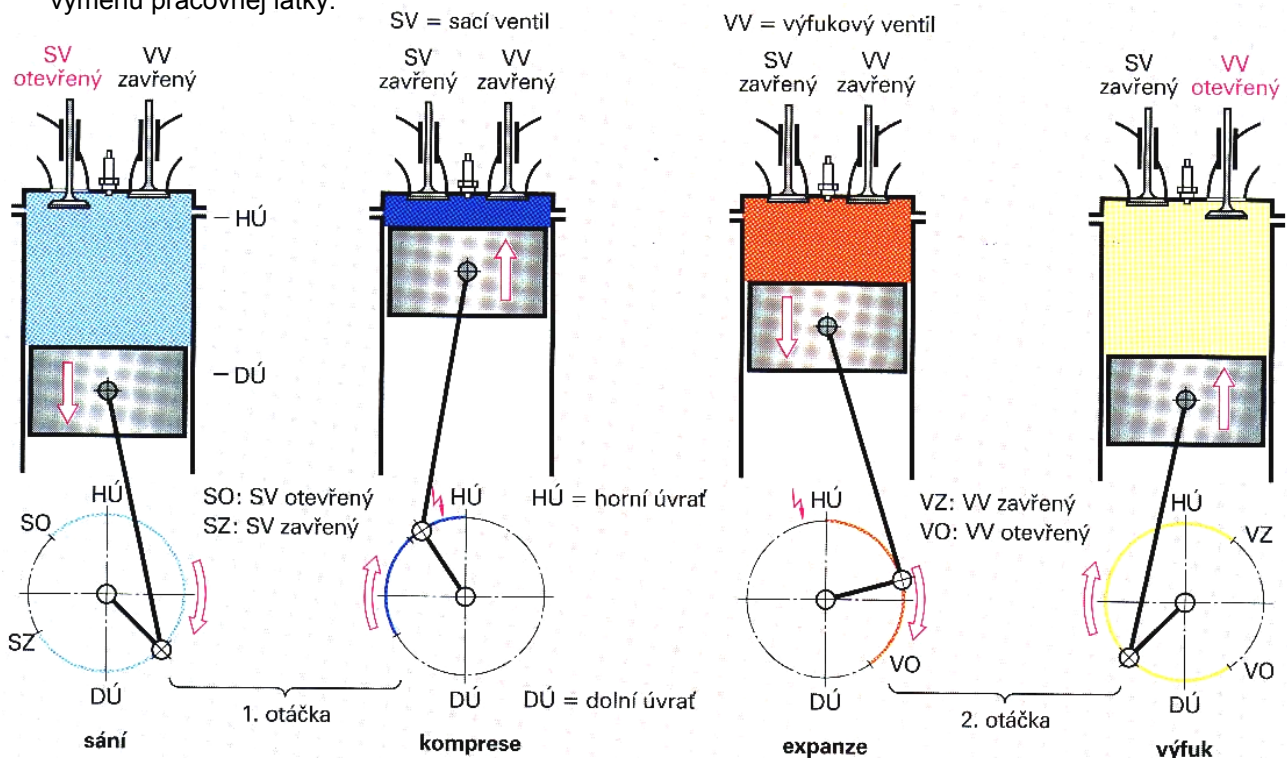


Zážihový motor

Spaľovací motor je tepelný stroj, ktorý premieňa tepelnú energiu na mechanickú prácu, t.j. vychádza sa z poznatkov druhej vety termodynamickkej. Tepelná energia sa v motore spravidla získava premenou chemickej energie paliva na teplo spaľovaním. Pri spaľovaní paliva sa v motore uvoľňuje teplo, zvyšuje sa teplota, tlak a merný objem. Podľa podmienok spaľovania a druhu motora prevláda buď zmena tlaku, alebo merného objemu. Zvýšený tlak pracovnej látky pôsobí na pohyblivý piest motora, ktorý vykoná mechanickú prácu. Piest uskutočňuje vratný pohyb vo valci a zabezpečuje výmenu pracovnej látky.



NASÁVANIE	KOMPRESIA	EXPAENZIA	VÝFUK
<p>Piest sa pohybuje dolu, priestor nad ním sa zväčšuje, nasávací ventil je otvorený. V dôsledku toho, klesá nad piestom tlak na 0,09 až 0,02 MPa oproti atmosférickému tlaku 0,1 MPa. Rozdielom tlakov je vzduch vtlačaný cez nasávacie potrubie do valca. Zápalná zmes sa tvorí v nasávacom potrubí alebo priamo vo valci. Na dosiahnutie čo najlepšieho naplnenia sa nasávací ventil otvára až 45° KH pred HÚ a zatvára 35° až 90° KH za DÚ.</p>	<p>Pohybom piesta hore sa zmes stláča, pričom sa zahrieva na 400°C až 550°C, pretože sa nemôže rozpínať stúpa tlak, ktorý na konci kompresie dosahuje hodnoty až 1,8 MPa. Vysoká teplota podporuje odparovanie paliva a prúdenie jeho premiešanie so vzduchom. Počas stláčania je výfukový i nasávací ventil zatvorený.</p>	<p>Preskočením iskry na zapalovacej sviečke sa aktivuje proces spaľovania. Čas potrebný na úplné rozhorenie zmesi je asi 1/1000 s a čelo plameňa postupuje rýchlosťou 20 až 25 m/s. Iskra musí preskočiť, v závislosti od otáčok, 0° až 40° pootočenia KH pred HÚ, aby bol dostatočný čas, potrebný na nárast tlaku na maximum 3 až 6 MPa krátko po HÚ – 4° až 10°. Horiace plyny dosahujú teplotu až 2500°C a pri svojej expanzii tlačia piest smerom dolu, čím dochádza k premene tepelnej energie na mechanickú prácu.</p>	<p>Výfukový ventil sa otvára 40° až 90° pred DÚ. Tým sa zlepšuje odvod spalín z valca. Na konci expanzie je ešte tlak 0,3 až 0,5 MPa. Ním sú spaliny tlačené von z valca a prúdia vysokou rýchlosťou, ktorá sa blíži rýchlosti zvuku. Ostatné výfukové plyny sú vytlačené z valca von pohybom piesta smerom hore pri tlaku asi 0,02 MPa. Aby sa zlepšilo vytečenie výfukových plynov z valca, zatvára výfukový ventil až za HÚ, kým nasávací ventil je už otvorený.</p>

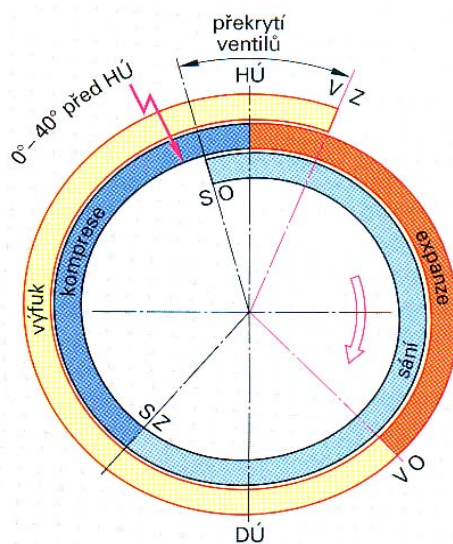
V štvortaktnom spaľovacom motore prebiehajú procesy fyzikálne a chemické, ktoré sa periodicky opakujú za každé dve otáčky kľukového hriadeľa – uhol otočenia kľuky 720° , pri ktorých sa mení stav a zloženie pracovnej látky. Tieto deje nazývame pracovne obeh motorov.

Skutočné obeh spaľovacích motorov, pri ktorých sa za veľmi krátky čas, niekoľko stotín sekundy odohráva naplnenie valca, rozprášenie, odparenie a miešanie paliva so vzduchom, stlačenie, spaľovanie, expanzia a vyprázdnenie valca, sú veľmi zložité. Jednotlivé časti obehu prebiehajú odlišné od dejov opisovaných základnými zákonmi termodynamiky. Skutočné obeh sú ovplyvňované aj mechanickými, tlakovými, hydraulickými a inými stratami. Z týchto dôvodov je výpočet skutočných obehov veľmi zložitý a robí sa vždy so zjednodušujúcimi predpokladmi. Na posúdenie dôležitých ukazovateľov pracovného obehu, ako sú využitie privedeného tepla (tepelná účinnosť obehu), zisk mechanickej práce (stredný tlak obehu), používajú teoretické obeh, ktoré sa viac alebo menej približujú ku skutočným obehom.

Príprava zmesi

Zážihový motor je spaľovací motor pracujúci na princípe spaľovania zmesi paliva so vzduchom prostredníctvom núteného zážihu pomocou výboja elektrickej iskry medzi elektródami zapalovacej sviečky. Zmes musí byť pri kompresii stlačená tak aby nebola dosiahnutá teplota samovznietenia paliva (cca 600°C).

Pre správnu činnosť motora je veľmi dôležitý okrem vytvorenia zmesi vzduchu a paliva aj okamih zážihu, veľkosť a priebeh elektrického výboja.



SO: SV otevírá 15° před HÚ VO: VV otevírá 44° před DÚ
SZ: SV zavírá 40° za DÚ VZ: VV zavírá 22° za HÚ

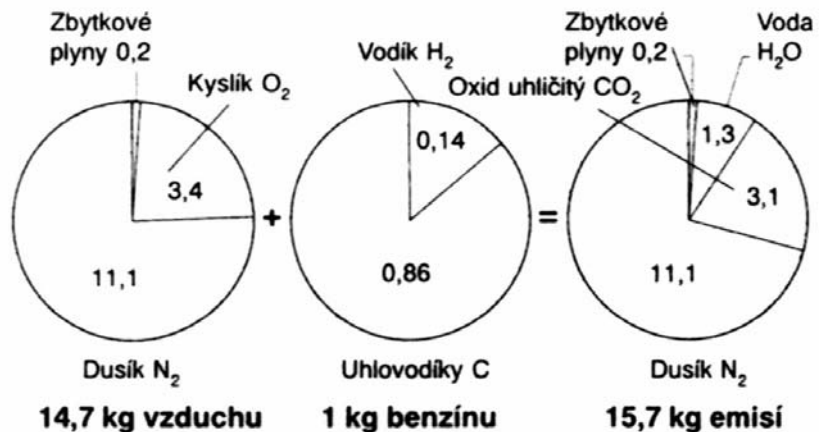
Porovnanie parametrov pri zmene kompresného pomeru

kompresný pomer	1 : 7	1 : 9
tlak na konci kompresie	cca 1 MPa	cca 1,6 MPa
maximálny tlak pri spaľovaní	cca 3 MPa	cca 4,2 MPa
tlak pri otvorení výfukového ventilu	cca 0,4 MPa	cca 0,3 MPa
teplota na konci kompresie	400 °C	500 °C

Priebeh spaľovania je priamo závislý od charakteru prípravy zmesi paliva, tlakoch a vlastnom zapálení paliva ako aj priebehu horenia paliva.

Zmes paliva so vzduchom môže byť homogénna, pre motory, ktoré majú vonkajšiu tvorbu zmesi (zmes sa tvorí pred spaľovacím priestorom), alebo vrstvená, zvyčajne pre motory s vnútornou tvorbu zmesi (zmes sa tvorí priamo v spaľovacom priestore).

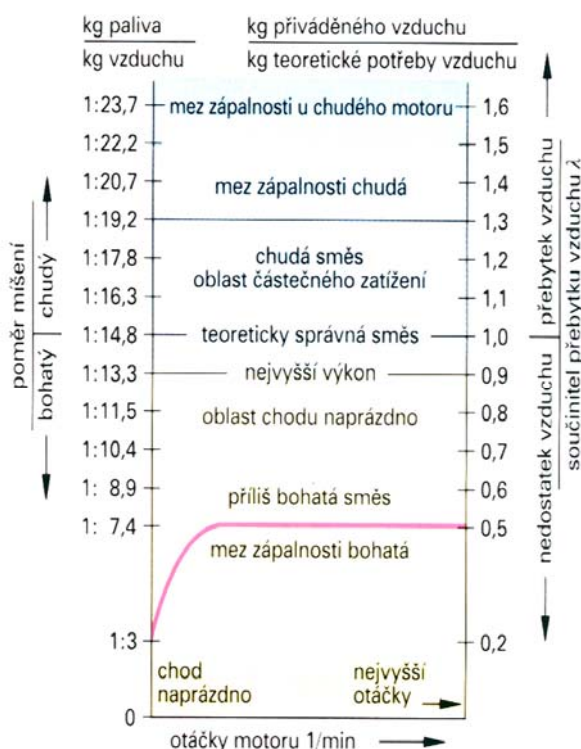
Teoretický zmiešavací pomer na dokonalé spálenie zmesi je asi 1 hmotnostný diel benzínu na 14,7 hmotnostného dielu vzduchu, teda **1:14,7** (tzv. stechiometrický pomer). V skutočnosti sa zmiešavací pomer od teoretického líši v závislosti na rôznych požiadavkách, teplota, otáčky, zaťaženie motora požadovaný výkon, požadovaná hospodárnosť.



Ak je v zápalnej zmesi viac benzínu ako je teoreticky potrebné, napr. **1:12** je zmes „bohatá“, zmes s menším množstvom benzínu napr. **1:17**, sa nazýva „chudobná“. Zapáliť ju možno zapaľovacou sviečkou však len v určitom rozsahu zloženia (**1:10** až **1:20**).

Zloženie zmesi sa vyjadruje pomocou súčiniteľa prebytku vzduchu λ , ktorý vyjadruje pomer medzi skutočným množstvom nasatého vzduchu k teoretickému množstvu vzduchu zodpovedajúcemu stechiometrickému zloženiu zmesi, teda **1 : 14,7**, pre ktorý zodpovedá $\lambda = 1$.

$$\lambda = \frac{\text{množstvo privedeného vzduchu (kg)}}{\text{teoretická potreba vzduchu (kg)}}$$



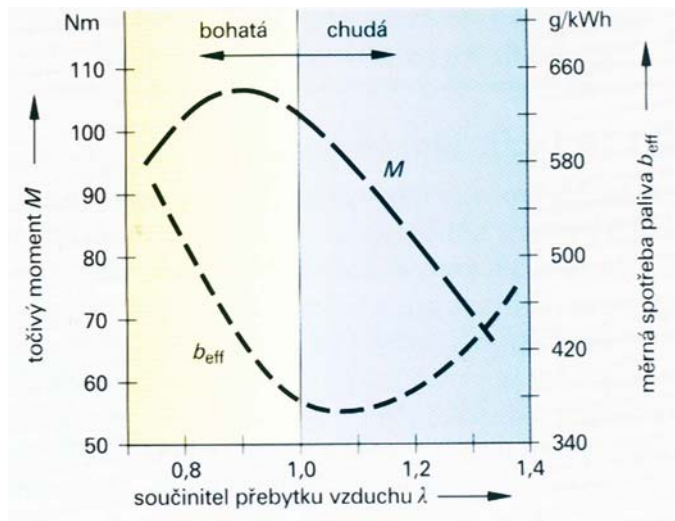
Pri rôznych prevádzkových stavoch motora dochádza k zmene podmienok práce motora, potreba množstva privádzaného paliva sa odlišuje od potreby paliva zahriateho motora pracujúceho v stabilnom režime, na základe týchto zmien musí dôjsť ku korekcii zloženia zmesi. Typické prevádzkové režimy pri ktorých musí byť korigovaná dávka paliva sú:

- studený štart;
- studený motor (po štarte);
- zahrievanie motora;
- voľnobeh;
- plné zaťaženie;
- akcelerácia;
- decelerácia;
- nadmorská výška;

Výkon a merná spotreba paliva zážihového motora je výrazne závislá od skutočného zmiešavacieho pomeru. Skutočný zmiešavací pomer sa od teoretického líši najmä v závislosti na teplote, otáčkach a zaťaženia motora. Motory vozidiel sú najčastejšie prevádzkované v čiastočnom zaťaženi a preto sú aj konštruované na prevádzku v tomto režime tak aby pri práci v tejto oblasti bola

Súčiniteľ prebytku vzduchu λ	
λ	Význam
$< 0,5$	dolná hranica zápalnosti (bohatá zmes), zmes paliva so vzduchom už nie je zápalná;
$< 1,0$	bohatá zmes - nedostatok vzduchu, zvýšený výkon, akcelerácia;
$0,9$	najvyšší krútiaci moment, dobrý chod motora, nevýhodná merná spotreba paliva;
$0,9 - 1,1$	vhodná zmes paliva so vzduchom
$> 1,0$	chudobná zmes - prebytok vzduchu, úspora paliva, hospodárna prevádzka;
$1,3 - 1,5$	horná hranica zápalnosti (chudobná zmes), zmes paliva so vzduchom už nie je zápalná;
$1,6 - 1,7$	horná hranica zápalnosti pre motory s vrstvenou zmesou;

ich prevádzka čo najefektívnejšia. Z tohto pohľadu je práca motora so stochiometrickou zmesou vhodným kompromisom z pohľadu, hospodárnosti prevádzky, výkonu a ekologických parametrov.



PRÍKLAD

Do valca štvortaktného štvorvalcového motora so zdvihovým objemom $V_z = 2000 \text{ cm}^3$ sa za jeden cyklus nasaje štvrtina jeho zdvihového objemu:

$$V_z / 4 = 2000 / 4 = 500 \text{ cm}^3 = 0,000 5 \text{ m}^3 \text{ vzduchu.}$$

Za normálnej teploty a tlaku to potom zodpovedá hmotnosti danej súčinom objemu vzduchu a jeho hustoty:

$$m = V \cdot \zeta$$

$$m = V_z \cdot \zeta = 0,000 5 \cdot 1,29 = 0,000 645 \text{ kg vzduchu.}$$

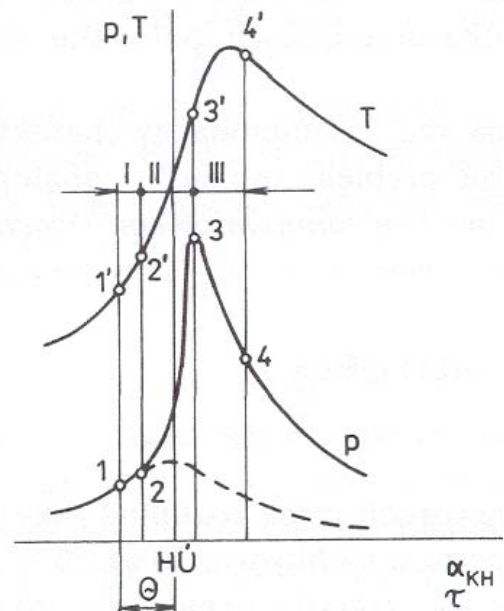
Ak je teda potrebné, pri $\lambda = 1$, na jeden gram vzduchu vstreknúť 0,0631 g benzínu, na jeden kilogram vzduchu je treba 63,1 g benzínu a na 0,000 654 kg vzduchu nasatého do valca motora za jeden cyklus $63,1 \cdot 0,000 645 = 0,0407 \text{ g benzínu}$ **a to pri jeho plnom výkone !**

Priebeh spaľovania v zážihovom motore

Pri normálnom pracovnom obehu zážihového motora vo valci je prakticky homogénna zmes odpareného paliva, vzduchu a zvyškov spalín z prechádzajúceho obehu. Spaľovanie sa uskutočňuje priemernou rýchlosťou $20 - 50 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$ v oblasti hornej úvrati piestu na konci kompresného zdvihu a na začiatku expanzného zdvihu. Zmes sa zapáli elektrickou iskrou a rozvinie sa spaľovanie turbulentného čela plameňa. Tomuto priebehu zodpovedá vždy určitý uhol predstihu zapaľovania, **ktorý sa blíži optimálnemu uhlu predstihu zapaľovania**. Keď je piest v hornej úvrati, tlak vo valci značne stúpa a maximum dosiahne pri $12^\circ - 15^\circ \text{ KH}$ za hornou úvratou, krivka tlaku v indikátorovom diagrame má plynulý priebeh.

