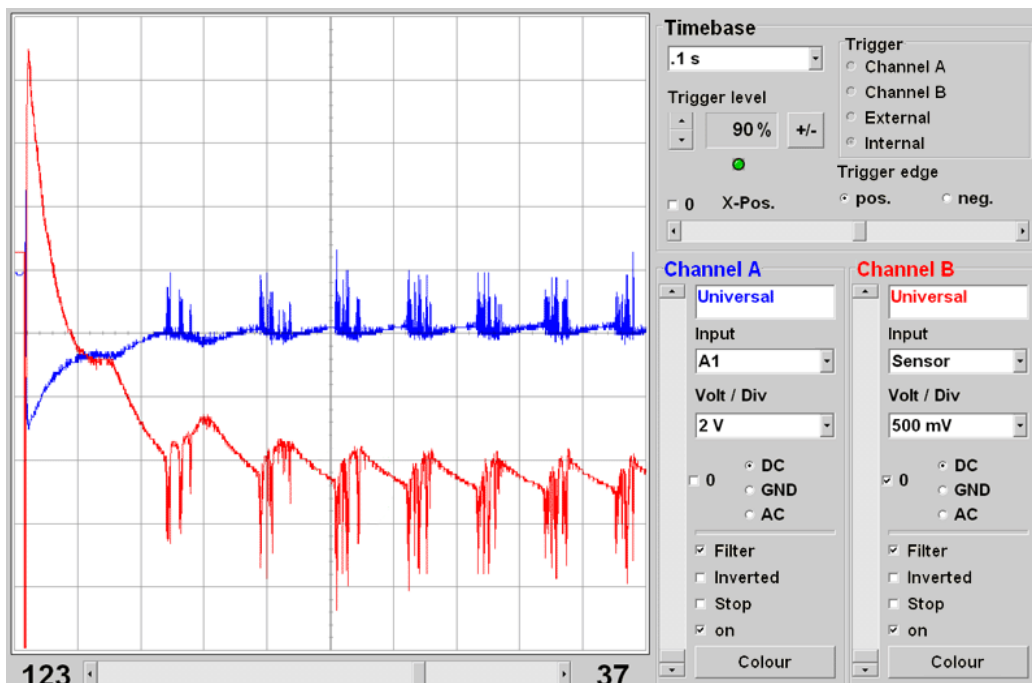
Kanál A4 (Obrázek 144) - těleso startéru.

Kanál A5 (Obrázek 144) - proudové kleště (1V/1000A) na přívodním kabelu startéru svorky 30.

GND - záporný pól akumulátoru.

Pro přehledné zobrazení případných závad je vhodné nastavit rozsah do 2V/div.

Na kanálech A1 až A4 jsou naměřeny přirozené úbytky v kostřicím vedení. Úbytek se zvyšuje s větší délkou vedení - bez závad.



Obrázek 145 Průběh defektních signálů při testu startovací soustavy

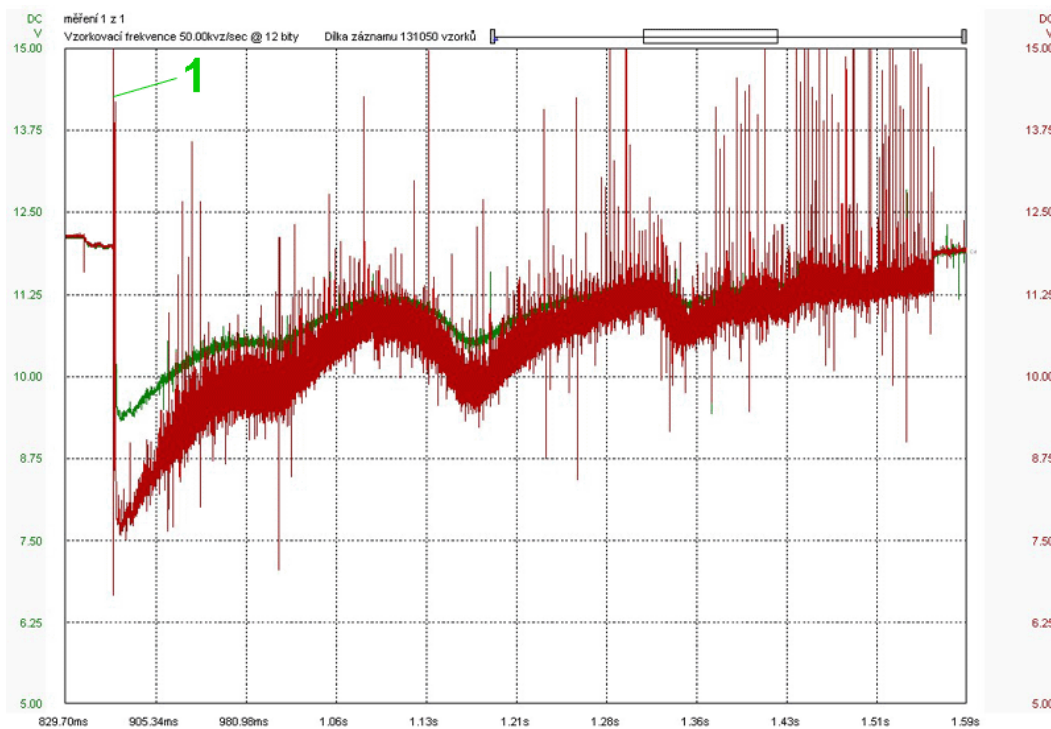
Kanál A (modrá barva, Obrázek 145) - napětí na kontaktu startéru svorky 30.

Kanál B (červená barva, Obrázek 145) - proudové kleště ( $10 \text{ mV} = 1 \text{ A}$ ) na přívodním vedení svorky 30 startéru.

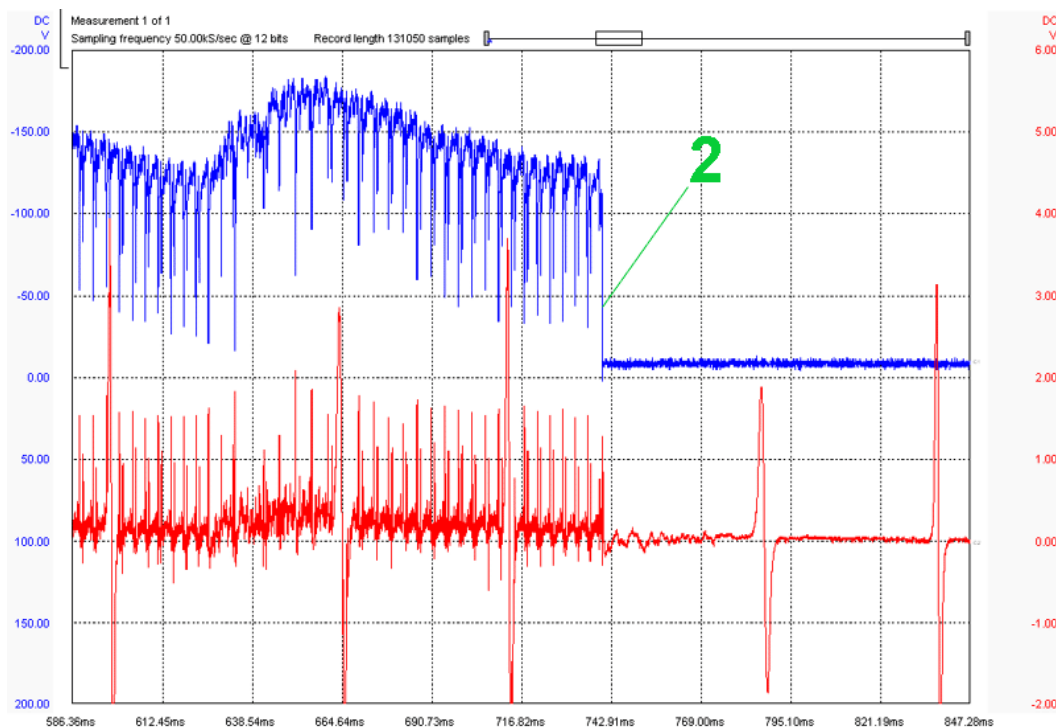
GND - záporný pól akumulátoru

Závada se projevovala nižšími otáčkami motoru při startování.

Při nárůstu zátěže startéru dochází ke krátkodobým poklesům proudu. Následkem jsou krátkodobé vzestupy napětí (menší zátěž akumulátoru). Prudké poklesy proudu musí být způsobeny elektrickým přerušováním obvodu od kostry nebo mechanickým opotřebením startéru. Protože napětí měříme na svorce startéru, jedná se o přerušování za tímto měřeným místem - tedy uvnitř startéru (spínač, uhlíky, vinutí), nebo v kostřicím vedení.



Obrázek 146 Průběh defektních signálů při testu startovací soustavy



Obrázek 147 Průběh defektních signálů při testu startovací soustavy

Kanál A (zelená barva, Obrázek 146) – napětí na kladné svorce akumulátoru.  
 Kanál B (červená barva, Obrázek 146) - napětí na svorce přívodního vedení startéru sv.30.  
 GND - záporný pól akumulátoru  
 Závada se projevuje tak, že motor je startérem roztáčen, ale nenaskočí.

Jak je vidět z naměřeného oscilogramu (Obrázek 146) napětí na startéru je zarušené a převyšuje napájecí napětí. První zarušení je již pozorovatelné při záběru pastorku (Poz. 1). Tento jev může způsobit pouze elektromagnetické vyzařování od jiskřících částí startéru. Na akumulátoru již rušení není pozorováno, protože sonda osciloskopu je již mimo dosah vyzařování.

Kanál A (modrá barva, Obrázek 147) - proud při startu a po něm.

Kanál B (červená barva, Obrázek 147) - rušený signál indukčního snímače otáček klikové hřídele.

GND - záporný pól akumulátoru

Silné rušení bylo přeneseno i do signálu indukčního snímače otáček. Řídící jednotka tak vyhodnotila signál jako nevěrohodný a zablokovala při startování vstřikování. Po ukončení práce startéru již není rušení pozorovatelné (Poz. 2).

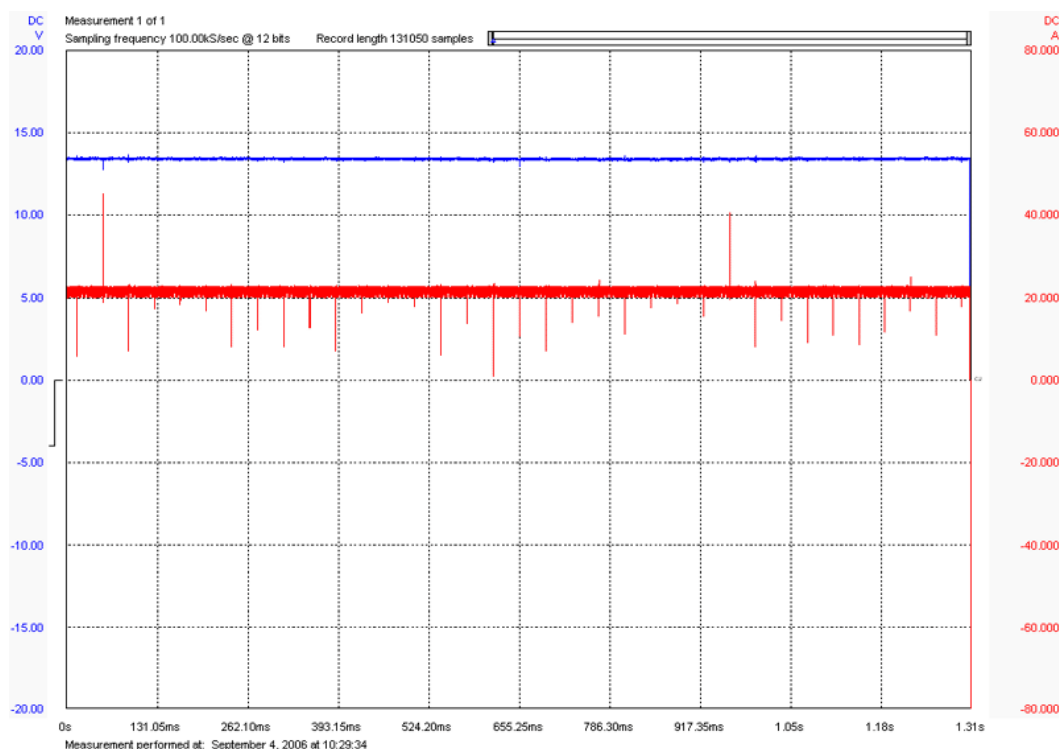


## Test dobíjecí soustavy

Dobíjecí soustava má za úkol udržovat akumulátor v nabitém, startuschopném stavu. Alternátor je generátor střídavého třífázového napětí s usměrňovacími diodami a regulátorem. Alternátor musí vykazovat velmi úzký rozsah výstupního napětí nezávisle na otáčkách motoru a proudovém zatížení v síti vozidla. [1]

Podmínky pro objektivní test dobíjecí soustavy :

- Akumulátor v pořádku
- Drážkový řemen a jeho napnutí v pořádku
- Měřit v různých otáčkových režimech motoru a v proudové zátěži (spotřebiče zapnuty)



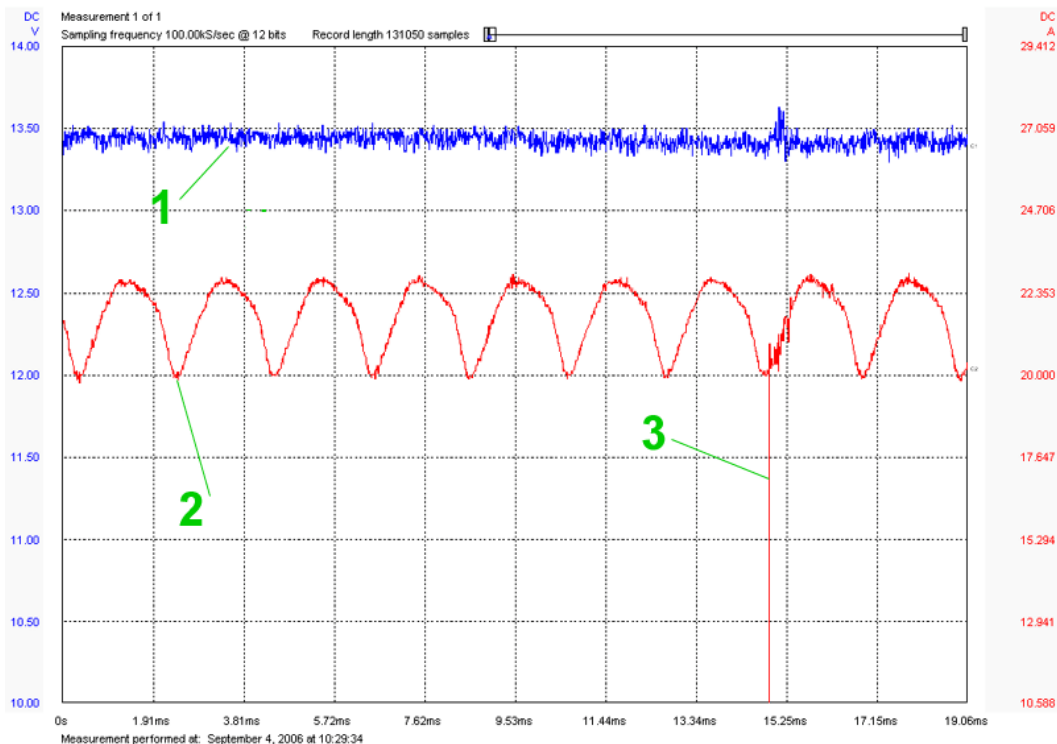
Obrázek 148 Průběh vzorových signálů při testu dobíjecí soustavy

Kanál 1 (modrá barva, Obrázek 148) - napětí na kladném pólu akumulátoru.

Kanál 2 (červená barva, Obrázek 148) - výstupní proud svorky B+ alternátoru.

GND - záporný pól akumulátoru

Motor pracuje ve vyšších otáčkách a s proudovou zátěží 22A. Napětí na akumulátoru nesmí kolísat a jeho úroveň by se měla pohybovat v rozmezí od 13,5 V do 14 V, tj. maximálně o 0,5 V méně, než je jmenovité napětí alternátoru (0,5 V - úbytek ve vedení). Provozní napět'ový rozsah se může u různých konstrukcí alternátorů a regulátorů lišit.



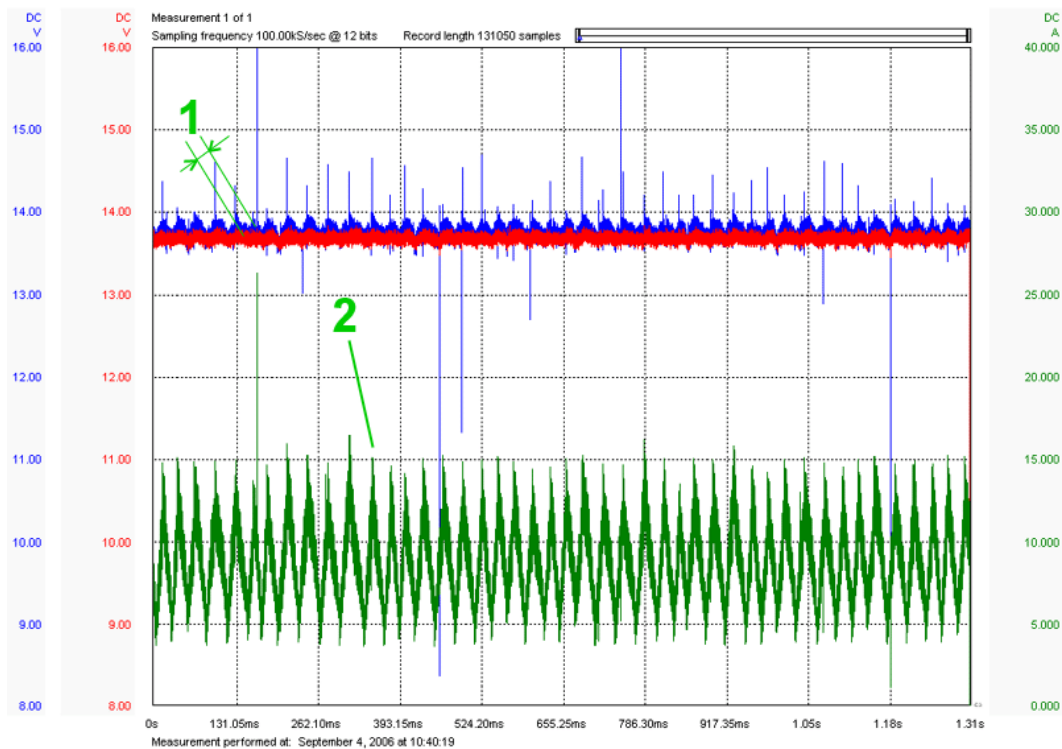
Obrázek 149 Průběh vzorových signálů při testu funkce diod

Kanál 1 (modrá barva, Obrázek 149) - napětí na kladném pólu akumulátoru.  
 Kanál 2 (červená barva, Obrázek 149) - výstupní proud svorky B+ alternátoru.  
 GND - záporný pól akumulátoru

Poz.1 - napětí na akumulátoru 13,4 V je na spodní hranici tolerance, v pořádku.

Poz. 2 - pilovitý proudový průběh je charakteristický pro správnou funkci výkonových diod.

Poz. 3 - proudový signál je rušen zapalovacími jehlami. Tento jev však není na závadu. Tyto napěťové jehly mohou pocházet i od statických výbojů z ložisek alternátoru, nebo od vyschlých drážkových řemenů. U dobíjecích systémů, které jsou kontrolovány řídicí jednotkou může v těchto případech dojít k chybovým hlášením o defektu alternátoru nebo akumulátoru. Je proto vhodné přezkoušet signály dobíjení vždy osciloskopem.



Obrázek 150 Průběh vzorových signálů při testu vedení

Kanál 1 (modrá barva, Obrázek 150) - svorka B+ alternátoru.

Kanál 2 (červená barva, Obrázek 150) - kladný pól akumulátoru.

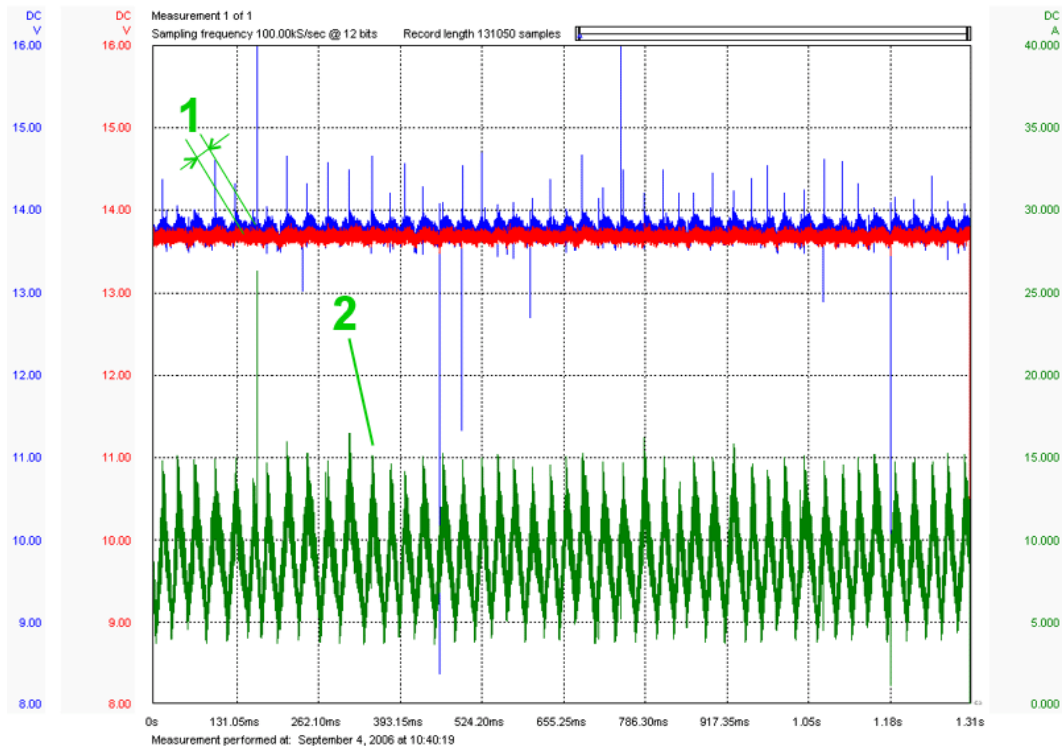
Kanál 3 (zelená barva, Obrázek 150) - výstupní proud svorky B+ alternátoru.

GND - záporný pól akumulátoru

Motor běží ve volnoběžných otáčkách.

Poz.1 - při průchodu proudu 10 A je úbytek ve vedení mezi alternátorem a akumulátorem 0,15 V. Úbytek při větších hodnotách proudu nesmí překročit 0,5 V.

Poz.2 - při volnoběhu můžeme pozorovat pravidelné proudové výkmity. Při stejném nabuzení alternátoru dochází vlivem pravidelných změn úhlové rychlosti klikového hřídele ke stejně pravidelným změnám proudu alternátoru. A to i v případě, kdy je použita volnoběžka v řemenici alternátoru. Při vyšších otáčkách již tento jev nevzniká.



Obrázek 151 Průběh defektního signálu při testu dobíjecí soustavy

Podmínky efektivního nalezení závady:

- vyčtení paměti závad všech řídicích jednotek, zda se neobjevuje hlášení o nízkém nebo vysokém síťovém napětí
- kontrola příslušných pojistek
- důkladná vizuální prohlídka všech přístupných kontaktů mezi alternátorem a akumulátorem
- ukostření alternátoru v pořádku
- napojení vícekanálového osciloskopu za účelem měření vedení

Vyhodnocení vadného vedení mezi alternátorem a akumulátorem:

- úbytek ve vedení je větší než 0,5V při proudové zátěži 20A - 30A
- nepravidelné změny v dobíjecím proudu i v napěťových úbytcích ve vedení

Kanál 1 (modrá barva, Obrázek 151) - svorka B+ alternátoru.