Proces spaľovania má tri charakteristické fázy:

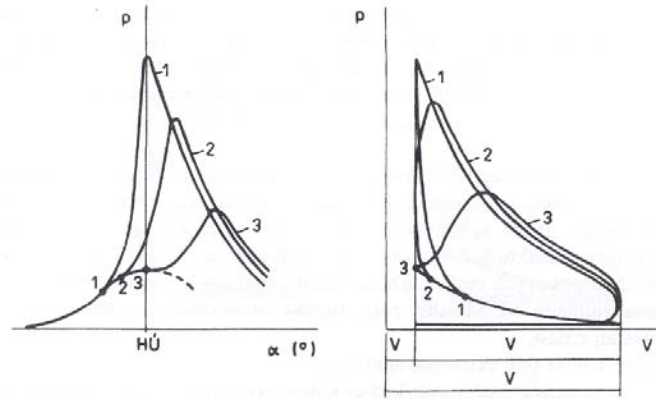
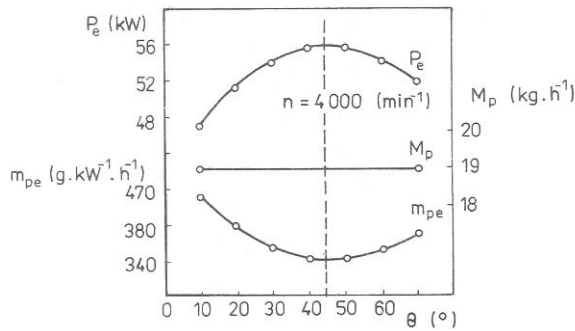
1. **prvá fáza – prietah zážihu** → začína zapálením zmesi, keď účinkom vysokej teploty elektrickej iskry viacej ako $10\,000 \text{ }^\circ\text{C}$ v jej blízkosti sa rozbehne chemická reakcia. Vyvinuté teplo v tejto fáze nespôsobuje zvýšenie tlaku náplne vo valci, neobjaví sa ani viditeľný plameň,
2. **druhá fáza – hlavné (viditeľné) spaľovanie** → je to hlavná fáza spaľovania, kde z prvého ohniska zapálenia v okolí elektród zapaľovacej sviečky sa začína plameň šíriť na všetky strany,
3. **tretia fáza – dohorovanie** → sa uskutočňuje za čelom plameňa, kde účinok turbulencie je už malý, preto lebo horenie pokračuje len v niektorých oddelených miestach spaľovacieho priestoru a netvorí súvislé čelo plameňa.



Jednotlivé fázy sa prelínajú a neexistuje medzi nimi žiadna presná hranica.

Efektívnosť procesu spaľovania sa hlavne posudzuje rýchlosťou vývoja tepla (zákon vývoja tepla), od ktorej závisí rýchlosť produktov spaľovania vyššej teploty. Maximálna práca a účinnosť pracovného obehu sa dosiahne pri rýchlom vývoji tepla v druhej fáze spaľovania vtedy, keď úsek druhej fázy sa rozdelí zhruba s polovicou pred HU a s polovicou za HU, zabezpečuje sa to uhlom predstihu zapaľovania φ pred HU. Uhol φ má byť tým väčší, čím dlhšia je prvá fáza spaľovania a tiež čím pomalšie sa rozvíja spaľovanie, resp. vývoj tepla v druhej fáze. Hodnoty sa pohybujú v zážihových motoroch od 15° do 30° pred HU.

Veľmi dôležitú úlohu pre zabezpečenie vhodného priebehu spaľovania má okamžik zapálenia zmesi. Na obrázkoch je znázornený vplyv zmeny uhlu predstihu zapaľovania na priebeh tlakov vo valci v $p - \alpha$ a $p - V$ diagrame a na priebeh hlavných parametrov (výkon P_e a merná spotreba paliva m_{pe}). Optimálny predstih zapaľovania je taký, pri ktorom je najväčší výkon pri najnižšej spotrebe paliva, má rôznu hodnotu v závislosti od veľkého počtu vplyvov (hlavne otáčky, zaťaženie, zloženie zmesi, tepelný stav motora atď.).



Činitele ovplyvňujúce priebeh spaľovania v zážihových motoroch

predstih zapaľovania → zmenou predstihu zapaľovania sa mení tlak a teplota aj intenzita vírenia zmesi. Uhol predstihu zapaľovania φ určuje časový priebeh spaľovania vzhľadom na HU a tým aj účinnosť vývoja tepla, resp. indikovanú účinnosť obehu. Zväčšovaním uhla predstihu zapaľovania strmšie narastajú tlaky vo valci vo fáze viditeľného spaľovania, t.j. prírastok tlaku na jednotku otočenia kľukového hriadeľa $w_p = d_p/d_\alpha$ a chod motora je tvrdší. Tlaky vo valci sú v oblasti HU vyššie. Tlaky v expanznom zdvihu sú nižšie a preto, že teplota a tlak spalín v okamihu otvorenia výfukového ventilu sú nižšie z čoho vyplýva, že vnútorná energia spalín vo výfukových plynoch je nižšia (stratová je indikovaná práca, preto p_i sa znižuje rovnako s indikovanou účinnosťou η_i). Pri konštantnom zložení zmesi λ spaľovanie prebieha v blízkosti HU prakticky pri konštantnom objeme, preto dĺžka jednotlivých fáz spaľovania sa podstatne nemení. Strata tepla do výfuku je menšia, hluk z výfuku je nižší, teplota hlavy valcov je vyššia, teplota steny valca je nižšia atď.

Pri malých predstihoch zapaľovania φ sa znižuje plocha indikátorového diagramu oneskoreným prívodom tepla za HU a miernym predĺžením spaľovania v druhej fáze. Malé predstihy spôsobujú veľké tepelné zaťaženie valcov, piest, piestne krúžky, valec, hlava valcov, výfukové ventily a aj výfukový trakt.

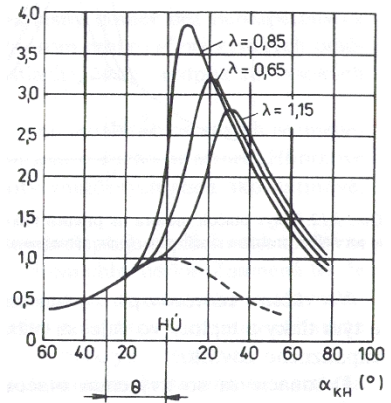
Detonácie sú najväčšie pri veľkom predstihu zapaľovania. Optimálny predstih je často určený hranicou detonačného spaľovania, preto v záujme dobrej hospodárnosti sa kompresné pomery navrhujú vyššie, ako znesie palivo pri režimoch maximálneho zaťaženia, ale je to výhodné vo väčšine bežných prevádzkových režimoch, t.j. pri čiastočnom zaťažení.

Oxid uhoľnatý CO v produktoch spaľovania sa podstatne nemení so zmenou uhla predstihu zapaľovania. Pri znižovaní uhla predstihu zapaľovania φ s predĺžením času spaľovania mierne klesá obsah uhľovodíkov HC. Pri extrémne malých predstihoch, keď spaľovanie prebieha nedokonale, sa pri nižších teplotách za HU obsah HC zväčšuje. Zmenšenie uhla predstihu zapaľovania φ pri chudobnejších zmesiach, keď je $\lambda > 1,05$ s nižšou teplotou a dlhším trvaním spaľovania, spôsobuje zníženie obsahu oxidov dusíka NO_x .

zloženie zmesi → ovplyvňuje rýchlosť spaľovania a priebeh vývoja tepla, čo sa prejaví na priebehu tlaku a teploty vo valci, na obrázku je znázornený priebeh tlakov vo valci pri rôznych zloženiach zmesi, konštantných otáčkach a predstihu zapaľovania φ . Najlepší výkon sa dosahuje pri plnom zaťažení $\lambda = 0,85 - 0,90$, keď je tiež najväčšia rýchlosť spaľovania a dostatočne intenzívny vývoj tepla, ktorý nespôsobuje príliš prudký vzrast tlaku $\Delta p/\Delta \alpha$. Získa sa pritom najväčšia plocha

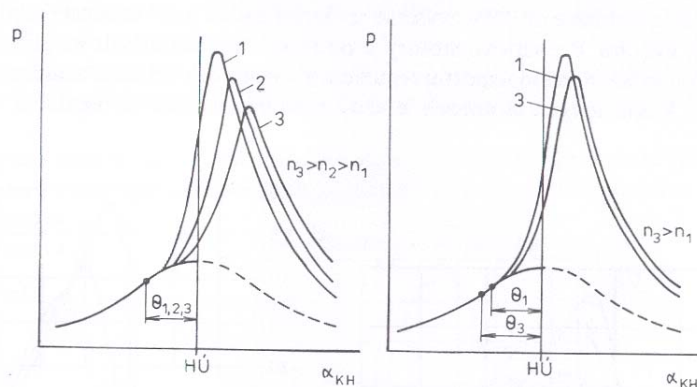
indikátorového diagramu a najväčší výkon, uhol predstihu zapalovania φ je pri tom optimálny. Zväčšovaním súčiniteľa prebytku vzduchu λ nad 0,9 sa predĺži doba spaľovania prvej fázy, zmenší sa plocha indikátorového diagramu, zníži sa maximálny tlak a taktiež sa zníži hodnota $\Delta p/\Delta \alpha$. Zmenšenie výkonu je možné čiastočne kompenzovať zväčšením uhla predstihu zapalovania φ . Pri zväčšovaní súčiniteľa prebytku vzduchu λ na 1,1 až 1,2 všetky fázy spaľovania sa predĺžia vplyvom nedostatočne rýchleho spaľovania a vývoja tepla. Tým sa výkon znižuje, ale pri prebytku vzduchu sa účinnosť spaľovania a aj indikovaná účinnosť značne zvýši a hospodárnosť práce dosiahne maximum.

So zväčšovaním prebytku vzduchu λ množstvo kyslíčnika uhoľnatého CO a nespálené uhľovodíky HC v produktoch spaľovania sa zmenšujú, chemická účinnosť a tým aj indikovaná účinnosť sa zväčšuje, dosiahne maximum a potom opäť klesá, najmä vplyvom znižovania tepelnej účinnosti (pomalší vývoj tepla, väčší odvod tepla do stien). Oxidy dusíka NO_x sa tvoria v priebehu spaľovania pri zvýšených teplotách a prebytku vzduchu. V zážihových motoroch maximálna teplota spaľovania je pri $\lambda = 0,85$ až $0,95$, ale maximálne množstvo NO_x vzniká pri mierne chudobnej zmesi $\lambda \approx 1,05$.



otáčky motora → zmenou otáčok pri stálych ostatných činiteľoch sa podstatne mení rozloženie tlakov vo valci v priebehu spaľovania. Zvyšovaním počtu otáčok vplyvom zvýšenej turbulencie zmesi rastie rýchlosť šírenia sa plameňa. Pri optimálnych predstihoch zapalovania a ostatných konštantných činiteľoch so zvyšovaním otáčok prakticky sa nemení uhol druhej fázy spaľovania, ale lineárne sa mení uhol prvej fázy spaľovania. Zväčšením uhla predstihu zapalovania pri vyšších otáčkach možno kompenzovať väčší uhol prvej fázy spaľovania a tým priblížiť tlakový priebeh k optimálnemu. S nárastom otáčok sa predĺži tretia fáza spaľovania a efektívnosť vývoja tepla sa zhoršuje. Táto strata sa čiastočne kompenzuje zmenšením odvodu tepla do stien spaľovacieho priestoru, pretože je kratší čas k dispozícii pri vyšších otáčkach. U väčšiny spaľovacích motoroch pri zvýšených otáčkach sa súčasne znižuje plniaca účinnosť a tým tlaky a teploty vo valci sú nižšie a to taktiež spôsobuje posúvanie spaľovania do expanzného zdvihu. Detonácie sa so zvyšovaním otáčok zmierňujú – zanikajú, znižovaním otáčok zosilňujú – vznikajú. Platí to však samozrejme pre väčšie zaťaženia motora.

Vo viacvalcových motoroch vplyvom nerovnakých dĺžok vetví sacieho potrubia, tvarovania a napojenia vetví na miešavaciu komoru pri karburátore a ďalších vplyvov, nasávajú jednotlivé valce zmes nerovnakého zloženia. Zloženie zmesi je premenlivé aj s časom, čo vyvolá nepravidelnosť

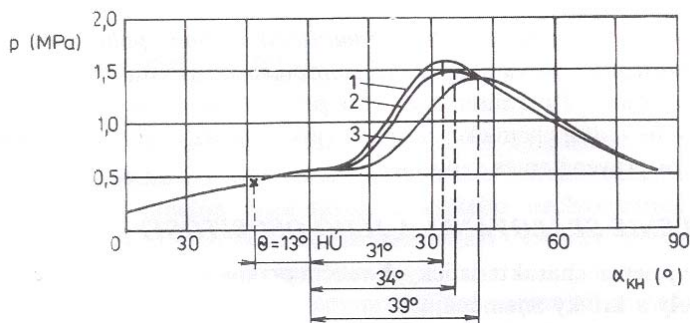


jednotlivých po sebe nasledujúcich obehov motora. Pri vstrekaní benzínu pred každý sací ventil sa

vytlúči vplyv palivového filmu na stenách potrubia a rozdiely v zložení zmesi v jednotlivých valcoch sú menšie. Tým je pravidelnejší chod motora a množstvo škodlivých látok vo výfukových plynoch je menšie.

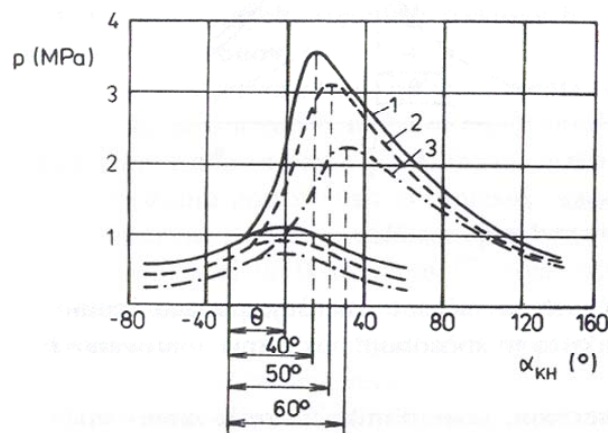
kompresný pomer → pri väčšom kompresnom pomere ϵ je väčší tlak a teplota pri zapálení zmesi a menšia koncentrácia zvyškov spalín v spaľovacom priestore ϑ_{zv} . Sú lepšie podmienky pre zapálenie zmesi iskrou (chudobnejšia zmes), zrýchľuje sa priebeh spaľovania a vývoj tepla hlavne v druhej fáze spaľovania. Pri väčšom kompresnom pomere ϵ sa zväčšuje pomer povrchu k objemu spaľovacieho priestoru a tým podiel zmesi pri stenách spaľovacieho priestoru, ktorá horí až v tretej fáze spaľovania. Dôsledkom týchto vplyvov je menší optimálny uhol predstihu zapáľovania, väčšia je tvrdosť chodu $\Delta p/\Delta \alpha$ (namáhanie kľukového mechanizmu a tým sa zhoršuje mechanická účinnosť η_m), vyšší maximálny tlak je bližšie k HU (skorší nábeh tretej fázy spaľovania). Pretože pomer povrchu k objemu spaľovacieho priestoru je väčší, množstvo nespálených uhľovodíkov HC v produktoch spaľovania je väčšie. V blízkosti stien plameň zhasína a zmes horí nedokonale. Pri chudobnejších zmesiach je vplyvom vyšších teplôt pri väčšom ϵ tvorba NO_x intenzívnejšia, vplyv na tvorbu CO je minimálny,

teplota motora → teplota motora má na prácu motora a na priebeh spaľovania podobný vplyv ako zmena kompresného pomeru aj keď nie v takej miere. Pri zvyšovaní teploty motora dochádza k skráteniu prietahu zážihu a kompresný tlak vo valci stúpa.



zaťaženie motora → pri čiastočnom zaťažení kompresné tlaky a teploty sú nižšie, prietah zapálenia je dlhší a rýchlosť spaľovania je nižšia. Posúvanie vývoja tepla do expanzného zdvihu je neefektívne a preto pri čiastočnom zaťažení potrebné zväčšiť uhol predstihu zapáľovania. Čím je väčšie zaťaženie, tým je optimálny predstih menší. Detonačné spaľovanie sa môže objaviť len pri väčšom zaťažení, t.j. v režime väčších tlakov a teplôt zmesi.

Zhoršenie podmienok spaľovania pri čiastočnom zaťažení je jednou z hlavných príčin zvýšenej spotreby paliva zážihových motoroch. Pri čiastočnom zaťažení je potrebné zmes obohacovať, aby sa dosiahlo primeranej stability chodu bez vynechávania a veľkej cyklovej nerovnosti pri čiastočnom zaťažení. Vede to k horšiemu využitiu paliva a k zvýšenej tvorbe CO a HC.

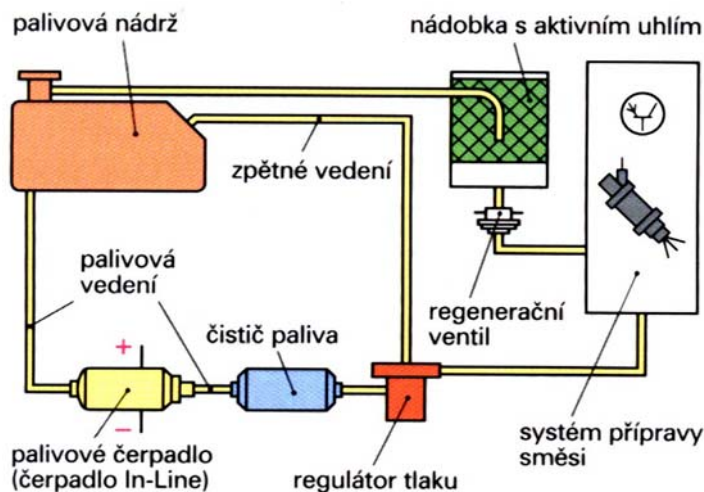


Palivová sústava zážihových motorov

Základnou funkciou palivovej sústavy je za každého prevádzkového stavu zásobovať systém prípravy zmesi (ďalej len **vstrekovací systém**) čistým palivom stlačeným na požadovaný tlak.

Úlohy:

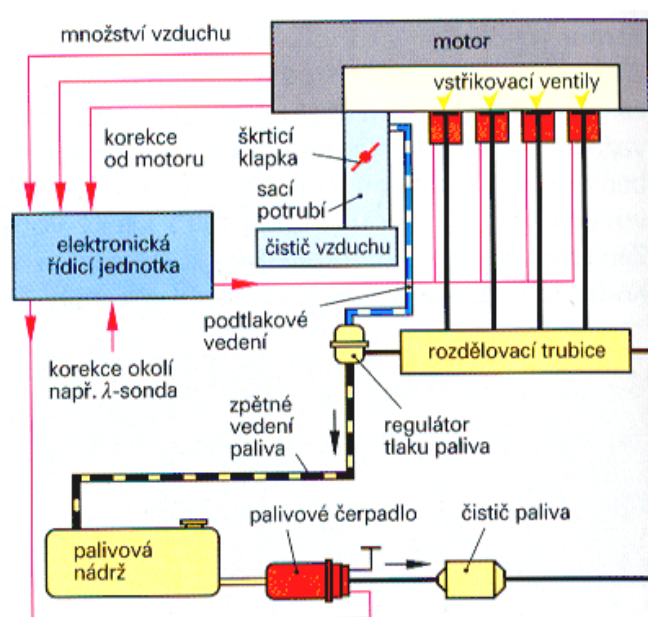
- bezpečné uskladnenie paliva v nádrži;
- doprava paliva bez bublín;
- čistenie paliva od nečistôt;
- vytvorenie a udržiavanie konštantného tlaku paliva,
- spätná doprava prebytočného paliva;
- zabránenie úniku palivových pár.



Dôležitou súčasťou palivového systému je vstrekovací systém ktorého úlohou vytvárať homogénnu (alebo vrstvenú) zmes paliva so vzduchom presne stanoveného zmiešavacieho pomeru za každého prevádzkového stavu motora.