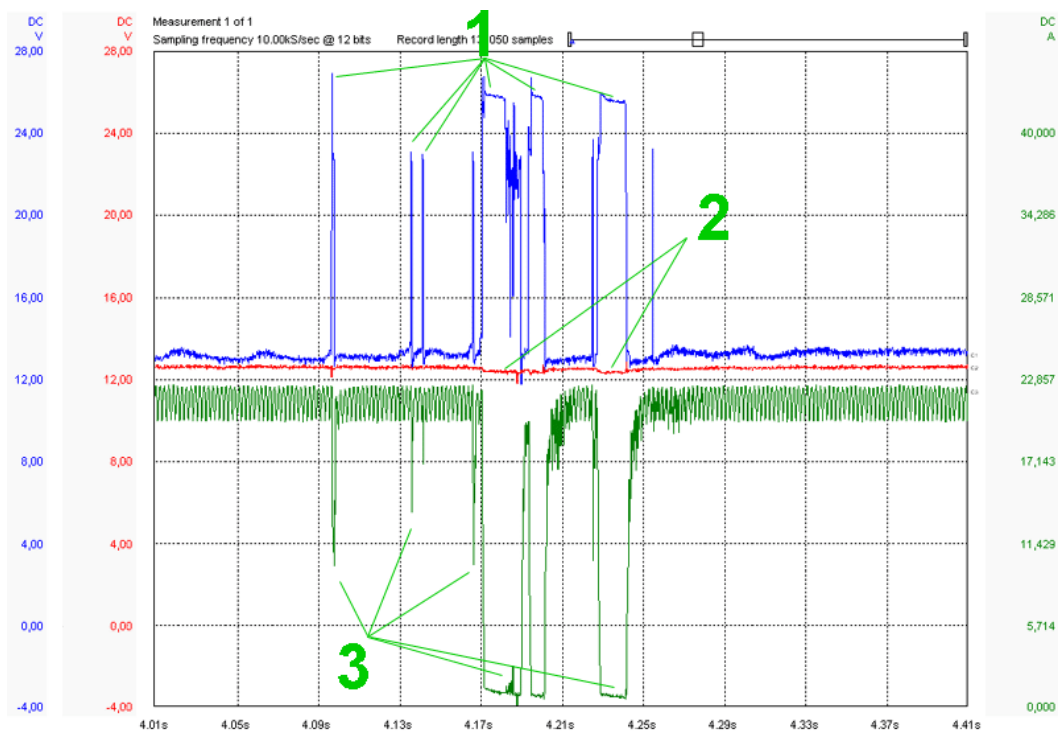
Kanál 2 (červená barva, Obrázek 151) - kladný pól akumulátoru.

Kanál 3 (zelená barva, Obrázek 151) - výstupní proud svorky B+ alternátoru.

GND - záporný pól akumulátoru

Motor pracuje ve zvýšených otáčkách.

Poz.1 - Úbytek ve vedení mezi alternátorem a akumulátorem, způsobený zvýšený odporem vedení, je vyšší než 0,5 V při proudové zátěži 20 – 22 A.



Obrázek 152 Průběh defektního signálu při testu dobíjecí soustavy

Kanál 1 (modrá barva, Obrázek 152) - svorka B+ alternátoru.

Kanál 2 (červená barva, Obrázek 152) - kladný pól akumulátoru.

Kanál 3 (zelená barva, Obrázek 152) - výstupní proud svorky B+ alternátoru.

GND - záporný pól akumulátoru

Napětí na výstupu alternátoru vykazuje prudké nárůsty napětí. Alternátor, který nemá proudový odběr (Poz. 3) a přesto je buzen, generuje velmi vysoké napětí (Poz. 1) nebezpečné pro výkonové diody. Na akumulátoru je naopak pozorovatelný mírný pokles napětí (Poz. 2), protože vedení je krátkodobě přerušené (akumulátor není dobíjen). Dobíjecí proud klesá téměř na nulovou hodnotu (Poz. 3). Příčinou může být uvolněný, popř. zoxidovaný kontakt B+ na alternátoru.

## Test palivového čerpadla

Osciloskopem je možné kompletně zkontrolovat činnost palivového čerpadla včetně jeho el. obvodu. Projevy sporadického defektu čerpadla popř. jeho vedení:

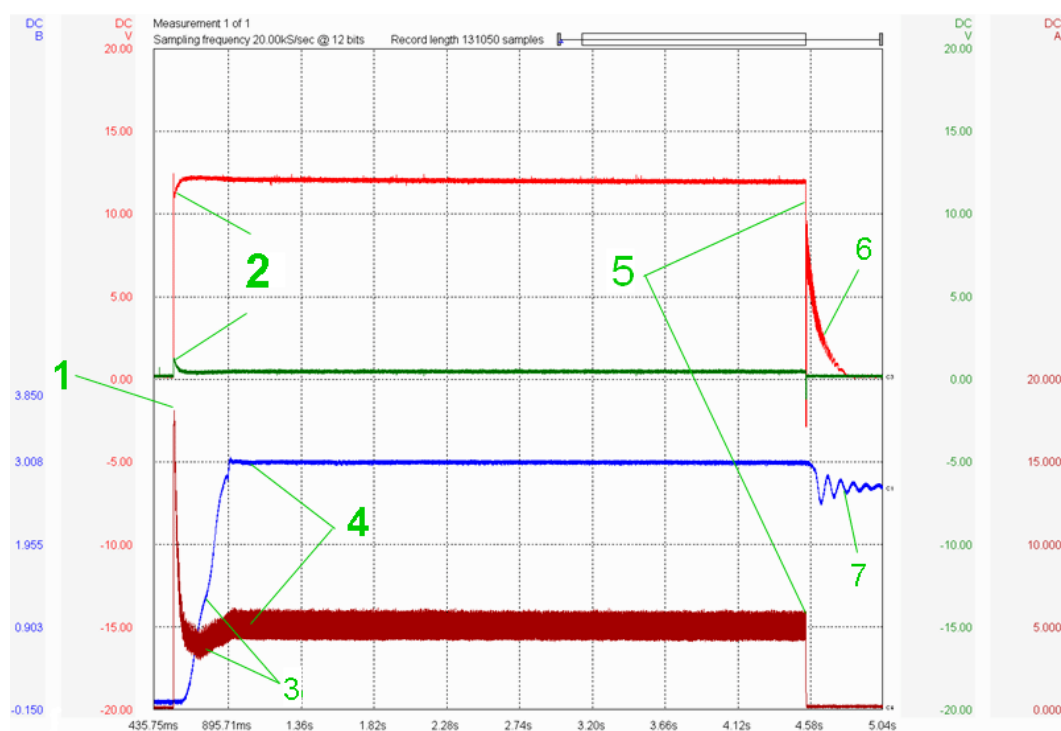
- při plné zátěži ztráta tlaku paliva (cukání, bez výkonu)
- cukání za jízdy při střední zátěži (kolísání tlaku paliva)
- sporadické obtíže nastartovat motor

Nejčastější závady čerpadla :

- vniknutí nečistot (popř. vznik úsad) a následné přidírání až úplné zadření
- netěsnost pojistného ventilu (vytlačené palivo je netěsným ventilem odvedeno zpět na sací stranu čerpadla)
- zkrat nebo přerušování vinutí rotoru (proudové přetížení, chod bez paliva)
- uvolnění vlastního čerpadla na hřídelce rotoru (protáčení hřídelky)

Nejčastější závady el. obvodu čerpadla :

- vadné relé (přechodový odpor na kontaktech)
- přerušované vedení
- vadná kostra



Obrázek 153 Průběh vzorových signálů při testu palivového čerpadla (zapnuté zapalování)

- Kanál 1 (modrá barva, Obrázek 153) - tlak paliva
- Kanál 2 (červená barva, Obrázek 153) - napájení čerpadla
- Kanál 3 (zelená barva, Obrázek 153) - ukostření čerpadla
- Kanál 4 (hnědá barva, Obrázek 153) - el. proud čerpadla
- GND - záporný pól akumulátoru

Vlastní test aktivace palivového čerpadla probíhá po zapnutí zapalování, bez nastartování motoru.

Poz. 1 - okamžik přivedení elektrického proudu zapnutím zapalování (18A). Elektrický proud dosáhl takové úrovně, která je zapotřebí k roztočení čerpadla. Je-li čerpadlo např. přídřené, bude tato hodnota proudu výrazně vyšší.

Poz. 2 - úbytky v napájecím i kostřicím vedení (1 V) byly způsobeny nárůstem elektrického proudu. Je-li závada ve vedení, projeví se to zvýšeným úbytkem napětí.

Poz. 3 - rotor čerpadla se točí ještě bez zátěže (4 A - není vytvořen tlak paliva), tlak paliva postupně narůstá.

Poz. 4 - tlak paliva dosáhl předepsané hodnoty (3 bar), čerpadlo běží pod zátěží tlaku paliva (5 A).

Poz. 5 – řídicí jednotka rozpojila relé, které napájí čerpadlo.

Poz. 6 - dotáčející se čerpadlo vyrábí el. napětí.

Poz. 7 - pulzace tlaku paliva způsobené dotáčejícím se čerpadlem a pohyby regulátoru tlaku. Po uzavření regulátoru tlaku a zpětného ventilu v čerpadle již tlak nesmí výrazně.

Nejdůležitější vyhodnocovací parametry el. palivového čerpadla a jeho obvodu :

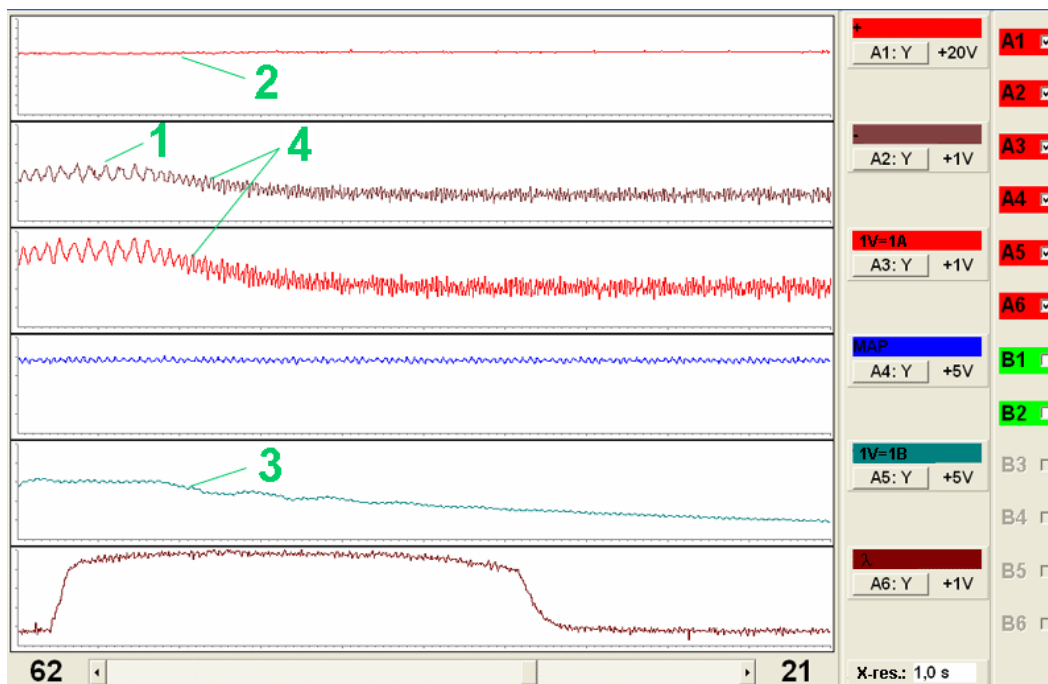
- Úbytky napájecího a kostřicího vedení max. 1V ( jinak vadné vedení).
- Střední hodnota el. proudu čerpadla 5A (jinak nesprávný tlak paliva nebo vadné čerpadlo).
- Pravidelnost proudových pulzů čerpadla (jinak vadné čerpadlo).

Závady palivových čerpadel se většinou projevují při vyšších odběrech paliva motorem - akcelerace, plná zátěž při jízdě. Objevují se však také závady náhlé disfunkce čerpadla - motor zhasne a nelze ho nastartovat.

Vyhodnocení oscilogramu

Palivové čerpadlo - doba a plynulost nárůstu tlaku při aktivaci čerpadla vypovídá o jeho bezproblémovém chodu

Regulátor tlaku - přítomnost a postupný útlum pulzací vypovídá i o bezchybné funkci regulátoru (těsnost, plynulost zavření)



Obrázek 154 Průběh defektního signálu testu palivového čerpadla při plné zátěži

Kanál A1 (červená barva, Obrázek 154) - napájení čerpadla

Kanál A2 (hnědá barva, Obrázek 154) - ukostření čerpadla

Kanál A3 (červená barva, Obrázek 154) - el. proud čerpadla (proudové kleště, 1 V=10 A)

Kanál A4 (modrá barva, Obrázek 154) - signál snímače tlaku v sacím potrubí MAP (4 V = plná zátěž)

Kanál A5 (zelená barva, Obrázek 154) - tlak paliva (tlaková sonda, 1 V=1 bar)

Kanál A6 (hnědá barva, Obrázek 154) - signál skokové lambda sondy (vyšší napětí = bez kyslíku ve výfuku, nižší napětí = kyslík ve výfuku)

GND - záporný pól akumulátoru.

Projev závady :

Při akceleraci motor bez výkonu, dusí se a vozidlo nejede. Po uvolnění akceleračního pedálu a jízdě v nízké zátěži vše v pořádku.

Chybová hlášení :

Bez závad.

Ukostření vykazuje správný úbytek (Poz. 1). Napájecí napětí je také v okamžiku závady v pořádku (Poz. 2). Je však zaznamenán pokles tlaku paliva (Poz. 3). Současně je pozorovatelný pokles elektrického proudu s přirozeným poklesem úbytku napětí ve vedení (Poz. 4). Pokles proudu je doprovázen zvýšením otáček čerpadla, pozorovatelným jako zrychlení proudových výkmitů.

Vzhledem k tomu, že se jedná o náhlý pokles tlaku paliva, musí být příčinou vlastní čerpadlo (náhlé uvolnění pojistného ventilu, nebo pravděpodobněji protočení hřídelky čerpadla vůči lopatkovému kolu).



## Test vstřikovacího ventilu centrálních vstřikovacích systémů SPI (Single Point Injection)

Vstřikovací ventil rozprašuje palivo do sacího potrubí hlavy motoru. Ventil je napájen palubním napětím prostřednictvím relé, které řídící jednotka aktivuje sepnutím na kostru. Otevření ventilu je dosaženo sepnutím záporné strany na kostru, čímž začne protékat elektrický proud a vzniklé magnetické pole zdvihne jehlu ventilu. [1, 2, 3]

Zavření ventilu je dosaženo rozepnutím záporné strany od kostry. Ventil je periodicky otevírán a zavírán s vysokou frekvencí.

Vstřikované množství paliva je řízeno změnou doby otevření vůči zavření, tzn. pevný počátek, proměnný konec vstřiku. Při deceleraci se u většiny systémů vstřikování vypíná (ventil se nespíná na kostru).

Elektrický odpor vinutí vstřikovacího ventilu systému je nízký (1- 4  $\Omega$ ) čímž by docházelo při delších časech aktivace k proudovému přetížení. Tento problém řeší jednotlivé vstřikovací systémy různě. Například u systému OPEL Multec GM je ve fázi otevřeného ventilu snížen elektrický proud vřazením rezistoru uvnitř řídící jednotky. Základní neměnnou dobu vstřiku, nutnou k otevření ventilu (tzv. otevírací proud), spíná tranzistor T1. Tranzistor T2 pak prodlužuje otevření ventilu podle řídící jednotkou vypočítané hodnoty (tzv. přídržný proud). Naproti tomu například systém Bosch Mono-Motronic řeší tento stav tak, že je zde proudovému přetížení zamezeno použitím odporového vedení na napájecí i spínací straně vstřikovacího ventilu. Některé řídící systémy vozů Renault řeší tento problém frekvenčním omezením proudu. Spínací člen vstřikovacího ventilu je v určitém čase po sepnutí na kostru ovládán s vysokou frekvencí a střídavě spíná a rozepíná vinutí ventilu ke kostře. Ventil po dobu frekvenčního spínání však zůstává stále otevřen. Spínání tak snižuje pouze provozní zatížení cívky ventilu.

Nejčastější závady v obvodu vstřikovacího ventilu:

- nečistoty ve vstřikovacím ventilu (nekvalitní rozprašení paliva)
- narušené vedení (zkrat na jiný signál, na kostru, na plus, přerušení)

Projevy závad:

- nerovnoměrný chod motoru
- trvalý výpadek vstřikování paliva

Chybová hlášení :

- přerušovaný obvod/zkrat na plus nebo na kostru

Blok naměřených hodnot:

- adaptační hodnoty lambda mimo předepsanou mez

Nastavení osciloskopu:

trigger - interní pro sporadické výpadky,

- externí 15% neg. pro sledování doby vstřiku

- externí 80% pos. pro sledování tvaru vstřikovacího signálu

t - 0,1 ... 0,5 s/div pro sporadické výpadky

Kanál 1 - 5V/div

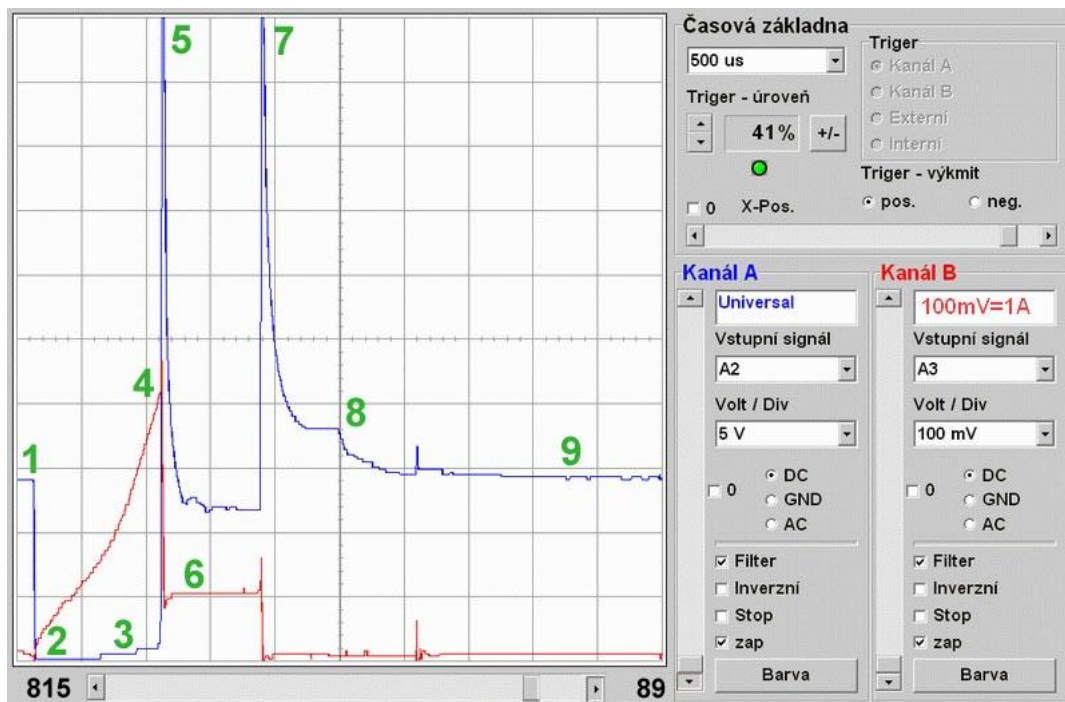
Kanál 2 - 0,1A/div

Napojení osciloskopu:

Kanál 1 (modrá barva, Obrázek 155) - měřicí sonda na záporném kontaktu konektoru vstřikovacího ventilu (spínací napětí)

Kanál 2 (červená barva, Obrázek 155) - měřicí sonda na proudových kleštích na napájecím vodiči vstřikovacího ventilu (elektrický proud v obvodu)

GDN – záporný pól akumulátoru



Obrázek 155 Průběh vzorových signálů při testu vstřikovacího ventilu

Poz.1 – Tranzistory v řídicí jednotce jsou rozepnuty. V tento okamžik by mělo mít napájecí napětí vstřikovacího ventilu hodnotu palubního napětí, bez výrazných poklesů. Elektrický proud v tento okamžik obvodem ještě neprochází.

Poz.2 – Dochází k sepnutí paralelně zapojených tranzistorů T1, T2 v řídicí jednotce. Projevuje se elektrický odpor vinutí, kterým proud zatím neprochází. Napětí je blízké nule.

Poz.3 - Magnetické pole kolem vinutí a proud tekoucí obvodem se zvětšují. Magnetické pole postupně dosáhne hodnoty, při které otevírá jehla ventilu. Napětí je již větší než nula.

Poz.4 - Maximální hodota otevíracího proudu dosahuje 4 A. Tranzistor T1 rozepnul na pokyn řídicí jednotky, magnetické pole začíná slábnout. Elektrický proud přestal téct, klesnutím intenzity magnetického pole vznikla samoindukce napětí ve vinutí. Okamžikem rozepnutí tranzistoru je měněna doba vstřiku ventilu.

Poz.5 - Samoindukce napětí. Při sepnutí tranzistoru T1 se ve vinutí zvyšovalo magnetické pole, které při rozepnutí musí zaniknout. Zánikem magnetického pole vznikne indukce tím větší, čím je změna zanikajícího magnetického pole rychlejší a čím větší byla jeho původní velikost.

Poz. 6 - Protože je sepnut ještě tranzistor T2, před kterým je vřazen rezistor, vzniká velký úbytek napětí a elektrický proud je nižší (přídržný proud).

Poz. 7 - Rozepnutím tranzistoru T2 dochází opět k samoindukci napětí. Vybíjením samoinduktivního napětí se proud zmenšuje.

Poz. 8 - Nepatrné zvýšení napětí, tzv. induktivní boule, je projev zastavení pohybu jehly ventilu.

Poz. 9 – Magnetické pole zaniklo, jehla ventilu je zavřená bez pohybu

## Test zapalovací soustavy

### Primární okruh zapalovacího systému s rozdělovačem

Primární obvod zapalování umožňuje vytvoření magnetického pole potřebného pro indukci napětí v sekundárním vinutí. [1, 4]

Lokalizaci příčiny závady spočívá v napojení čtyřech základních veličin a následné analýze jednotlivých částí oscilogramu:

- primární napětí na sv.č.1
- impulzy pro koncový stupeň
- elektrický proud primárního obvodu
- napájecí napětí zapalovacího modulu

Primární okruh zapalovací soustavy má tyto části:

- napájecí vedení pro zapalovací cívku
- primární vinutí zapalovací cívky
- spínací vedení
- koncový stupeň (spínací tranzistor s funkcí omezení primárního proudu)
- ukostřovací vedení

Projevy závad v primárním okruhu zapalování:

- silné cukání při různých režimech motoru (výpadky napájení nebo ukostření)
- cukání při vysoké zátěži (defekt zapalovací cívky - snížený výkon)
- nelze nastartovat (trvalý defekt dílu)

Chybová hlášení:

- výstup zapalování (zkrat na kostru, na plus, přerušování)
- vynechávání válců
- bez závad

Blok naměřených hodnot:

- sledování počtu výpadků u jednotlivých válců

Podmínky měření - motor nelze nastartovat:

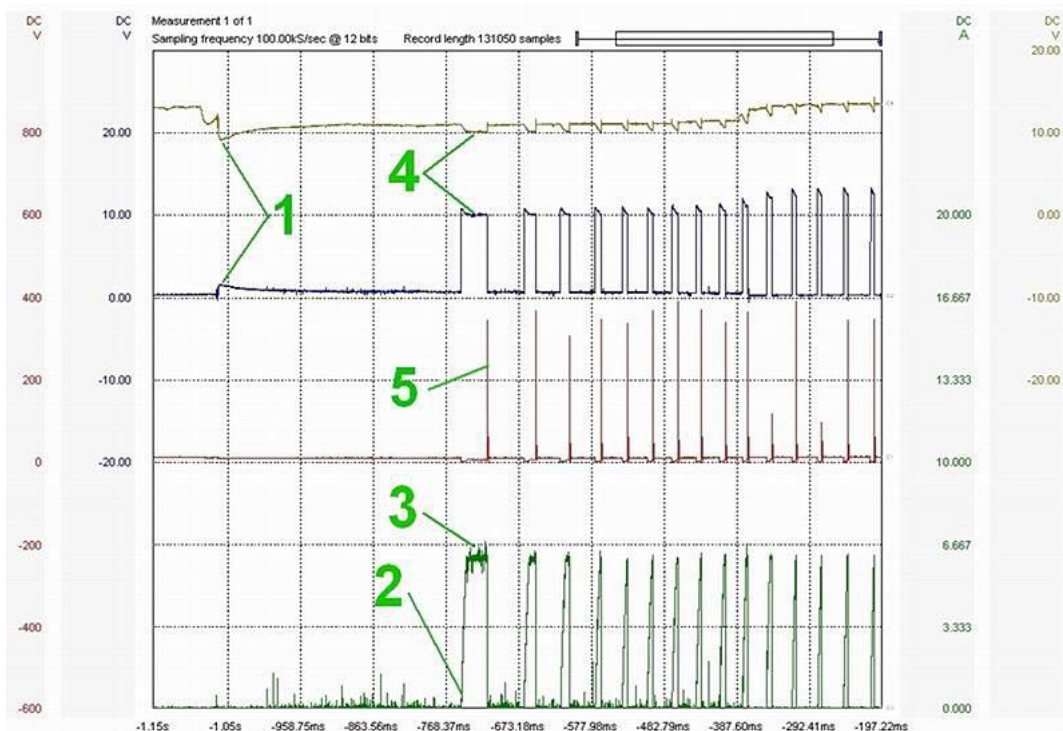
- palivo je vstřikováno (ověřeno analyzátozem výf. plynů, pohledem, změřen signál vstřikování)
- napájení a ukostření zapalovací cívky a řídicí jednotky ověřené multimetrem
- vizuální kontrola na neporušenost spojů na zapalovacím systému (vypadlý konektor apod.)

Podmínky měření - motor má sporadické výpadky, cukání, nerovnoměrnost chodu:

- vizuální kontrola na volné spoje (sv.15, sv.1, zap. kabely apod.)