Hlavné časti palivovej sústavy

- Palivová nádrž
- Palivové potrubie
- Čističe paliva
 - ich hlavnou úlohou je chrániť palivový systém pred pevnými nečistotami. Je to preto, lebo vstrekovacie ventily vstrekovacieho zariadenia benzínu sa dajú ľahko zničiť aj s veľmi malými nečistotami obsahujúcich v palive. Čističe paliva (in - line) sú založené na princípe filtrácie paliva. Pre jemné čistenie sa používajú papierové filtre s čistiacou vložkou s veľkosťou pórov 2 až 10 μm . Zarážajú sa do palivového vedenia a pri údržbe sa vymieňajú ako celok,
- Palivové čerpadlá
 - o samostatné čerpadlo (in - line) je možné ho namontovať takmer do ľubovoľného miesta palivového vedenia a aj preto je výmena chybného palivového čerpadla jednoduchá,
 - o čerpadlo ponorené do nádrže (in – tank) tvorí väčšinou súčasť montážnych modulov pre prepravu paliva, ktoré sa zhora montujú do otvoru palivovej nádrže motorového vozidla.



Vstrekovanie benzínu

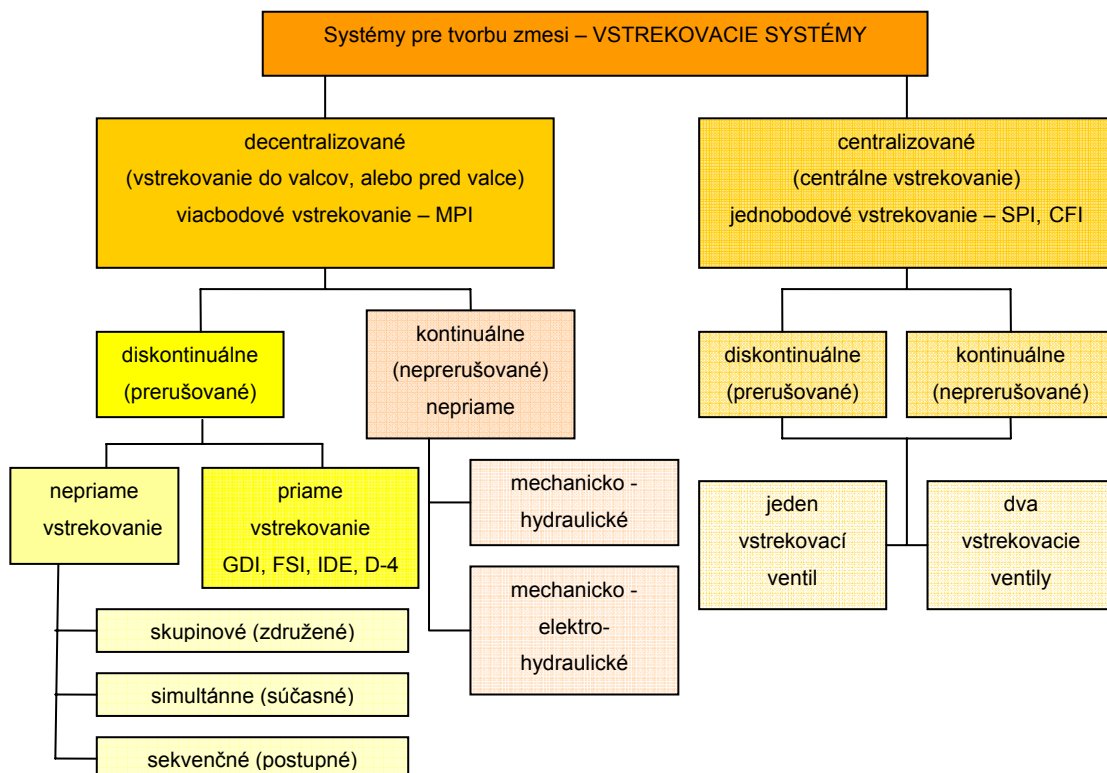
Funkciou vstrekovacieho zariadenia je vytvoriť zmes paliva so vzduchom v presne definovanom pomere. Palivo musí byť v presne odmeranom množstve, ktoré zodpovedá okamžitému množstvu nasatého vzduchu, tlakom palivového čerpadla jemne rozprášené vstrekovacími ventilmi do nasávaného vzduchu.

Úlohy:

- vstreknúť jemne rozprášené palivo do nasávaného vzduchu;
- optimalizovať zmiešavací pomer paliva so vzduchom v závislosti od prevádzkového stavu motora (zaťaženie, teplota, otáčky);
- udržiavať nízky podiel škodlivín vo výfukových plynch pri zachovaní výkonových a ekonomických parametroch motora.

Výhody prípravy zmesi prostredníctvom vstrekovacích systémov porovnaní s karburátormi:

- rýchlejšie a presnejšie odmeriavanie dávky paliva v závislosti od množstva skutočne nasatého vzduchu vo všetkých prevádzkových režimoch;
- vstrekovanie prebieha pretlakom vyvolaným palivovým čerpadlom a rozdiel tlakov je väčší ako pri karburátore;
- palivo je do vzduchu vstrekané jemne rozprášené, čím sa palivo rýchlejšie odparí a vytvorí homogénnejšiu zmes;
- krátke vzdialenosti a čas dopravy zmesi do spaľovacieho priestoru;
- rovnomernejšie rozdelenie paliva pre jednotlivé valce;
- redukcia obsahu škodlivín vo výfukových plynch;
- lepší priebeh M_k a P_e .



Časti systému vstrekovania paliva v zážihových motoroch

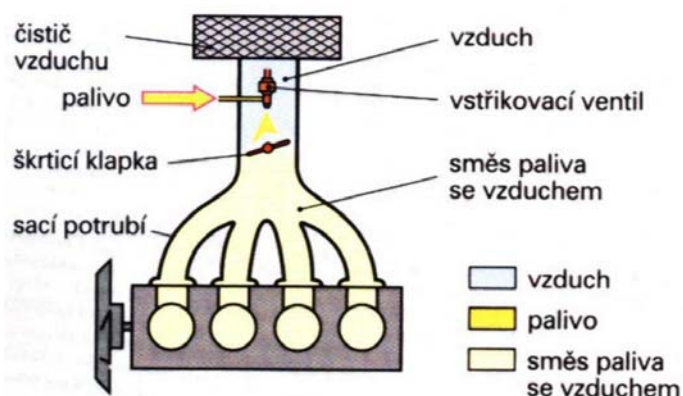
- **Nasávací systém** čistič vzduchu, spoločné nasávacie potrubie, komora so škrtiacou klapkou, nasávacie potrubia jednotlivých valcov;
- **Palivová sústava** palivová nádrž, palivové čerpadlo, čistič paliva, regulátor tlaku, palivové potrubia, vstrekovacie ventily, systém odvetrania nádrže a zachytávania výparov paliva, EGR ventil;
- **Riadiaci a regulačný systém** pre vstup, spracovanie a výstup signálov. Snímače → riadiaca jednotka → akčné členy.

Nepriame vstrekovanie benzínu

Pre tento spôsob vstrekovania je typické vstrekovanie paliva do nasávacieho potrubia, do nasávacieho kanálu alebo do komory škrtiacej klapky. Pri vstrekaní sa vytvára homogénna zmes vzduchu s palivom mimo spaľovacieho priestoru.

Jednobodové vstrekovanie SPI

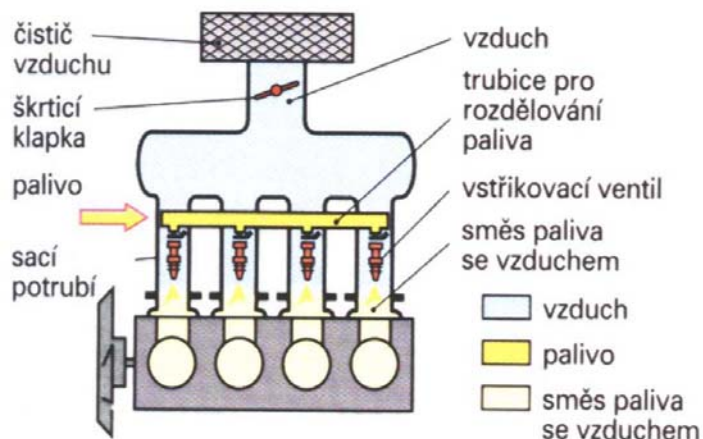
Pri tomto vstrekaní sa palivo vstrekuje centrálne jedným vstrekovacím ventilom do komory spoločnej škrtiacej klapky. Vstrekovací tlak je 0,1 až 0,15 MPa (1 až 1,5 bar). Vstrekovací bod je umiestnený pred škrtiacu klapku. Alternatívnym riešením pre vidlicové motory je centrálne vstrekovanie s dvoma vstrekovacími ventilmi (pre každý rad valcov



samostatný so samostatnou komorou škrtiacej klapky). Prednosťami tohto spôsobu vstrekovania je popri jeho konštrukčnej jednoduchosti aj rozptýlenie paliva v štrbine škrtiacej klapky a odparovanie paliva na horúcich stenách nasávacieho potrubia, čo zlepšuje prípravu zmesi. Vzďialenosť vstrekovacieho bodu od spaľovacieho priestoru predlžuje čas prípravy zmesi. Nevýhodou tohto riešenia je nerovnomerné rozdelenie zmesi pre jednotlivé valce, kondenzovanie paliva na studených stenách nasávacieho potrubia a pomalšia reakcia na zmenu podmienok v prevádzkovom režime.

Viacbodové vstrekovanie MPI

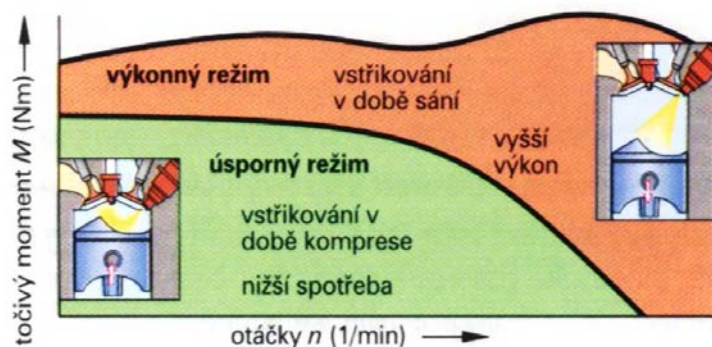
Pri viacbodovom vstrekaní prebieha vstrekovanie pomocou vstrekovacích ventilov priradených k jednotlivým valcom. Palivo sa vstrekuje pred nasávací ventil, čím sa zabezpečujú rovnaké podmienky pre tvorbu zmesi v každom valci. Vstrekovací tlak je 0,25 až 0,3 MPa (2,5 až 3 bar) nad hodnotou



tlaku v nasávacom potrubí. Prednosťou týchto systémov je popri presnému dávkovaní množstva paliva pre jednotlivé valce aj presné časovanie vstreku. Pre optimalizáciu spotreby a emisii je popri celkovej dobe vstreku dôležitým parametrom časovania vstreku aj okamih vstreku vzťahnutý k polohe KH. Pri viacbodovom vstrekaní môže podľa okamihu vstreku paliva rozlišovať nasledovné typy:

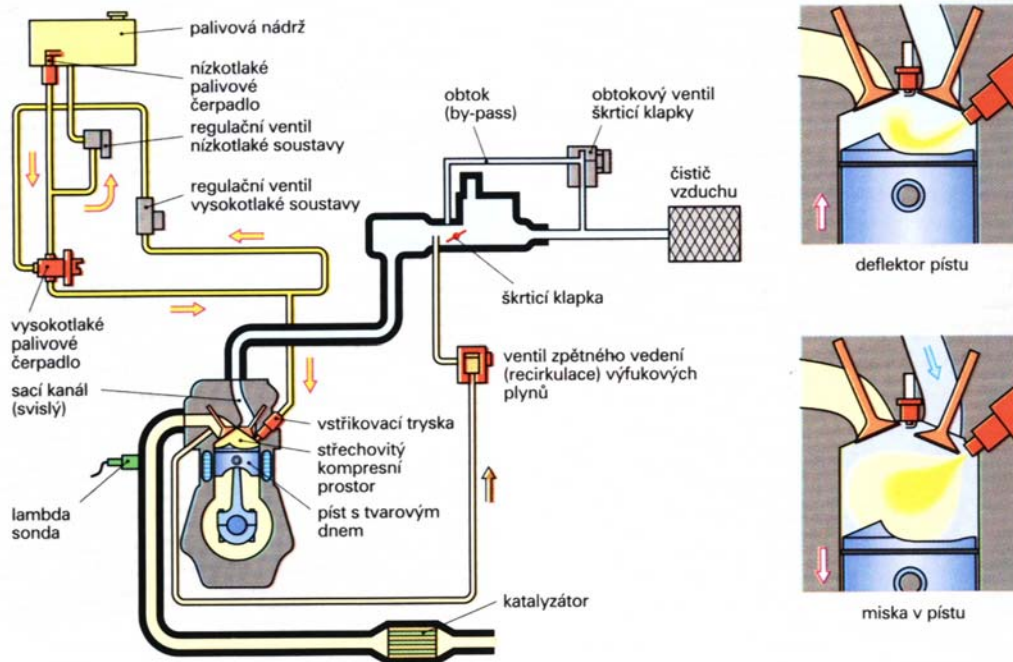
- **simultánne vstrekovanie** – všetky ventily sú aktivované súčasne, bez ohľadu na práve prebiehajúci zdvih. Aby sa kompenzovali rozdiely v čase prípravy pre jednotlivé valce, je dávka paliva rozdelená na dve rovnaké časti, t.j. na jednu otáčku KH je vstrekaná $\frac{1}{2}$ potrebnej dávky paliva;
- **skupinové (združené) vstrekovanie** – vstrekovacie ventily jednotlivých valcov sú rozdelené do skupín. Vstrekovacie ventily skupiny vstrekujú jedenkrát za cyklus súčasne celú dávku paliva;
- **sekvenčné vstrekovanie (SEFI)** – vstrekovacie ventily vstrekujú palivo pred nasávací ventil jednotlivo podľa poradia zapalovania s rovnakým predvstrekom pre všetky valce. Vstrekuje sa jedenkrát za cyklus pred začiatkom nasávania celá dávka paliva;
- **individuálne vstrekovania (CIFI)** – poskytuje najväčšiu voľnosť. Pracuje podobne ako sekvenčné vstrekovanie, ale umožňuje ovplyvňovať dobu vstreku a predvstrek individuálne pre každý valec samostatne. Tým je možné vyrovnávať nepravidelnosť chodu motora spôsobený rozdielom podmienok pri plnení, alebo nerovnomerným opotrebovaním;

Priame vstrekovanie benzínu (GDI, D4, IDE, HPI, FSI...)

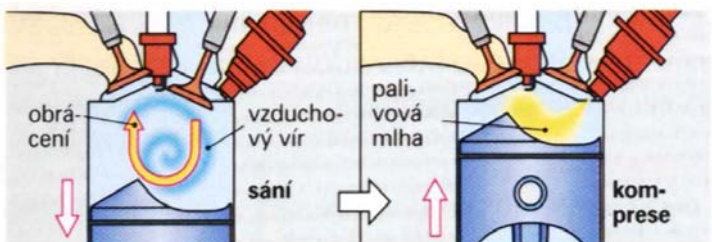
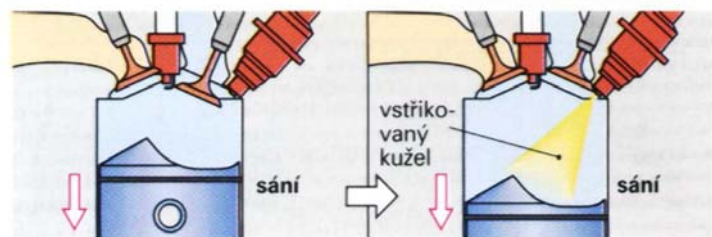


Motory s priamym vstrekaním vytvárajú zmes paliva so vzduchom v spaľovacom priestore (vnútorná tvorba zmesi). Palivo je vstrekané priamo do spaľovacieho priestoru, počas nasávacieho alebo kompresného zdvihu, vstrekovacími ventilmi pod tlakom cca. 0,5 MPa (5 bar), pričom sa rozprašuje a odparuje ešte pred zážihom iskrou sviečky.

Pri tomto spôsobe tvorby zmesi nedochádza ku kondenzačným stratám zapríčinených kondenzovaním paliva na stenách nasávacieho potrubia. Časovanie vstreku, meranie množstva paliva a jeho umiestnenie je veľmi presné, čo zlepšuje presnosť regulácie a znižuje spotrebu paliva. Motor môže pracovať v dvoch režimoch s rozdielnym zložením zmesi:

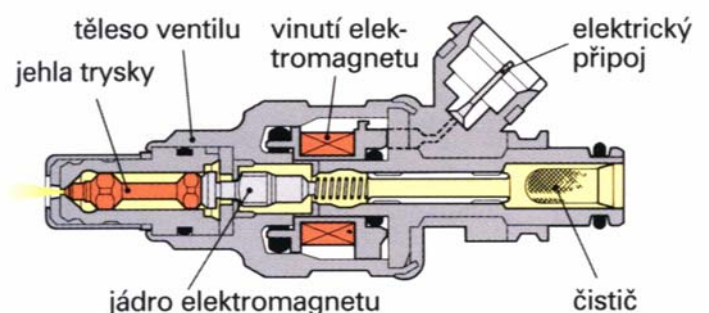


- homogénnou zmesou** – vstrekuje sa dávka paliva pre zloženie zmesi $\lambda \leq 1$ počas nasávacieho zdvihu. Motor môže s takouto zmesou pracovať vo všetkých režimoch podobne ako pri vstrekovaní typu MPI (Renault IDE), alebo pri využívaní vrstvenej zmesi pracuje v tomto režime, **tzv. výkonový režim**, pri potrebe výkonu, v oblasti vyšších otáčok, alebo veľkého zaťaženia;
- vrstvenou zmesou** – palivo sa vstrekuje do rozvíreného vzduchu počas kompresného zdvihu tak aby palivový oblak vytvoril lokálne dobre zápalnú homogénnu zmes v oblasti sviečky, ktorá sa zažne iskrou od sviečky. V ostatných priestoroch valca sa nachádza chudobná až extrémne chudobná zmes, **tzv. úsporný režim**. Celkový súčiniteľ prebytku vzduchu vo valci môže dosiahnuť hodnotu λ až do 2,7 – 3,4.



Vstrekovacie ventily

Vstrekovacie ventily všetkých systémov vstrekovania benzínu, musia popri dokonalom rozprášení paliva umožňovať aj jeho presné dávkovanie a s prebytkom pokryť celý rozsah



vstrekovacích dávok paliva v rôznych režimoch práce.

Prívod paliva do vstrekovacieho ventilu pre viacbodové vstrekovanie môže byť z hora alebo z boku. Vstrekovacie tlaky sú od 0,25 do 0,5 MPa (2,5 - 5 bar).

Systemy prípravy zmesi

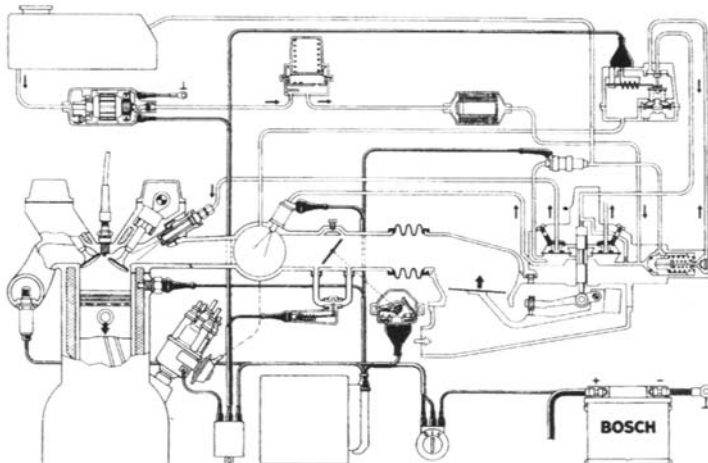
Základný rozdiel medzi jednotlivými systémami vstrekovania benzínu je v rozsahu ich regulácie a v spôsobe väzby medzi snímanou regulačnou veličinou, prípadne korekčnou veličinou a akčným členom. Podľa väzby medzi snímačom regulačnej veličiny a akčným členom rozoznávame vstrekovacie systémy na:

- mechanické;
- mechanicko – elektronické;
- elektronické;

Podľa rozsahu regulácie rozlišujeme systémy vstrekovania benzínu na (podľa BOSCH):

- Jetronic – reguluje množstvo vstrekovanej paliva;
- Motronic – reguluje množstvo vstrekovanej paliva a súčasne reguluje parametre zapalovania.

Mechanický vstrekovací systém

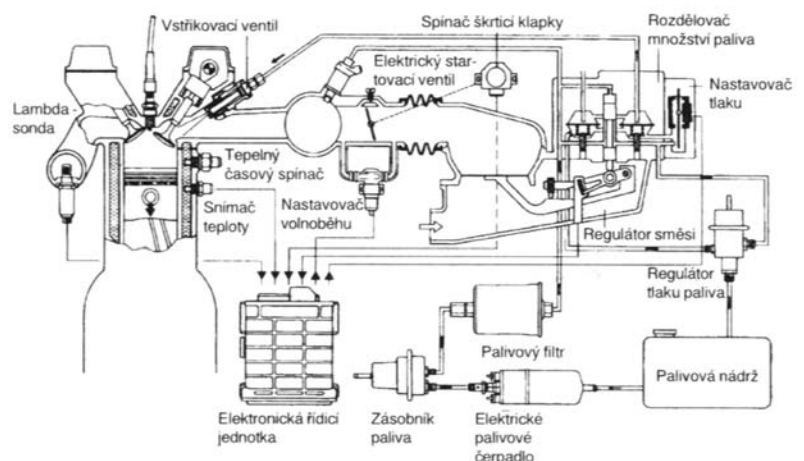


Mechanický riadený systém vstrekovania pracuje bez pohonu a palivo je vstrekané kontinuálne. Množstvo vstrekovanej paliva nie je regulované dobou otvorenia vstrekovacieho ventilu ale tlakom v palivovom systéme ktorý riadi regulátor tlaku. Regulačnou veličinou je množstvo nasávaného vzduchu. Príklad BOSCH K - Jetronic.

Schémy vstrekovacích systémov s λ reguláciou: mechanický K – Jetronic; mechanicko – elektronický KE – Jetronic;

Mechanicko – elektronický vstrekovací systém

Mechanicko – elektronicky riadený systém vstrekovania je mechanický systém K-Jetronic doplnený o snímanie prevádzkových parametrov, ktoré slúžia ako korekčná veličina pre regulovanie tlaku paliva. Elektronicky riadené doplnkové funkcie zaisťujú lepšie prispôbenie sa motora zmene prevádzkového režimu. Príklad BOSCH KE - Jetronic.

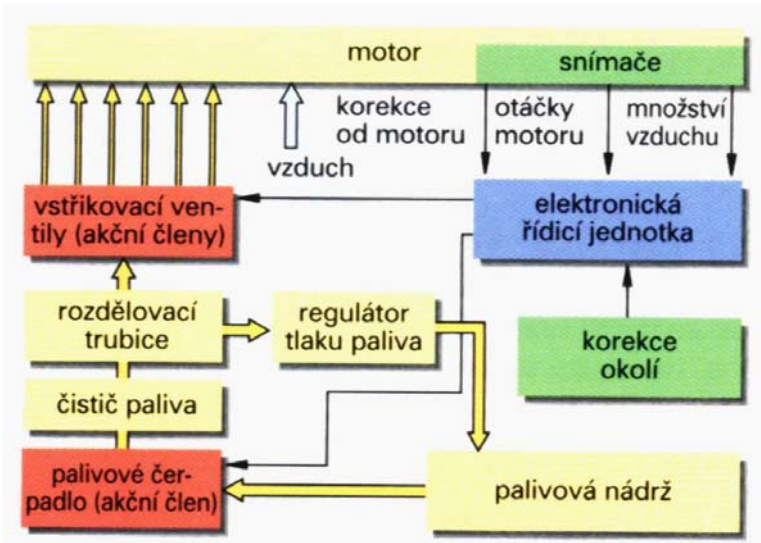


Elektronický vstrekovací systém

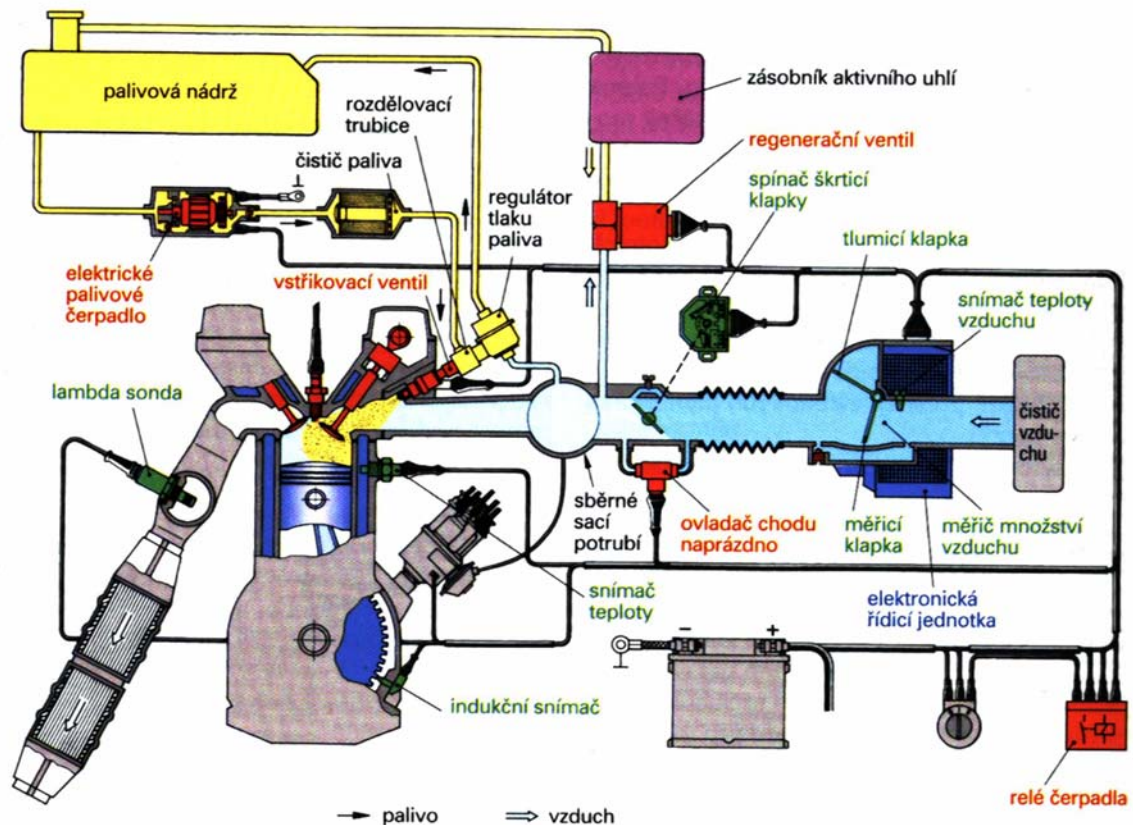
Elektronicky riadený vstrekovací systém vstrekuje palivo prerušovane prostredníctvom elektromagneticky ovládaných ventilov. Množstvo vstrekovanej paliva je určované dobou otvorenia vstrekovacieho ventilu. Regulačnými veličinami môžu byť okrem otáčok motora aj množstvo nasatého vzduchu, tlak v nasávacom potrubí alebo uhol natočenia škrtiacej klapky. Korekčnou veličinou je hodnota súčiniteľa prebytku vzduchu λ . Príklad BOSCH L - Jetronic, LH - Jetronic, M Motronic, ML Motronic, ME Motronic alebo MED Motronic.

Elektronicky riadený systém vstrekovania benzínu L – Jetronic

Je nepriame, prerušované nepriame vstrekovanie s elektronickým riadením. Hlavnými riadiacimi veličinami sú objemové množstvo vzduchu (LH – hmotnostné množstvo vzduchu) a otáčky motora. Hlavnými korekčnými veličinami sú zloženie zmesi – λ sonda, zaťaženie motora, spínač škrtiacej klapky a teplota chladiacej kvapaliny.



Schémy vstrekovacieho systému L - Jetronic



Časti vstrekovacieho systému L – Jetronic

- **Palivový systém**

Vytvára palivový okruh. Je tvorený z nádrže, elektrického palivového čerpadla so spínacím relé, čističa paliva a regulátora tlaku. Maximálne množstvo paliva ktoré je schopné dopraviť palivové čerpadlo musí byť vyššie ako je potrebné množstvo priplnom zaťaženi motora.

- **Merač (snímač) množstva vzduchu**

Snímač hlavnej regulačnej veličiny. Je mechanický (klapkový) snímač s potenciometrom, ktorý sníma skutočný objem nasatého vzduchu, alebo je v systéme LH je použitý anemometer prietokový elektronický merač hmotnosti vzduchu.

- **Snímače a čidlá**

Snímajú fyzikálne veličiny a prevádzajú ich na elektrický signál ktorý spracováva riadiaca jednotka. Snímajú sa prevádzkové hodnoty a korekčné údaje potrebné pre výpočet dávky paliva.

- **Elektronická riadiaca jednotka**

Spracováva informácie zo snímačov a na základe ich hodnôt priraduje naprogramované hodnoty pre akčné členy a ich prostredníctvom riadi činnosť motora. Množstvo vstrekovaného paliva je priamo úmerné dobe vstrekú je závislá od množstva nasávaného vzduchu a počtu otáčok motora.

- **Akčné členy**

Akčné členy pri tomto systéme vstrekovania sú elektromagnetické vstrekovacie ventily, palivové čerpadlo ovládané prostredníctvom spínacieho relé a nastavovač voľnobehu (popríklad aj obtokový ventil recirkulácie výfukových plynov).

- **Regulátor tlaku paliva**

Udržiava konštantný rozdiel tlakov medzi tlakom v palivovom systéme a tlakom v sacom potrubí pri všetkých prevádzkových podmienkach. Množstvo vstrekovaného paliva je určené iba dobou otvorenia ventilu.

- **Vstrekovací ventil**

Ku každému valcu je priradený samostatný vstrekovací ventil. Umiestnený je v sacom potrubí pred nasávacím ventilom príslušného valca. Vstrekovacie ventily sú spojené spoločným hydraulickým akumulátorom. Tlak ventilu je riadený prostredníctvom regulátora tlaku a doba otvorenia ventilu (množstvo vstrekovaného paliva) je riadená elektromagnetickým ventilom signálom z riadiacej jednotky.

- **Nastavovač voľnobehu**

Elektromagneticky ovládaný „šúpatkový“ ventil, ktorý je uložený v obtokovom kanále škrtiacej klapky, reguluje množstvo vzduchu privádzaného do motora počas voľnobehu a udržiava konštantné voľnobežné otáčky. Poloha „šúpatka“ je závislá od otáčok motora a jeho teploty.

- **Spínač škrtiacej klapky**

Je čidlo ovládané škrtiacou klapkou, ktoré rozoznáva dve koncové polohy (uzavretá – voľnobeh, otvorená – plný plyn).

- **Lambda sonda**

Podáva informáciu o skutočnom zmiešavacom pomere na základe množstva kyslíka vo výfukových plynoch.

Korekcia prevádzkových stavov

Základný zmiešavací pomer zmesi paliva a vzduchu pre voľnobežné otáčky, čiastočné a plné zaťaženie spaľovacieho motora je daný určitým tvarom difúzora. Korekciu podľa rôznych prevádzkových stavov spaľovacích motorov zaisťujú:

- spínač škrtiacej klapky (voľnobeh, plné zaťaženie),
- snímač otáčok spaľovacieho motora,
- spínacia skrinka (spúšťanie spaľovacieho motora),
- snímač teploty chladiacej kvapaliny (teplota motora),
- snímač atmosférického tlaku (tlak vzduchu).
- lambda sonda (zloženie výfukových plynov),

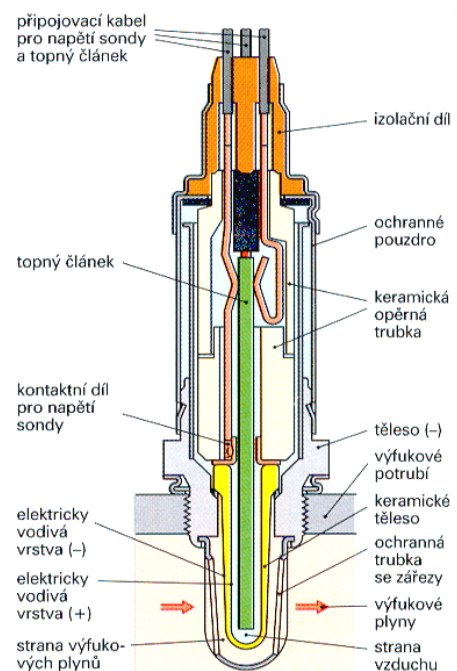
Regulácia systému prípravy zmesi na základe zloženia výfukových plynov

Zloženie zápalnej zmesi je určené na základe snímania prevádzkových veličín a korigované na základe zloženia výfukových plynov (obsahu voľného kyslíka). Obsah voľného kyslíka vo výfukových plynoch je snímaný prostredníctvom kyslíkovej sondy tzv. λ – sonda, ktorá je umiestnená vo výfukovom potrubí a sníma podiel zostatkového kyslíka vo výfukových plynoch. Týmto spôsobom nepriamo zisťuje skutočné zloženie zmesi. Napätový signál je z kyslíkovej sondy vedený do riadiacej jednotky, kde slúži ku korekcii doby vstrekú paliva, teda ku zloženiu zápalnej zmesi.

Lambda sonda

Pre tzv. dvojbodovú lambda reguláciu sa používa tzv. skoková lambda sonda. Lambda sonda sa skladá z keramického telesa z oxidu zirkoničitého ZrO_2 s prímiesou oxidu yttritého Y_2O_3 , ktorý neprepúšťa plyn a je zvnútra aj zvonka potiahnutý tenkou mikroporóznou vrstvou platiny. Keramické teleso je aj chránené kovovým krytom s niekoľkými zárezmi. Aby lambda sonda dosiahla čo najrýchlejšie svoju prevádzkovú teplotu je často vyhrievaná. Vonkajší povrch sondy je vystavený prúdu výfukových plynov a ten je platinovou vrstvou spojený s puzdrom sondy a tvorí záporný pól (-). Vnútorňa plocha sondy je spojená s atmosférickým vzduchom. Cez platinovú vrstvu je spojená s kladným pólom (+). Z elektronického hľadiska sa lambda sonda správa ako kondenzátor. Keramický materiál lambda sondy začína byť vodivý asi od 300 °C. Lambda sonda je v podstate len snímačom prítomnosti voľného kyslíka vo výfukových plynoch, tzn. že rozpozná len to, či zmes bola príliš chudobná alebo príliš bohatá.

Pre rýchlejšie dosiahnutie pracovnej teploty lambda sondy a tým aj rýchlejší nábeh regulačného procesu kyslíkovej sondy (20 až 25 s) môže byť aktívna keramika vyhrievaná vyhrievacím telieskom. To umožňuje pri teplote výfukových plynov už od 200 °C. Aby činnosť lambda sondy bola správna, musí byť jej pracovná teplota v oblasti



600 až 700 °C. Aktívna keramika lambda sondy je umiestnená v kovovom puzdre, ktoré ju chráni pred mechanickým poškodením. Keramické teleso musí byť absolútne plynotesné a bez najmenších trhliniek.

Regulačný obvod systému prípravy zmesi

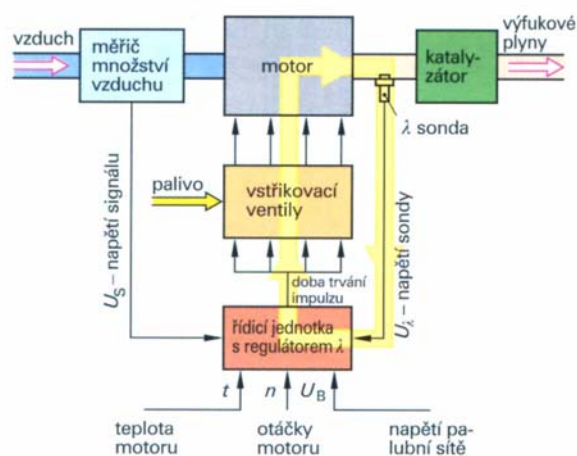
Na dosiahnutie čo najlepšej možnej účinnosti zníženia škodlivín vo výfukových plynov CO, HC a NO_x v katalyzátore, zloženie zmesi musí byť blízke stechiometrickému zloženiu zmesi. Stechiometrické zloženie zmesi znamená taký pomer paliva a vzduchu, že v zmesi je práve toľko vzduchu, koľko je treba na dokonalé spálenie prítomného množstva paliva. Potrebné množstvo vzduchu pre dokonalé spálenie 1 kg. benzínu sa pohybuje okolo hodnôt 14,5 až 14,9 kg. V závislosti na hmotnostnom podiele uhlíka C, vodíka H a kyslíka O₂ v palive. Spaľovací motor pre svoju činnosť nevyžaduje stechiometrické zloženie zmesi, to je predovšetkým požiadavka pre čo najlepšiu účinnosť katalyzátora.

Motory pracujúce s trojcestným katalyzátorom teda potrebujú pre dosiahnutie najvyššej katalytickej účinnosti chemickú rovnováhu jednotlivých zložiek zodpovedajúce zloženiu zmesi s $\lambda = 1$ vo veľmi malom tolerančnom pásme (okno katalyzátora). Množstvo paliva v zmesi preto nemôže byť iba odmeriavané na základe regulačných veličín ale pre dosiahnutie maximálnej presnosti zloženia zmesi je táto vstrekaná dávka korigovaná regulačným obvodom lambda. Regulačný obvod lambda regulácie je využívaný ako korekčný parameter aj pri riadení motora pracujúceho s chudobnou zmesou.

Regulačný obvod je zložený z lambda sondy merajúcej množstvo zostatkového kyslíka vo výfukových plynoch a vyhodnocovacieho okruhu, ktorý na základe signálu lambda sondy upravuje množstvo vstrekaného paliva. Obsah zostatkového kyslíka je merítkom pre zloženie zmesi paliva so vzduchom privádzanej do motora. Lambda sonda je umiestnená vo výfukovom potrubí pred katalyzátorom. Môže byť použitá skoková alebo širokopásmová lambda sonda. pri niektorých riešeniach sa používa aj druhá lambda sonda, ktorá je umiestnená za katalyzátorom.

Princíp činnosti λ - regulácie

Vyhrievaná lambda sonda je v činnosti už 30 sekundách po naštartovaní studeného motora. Studený motor vyžaduje bohatšiu zápalnú zmes $\lambda < 1$ a preto λ - regulácia môže naplno pracovať až od teploty motora asi 40 °C. Doba vstrekovania sa predlžuje alebo skracuje na základe napätových signálov U_λ z lambda sondy. Regulátor lambda v riadiacej jednotke má pre vyhodnocovanie signálov z napätovej „skokovej“ lambda sondy naprogramované tzv. referenčné napätie 400 mV až 600 mV. Referenčné napätie a napätie U_λ získané zo „skokovej“ lambda sondy (napätovej) sú priebežne porovnávané. Ak je napätie U_λ vyššie ako referenčné napätie, tak sa musí skrátiť doba vstrekovania t_1 , ak je



Regulačný obvod lambda regulácie v systéme vstrekovania L - Jetronic

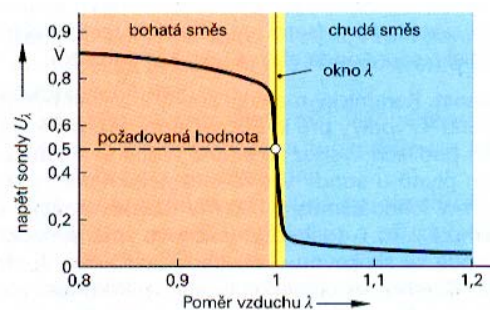
menšie, tak potom treba zmes obohatiť, pričom regulácia je plynulá. Pri nízkych otáčkach integrátor riadiacej jednotky reguláciu spomaľuje a jej činnosť je potom pri voľnobehu asi 0,1 s. Pri vyšších otáčkach a väčšom zaťažení môže prebiehať regulácia až 100 krát za sekundu.