Nastavení osciloskopu:

- trigger : interní
- t : 5-20ms/div (rozsah 2-5s)
- frekvence : cca od 100kHz



Obrázek 156 Test primárního okruhu zapalování

Napojení osciloskopu:

Kanál 1 (červená barva, Obrázek 156) - primární napětí na sv.č.1 (200V/div)

Kanál 2 (modrá barva, Obrázek 156) - impulzy pro koncový stupeň (10V/div)

Kanál 3 (zelená barva, Obrázek 156) - el. proud primárního obvodu (proudové kleště na napájecím vodiči (3,3A/div))

Kanál 4 (hnědá barva, Obrázek 156) - napájecí napětí zapalovacího modulu (10V/div)

GND - záporný pól akumulátoru

Popis oscilogramu:

Pos.1 - pokles napájecího napětí a zvýšení napětí na kostře zapalovacího modulu vlivem proudové zátěže spouštěče.

Pos.2 - nárůst el. proudu ve fázi sepnutí primárního vinutí na kostru.

Pos.3 - el. proud je koncovým stupněm omezen na hodnotu 6,2A

Pos.4 - proudová zátěž při sepnutém primárním okruhu způsobuje přirozený pokles napětí.

Pos.5 - po rozepnutí obvodu vzniká samoinduktivní napětí v primárním vinutí

Vyhodnocení:

Hodnota elektrického proudu se musí postupně zvyšovat až do fáze omezení. Pokud je zaznamenáno prudké zvýšení proudu při sepnutí, jedná se o zkrat v primárním vinutí. Hodnota celkového elektrického proudu se musí pohybovat v rozsahu od 5 do 10A. Linie zvýšeného úbytku napětí ve fázi omezení nesmí být zarušená (studené spoje, vadný koncový stupeň). Impulzy pro koncový stupeň musí být přítomny ve správném napěťovém rozsahu. Napájecí napětí musí v době sepnutí přirozeně klesnout o max. 1V.

## Sekundární okruh zapalovacího systému s rozdělovačem

Sekundární obvod zapalování umožňuje vytvořením vysokého napětí přeskok jiskry mezi elektrodami zapalovací svíčky. [1, 5] Je tvořen těmito částmi:

- sekundární vinutí zapalovací cívky
- svorka č.4 s vysokonapěťovým zapalovacím kabelem
- rozdělovač (pouze u rozdělovačových systémů)
- zapalovací svíčka

Projevy závad v sekundárním okruhu zapalování:

- cukání při vyšší zátěži (defekt zapalovací cívky, snížená izolační pevnost, zkrat zapalovací svíčky)
- nepravidelný chod motoru (zkraty sekundárního vinutí, nečistoty ve víčku rozdělovače apod.)
- nelze nastartovat (defekt sekundárního vinutí, zkraty svíček)

Chybová hlášení:

- vynechávání válců
- bez závad

Blok naměřených hodnot:

- sledování počtu výpadků u jednotlivých válců

Podmínkou efektivního hledání závad je měření při projevu závady.

Podmínky měření - motor nelze nastartovat:

- palivo je vstříkováno (ověřeno analyzátozem výf. plynů, pohledem, změřen signál vstříkování)
- napájení a ukostření zapalovací cívky a Ř.J. ověřené multimetrem
- vizuální kontrola na neporušenost spojů na zapalovacím systému (vypadlý konektor apod.)

Podmínky měření - motor má sporadické výpadky, cukání, nerovnoměrnost chodu:

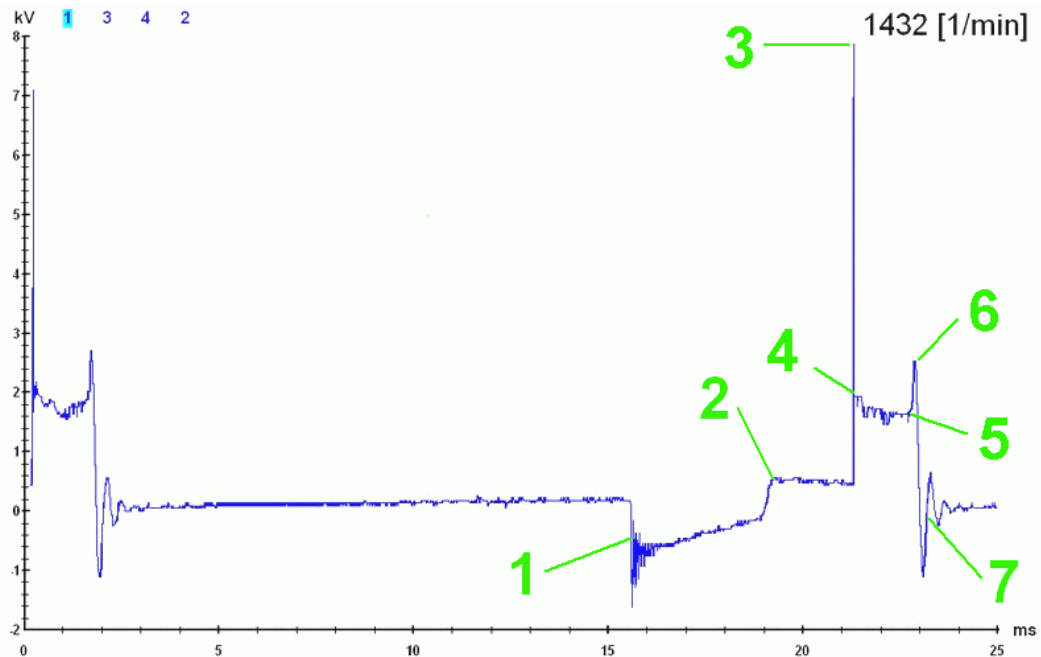
- vizuální kontrola na volné spoje (sv.15, sv.1, zap. kabely apod.)

Nastavení osciloskopu:

- trigger : interní
- t : 1ms/div (rozsah 25ms)
- frekvence : cca od 500kHz

Napojení osciloskopu:

- Kanál 1 (modrá barva, Obrázek 157) : kapacitní kleště na zapalovacím kabelu sv.č.4 (sekundární výstup zapalovací cívky) - 0,2 kV/div
- GND (kostra osciloskopu) : záporný pól akumulátoru



Obrázek 157 Průběh sekundárního napětí motoru v částečném zatížení

Popis oscilogramu:

Poz.1 a 2 - sepnutí primárního vinutí na kostru a omezení primárního proudu je viditelné i na sekundárním okruhu (sekundární vinutí je galvanicky spojeno s primárním). Defekt v této oblasti má příčinu v primárním okruhu.

Poz. 3 - zapalovací napětí - výška samoinduktivního napětí je závislá na podmínkách v sekundárním okruhu, včetně podmínek mezi elektrodami zapalovací svíčky (vzduchová mezera v rozdělovači a na zapalovací svíčce, tlak ve válci, bohatost směsi, hodnota předstihu)

Poz. 4 - napětí nasazení hoření jiskry - napětí skokově kleslo na hodnotu odpovídající podmínkám pro hoření jiskry. Prostředí mezi elektrodami svíčky již není vysokoohmické, ale nízkoohmické. Výška napětí je opět závislá na podmínkách v sekundárním okruhu.

Poz. 5 - ukončení hoření jiskry je způsobené již slabší energií zapalovací cívky a nepříznivými podmínkami ve válci. Doba a tvar hoření jiskry (od Poz.4 do Poz.5) je nejdůležitějším parametrem pro hledání závad. Doba hoření je výsledek výkonnosti sekundárního obvodu a je závislá na podmínkách vzduchových mezer (rozdělovač + zapalovací svíčka).

Poz. 6 - výkmit zbytkové energie zap. cívky - po zhasnutí jiskry se zapalovací cívka se svou zbytkovou energií projevuje zvýšeným napětím v přerušném obvodu (jiskra již nehoří). Čím nepříznivější podmínky pro hoření jiskry, tím vyšší zbytkový výkmit.

Poz. 7 - výkmity napětí v oblasti 0 kV jsou odrazem indukčnosti zapalovací cívky.

V každém provozním stavu motoru jsou vlastnosti hoření jiskry odlišné. Nelze proto stanovit vzorové hodnoty pro všechny motory s různými zapalovacími systémy.

## Parametry ovlivňující změnu napět'ových parametrů sekundárního napětí

Výška zapalovacího napětí se mění v závislosti na:

- okamžitých podmínkách před každým zapálením jiskry (zapalovací napětí neustále mění svojí hodnotu i při ustáleném režimu motoru - max. 5 až 7 kV)
- hodnotě předstihu - dáno programem v řídicí jednotce (s menší hodnotou předstihu se zvyšuje hodnota zapalovacího napětí)
- objemu nasáté směsi - poloha škrtkící klapky + otáčky motoru (větší objem vytvoří vyšší tlak a vyšší zapalovací napětí)
- velikosti stlačení objemu nasáté směsi - dáno kompresním poměrem a celkovou těsností spalovacího prostoru (čím nižší kompresní poměr nebo menší těsnost ve válci, tím nižší zapalovací napětí)
- složení směsi - dáno programem v řídicí jednotce (zapalitelná bohatá směs je ionizována při nižším zapalovacím napětím)

Tvar a doba hoření jiskry se mění v závislosti na :

- výšce zapalovacího napětí - dáno podmínkami výše uvedenými (čím vyšší zapalovací napětí, tím kratší doba hoření - jiskra hoří s menší energií zapalovací cívkou)
- objemu nasáté směsi - poloha škrtkící klapky + otáčky motoru (větší objem vytvoří silnější víry směsi a tím neklidné hoření jiskry doprovázené kratší dobou hoření)
- homogenosti směsi - dáno provozními stavy, konstrukcí vstřikování a těsností spalovacího prostoru (malý objem kvalitně namíchané směsi v těsném spalovacím prostoru rychleji homogenizuje a naopak)

Při hledání závad sledujeme parametry v tomto pořadí :

1. hodnota přeskokového napětí (příliš nízká vzorkovací rychlost osciloskopu nemusí zachytit nejvyšší hodnotu) - rozdíly mezi válci 5 – 7 kV (cca 20%), celkově od 8 do 40 kV, popř. více, podle vlastností motoru a jeho zapalovací soustavy
2. doba hoření nesmí při plné zátěži klesnout pod 0,6 ms (kritická doba hoření)
3. tvar linie hoření musí odpovídat požadovanému režimu (nízká zátěž - klidné hoření, vysoká zátěž - neklidné hoření)
4. hodnota nasazení hoření jiskry - 1,5 až 4,4 kV

## Test skokové lambda sondy

Defekt skokové lambda sondy je zjistitelný pouze osciloskopem. Test vychází ze skutečnosti, že lambda sonda je schopna sama vytvářet napětí podle obsahu kyslíku ve výfuku. Pokud záměrně změníme obsah kyslíku ve výfuku (akcelerace, decelerace), musí kyslíkový článek lambda sondy v odpojeném stavu od řídicí jednotky, vykázat správnou funkci. [1]

Projevy závady lambda sondy:

- svítí kontrolka motoru
- nepravidelný až neudržitelný volnoběh
- vysoká spotřeba paliva

Chybová hlášení:

- směs příliš chudá/bohatá
- lambda sonda, nesmyslný signál, zkrat na kostru na plus, bez aktivity, apod.