Pomocou lambda regulácie sa koriguje „upravuje“ časovo nasledujúce vstrekovanie na základe predchádzajúceho merania kyslíkovou λ sondou, napr. ak sa odchyli prevádzkový bod od $\lambda = 1$, ďalší nasledujúci vstrek je už regulovaný. Uvedený spôsob riadenia regulácie je nevyhnutný pre dodržanie emisných limitov. Jednotlivé doby vstrekú sú prispôsobené pre jednotlivé typy spaľovacích motorov a sú uložené v pamäti ROM v trojrozmernom poli údajov riadiacej jednotky. K prispôsobeniu riadenia λ - regulácie dochádza z dôvodu, že riadiaca jednotka musí pri nejakom rozsahu otáčok a zaťažení motora nepretržite upravovať dávku paliva. Adaptačný systém zmení riadiaci program v tomto rozsahu a korekciu zapíše do pevnej pamäti RAM riadiacej jednotky, ktorá si uloží údaje aj po vypnutí motora. Z uvedeného dôvodu pri ďalšom naštartovaní pracuje motor s upravenými údajmi skôr, ako začne pracovať λ - regulácia.

Dvojbodová lambda regulácia

Pri dvojbodovej regulácii sa používa **napäťová „skoková“ lambda sonda**, umiestnená pred katalyzátor. Lambda sonda má skokovú charakteristiku napäťového signálu, k zmene ktorej dochádza v oblasti $\lambda = 1$. Pre túto hodnotu zloženia zmesi zodpovedá napätie na lambda sonde cca. 500 mV. Pri bohatej zmesi $\lambda < 1$ (nedostatku zostatkového kyslíka) dochádza k prudkému zvýšeniu napätia na 800 – 900 mV a pri ochudobnení zmesi $\lambda > 1$ dochádza k prudkému poklesu napätia na lambda sonde na hodnotu cca. 100 mV. Tento napäťový skok v oblasti $\lambda = 1$ sa využíva na korigovanie dávky paliva, zmenou doby otvorenia vstrekovacích ventilov, čím dôjde k zmene v zložení zmesi tak aby zodpovedala stechiometrickému zloženiu. Riadiaca jednotka pri výpočte doby otvorenia vstrekovacieho ventilu a tým aj množstva vstrekovanej paliva rozoznáva iba dve úrovne signálu, podľa čoho sa táto regulácia nazýva dvojbodovou.

Typické „chybné meranie“ skokovej lambda sondy podmienené striedaním zloženia zmesi sa kompenzuje asymetrickým priebehom akčnej veličiny (posun medzi bohatou a chudobnou zmesou).



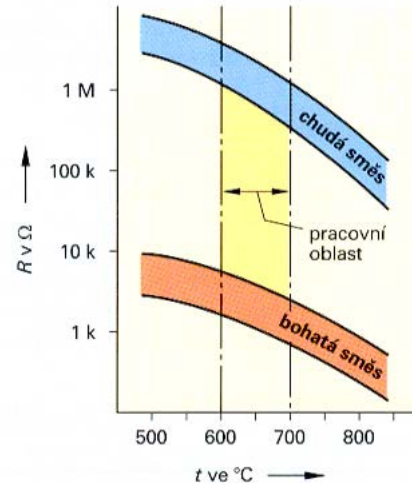
Charakteristika napäťovej lambda sondy

Pre správnu činnosť lambda sondy musí byť dosiahnutá jej minimálna teplota 300 °C, motor musí byť zahriaty na teplotu nad 40 °C a musí pracovať na voľnobehu alebo v čiastočnom zaťažení. Pre rýchlejšie dosiahnutie prevádzkovej teploty lambda sondy, môže byť elektricky vyhrievaná. Jej ohrev je riadený riadiacou jednotkou motora. Teplota lambda sondy nesmie prekročiť 850 až 900 °C.

Pokiaľ je obsah zostatkového kyslíka vo výfukových plynoch v určitej oblasti trvalo príliš nízky ($U_{\lambda \text{ sonda}} > 500 \text{ mV}$, t.j. bohatá zmes), tak sa pre túto oblasť zaťaženia zníži základné množstvo vstrekovanej paliva a uloží sa do pamäte riadiacej jednotky, ktorá ju bude ďalej používať ako základnú hodnotu. Napätie na lambda sonde, v tejto oblasti, bude opäť oscilovať na úrovni okolo strednej hodnoty 500 mV. Toto sa nazýva **adaptívna lambda regulácia** a umožňuje v prevádzke korigovať niektoré poruchy a prevádzkové stavy, ako napríklad zvyšujúce sa opotrebovanie motora,

prisávanie falošného vzduchu, nesprávny systémový tlak paliva, nesprávna teplota a pod. Použitím adaptívnej regulácie sa skraca reakčná doba regulácie a zlepšuje sa zloženie výfukových plynov.

Pre dvojbodovú reguláciu sa môže použiť aj **odporová lambda sonda**, pri ktorej sa v oblasti stechiometrického zloženia zmesi skokovo mení hodnota elektrického odporu lambda sondy. Výstupným signálom pre vyhodnocovací obvod je teda odpor lambda sondy. Aby bola činnosť odporovej lambda sondy správna musí byť dosiahnutá jej prevádzková teplota 600 až 700 °C, čo znamená, že táto sonda vyžaduje vyhrievanie.



Charakteristika odporovej lambda sondy

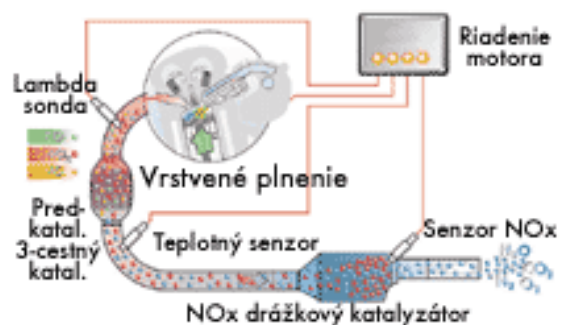
Spojité lambda regulácia

Širokopásová lambda sonda dodáva spojitý napätový signál, čo umožňuje na základe množstva zostatkového kyslíka vo výfukových plynoch zistiť nielen stav zloženia zmesi (chudobná alebo bohatá) ale aj merať odchýlku zloženia zmesi od $\lambda = 1$. Lambda regulácia môže reagovať rýchlejšie na odchýlky v zložení zmesi, čo zabezpečuje vyššiu dynamiku regulácie.

Pretože je možné širokopásmovou lambda sondou merať zloženie zmesi líšiace sa od $\lambda = 1$ je takisto možné (na rozdiel od dvojbodovej regulácie) regulovať zloženie zmesi aj na inú hodnotu λ . Regulačná oblasť leží v rozmedzí $\lambda = 0,7$ až $3,0$. spojitá regulácia sa preto využíva pri motoroch s priamym vstrekaním a prevádzkou na chudobnú zmes.

Lambda regulácia pri priamom vstrekaní

Zásobníkový katalyzátor plní dvojakú funkciu. Okrem ukladania NO_x a oxidácie CO a HC pri prevádzke s chudobnou zmesou, plní pri prevádzke v oblasti stechiometrickej zmesi funkciu trojcestného katalyzátora, ktorá si vyžaduje aspoň minimálnu schopnosť ukladania kyslíka. Lambda sonda pred katalyzátorom sleduje zloženie zmesi. Za zásobníkovým katalyzátorom je umiestnená druhá skoková lambda sonda s integrovaným snímačom NO_x . Okrem regulácie pomocou dvoch lambda sond „zadná“ lambda sonda rozoznáva aj stav zásobníkového katalyzátor (jeho naplnenie alebo signalizuje ukončenie jeho regenerácia).



Zapaľovanie

Pri všetkých typoch zážihových motorov je zmes paliva so vzduchom zapálená núteným zážihom prostredníctvom cudzieho zdroja preskokom elektrickej iskry na sviečke. Zapaľovací systém má za úlohu zapáliť zmes paliva so vzduchom a tým spustiť spaľovanie za všetkých prevádzkových podmienok. K tomu je potrebné aby:

- bolo dostatočné napätie v elektrickom okruhu;
- bolo zabezpečené transformovanie napätia na min. 10 – 24 kV;
- bol k dispozícii dostatok zápalnej energie v presne stanovenom čase, aby sa pri každom kompresnom zdvihu získala potrebná iskra z čo najdlhšou dobou horenia. **Výpadok zapaľovania vedie k zničeniu katalyzátora!**
- sa okamih zážihu v rámci riadenie motora prispôboval skutočným prevádzkovým podmienkam (otáčky, zaťaženie a teplota motora).

Regulácia zapaľovania vedie k optimalizácii krútiaceho momentu a výkonu pri minimalizácii spotreby paliva a podielu škodlivín vo výfukových plynch. Okrem toho musí zabraňovať detonačnému spaľovaniu, ktoré môže viesť k mechanickému poškodeniu motora.

Okamih zážihu

Optimálny okamih zážihu je závislý najmä od otáčok motora a na zaťažení motora. Závislosť od otáčok je daná tým, že prietah zážihu a čas potrebný k prehoreniu zmesi je pri relatívne konštantnom zložení zmesi približne rovnaký a preto v závislosti na rastúcom počte otáčok je potrebné zabezpečiť tento čas zväčšením predstihu zážihu.

Zapálenie zmesi - zážih

Súčiniteľ prebytku vzduchu a tlak vo valci (určený naplnením valca a kompresiou) majú spolu so vzdialenosťou elektród sviečky vplyv na veľkosť minimálnej prahovej hodnoty zapaľovacieho napätia.

Množstvo energie potrebnej pre zapálenie zmesi sa odlišuje podľa bohatosti zmesi a jej vírenia vo valci. Na zapálenie pokojnej homogénnej zmesi stechiometrického zloženia je potrebné asi 0,2 mJ, ale pre zapálenie bohatejšej alebo chudobnejšej zmesi, ktorá je rozvírená vo valci je potrebné až 3 mJ. Pre zapálenie zmesi musí byť k dispozícii elektrická iskra s dostatočnou energiou aby bolo zaručený zážih zmesi za všetkých prevádzkových podmienok a aby nedošlo k výpadkom v spaľovaní. Pre zapálenie zmesi nie je nutné aby bola zmes vhodného zloženia v celom objeme valca, ale postačuje aby bola v okolí elektród zapaľovacej sviečky. Od tejto zmesi, ktorá sa zapáli, sa plameň rozšíri do celého spaľovacieho priestoru aj na časti zmesi, ktorá by za iného stavu bola nezápaliteľná – vrstvená zmes.

Pri silno znečistených sviečkach dochádza počas doby pri ktorej narastá vysoké napätie k odtokaniu energie zo zapaľovacej sviečky cez vedľajší skrat sviečky. To vedie ku skráteniu doby výboja (horenia) a tým k negatívnemu pôsobeniu na emisie výfukových plynov a v medzných prípadoch (pri silne zanesených a mokrych sviečkach) k úplnému výpadku zapaľovania. Určitý malý podiel výpadkov zapaľovania (sporadické vynechávanie) je akusticky ťažko rozoznatelné, ale

spôsobuje vyššiu spotrebu paliva, vyšší podiel CO a HC vo výfukových plynoch a môže spôsobiť poškodenie katalyzátora.

Parametre zapalovania

Najdôležitejšími parametrami zapalovania sú:

- uhol zapalovania γ ;
- uhol zopnutia α ;
- uhol rozopnutia β ;
- vzdialenosť kontaktov prerušovača (len pri mechanických prerušovačoch);
- predstih zážihu a jeho regulácia;

Geometria zapalovania

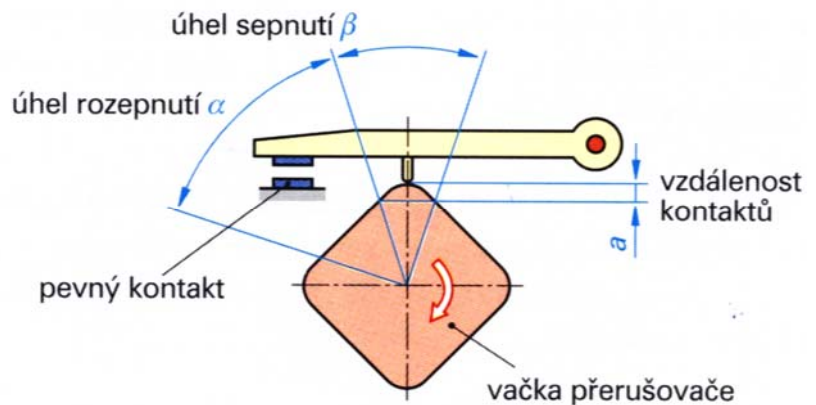
Uhol zapalovania γ je uhol pootočenia rozdeľovača (mechanického) medzi dvoma po sebe nasledujúcimi okamihmi zážihu.

$$\gamma = \frac{360^\circ}{n}$$

kde: n – počet valcov motora;

Uhol zopnutia α je uhol pootočenia rozdeľovača pri ktorom je prerušovač zopnutý (uhol počas ktorého je zapalovací obvod je uzavretý).

Uhol rozopnutia β je uhol pootočenia rozdeľovača pri ktorom je prerušovač rozopnutý (uhol počas ktorého je zapalovací obvod je prerušovaný).



Súčet uhlov zopnutia a uhlov rozopnutia je rovný uhlu zapalovania, teda platí: $\gamma = \alpha + \beta$. Uhol zopnutia α sa môže udávať ako časť uhlu zapalovania γ v percentách ako α_p , pričom platí $\gamma = 100\%$.

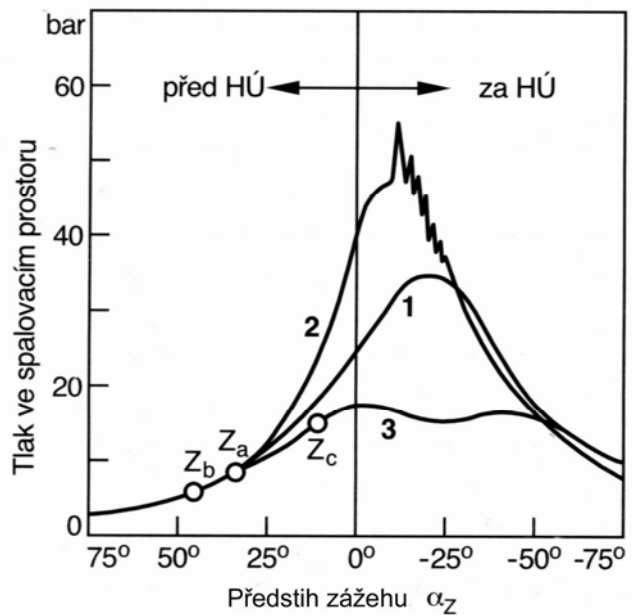
Uhol zopnutia pri kontaktných prerušovačoch sa pri štvorvalcových motoroch pohybuje v rozmedzí 55 až 60%. Pri nastavovaní a kontrole týchto systémov je potrebné najprv skontrolovať a nastaviť vzdialenosť kontaktov prerušovača až potom ďalšie parametre. Zmena vzdialenosti kontaktov prerušovača spôsobuje okrem zmenu uhla zopnutia aj zmenu predstihu zážihu. Pri zmenšení vzdialenosti kontaktov sa zväčšuje uhol zopnutia a znižuje predstih. Pri zväčšení vzdialenosti kontaktov sa znižuje uhol zopnutia a predstih sa zväčšuje.

4 válce		5 válců		6 válců		8 válců	
α_p v %	α ve °	α_p v %	α ve °	α_p v %	α ve °	α_p v %	α ve °
45	40,5	45	32,4	45	27,0	45	20,2
50	45,0	50	36,0	50	30,0	50	22,5
55	49,5	55	39,6	55	33,0	55	24,7
60	54,0	60	43,2	60	36,0	60	27,0
65	58,5	65	46,8	65	39,0	65	29,2
70	63,0	70	50,4	70	42,0	70	31,5

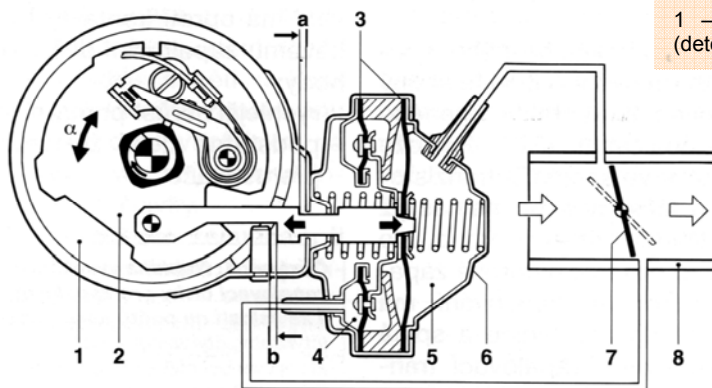
Predstih zážihu a jeho regulácia

Predstih zážihu je uhol, vyjadrený v stupňoch pootočenía kľukového hriadeľa, o ktorý predchádza okamih zážihu bod pri ktorom dosiahne piest hornú úvrať. Optimalizácia činnosti zapaľovania v závislosti na otáčkach a zaťažení motora je vykonávaná, prostredníctvom zmeny okamihu zážihu.

V najjednoduchších zapaľovacích systémoch je regulácia predstihu vykonávaná mechanicky, zmenou vzájomnej polohy základnej dosky oproti vačke prerušovača prostredníctvom

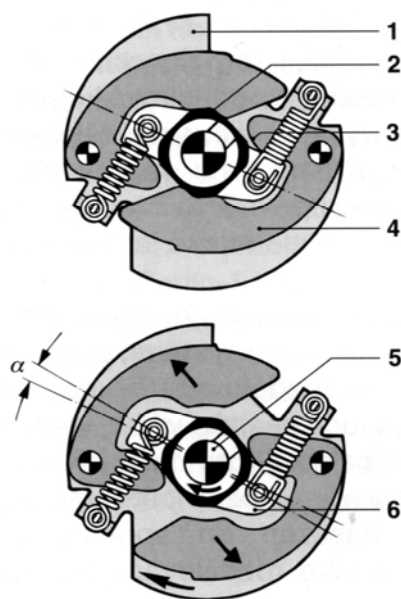


1 – optimálny predstih; 2 – príliš veľký predstih (detonačné spaľovanie); 3 – príliš malý predstih;



a – zväčšenie predstihu; b – zmenšenie predstihu; 1 – rozdeľovač; 2 – doska prerušovača; 3 – membrána; 4 – komora pre zväčšenie predzápalu; 5 – komora pre zmenšenie predzápalu; 6 – podtlaková komora; 7 – škrtiacia klapka; 8 – nasávacie potrubie;

odstredivého a podtlakového regulátora, ktorý automaticky na základe zmeny otáčok, resp. zaťaženia motora zmení uhol predstihu zážihu. Väzba medzi regulátora je mechanická resp. pneumaticko - mechanická. Podtlak v nasávacom potrubí za škrtiacou klapkou je v zážihových motoroch meradlom zaťaženia v širokom rozsahu.



1 – základová doska; 2 – vačka prerušovača; 3 – oválna plocha; 4 – odstredivé závažie; 5 – hriadeľ rozdeľovača; 6 – kulisa;

Pri elektronických zapaľovacích systémoch sú navyše zohľadňované aj ďalšie vplyvy ako napr. teplota motora, alebo zmena zloženia zmesi a regulácia sa nevzťahuje iba na zmenu predstihu zážihu ale aj na dobu zopnutia resp. uhol zopnutia, čím sa tiež ovplyvňuje veľkosť predstihu a môže sa ovplyvniť aj energia elektrického výboja na elektródach sviečky. Na to aby bola iskra privedená na konkrétny valec kde prebieha kompresia v požadovanom optimálnom čase sú potrebné aj informácie o polohe kľukového a identifikácia prvého valca snímačom včkového hriadeľa.

Zmena predstihu zážihu má vplyv na:

- emisie škodlivých plynov;
- krútiaci moment motora a spotrebu paliva;
- náchylnosť k detonačnému spaľovaniu;

Emisie škodlivých plynov

Najdôležitejšie škodlivé látky vo výfukových plynoch sú oxid uhoľnatý – CO, nespálené uhľovodíky HC a oxidy dusíka – NO_x. So zväčšujúcim sa predstihom zážihu vzrastajú predovšetkým emisie NO_x v celom rozsahu zloženia zmesi. Príčinou tohto nárastu je vyššia teplota pri spaľovaní pri skoršom zapálení zmesi. So zväčšujúcim sa predstihom narastajú aj emisie HC. Emisia CO je od predstihu zážihu takmer nezávislá a je takmer výhradne funkciou súčiniteľa prebytku vzduchu.

Spotreba paliva

Vplyv predstihu zážihu na spotrebu paliva je presne opačný ako na emisie škodlivých látok. S narastajúcim súčiniteľom prebytku vzduchu klesá rýchlosť šírenia plameňa (a tým aj rýchlosť horenia) čo musí byť vyrovnané zväčšením predstihu zážihu aby priebeh spaľovania bol optimálny. Zväčšenie predstihu (v určitom rozmedzí) teda znamená pokles spotreby paliva a väčší krútiaci moment motora.

Detonačné spaľovanie

Ak dôjde k prílišnému zväčšeniu predstihu zážihu od optimálnej hodnoty, dôjde vplyvom tlakovej vlny vo valci k dodatočným nekontrolovaným vzplanutiam zmesi na rôznych miestach spaľovacieho priestoru. Tým dochádza k nerovnomernému prehorievaniu zmesi a veľkému nežiadaneému nárastu tlaku v spaľovacom priestore a k jeho silným výkyvom. Tento jav nazývaný ako „klepanie“ je zreteľný najmä pri nízkych otáčkach. Vo vysokých otáčkach je tento hluk prekrytý hlukom motora. Detonačné spaľovanie spôsobuje mechanické poškodenie rôznych častí motora.

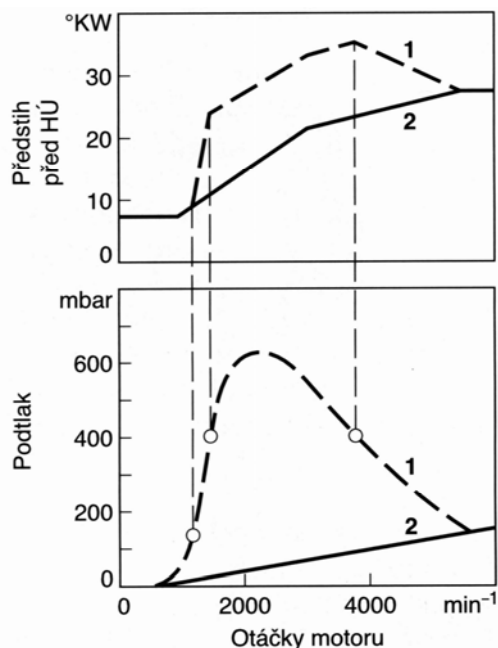
Zapaľovacie systémy













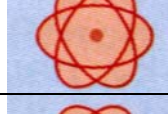
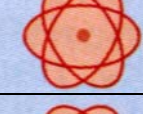
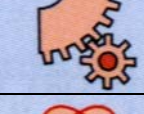
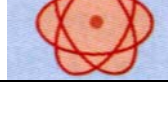
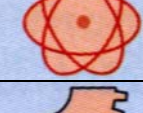
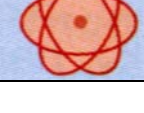


Zapaľovacie systémy môžeme rozdeliť podľa spôsobu akumulácie elektrickej energie na:

- **cievkové zapaľovania** – elektrická energia sa akumuluje vo vysokonapäťovej cievke vo forme magnetického poľa, ktoré je vytvorené tokom prúdu v primárnom vinutí cievky;
- **kondenzátorové zapaľovania** – elektrická energia sa akumuluje vo forme elektrického poľa nabitím akumulačného kondenzátora.

V súčasnosti sa v zážihových motoroch motorových vozidiel takmer výhradne používajú cievkové zapaľovacie systémy, ktoré môžeme rozdeliť na:

- „klasické“ batériové zapaľovanie – BZ;
- tranzistorové „batériové“ zapaľovanie (kontaktové) – TBZ-K;
- tranzistorové zapaľovanie s Hallovým snímačom – TZ-H;
- tranzistorové zapaľovanie s indukčným snímačom – TZ-I;
- elektronické zapaľovanie – EZ;
- úplné elektronické zapaľovanie – VZ;



Zapaľovacie systémy	 prerušovač	 regulácia predstihu	 rozdeľovač vysokého napätia
Batériové zapaľovanie (cievkové) – BZ			
Tranzistorové „batériové“ zapaľovanie: - kontaktné TBZ-K			
Tranzistorové zapaľovanie: - s Hallovým sn. TZ-H - s indukčným sn. TZ-I			
Elektronické zapaľovanie – EZ			
Úplne elektronické zapaľovanie – VZ			
	elektronické		mechanické

Jednotlivé systémy sa líšia spôsobom prerušovania, spôsobom regulácie zapaľovania ako aj rozdelenia vysokého napätia pre jednotlivé valce.

„Klasické“ batériové zapaľovanie (BZ)

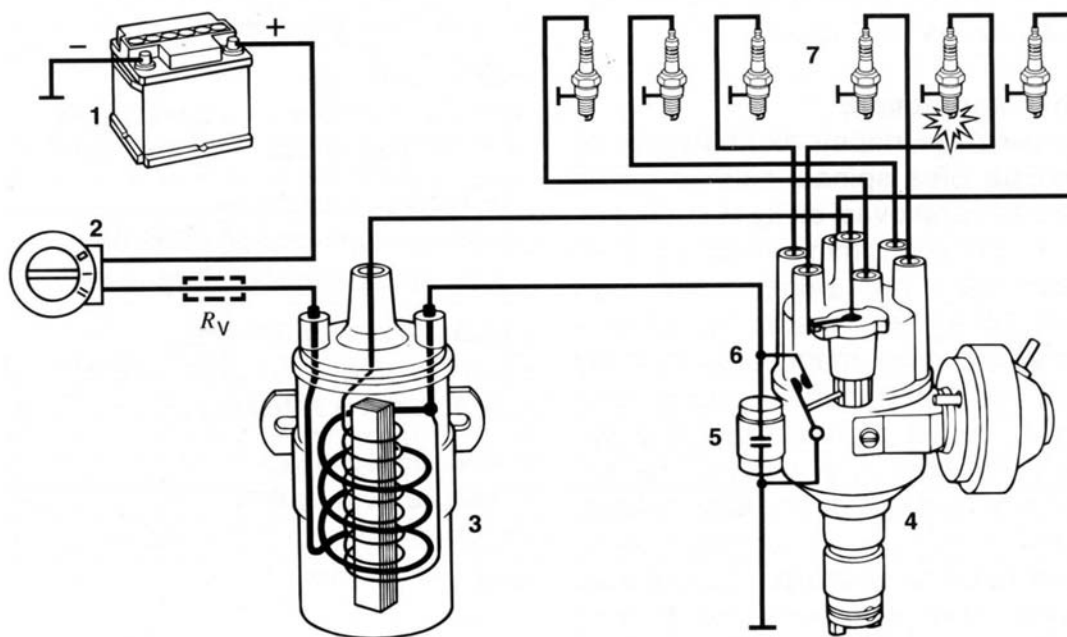
„Klasické“ batériové (cievkové) zapaľovanie je najjednoduchšie zapaľovanie riadené kontaktným prerušovačom. Prúd, ktorý preteká cievkou je prerušovaný mechanickými kontaktmi prerušovača, ktorý je umiestnený v rozdeľovači. Časovanie je zabezpečené mechanickou väzbou medzi KH a rozdeľovačom v pevnom pomere 2:1. Pootočením rozdeľovača oproti KH dochádza k zmene okamihu zážihu, čo umožňuje nastavenie požadovaného základného predstihu.

Počas prevádzky je na svorku primárneho vinutia zapaľovacej cievky privedené napätie z akumulátora cez spínaciu skrinku. Pri zopnutom prerušovači preteká prúd primárnym vinutím zapaľovacej cievky oproti kostre, čím v nej vzniká magnetické pole. Prúd v primárnom vinutí narastá v dôsledku indukčnosti a odporu primárneho vinutia cievky. Čas nabíjania cievky je určený uhlom zopnutia kontaktov, ten je závislý od tvaru vačky, ktorá pôsobí priamo na pohyblivý kontakt prerušovača a vzdialenosťou kontaktov prerušovača. Veľkosť prúdu v primárnom vinutí, rýchlosť rozpojenia kontaktov prerušovača a prevodový pomer cievky určujú veľkosť zapaľovacieho napätia. Pretože prúd má snahu pretekať obodom, pri prerušení sa vytvára na kontaktoch prerušovača elektrický oblúk. Aby sa zabránilo tvorbe el. oblúku je paralelne k prerušovaču pripojený kondenzátor.

Kontakty prerušovača spínajú prúd do cca. 4,5 A. Mechanický prerušovač je potrebné často kontrolovať a nastavovať. Hranicou dokonalosti mechanických prerušovačov je cca. 400 zážihov za sekundu.

Nevýhodou týchto zapaľovacích systémov je ich obmedzené využitie (max. otáčky), opotrebovanie mechanických dielov, nízka energetická účinnosť, nestabilita parametrov, nemožnosť dynamickej regulácie a pod.

Časti batériového zapaľovania a ich funkcia:



1. **Akumulátor** - zdroj elektrickej energie pre zapaľovací systém;
 2. **Spínacia skrinka** – spínač v primárnom okruhu zapaľovacej cievky, ovládaný kľúčom;
 3. **Zapaľovacia (vysokonapäťová) cievka** – akumuluje zapaľovaciu energiu a predáva ju vo forme vysokonapäťových impulzov cez vysokonapäťový kábel k zapaľovacím sviečkam;
 4. **Rozdeľovač** – rozdeľuje vysoké napätie pre jednotlivé sviečky v pevne stanovenom poradí;
 - **Odstredivý regulátor** – mení veľkosť predstihu zážihu v závislosti od otáčok motora;
 - **Podtlakový regulátor** – mení veľkosť predstihu zážihu v závislosti od zaťaženia motora;
 5. **Kondenzátor** – odľahčuje kontakty prerušovača, urýchľuje prerušenie primárneho okruhu;
 6. **Prerušovač** – spína a rozopína primárny obvod cievky;
 7. **Zapaľovacia sviečka** – má elektródami vytvorené iskrište pre preskok el. oblúku a utesňuje priestor;
- R_v Predradený odpor** – pri štarte je skratovaný aby došlo k zvýšenému nárastu napätia pri štartovaní;

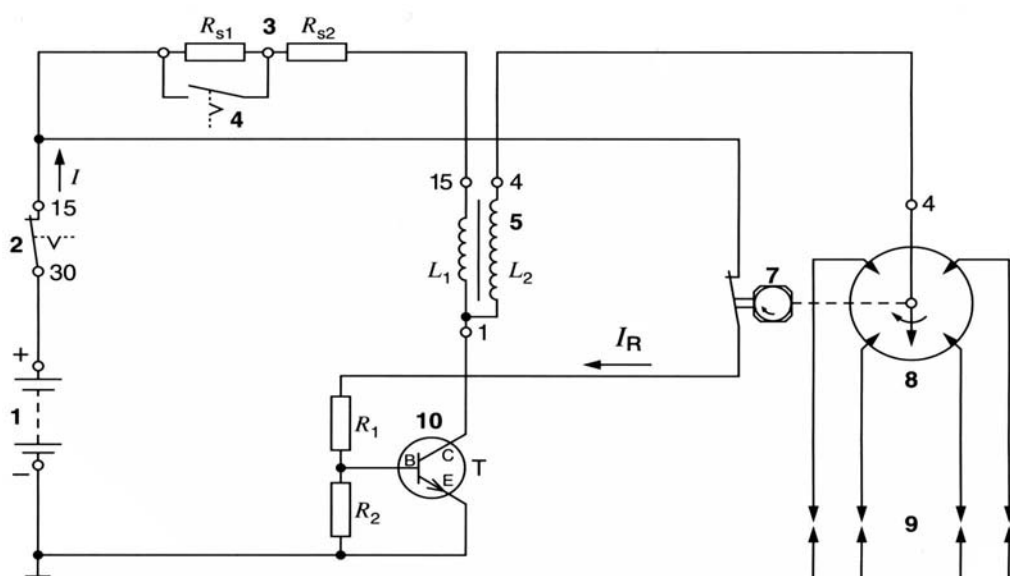
Tranzistorové zapalovanie (TZ)

TZ je ďalším vývojovým štádiom zapalovacích systémov. Najjednoduchšími sú tranzistorové „batériové“ zapalovania (TBZ-K), ktoré tvoria prechod medzi mechanickými a elektronickými zapalovaniami, preto boli označované tiež ako „kvázi“ elektronické zapalovania.

Pri ostatných TZ ide o elektronické zapalovanie s bezkontaktným prerušovačom. Mechanický kontaktný prerušovač je nahradený Hallovým alebo induktívnym snímačom. V TZ systémoch je elektronicky regulovaný uhol zopnutia a veľkosť prúdu v primárnom okruhu. Regulácia predstihu zážihu je podobná ako pri BZ a TZ-K.

Tranzistorové „batériové“ zapalovanie – kontaktné (TBZ-K)

Tento typ zapalovania používa kontaktný prerušovač podobne ako BZ, ale prerušovač v tomto prípade nemusí spínať primárny prúd cievky ale iba riadiaci prúd tranzistorového zapalovania. Tranzistorové zapalovanie má funkciu prúdového zosilňovača a spína primárny prúd prostredníctvom zapalovacieho tranzistora to znamená, že tranzistor je vo funkcii výkonového spínača namiesto prerušovača a preberá jeho spínaciu funkciu v primárnom okruhu zapalovania. Tranzistor má funkciu spínacieho relé a preto musí tak byť aj zapojený.



1 - akumulátor; 2 - spínacia skrinka; 3 - predradený odpor; 4 - spínač pre zvýšenie primárneho napätia pri štarte; 5 - zapalovacia cievka s primárnym a sekundárnym vinutím; 7 - prerušovač (riadiaci spínač); 8 - rozdeľovač vysokého napätia; 9 - zapalovacia sviečka; 10 - spínací tranzistor s obvodom a odpormi deliča napätia;

Výhody TBZ-K oproti BZ sú:

- rýchlejší nárast primárneho prúdu;
- použitie väčšieho primárneho prúdu;
- podstatne dlhšia životnosť kontaktov prerušovača – nedochádza k ich opaľovaniu;
- nedochádza ku kmitaniu kontaktov a k tvorbe opaľovacej iskry;

Nevýhody TBZ-K sú zachované z BZ:

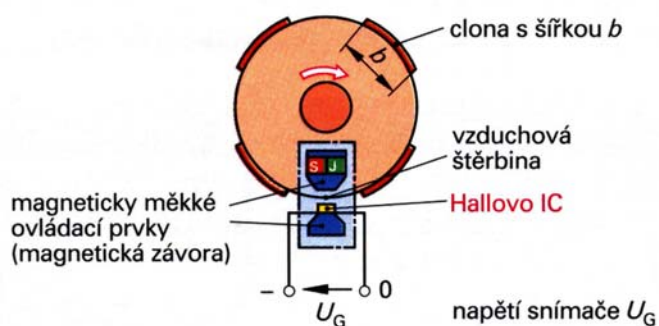
- poruchovosť mechanických častí prerušovača;
- zmena parametrov zapaľovania vplyvom opotrebovania kontaktov prerušovača;
- nároky na údržbu;

Pri použití tranzistorových zapaľovaní dochádza k rýchlejšiemu nárastu väčšieho primárneho prúdu ako pri BZ, čo kladie väčšie nároky na výkon vysokonapäťovej cievky a tým aj na jej hodnoty (zapaľovacie napätie, zapaľovací prúd, doba výboja, max. počet iskier). Preto systémy TZ vyžadujú používanie výkonnejších vysokonapäťových cievok.

Regulácia predstihu zážihu pri tomto type zapaľovania je taktiež ako pri BZ prostredníctvom odstredivej a podtlakovej regulácie.

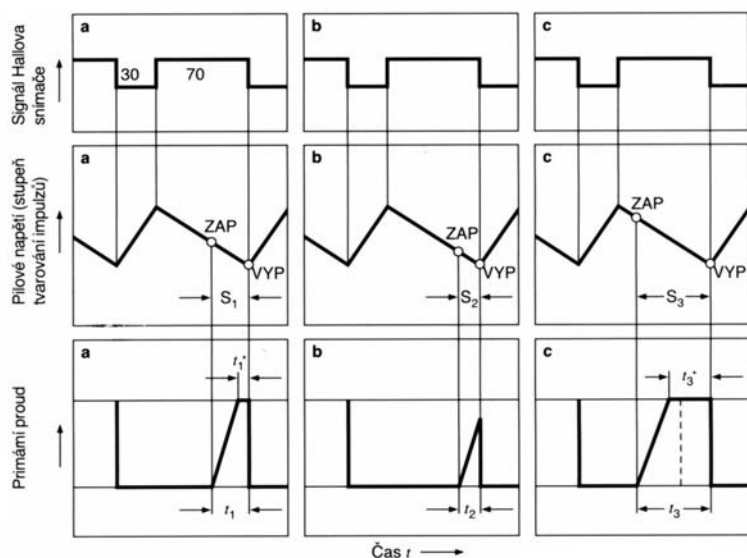
Tranzistorové zapaľovanie s Hallovým snímačom (TZ-H)

Tranzistorové zapaľovanie s Hallovým snímačom je vysokovýkonný zapaľovací systém s elektronickou reguláciou uhlu zopnutia, prúdu primárneho okruhu a reguláciou predstihu zážihu prostredníctvom odstredivej a podtlakovej regulátora.



Bezkontaktný prerušovač je vytvorený prostredníctvom Hallova snímača umiestneného v rozdeľovači. Hallov snímač je vytvorený z magnetickej závohy vytvorenej dvomi slabo magneticky vodivými prvkami s trvalými magnetmi z ktorých na jednom je pripojený Hallov integrovaný obvod. Medzi týmito prvkami je

vzduchová medzera v ktorej je umiestnená rotor s clonkami (šírka clonky je pevne daná) a otvorní zodpovedajúcimi počtu valcov motora. Otáčaním hriadeľa rozdeľovača sa otáča rotor s clonkami vo vzduchovej medzere magnetickej závohy. Pokiaľ je vzduchová medzera voľná, preteká magnetické pole vstavaným Hallovým integrovaným obvodom, Hallové napätie dosahuje maximum – Hallov integrovaný obvod je zapnutý. Zmenou magnetickeho toku clonkou sa jeho časť stráca, čím dochádza k poklesu Hallova napätia na minimum – Hallov integrovaný obvod je vypnutý. Signál z Hallova snímača má tvar digitálneho signálu.



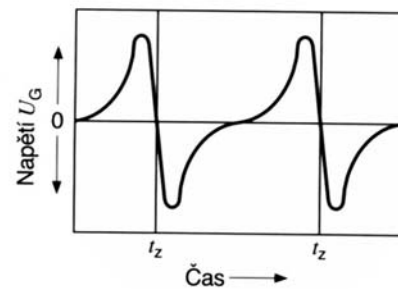
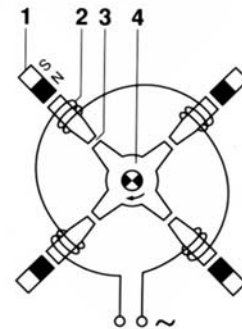
- a správny uhol zopnutia S_1 ;
- b malý uhol zopnutia S_2 ;
- c veľký uhol zopnutia S_3 ;
- t doba zopnutia pre koncový stupeň zapaľovania;

Pri použití Hallovhovho snímača je daná pevná konštantná hodnota uhlu zopnutia veľkosťou medzery medzi clonkami rotora, čo nevyhovuje z pohľadu udržania rovnakej hodnoty vysokého napätia v celom rozsahu otáčok. Preto musí byť do okruhu zaradený stupeň formátujúci impulz snímača z pravouhlého na trojuholníkový, aby bolo možné riadiacou jednotkou regulovať veľkosť uhlu zopnutia.