Blok naměřených hodnot:

- hodnota lambda je mimo předepsanou toleranci
- adaptační hodnoty směsi jsou mimo toleranci
- doba vstříku mimo toleranci

Podmínky měření:

- obvod neřízeného popř. řízeného vyhřívání je v pořádku
- bez závažnějších problémů (vynechávání válců, nelze nastartovat, silně nepravidelný chod)

Průběh testu:

- nastartovat zahřátý motor a provést několik akcelerací do maximálních otáček a deceleracemi trvajících cca 4 s.
- při poslední deceleraci odpojit svorkovnici lambda sondy a provést opět několik stejných akcelerací

Nastavení osciloskopu:

trigger : interní

t : 1s/div

frekvence : cca od 100Hz

Vyhodnocení testu :

- signál se nesmí pohybovat v záporných hodnotách a musí mít správný rozsah napětí (min. 0,7 V, max. 0,9 V)
- před výměnou lambda sondy je nutno zkontrolovat možnou příčinu jejího defektu (spalování oleje či mrazuvzdorné chladicí směsi, popř. jiné chemické látky)





Obrázek 158 Test skokové lambda sondy – studený start a volnoběh

- Kanál 3 (červená barva, Obrázek 158) : proud vyhřívání lambda sondy (1 A/div)
- Kanál 6 (modrá barva, Obrázek 158) : signál na svorkovnici lambda sondy (0,2 V/div)
- Kanál 7 (zelená barva, Obrázek 158) : kostra na svorkovnici lambda sondy (0,1 V/div)
- Kanál 8 (žlutá barva, Obrázek 158) : potenciometr škrtící klapky (1 V/div)
- GND : záporný pól akumulátoru

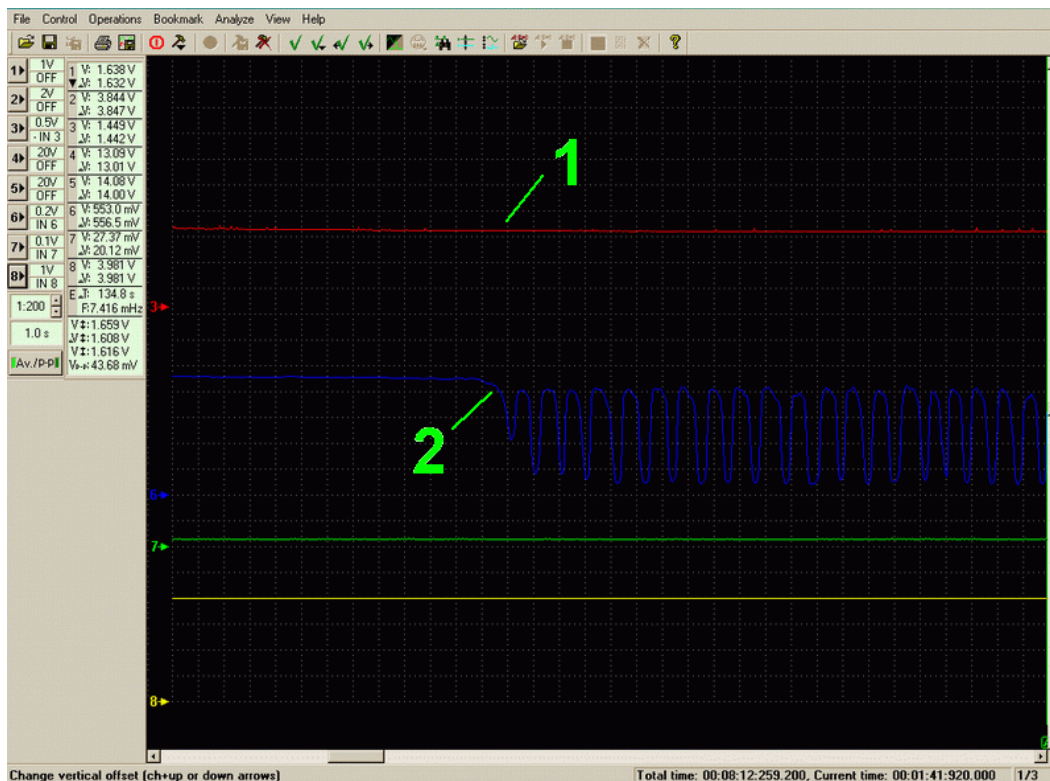
Poz. 1 - startování vytvoření úbytku na kostře řídicí jednotky, prostřednictvím které je lambda sonda ukostřena

Poz. 2 - vyhřívací proud dosáhl u chladného topného tělíska 4,5 A

Poz. 3 - při studeném startu dochází k otevření škrtící klapky (u tohoto systému nižší napětí = větší úhel otevření škrtící klapky)

Vyhodnocení:

- při startování musí být zaznamenán úbytek napětí na kostře lambda sondy
- ihned po startu musí být registrován vyhřívací proud



Obrázek 159 Test skokové lambda sondy – volnoběh

- Kanál 3 (červená barva, Obrázek 159) : proud vyhřívání lambda sondy (1 A/div)  
 Kanál 6 (modrá barva, Obrázek 159) : signál na svorkovnici lambda sondy (0,2 V/div)  
 Kanál 7 (zelená barva, Obrázek 159) : kostra na svorkovnici lambda sondy (0,1 V/div)  
 Kanál 8 (žlutá barva, Obrázek 159) : potenciometr škrtící klapky (1 V/div)  
 GND : záporný pól akumulátoru

Poz. 1 - vyhřívací proud dosáhl u chladného topného tělíska 1,5A

Poz. 2 - na signálu zahřáté lambda sondy jsou již zaznamenány charakteristické změny směsi

Vyhodnocení:

- zahřátá LS musí při volnoběhu "pendlovat" s frekvencí minimálně 0,5 Hz, při 2 000 ot/min<sup>-1</sup> s frekvencí minimálně 1 Hz
- rozsah napětí zahřáté lambda sondy musí vykazovat při "pendlování" min. 0,7 V, max. 0,9 V

## 16.1 Diagnostická měření 1

Popis závady:

vysoká spotřeba, nízký výkon motoru, nepravidelný chod motoru při zátěži. [1, 6, 7]

Popis systému:

Škoda Felicia 1.6 MPI, zážehový motor se sekvenčním nepřímým vstřikováním a rozdělovačem zapalování.

Chybové hlášení:

00609 – výstup pro zapalování 1 – přerušovaný obvod nebo zkrat na kostru (nahodilá závada)

Postup měření:

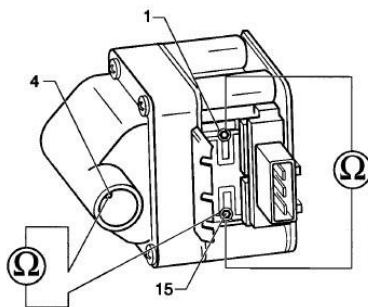
Bylo provedeno kontrolní měření emisí, které potvrdilo příliš bohatou směs (CO 2,5 %, HC 280 ppm, CO<sub>2</sub> 12,5 %, O<sub>2</sub> 1,1 %). Signál lambda-sondy byl při volnoběhu i zvýšených otáčkách neustále v pásmu bohaté směsi (Poz. 1; 0,8 V), pouze při deceleraci došlo k poklesu signálu (Poz. 2; 0,1 V).



Obrázek 160 Signál lambda-sondy

Test tlaku paliva i netěsnosti výfuku před lambda-sondou neprokázal žádné anomálie. Dále byl změřen elektrický odpor primárního i sekundárního vinutí zapalovacího trafa, ale i ten byl v toleranci.

V dalším kroku byl proveden test zapalovacího systému za účelem prověřit signál zapalování na primární straně. Na oscilogramu byl zaznamenán neobvyklý jev, kdy omezení primárního proudu vykazuje napětíové výkmity (Obrázek 160, Poz. 1). Signál by měl být bez těchto výkmitů a s pozvolným nárůstem napětí. Je to fáze, kdy je v činnosti koncový stupeň zapalování.



Obrázek 161 Kontrola primárního a sekundárního vinutí zapalovacího trafo



Obrázek 162 Průběh signálu zapalování na primárním vinutí

Po výměně zapalovacího trafo již signál odpovídal vzorovému průběhu. Chybové hlášení se v paměti závad již neobjevovalo a signál lambda-sondy už pendloval ve správném rytmu.

Závěr:

Vadné zapalovací trafo. Použité „neoriginální“ zapalovací trafo vykazovalo nevhodnou funkci omezení primárního proudu.

## 16.2 Diagnostická měření 2

Popis závady:

Za jízdy při střední zátěži motor vykazuje nepravidelný chod. [1, 7, 8]

Popis systému:

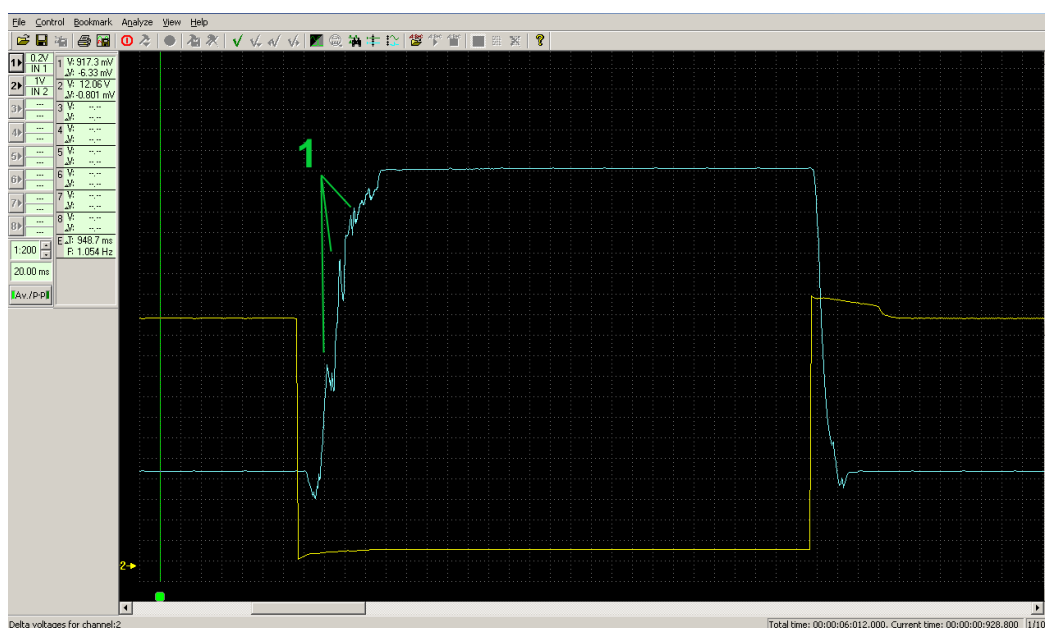
Škoda Fabia 1.4/16v, kód motoru BBY, systém MARELLI 4MV, r.v. 2003

Chybové hlášení:

Žádná chybová hlášení nezaznamenána

Postup měření:

Byla provedena diagnostika akčních členů, která proběhla bez závad. Protože se nepravidelnosti v chodu motoru („cukání“) objevují pouze ve střední zátěži při neměnné poloze akceleračního pedálu, jedná se nejčastěji o problém v systému EGR. Proto byl napojen osciloskop na ventil EGR.



Obrázek 163 Průběh signálů na EGR ventilu

Kanál 1 (žlutá barva, Obrázek 163) – signál sepnutí ventilu

Kanál 2 (modrá barva, Obrázek 163) – signál potenciometru ventilu

Poz. 1 – signál potenciometru ventilu, sledujícího pohyb jehly, vykazuje defektní průběh

Závěr:

Po výměně EGR ventilu již signál odpovídal vzorovému průběhu a motor pracoval bez závad. Vadný EGR ventil.

## 16.3 Diagnostická měření 3

Popis závady:

Velmi špatné studené starty, za jízdy při střední zátěži motor vykazuje nepravidelný chod. [1, 6, 7]

Popis systému:

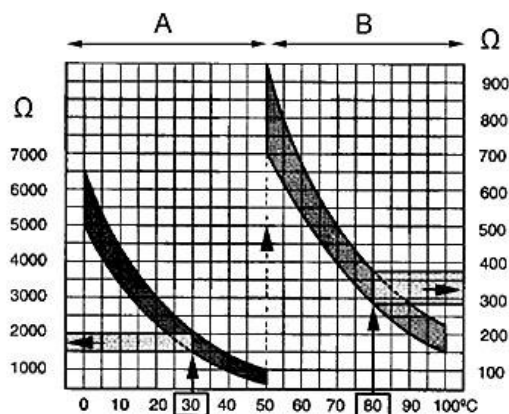
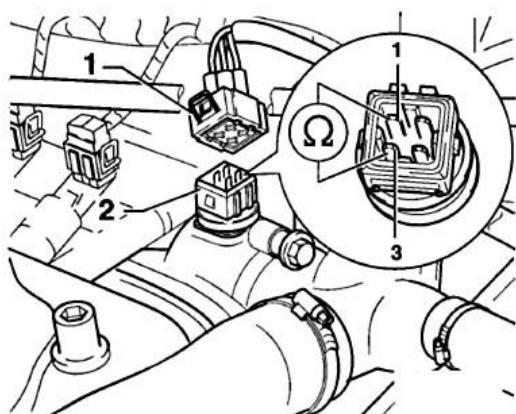
Škoda Felicia 1.3 MPI, kód motoru 136M, systém SIMOS 2P, r.v. 1997

Chybové hlášení:

Snímač teploty chladicí kapaliny – nevyhovující signál

Postup měření:

Ke kontrole funkce snímače teploty chladicí kapaliny (G62) bylo provedeno načtení bloku naměřených hodnot (zobrazovaná skupina 001, pole zobrazení 2). U studeného motoru snímač udává teplotu o cca 50 °C vyšší oproti aktuální teplotě. Bylo provedeno proměření snímače (odpojení svorkovnice Poz. 1 na snímači teploty chladicí kapaliny Poz. 2, kontrola odporu mezi kontaktem 1 a 3 snímače). Rozsah A znázorňuje hodnoty odporu pro rozsah teplot 0...50 °C, rozsah B hodnoty pro rozsah teplot 50...100 °C (např. 30 °C odpovídá odporu 1500...2000 Ω, 80 °C odpovídá odporu 275...375 Ω).