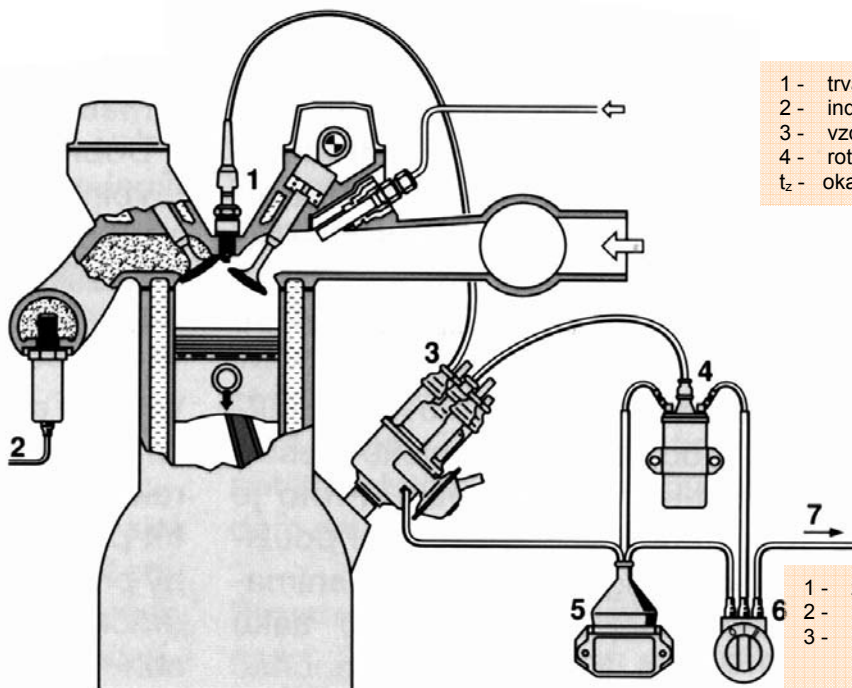
Tranzistorové zapalovanie s indukčným snímačom (TZ-I)

Tranzistorové zapalovanie s indukčným snímačom je vysokovýkonný zapalovací systém, ktorý je veľmi podobný so systémom TZ-H. Indukčný snímač predstavuje elektrický generátor striedavého prúdu. TZ-I sa vďaka symetrickej konštrukcii snímača vyznačuje minimálnou osciláciou iskier.

Snímač je vytvorený zo statora, ktorý je pevne uzavretý stavebnicový prvok zložený z trvalého magnetu, indukčného vedenia a jadra snímača. V statore sa otáča rotor zo slabo magnetického železa vytvarovaný do tvaru hviezdice. Princíp snímača je v tom, že otáčaním rotora v statore sa periodicky mení šírka vzduchovej medzery medzi statorom a rotorom a tým aj magnetický silový tok, ktorý vyvoláva vo vinutí statora vznik indukovaného striedavého napätia. Hodnota napätia je od 0,5 V pri voľnobežných otáčkach až po cca. 100 V pri max. otáčkach. Frekvencia zodpovedá počtu iskier. Na rozdiel od Hallovhovho snímača je signál vhodný na regulovanie a nieje potrebné ho ďalej modulovať.



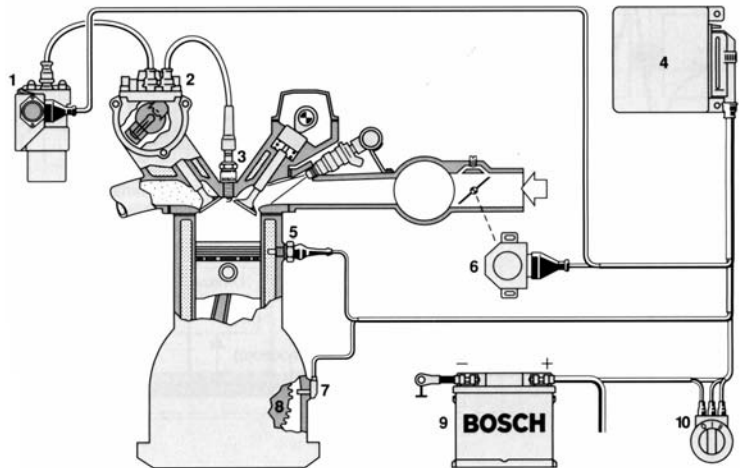
- 1 - trvalý magnet;
- 2 - indukčné vinutie s jadrom;
- 3 - vzduchová medzera s premenlivou šírkou;
- 4 - rotor;
- t_z - okamih zážihu;



- 1 - zapalovacia sviečka;
- 2 - lambda sonda;
- 3 - rozdeľovač s podtlak. a odstredivou reguláciou a s indukčným alebo Halloovým snímačom;
- 4 - zapalovacia cievka;
- 5 - riadiaca (spínacia) jednotka;
- 6 - spínacia skrinka;
- 7 - k akumulátoru;

Elektronické zapalovanie (EZ)

Elektronické zapalovanie je ďalším vývojovým stupňom bezkontaktných elektronických zapalovacích systémov. Charakteristickým znakom systémov EZ je, že na rozdiel od TZ ktoré využívali tradičné rozdeľovače s podtlakovou a odstredivou reguláciou predstihu zážihu realizujúci len jednoduché regulačné charakteristiky, využívajú elektronickú reguláciu predstihu zážihu na základe skutočných podmienok práce motora. Preto pri EZ odpadá mechanické prestavovanie okamihu zážihu. Pre potrebu elektronickej regulácie predstihu zážihu je potrebné získať okrem zaťaženia motora, počtu otáčok aj presnú polohu KH. Tieto údaje sa získavajú napr. záťaž z tlakového snímača, otáčky motora z indukčného snímača.



1 - zapalovacia cievka so vstavaným koncovým stupňom zapalovania; 2 - rozdeľovač vysokého napätia; 3 - zapalovacia sviečka; 4 - riadiaca jednotka; 5 - snímač teploty motora; 6 - spínač škrtiacej klapky; 7 - snímač otáčok a polohy; 8 - ozubený kotúč; 9 - akumulátor; 10 - spínacia skrinka;

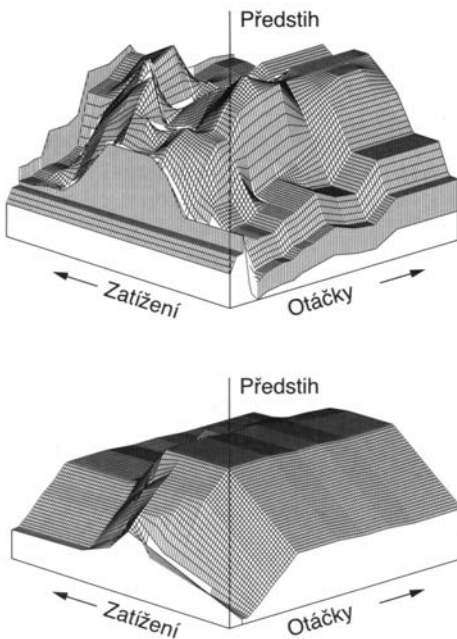
Výhody elektronického zapalovania sú:

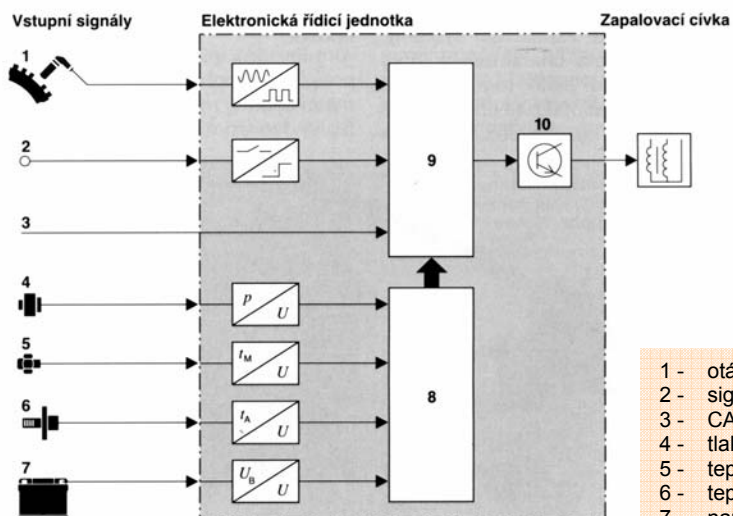
- prestavenie predstihu zážihu sa vykonáva na základe skutočných parametrov a zohľadňuje špecifiká jednotlivých režimov motora;
- je možné použiť viac riadiacich parametrov, napr. teplotu motora;
- optimalizácia efektívnosti motora, lepšie riadenie voľnobehu, stabilita otáčok, hospodárnejšia prevádzka, nižšie emisie;
- rozšírené získavanie prevádzkových údajov;
- dynamické prestavovanie predstihu, čo umožňuje použitie regulácie „klepania“.

Predstih pre určitý prevádzkový bod motora je upravovaný podľa rôznych hľadísk s ohľadom na hospodárnosť (spotrebu paliva), emisie výfukových plynov a krútiaci moment motora.

Riadiaca jednotka má samostatné charakteristiky:

- charakteristika pre voľnobeh, pri zavretej škrtiacej klapke, zväčšujúce predstih čím dochádza k stabilizácii voľnobehu;
- pre brzdenie motorom je z dôvodu zníženia emisii a chovania motora pri jazde zvolená špeciálna charakteristika;
- pre oblasť plného výkonu je použitá charakteristika s najvýhodnejšími hodnotami predstihu s ohľadom na hranicu „klepania“.





Na základe jednotlivých vstupných parametrov podľa schémy je hodnota predstihu vypočítavaná, resp. priradená z dátovej mapy, riadiacou jednotkou, ktorá súčasne aj tvaruje impulz primárneho okruhu s reguláciou uhlu zopnutia a veľkosti prúdu.

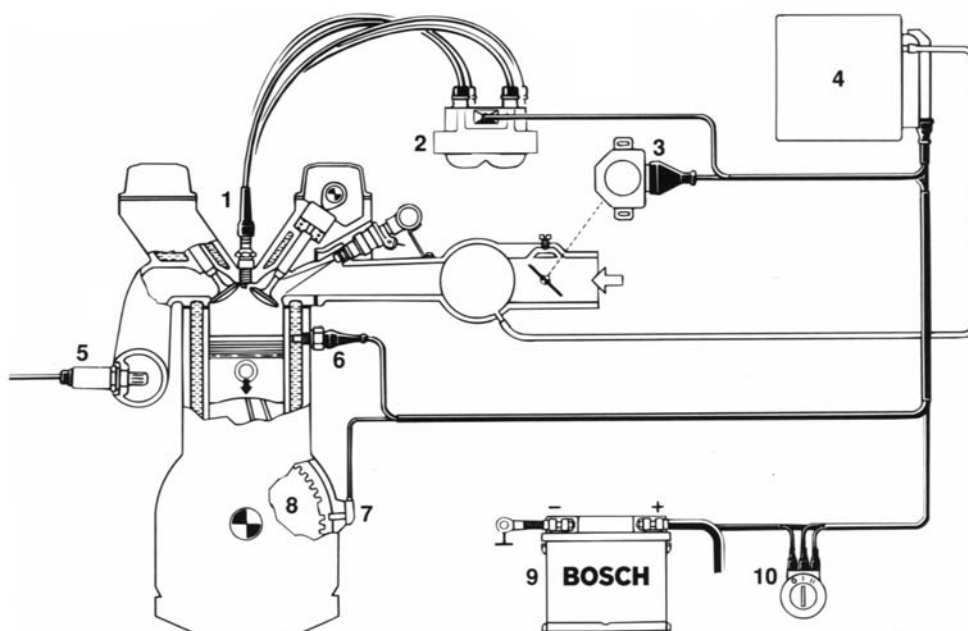
- 1 - otáčky motora;
- 2 - signál spínača škrtiacej klapky;
- 3 - CAN bus;
- 4 - tlak v nasávaní;
- 5 - teplota motora;
- 6 - teplota nasávaného vzduchu;
- 7 - napätie akumulátora;
- 8 - analógovo – digitálny prevodník;
- 9 - mikroočítač;
- 10 - koncový stupeň zapalovania;

Úplné elektronické zapalovanie (VZ)

Úplné elektronické zapalovanie, označované aj ako statické zapalovanie, sa vyznačuje dvomi charakteristickými vlastnosťami:

1. má všetky funkcie elektronického zapalovania;
2. neobsahuje rotačné rozdeľovanie vysokého napätia pre jednotlivé sviečky pomocou mechanického rozdeľovača.

Koncový stupeň zapalovacích systémov VZ (môže ich byť v jednom systéme použitých aj viac) môže byť súčasťou riadiacej jednotky zapalovania, alebo je zaradený ako samostatný prvok medzi riadiacu jednotku a vysokonapäťovú cievku, alebo je súčasťou cievok.



- 1 - zapalovacia sviečka; 2 – dvojiskrové zapalovacie cievky; 3 - spínač škrtiacej klapky; 4 - riadiaca jednotka s integrovanými koncovými stupňami; 5 – lambda sonda; 6 – snímač teploty; 7 - snímač otáčok a polohy KH; 8 - ozubený kotúč; 9 - akumulátor; 10 - spínacia skrinka;

Snímanie prevádzkových parametrov, spôsob ich vyhodnocovania ako aj výkonové parametre VZ sú porovnateľné s EZ. Výhody VZ v porovnaní s ostatnými elektronickými zapalovacími systémami sú:

- žiadne pohyblivé alebo rotačné diely;
- podstatné zníženie úrovne elektromagnetického rušenia, pretože nedochádza k výskytu nekrytých iskier;
- zníženie hlučnosti;
- zníženie počtu vysokonapäťových spojov;
- konštrukčné výhody pre výrobcov motorov.

Rozdeľovanie napätia

Pri VZ sa namiesto rozdeľovača používajú buď dvojiskrové cievky vždy pre dva súbežné valce (vzájomne posunutý cyklus o 360° KH), alebo samostatné jednoiskrové cievky pre každú sviečku.

V jednoduchších systémoch sú použité namiesto rozdeľovača dvojiskrové cievky (pre štvorvalec dve), pričom každá má samostatný koncový stupeň. Cievky sú striedavo riadené koncovými stupňami zapalovania. Okamih zážihu (a jeho regulácia) je stanovený tak ako pri EZ riadiacou jednotkou z dátových máp na základe prevádzkových údajov zo snímačov. Cievka vytvára súčasne dve iskry na sviečkach dvoch valcov ktoré sú zapojené do série s cievkou. Jedna sviečka vytvára iskrú počas kompresie a druhá počas výfuku. Pre potrebu synchronizácie je potrebné identifikovať prvý valec a jeho polohu, toto zabezpečuje indukčný snímač na KH. Tento spôsob zapalovania je vhodný pre motory s párnym počtom valcov.

Komplikovanejšia systémy VZ a verzie pre nepárny počet valcov používajú samostatné jednoiskrové vysokonapäťové cievky pre každú sviečku. Rozdeľovanie napätia je vykonávané elektronicky v primárnom okruhu zapalovania vo výkonovom module s rozdeľovacou logikou. Pre synchronizáciu je nutné vyhodnotenie signálu vačkového hriadeľa.

POZOR – NEBEZPEČIE ÚRAZU

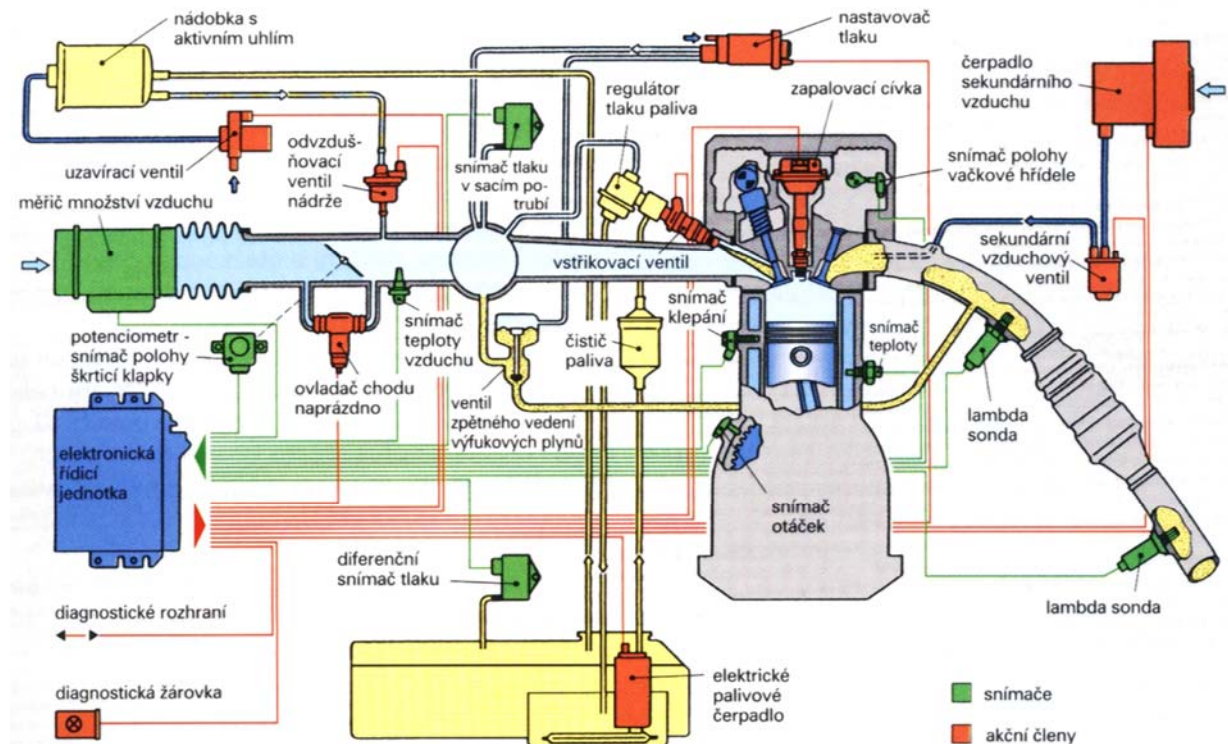
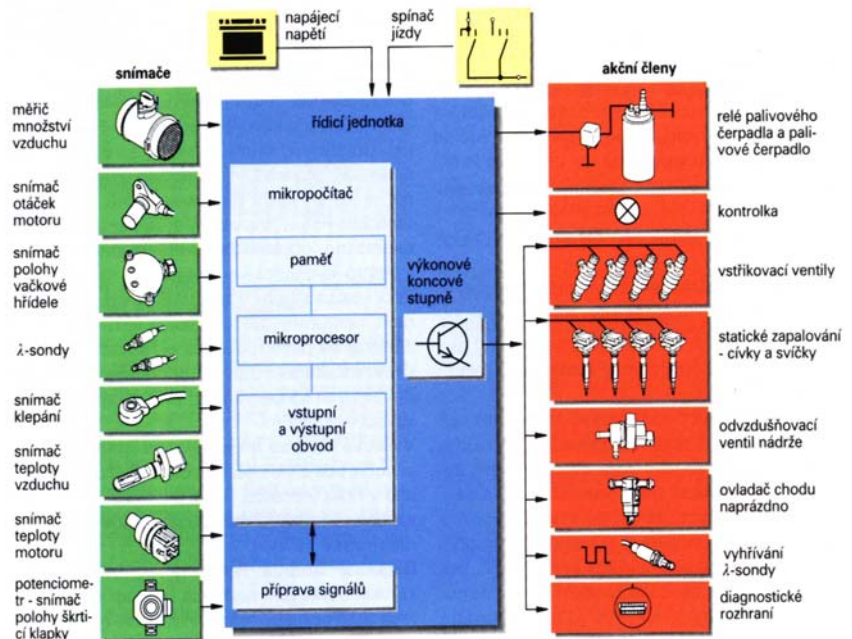
Všetky elektrické zapalovacie systémy používajú v primárnom okruhu napätia cca. 400V a prúdy do cca. 9A a v sekundárnom okruhu napätia nad cca. 30 kV. Všetky tieto napätia a prúdy sú pri priamom kontakte **životu nebezpečné**. Preto pri práci s časťami zapalovacích systémov (výmena dielov zapalovania, pripojovanie testerov a pod.) musí byť zapalovanie vypnuté, alebo musí byť odpojený zdroj napätia.