Obrázek 164 Kontrola funkce snímače teploty chladicí kapaliny (G62)

Proměřením snímače byly zjištěny hodnoty odporu, které neodpovídaly požadovaným hodnotám. Byla provedena výměna snímače teploty chladicí kapaliny, vymazána paměť závad a adaptační hodnoty.

Závěr:

Měřením byl prokázán vadný snímač teploty chladicí kapaliny. Po výměně snímače se chybové hlášení v paměti závad již neobjevovalo a motor pracoval bez závad.

## 16.4 Diagnostická měření 4

Popis závady:

Motor za studena nadržuje volnoběžné otáčky, po zahřátí jsou volnoběžné otáčky velmi nízké.  
[1, 6, 7]

Popis systému:

Škoda Felicia 1.3, kód motoru 136B, systém Mono-Motronic, r.v. 1995

Chybové hlášení:

Nastavovač škrticí klapky (V60) – nevyhovující signál

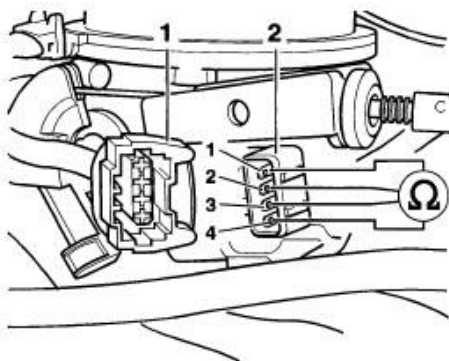
Základní úvaha a postup měření:

Systém Mono-Motronic je vybaven regulací volnoběžných otáček. Při této regulaci je nastavovač škrticí klapky, který otevírá škrticí klapku přes páku, ovládán tak, aby udržoval volnoběžné otáčky ve všech pracovních podmínkách (např. zatížená palubní síť, zapnutá klimatizace apod.) při zahřátém i studeném motoru na předem zadané hodnotě. Nastavovač škrticí klapky působí přes ovládací čep na páku škrticí klapky a může tak ovlivňovat množství vzduchu přiváděné do motoru. Je osazen stejnosměrným motorkem, který přes šnek a šnekové kolo pohybuje ovládacím čepem, jenž v závislosti na směru otáčení motorku se buď vysunuje a tím se škrticí klapka otevírá, nebo se naopak ovládací čep zasouvá a tím se zmenšuje úhel otevření škrticí klapky. V ovládacím čepu je integrován volnoběžný kontakt, který se při dosednutí ovládacího čepu na páku škrticí klapky sepne a tím signalizuje řídicí jednotce provozní stav „volnoběh“.[9]

Pro základní ověření funkčnosti systému regulace volnoběžných otáček byl proveden test akčních členů. Při kontrole nastavovače škrticí klapky musí být koncový spínač volnoběhu (F 60) sepnut. Proto byla ještě před vlastním provedením testu věnována zvýšená pozornost dostatečně volnému chodu ovládacího čepu. Diagnostikou akčních členů jsou aktivovány jednotlivé části systému v následujícím pořadí:

1. nastavovač škrticí klapky (V60)
2. ventil nádoby s aktivním uhlím (N80)

Pro úspěšný průběh testu nastavovače škrticí klapky se musí ovládací narážka škrticí klapky vysouvat a zasouvat tak dlouho, dokud nebude nastavena diagnostika dalšího členu. V průběhu testu však ovládací narážka škrticí klapky nevykazovala žádnou aktivitu a test proběhl s negativním výsledkem. V bloku naměřených hodnot ve skupině 00 byla ověřena funkčnost spínače volnoběhu. Ani zde však nebyl zjištěn žádný problém. Proto bylo přistoupeno k vlastnímu proměření ovládacího vedení (Poz. 1) a nastavovače škrticí klapky (Poz. 2).



Obrázek 165 Kontrolní měření nastavovače škrticí klapky

Kontrola odporů mezi konektory nastavovače škrťící klapky však ukázala hodnoty, odlišné od předepsaných.

Předepsané hodnoty:

mezi konektory 1 + 2 = 3...200  $\Omega$

mezi konektory 3 + 4 při zavřené škrťící klapce = max. 200  $\Omega$   
při otevřené škrťící klapce =  $\infty \Omega$

Naměřené hodnoty:

mezi konektory 1 + 2 =  $\infty \Omega$

Kontrolním měřením bylo zjištěno, že vinutí motorku nastavovače je přerušeno.

Závěr:

Měřením bylo prokázáno přerušené vinutí motorku nastavovače škrťící klapky. Po výměně nastavovače se chybové hlášení v paměti závad již neobjevovalo a motor pracoval v oblasti volnoběžných otáček bez závad.

## Použitá literatura

- [1] First Car Diagnostics, <https://www.fcd.eu/index.aspx>, (10.9.2008).
- [2] AUTOEXPERT, 1-2/2006, Praktikum osciloskopické analýzy závad, Autopress s. r. o.
- [3] AUTOEXPERT, 3/2006, Praktikum osciloskopické analýzy závad, Autopress s. r. o.
- [4] AUTOEXPERT, 5/2006, Praktikum osciloskopické analýzy závad, Autopress s. r. o.
- [5] AUTOEXPERT, 6/2006, Praktikum osciloskopické analýzy závad, Autopress s. r. o.
- [6] ŠKODA AUTO a. s., Dílenská příručka – Felicia, Mladá Boleslav: Škoda Auto a. s., 1999.
- [7] JIČÍNSKÝ, Š., Osciloskop a jeho využití v autoopravárenské praxi, Praha: Grada Publishing, a.s., 2006.
- [8] ŠKODA AUTO a. s., Dílenská příručka – Fabia, Mladá Boleslav: Škoda Auto a. s., 2000.
- [9] ŠKODA AUTO a. s., Dílenská učební pomůcka č. 1 – Mono-Motronic, Mladá Boleslav: Škoda Auto a. s., 1993.



## 17. Diagnostická přístrojová technika

V současné době neustále narůstá podíl elektroniky použité v motorových vozidlech. Téměř každý mechanický a elektronický prvek je ovládán nebo kontrolován elektronickou řídicí jednotkou a servisy tak nutí používat speciální diagnostické přístroje, s nimiž lze získat rychle a efektivně komplexní informaci o stavu automobilu nebo funkcích celého systému. Zároveň se v současné době některé klasické servisní úkony, jako například výměna brzdového obložení, výměna oleje nebo vstřikovače neobejdou bez diagnostického přístroje. Pro servisy všech typů a velikostí je nezbytné vlastnit přístroj pro diagnostiku těchto systémů a řídicích jednotek. V následující kapitole je uveden pouze stručný výběr diagnostické techniky, dostupné v současné době na českém trhu.

### 17.1 AUTOSKOP® II

Osciloskop je hlavním nástrojem pro paralelní diagnostiku. Jedná se o moderní softwarový a hardwarový komplex, určený a speciálně vyvíjený pro autodiagnostiku. Zařízení představuje osmikanálový USB osciloskop. U tohoto osciloskopu lze využít záznam průběhu signálu ve vysokém rozlišení, a to až do kapacity pevného disku připojeného počítače. Následně lze s tímto datovým souborem pracovat i bez osciloskopu a v nejmenších detailech záznamu. Samozřejmostí je rozsáhlé příslušenství zaměřené na diagnostiku závad. Jedná se například o kapacitní kleště, piezo snímače a tlakové snímače, a to různých rozsahů a citlivostí. [1, 2, 3]



Obrázek 166 Autoskop® II – <http://check-engine.net>

Přístroj může pracovat ve dvou režimech:

1. – režim jedno, dvou, čtyř, nebo osmikanálového analogového osciloskopu
2. – režim digitálního čtyř nebo osmikanálového analyzátoru.

Oba režimy umožňují monitorovat, měřit a zaznamenávat sledovaný signál v reálném čase a rovněž poskytují výstup kopie signálu na tiskárnu nebo elektronickou kopii ve formátu obrázku JPEG.

### Režim analogového osciloskopu

Počet analogových vstupů .....	8
Počet kanálů osciloskopu .....	1, 2, 4, 8 (podle výběru)
Počet řádů A/D převodníku .....	12 bit
Rozsah vstupního napětí .....	+/- 15 V s krokem 7,3 mV (vstupní dělič 1:1) +/- 150 V s krokem 73 mV (vstupní dělič 1:10)
Maximální vzorkovací frekvence na kanál: 250 kHz verze 1.x	
125 kHz v dvoukanálovém režimu	
50 kHz ve čtyřkanálovém režimu	
25 kHz v osmikanálovém režimu	
Maximální vzorkovací frekvence na kanál: 500 kHz verze 2.x	
250 kHz v dvoukanálovém režimu	
125 kHz ve čtyřkanálovém režimu	
50 kHz v osmikanálovém režimu	
Vzorkovací režim .....	trvalý
Vstupní odpor .....	1 MOhm
Další možnosti: volné přepínání vstupních kanálů (možnost připojení kanálu osciloskopu k libovolnému z fyzických vstupů „za běhu“).	

### Režim digitálního analyzátoru

Počet digitálních vstupů .....	8
Režimy .....	čtyř nebo osmikanálový analyzátor
Maximální vzorkovací frekvence	
v.1.x .....	500 kHz – čtyřkanálový režim
.....	250 kHz – osmikanálový režim
v.2.x .....	500 kHz – čtyřkanálový režim
.....	500 kHz – osmikanálový režim
Vzorkovací režim .....	trvalý
Vstupní odpor .....	10 kΩ

Základní možnosti obslužného softwaru: režim zobrazení + záznamu + měření v reálném čase současně

Rozsah stupnice rozmítání:

pro v.1.x:	
režim analogového osciloskopu:	100 μs/dílek – 1 s/dílek
režim digitálního analyzátoru:	50 μs/dílek – 1 s/dílek
pro v.2.x:	
režim analogového osciloskopu:	50 μs/dílek – 1 s/dílek
režim digitálního analyzátoru:	50 μs/dílek – 1 s/dílek

Rozsah napěťové stupnice (pouze v režimu analogového osciloskopu)

50 mV/dílek – 5 V/dílek  
(0,5 V/dílek – 50 V/dílek při použití děliče 1:10)

Režim synchronizace: pro synchronizaci se použije libovolný z kanálů osciloskopu. Synchronizace se provádí podle náběžné nebo sestupné hrany při nastavené úrovni.

- Maximální velikost souboru:  
operační systém MS Windows® 2000/XP/Vista: 1 GB, MS Windows® 98: 512 MB
- Soubor měřicích nástrojů: max/min/střední napětí/amplituda, čas, frekvence.
- Režim zobrazení střední (špičkové) hodnoty napětí při malých rozkladech.
- Výstupní formáty: binární soubor, JPEG, kopie oscilogramu na tiskárnu.
- Nabídka jednoduchých funkcí pro redakční úpravu binárního souboru.

- Možnost komprese a dekomprese dat „za běhu“ při uložení a otevření souboru měření

Tabulka 3 Základní režimy osciloskopu a jeho parametry

Režim	Operační systém	Maximální vzorkovací kmitočet [kHz]	Minimální délka záznamu [min]
Analogový osciloskop	Windows® 2000/XP/Vista	v.1.x 250	47 23
Digitální analyzátor		v.2.x 500	
Analogový osciloskop	Windows® 98	v.1.x 250	23 12
Digitální analyzátor		v.2.x 500	

### Požadavky na vybavení

- Program pracuje pod operačními systémy: Windows 98 SE, Windows 2000/XP/Vista.
- Minimální požadavky na PC: Pentium II, 233 MHz, 128 MB operační paměť, HDD 1 GB, port USB 1.1 (USB 2.0), SVGA.



Obrázek 167 Autoskop® II vč. příslušenství

### Příslušenství:



Adaptér DIS/DI - převod signálů od snímačů vysokého napětí na vstup osciloskopu. Měření klasického zapalování s rozdělovačem, zapalování DIS (Distributorless Ignition System), DI (Direct Ignition , nebo „cívka na svíčke“ ).



Cx - snímač vysokého napětí.



Sonda 1:1 a Hrot J40 - měřicí kabel 3,0 m osazen konektorem BNC a banánkem Ø 4 mm, hrot v podobě jehly se silikonovým kabelem osazen zdíčkou Ø 4 mm , provozní teplota do 115 ° C.



Piezo snímač - kontrola vstřikovacího systému vznětových motorů. Různé průměry vysokotlakého vědění.



P2500 - snímač absolutního tlaku 0 – 2500 mbar. Měření tlaku ovládacích prvků a tlaku v sacím potrubí atmosferických a přeplňovacích motorů. Není určen pro agresivní media.



P10 (20) - snímač relativního tlaku 0 ... 10 (20) bar. Je určen i pro agresivní média (benzin, motorový olej atd.). Provozní teplota -20 ... +85 °C.



CA600 - klešťový adaptér 0 ... 600 A , 0...400 Hz. Převodník 10 mV/10 A. Kabel osazen zdíčkou pro přímé spojení s měřicí sondou osciloskopu.



CA60 - klešťový adaptér 0 ... 60 A , 0...20 kHz. Převodník 1 mV/10 mA, 1 mV / 100 mA. Kabel osazen zdíčkou pro přímé spojení s měřicí sondou osciloskopu.

Obrázek 168 Autoskop® II - příslušenství

## 17.2 ATAL® Multi-Di@g Handy

ATAL® je přední českou firmou (člen skupiny ACTIA® Group), zabývající se multiznačkovým vývojem diagnostické techniky. Multi-Di@g Handy je kompaktní přístroj pro komplexní diagnostiku elektronických a řídicích systémů motorových vozidel. Multi-Di@g Handy je určen pro diagnostiku vozidel vybavených OBD diagnostickým konektorem. Pro diagnostiku starších vozidel lze využít univerzální adaptér, který je součástí sestavy, nebo adaptéry pro jednotlivé značky vozidel, které jsou součástí volitelného příslušenství. Multi-Di@g Handy je součástí modulárního systému, který může být rozšířen o dvoukanalový osciloskop s multimetrem Multi-Di@g Scope. Diagnostika spojená s Tablet PC s ochranným krytem je vhodná pro použití v dílenském prostředí. [4]

Dalším přístrojem v řadě je multiznačkový diagnostický systém Multi-Di@g Handy Access, určený k instalaci do PC. Modely 2008 již neobsahují v základní sadě kufr s adaptéry pro diagnostické zásuvky. Uživatelé tak mají možnost volby kabely kupovat samostatně nebo si koupit celou sadu s názvem Multi-Di@g Kabelová sada.



Obrázek 169 ATAL® Multi-Di@g Handy – <http://www.atal.cz>

Měřicí systém ATAL® Multi-Di@g Scope v základní sestavě obsahuje:

- Multi-Di@g Scope komunikační rozhraní
- Multi-Di@g Scope kabeláž
- Multi-Di@g Scope software
- Síťový napájecí adaptér
- Osobní počítač

ATAL® Multi-Di@g Scope umožňuje kontinuální záznamy zobrazovaných průběhů signálů. Délka uložených kontinuálních záznamů je závislá na nastavení časové základny:

- minimálně: 1ms/dílek..... délka záznamu: 8 sekund (1 kanál),  
4 sekundy (2 kanály)
- maximálně: 2,5 s/dílek ..... délka záznamu: 5,5 hod. (1 kanál),  
2,5 hod. (2 kanály)

Tabulka 4 Technické parametry ATAL® Multi-Di@g Scope

### Osciloskop

Parametr	Hodnota	Parametr	Hodnota
Vzorkovací rychlost – 1 kanál	10 MSPS	Zdroj spouštění	od kanálu A, B
Vzorkovací rychlost – 2	10 MSPS	Spouštěcí úroveň	v rozsahu
Šířka pásma	min. 600kHz (-3 dB)	Rastr	10x10 dílků
Vertikální rozlišení	min. 8 bitů	Záznam signálů	Ano
Vstupní impedance	2x1 Mohm	Automatické nastavení	Ano
Vstupní citlivost	50 mV ... 50 V/dílek	Kurzorová měření	Ano
Oddělení vstupů	Diferenciální vstupy		
Časová základna – 1 kanál	5 $\mu$ s ... 2,5 s/dílek		
Časová základna – 2 kanály	5 $\mu$ s ... 2,5 s/dílek		
Zobrazované vzorky	50/dílek		
Délka záznamu	1024 vzorků/16384vzorků		
Pozice spouštění v záznamu	0 ... 90 %		
Spouštěcí módy	Auto / Trig / Single		

MSPS – Mega Samples per Second

### Multimetr

Parametr	Rozsah	Rozlišení	Přesnost
Stejnoseměrný voltmetr	0 .. 2V 2 .. 20V 20..400V	1 mV 10 mV 0,1 V	$\pm 1,5\%$ z MH ( $\pm 5$ mV) $\pm 1,5\%$ z MH ( $\pm 20$ mV) $\pm 1,5\%$ z MH ( $\pm 0,2$ V)
Střídavý voltmetr	0 .. 2V 2 .. 20V 20 .. 400V	1 mV 10 mV 0,1 V	$\pm 2\%$ z MH ( $\pm 5$ mV) $\pm 2\%$ z MH ( $\pm 20$ mV) $\pm 2\%$ z MH ( $\pm 0,2$ V)
Stejnoseměrný a střídavý ampérmetr (proudový snímač)	0 .. 50 A 0 .. 500 A	0,1 A 1 A	$\pm 2,5\%$ z MH ( $\pm 0,5$ A) $\pm 2,5\%$ z MH ( $\pm 5$ A)
Ohmmetr	0 .. 3M $\Omega$		$\pm 2\%$ z MH
Střída	1...99 %		
Frekvence	1...10000 Hz		

MH – měřená hodnota

Pro záznamy s časovou základnou menší než 1 ms se ukládají pouze „obrazovky“, které jsou poté spojeny do animačního řetězce. Na zaznamenaných průbězích lze provádět tzv.zoomování (změna rozměru pohledu v závislosti na nastavení časové základny a vstupní citlivosti kanálů).

- Možnost prohlížení záznamů kontinuálně nebo skokově
- Ukládání nasnímaných průběhů
- Opětovné načtení již uložených průběhů
- Tisk průběhů (aktuálních i ze záznamu)



Obrázek 170 ATAL® Multi-Di@g Scope – <http://www.atal.cz>

### 17.3 ATAL® EMISSION ANALYSER AT 502

Tento přístroj je určený pro emisní kontroly zážehových a vznětových motorů ve stanicích měření emisí. Základní čtyřsložkový analyzátor výfukových plynů používá pro měření koncentrací CO, CO<sub>2</sub> a HC metodu NDIR. Pro měření koncentrace O<sub>2</sub> je použit elektrochemický článek. Funkční rozsah je proti běžným analyzátorům rozšířen o speciální funkce používané při kontrole motorů s elektronickým řízením přípravy směsi a zapalování vybavených katalyzátorem a lambda sondou. Mimo zmíněného lambda testu umožňuje provést i základní nastavení zapalování. Pomocí AT 502 je možno tedy provádět kompletní emisní kontrolu bez nároků na další vybavení dle předpisů platných v České republice (zákon č. 38/95 Sb., vyhláška MD č. 103/95 Sb.). [4]

Přístroj je vybaven tiskárnou, která vytiskne výsledky měření formou protokolu o emisní kontrole. Dále je k dispozici široký sortiment příslušenství, který je trvale doplňován. Přístroj AT 502 umožňuje po připojení k počítači PC předávat výsledky měření do programového vybavení pro SME.



Obrázek 171 ATAL® Emission Analyser AT 502 – <http://www.atal.cz>

Tabulka 5 Technické parametry ATAL® Emission Analyser AT 502

Měřený parametr	Rozsah	Rozlišení	Chyba měření
CO	0 ÷ 10 % vol	0,01 % vol	0,03 % vol nebo 5 % ČH
CO <sub>2</sub>	0 ÷ 20 % vol	0,1 % vol	0,5 % vol nebo 5 % ČH
HC (hex)	-12 ÷ 2000 ppm vol	1 ppm vol	10 ppm vol nebo 5 % ČH
	2000 ÷ 9000 ppm vol	10 ppm vol	5 % ČH
O <sub>2</sub>	0 ÷ 4 % vol	0,01 % vol	0,1 % vol nebo 5 % ČH
	4 ÷ 21 % vol	0,1 % vol	5 % ČH
CO <sub>cor</sub>	0 ÷ 10 % vol	0,01 % vol	
Nox	0 ÷ 5000 ppm vol	1 ppm vol	5 % ČH
Lambda	0,500 ÷ 2,000	0,001	ISO 3929
Otáčky	0 ÷ 9000 min <sup>-1</sup>	10 min <sup>-1</sup>	2 % ČH
Teplota oleje	0 ÷ 120 °C	1 °C	2 °C
Předstih	0 ÷ 60 °KH	0,1 °KH	1,5 ° KH
Úhel styku	0 ÷ 100 %	1 %	2,5 %
Lambda napětí	0 ÷ 1000 mV	1 mV	15 mV
Lambda kmitočet	0 ÷ 20 Hz	0,1 Hz	0,2 Hz
Lambda test	Funkční test lambda sondy – simulace lambda sondy		

ČH = čtené hodnoty, KH = klikového hřídele

Výpočet CO<sub>cor</sub> : při CO + CO<sub>2</sub> ≤ 15% vol .....  $CO_{cor} = \frac{15 \cdot CO}{CO + CO_2}$

při CO + CO<sub>2</sub> > 15% vol ..... CO<sub>cor</sub> = CO

Průtok plynu sondou ..... 4 l/minutu nominální

Průtok plynu sondou ..... 3 l/minutu minimální

Napájecí napětí ..... 230 V (+10 / -15 %), 50 Hz (±2 %)



Příkon .....	70 VA max.
Výstupní napětí .....	230 V, 1A max. (pro napájení vzorkovací jednotky opacimetru)
Doba náběhu .....	15 minut max. (při 25°C)
Doba odezvy .....	15 sekund max. (95 % údaje)
Tiskárna .....	vestavěná, 24 znaků / řádek
Reálný čas .....	zabudovaný čas, datum
Displej .....	LED 25 mm, červený
Klávesnice .....	membránová s odezvou, 8 tlačítek
Dálkové ovládání .....	přepínač předvolby, 6 tlačítek
Komunikační rozhraní .....	RS 232C

## 17.4 DevCom® TS02 diagnostik

TS02 diagnostik je univerzální přístroj (E-OBD, OBD-II, CAN, ISO, SAE) pro diagnostiku řídicích jednotek zážehových a vznětových motorů, ABS/EDS, airbagů, přístrojové desky a mnoha dalších. Seznam elektronických jednotek je neustále rozšiřován. Přístroj umožňuje čtení a mazání chybových kódů, zobrazení měřených parametrů, nastavení servisních intervalů, test akčních členů a další funkce. [5, 6]



Obrázek 172 DevCom® TS 02 diagnostik – <http://www.devcom.cz>

Sada obsahuje přístroj TS02 diagnostik, potřebné propojovací kabely, zvolený software, návod, seznam podporovaných automobilů a transportní kufřík. Zvolený software je kompletně nahrán výrobcem nebo distributorem v přístroji. Další nahrávání je nutné pouze při aktualizaci nebo rozšiřování. Používání software a tedy i přístroje je bez časových omezení. Databáze podporovaných modelů automobilů je aktualizována dvakrát ročně. Dále se připravuje rozšíření funkcí přístroje o tisk naměřených dat a osciloskopická měření.

## Použitá literatura

- [1] First Car Diagnostics, <https://www.fcd.eu/index.aspx>, (5.10.2008).
- [2] Autoskop – osciloskop pro autodiagnostiku, <http://www.check-engine.net/>, (6.10.2008).
- [3] IHR Technika s.r.o., <http://www.ihr-tech.cz>, (13.10.2008).
- [4] ATAL Multi-Di@g, <http://www.atal.cz>, (15.10.2008).
- [5] DevCom - Diagnostika řídicích jednotek automobilů E-OBD, OBD-II, CAN, ISO, SAE, osciloskopická měření, <http://www.devcom.cz>, (16.10.2008).
- [6] Motorexpert – autodiagnostika, <http://www.motordiag.cz>, (17.10.2008).

## 18. Závěr

Hlavním cílem této práce bylo seznámení s řídicími systémy zážehových spalovacích motorů, jejich jednotlivými částmi a zejména přiblížit možnosti efektivní diagnostiky těchto systémů. Na příkladech diagnostických měření bylo poukázáno na široké možnosti využití osciloskopu v paralelní diagnostice a na nepostradatelnost sériové diagnostiky.

Tato práce může posloužit jako učební text pro další vzdělávání techniků v autoopravářské praxi. Stejně tak může sloužit k seznámení zájemců z řad laické veřejnosti s danou problematikou.

Vzhledem k rozsáhlosti tohoto tématu si tato práce neklade za cíl být uceleným, vyčerpávajícím přehledem problematiky diagnostiky spalovacích motorů. Mimo záběr této práce zůstala problematika diagnostiky vznětových spalovacích motorů. Z praktického hlediska by bylo jistě dále přínosné vytvořit databázi naměřených vzorových i defektních průběhů signálů jednotlivých snímačů řídicích systémů. Další oblastí, která by si jistě zasloužila pozornost, je tzv. chiptuning. Pod tímto pojmem se skrývá řada různých postupů, jak upravit parametry originálních elektronických řídicích jednotek za účelem zvýšení výkonu sériového motoru.