Pri samotnom **testovaní zapalovacích systémov** so zapnutým zapalovaním vznikajú v celom systéme taktiež **životne nebezpečné napätia**.

Integrovaný systém pre elektronicky riadené vstrekovanie benzínu a zapalovanie – Motronic

Motronic je integrovaný systém pre spoločné riadenie vstrekovacieho systému a systému zapalovania spoločnou riadiacou jednotkou. Toto riešenie umožňuje využitie signálov zo snímačov tak pre riadenie vstrekovania ako aj pre riadenie statického zapalovania typu VZ. Spoločné previazanie systémov je výhodné nielen z pohľadu spoločných charakteristík, ale aj z pohľadu konštrukčného.

Činnosť Motronicu je založená na spracovaní signálov zo snímačov a ich porovnaní s naprogramovanými hodnotami v pamäti riadiacej jednotky. Riadiaca jednotka na základe rozpoznania skutočného prevádzkového stavu priraduje údaje, naprogramované v dátových mapách, pre jednotlivé akčné členy (vstrekovacie ventily – množstvo vstrekaného paliva a začiatok vstreku, zapalovacia cievka – predstih a uhol zopnutia), ktoré sú ovládané koncovými výkonovými prvkami.



Podsystem vstrekovania paliva

Vstrekovanie benzínu prebieha prerušovane podľa systému LH – Jetronic. Hlavnými regulačnými veličinami sú otáčky motora a množstvo vzduchu (otáčky motora sú snímané indukčným snímačom a skutočne nasaté hmotnostné množstvo vzduchu je merané anemometrom s vyhrievaným filmom). Na základe týchto parametrov riadiaca jednotka určí základné množstvo vstrekovaného paliva. Aby sa dosiahlo optimálnej prevádzky motora pri minimálnych hodnotách emisií výfukových plynov je základné množstvo vstrekovaného paliva korigované na základe korekčných signálov – teplota motora, signál λ – sondy, poloha škrtiacej klapky (elektronický pedál – Drive by wire), tlak v nasávacom potrubí a pod.

Podsystem zapalovania

Hlavnou regulovanou veličinou v zapalovaní je riadenie okamihu zážihu (predstihu) v závislosti na otáčkach a zaťažení (podtlak v saní) pre ktoré má riadiaca jednotka v pamäti uloženú sústavu charakteristík. Korekčnými veličinami sú signály zo snímačov „klepania“, teploty motora, ASR, radenia prevodovky a pod. V závislosti na otáčkach motora napájacím napätím určuje riadiaca jednotka príslušný uhol zopnutia. Tým sa podľa potreby upravuje energia zapalovacej iskry. Použité sú dvojskrové cievky alebo každá zapalovacia sviečka má svoju vlastnú cievku, tzv. statické zapalovanie.

Ďalšie riadené systémy motora

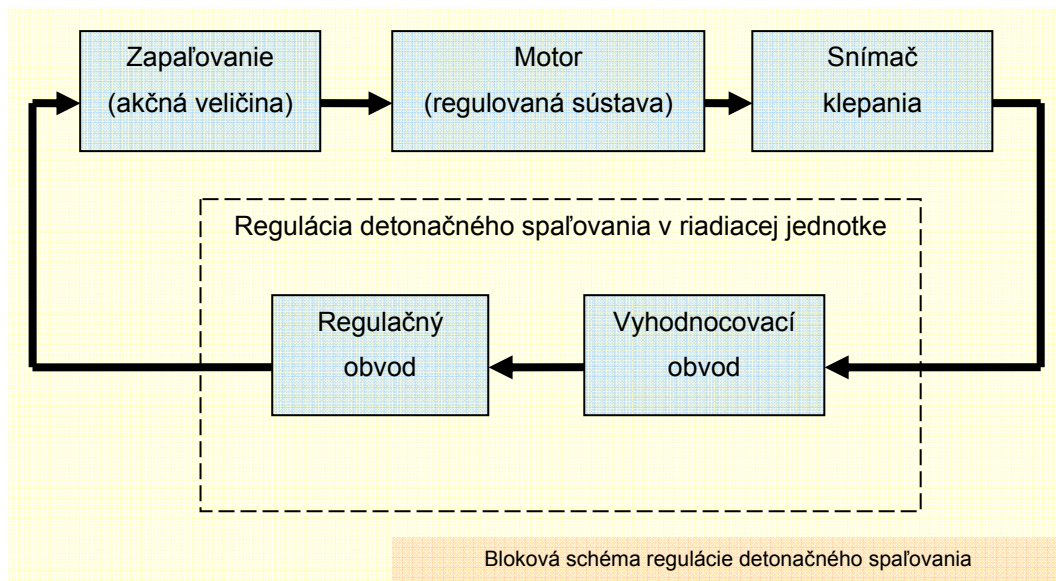
V závislosti od teploty a otáčok motora riadiaca jednotka Motronicu riadi aj ďalšie systémy:

- elektronický plyn – Drive by wire;
- nastavovač tlaku pre ventil recirkulácie výfukových plynov EGR;
- ventil a čerpadlo sekundárneho vzduchu;
- odvzdušňovací ventil nádrže;
- regulácia detonačného spaľovania.

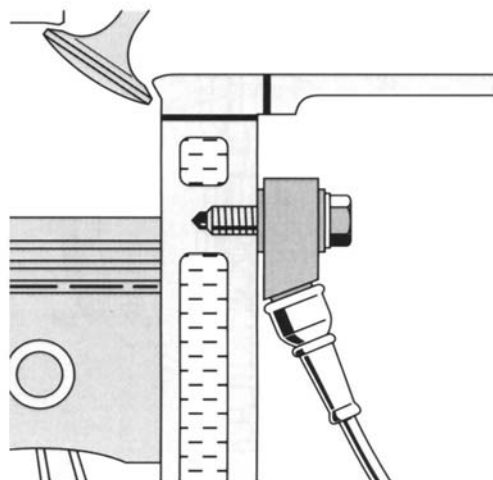
Regulácia detonačného spaľovania („klepania“)

Detonačné spaľovanie „klepanie“ je nekontrolovaná forma horenia vzniknutá samovznietením paliva. Ak dochádza k prudkému detonačnému spaľovaniu alebo je toto spaľovanie príliš časté môže dôjsť k mechanickému poškodeniu motora. Z tohto pohľadu je hodnota predstihu stanovená tak, aby bola vždy v bezpečnej vzdialenosti od hranice klepania. Pretože je hranica detonačného spaľovania závislá aj od kvality paliva, stavu motora a na podmienkach okolia, znamená táto „bezpečná vzdialenosť“ zníženie hodnoty predstihu, ktorá vedie k zvýšeniu spotreby paliva.

Táto nevýhoda môže byť odstránená pokiaľ bude zisťovaná hranica detonačného spaľovania počas prevádzky motora a hodnota predstihu potom regulovaná až čo najbližšia k tejto hranici. Túto úlohu vykonáva regulácia „klepania“ v spojení so zapalovacím systémom EZ alebo VZ alebo systémom Motronic.



Dosiaľ nie je možné zistiť hranicu detonačného spaľovania bez toho aby sa motor do tejto oblasti dostal. Počas regulácie pozdĺž hranice detonačného spaľovania dochádza neustále k jednotlivým „zaklepaniam“ na základe ktorých získava riadiaca jednotka údaj o polohe tejto hranice. Detonačné spaľovanie je snímané prostredníctvom snímača, ktorý prevádza vibrácie vzniknuté pri spaľovaní na elektrický signál, umiestneného väčšinou na pozdĺžnej strane bloku motora. V riadiacej jednotke je vytvorená referenčná úroveň predzápalu, ktorá sa neustále prispôbuje



Pretože hranice detonačného spaľovania jednotlivých valcov sa vzájomne odlišujú a v pracovnom rozsahu motora sa navyše veľmi rýchlo menia, v praktickej prevádzke motora na hranici detonačného spaľovania to znamená, že každý valec potrebuje priradiť vlastnú hodnotu optimálneho predstihu.

Pri použití regulácie „klepania“ je možné sa „pomýliť“ pri tankovaní paliva a napr. použiť namiesto paliva s OČ 95 palivo s OČ 91 bez toho aby hrozilo poškodenie motora.

Znižovanie podielu škodlivín vo výfukových plynoch

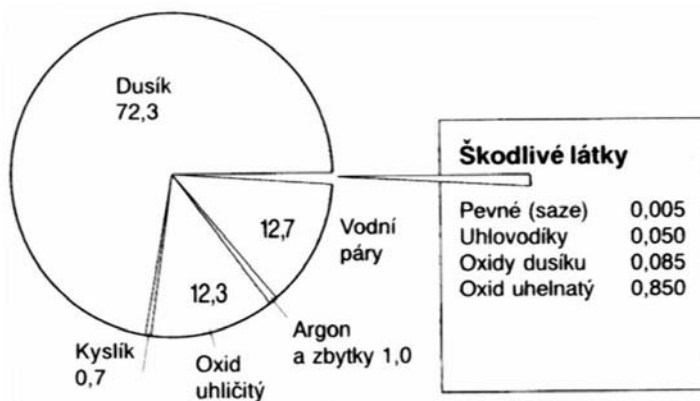
S ohľadom na potrebu obmedzenia znečistenia ovzdušia výfukovými plynmi spaľovacích motorov je legislatívne obmedzená maximálna produkcia škodlivín v emisiách výfukových plynov všetkých motorových vozidiel. Legislatíva EÚ stanovuje maximálne prípustné hodnoty pre emisie výfukových plynov (limity EURO) tak pri typovej skúške pre udelenie všeobecného povolenia k prevádzke (homologácia) tak aj pri kontrolách emisií škodlivín (emisných kontrolách) vozidiel v prevádzke.

Ropné paliva sa skladajú z veľkej škály rôznych uhľovodíkov. Pri dokonalom spaľovaní týchto uhľovodíkov, t.j. pri ich oxidácii (zlučovaní so vzdušným kyslíkom), vzniká iba čistý dusík, oxid uhličitý a vodná para.

Vzhľadom k praktickej nemožnosti dokonalého spaľovania v reálnych pracovných podmienkach motora však vznikajú popri produktoch dokonalého spaľovania aj plynné a pevné škodlivé látky, ktoré sú súčasťou výfukových plynov:

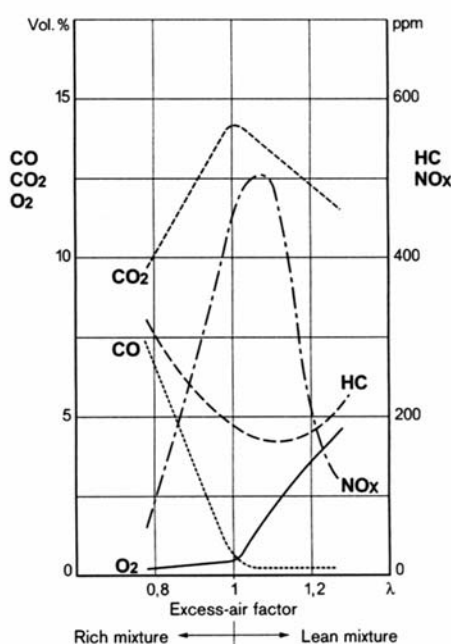
- oxid uhoľnatý – CO;
- nespálené uhľovodíky – HC;
- oxidy dusíka – NO_x;
- pevné látky;

Pri čiastočnom zaťažení motora a stredných otáčkach je podiel všetkých škodlivín vo výfukových plynoch zážihového motora zahriateho na prevádzkovú teplotu asi 1% z celkového množstva výfukových plynov.



Zloženie výfukových plynov zážihového motora

Podiel emisií jednotlivých škodlivín vo výfukových plynoch je výrazne ovplyvnený zmiešavacím pomerom paliva so vzduchom, charakterizovaný súčiniteľom prebytku vzduchu - λ .



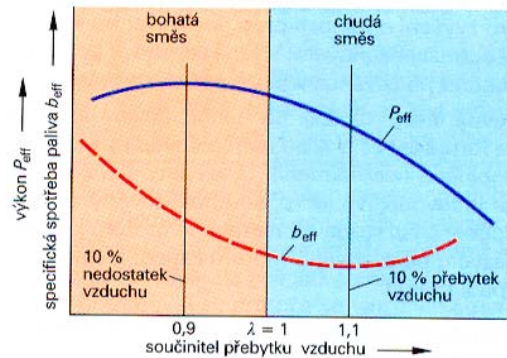
Podiel jednotlivých zložiek výfukových plynov v závislosti od zloženia zmesi

Oxid uhoľnatý CO – vzniká pri nedokonalom spaľovaní v dôsledku nedostatku vzduchu alebo času. Podiel CO narastá s bohatosťou zmesi, nedokonalým rozprášením paliva a znižovaním hodnoty predstihu. Pri chudobnej zmesi vzniká CO v minimálnej miere vplyvom nedokonalého premiešania palivovej zmesi.

Nespálené uhľovodíky HC – sú zmesou rôznych zlúčenín uhlíka a vodíka. Vznikajú pri nedokonalom spaľovaní v dôsledku nedostatku vzduchu alebo času. Podiel HC narastá s bohatosťou zmesi, nedokonalým rozprášením paliva, zmenou hodnoty predstihu alebo pri veľmi chudobnej zmesi ($\lambda > 1$). Okrem toho HC vznikajú v tých častiach spaľovacieho priestoru, ktoré niesu celkom zasiahnuté plameňom pri spaľovaní, napr. štrbina medzi piestom a valcom, a ich produkcia rastie spolu s opotrebovaním piestnej skupiny.

Oxidy dusíka NO_x – vznikajú pri vysokých maximálnych teplotách a tlakoch v spaľovacom priestore. Ich podiel prudko rastie napríklad pri detonačnom spaľovaní (výraznom zväčšení predstihu zážihu)

Pevné látky – vznikajú pri nedokonalom spaľovaní vo forme častíc (základom častíc sú uhľovodíky alebo sadze doplnené usadeninami). Na rozdiel od vznetrového motora je podiel pevných látok pri zážihových motoroch zanedbateľný (20 až 200 krát menej).



Od zloženia zmesi je okrem množstva emisii výrazne závislý aj výkon motora a jeho merná spotreba paliva. Zážihové motory dosahujú najvyššieho merného výkonu pri mierne bohatej zmesi ($\lambda = 0,90$ až $0,95$). Pri nedostatku vzduchu však palivo nie je dokonale využité a merná spotreba paliva sa zvyšuje. Rovnako sa zvyšuje podiel CO a HC vo výfukových plynoch.

Najnižšej mernej spotreby paliva dosahujú zážihové motory pri 5 až 10 % prebytku vzduchu ($\lambda = 1,05$ až $1,10$). Výkon motora pri tomto zložení zmesi je nižší a maximálne teploty v motore sú vzhľadom k menšej potrebe tepla pre odparovanie paliva vyššie. Vplyvom dokonalého prehorenia klesá podiel CO a HC vo výfukových plynoch, ale vplyvom narastajúcej teploty vo valci výrazne stúpa podiel NO_x .

Meranie zloženia výfukových plynov

Zloženie výfukových plynov pre motory so zdokonaleným emisným systémom sa meria pri typovej skúške automobilov a počas prevádzky vozidla. Pri typovej skúške sa zloženie výfukových plynov meria analyzátorom pri motore zaťaženom dynamometrom v simulovanej prevádzke podľa predpísaného jazdného cyklu. Pri meraní zloženia výfukových plynov vozidiel v prevádzke sa v predpísaných lehotách kontroluje stav emisne relevantných častí motora a jeho príslušenstva najmä z pohľadu úplnosti a funkčnosti, ako aj plnenie predpísaných emisných limitov. Emisná kontrola je zložená z vizuálnej časti a samotného merania emisii. Pri meraní emisii sa merajú hodnoty CO a λ pri zvýšených otáčkach a CO a HC pri voľnobehu motora. Pri meraní sa ďalej zaznamenávajú hodnoty doplnkových parametrov (CO_2 , CO_{cor} , O_2 a λ) slúžiacich na kontrolu splnenia podmienok merania a relevantnosti nameraných hodnôt.

Opatrenia na znižovanie podielu škodlivín

Podiely škodlivín vo výfukových plynoch je možné znížiť popri použití vhodného paliva (nízkosírnate, bezolovnaté...) aj technickými opatreniami na motore (riadenie tvorby zmesi podľa skutočných podmienok, recirkulácia výfukových plynov) alebo dodatočnou úpravou výfukových plynov (katalyzátor s λ – reguláciou motora, sekundárny vzduchový systém).

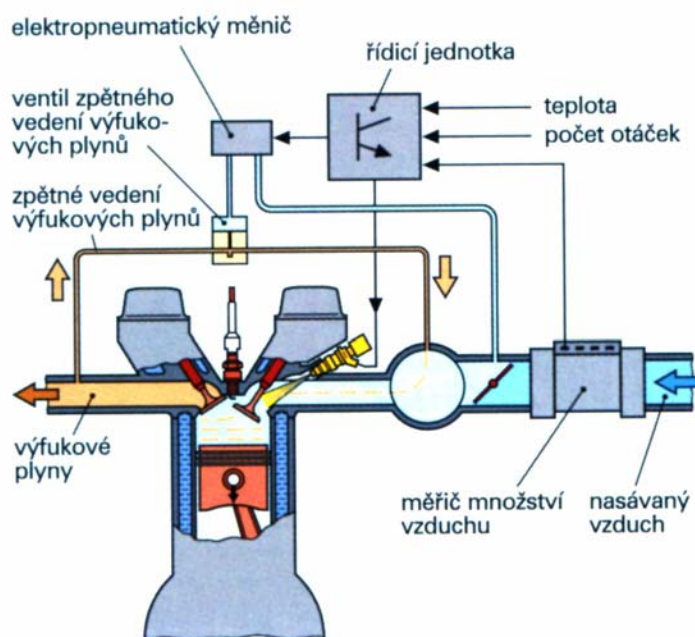
Opatrenia na motore

Technické opatrenia na motore, ktoré zlepšujú kvalitu výfukových plynov a znižujú spotrebu paliva tým, že dochádza k dokonalejšiemu spaľovaniu, sú:

- vhodná konštrukcia motora – variabilné časovanie ventilov, variabilná dĺžka sacieho potrubia, zníženie trenia a pod.;
- vstrekovací systém – presné riadenie dávkovania paliva, dokonalé premiešanie zmesi a pod.;
- riadenie okamihu zážihu;
- recirkulácia výfukových plynov – EGR;
- prerušenie dodávky paliva pri decelerácii;
- selektívne odpájanie valcov pri čiastočnej záťaži.

Recirkulácia výfukových plynov

Pri recirkulácii výfukových plynov sa za zberným výfukovým potrubím odoberá časť spalín a znovu sa privádzajú do nasávacieho potrubia, kde vytvoria zmes so vzduchom a palivom. Takáto zmes sa potom nasáva do valcov. Pretože výfukové plyny sa nemôžu podieľať na spaľovaní, znižuje sa teplota pri spaľovaní, čím sa znižuje produkcia NO_x až o 60 %. So zvyšujúcim sa podielom výfukových plynov v zmesi sa zvyšuje obsah HC, CO ako aj spotreba paliva. Navyše pri vysokom podiele výfukových plynov sa zhoršuje rovnomernosť chodu motora. Tieto faktory určujú hornú hranicu recirkulácie, ktorá je 15 – 20 %.



Recirkulácia výfukových plynov sa používa iba pri motore zahriatom na prevádzkovú teplotu v oblasti čiastočného zaťaženia a pri $\lambda = 1$. Vypína sa vždy, keď sa spaľuje bohatá zmes, pri ktorej vzniká málo zlúčenín NO_x (studený motor a jeho zahrievanie, akcelerácia, plné zaťaženie). Pri voľnobehu, z dôvodu rovnomernosti chodu, sa recirkulácia vypína.

Pre riadenie recirkulácie výfukových plynov je do spätného potrubia medzi zberné výfukové potrubie a sacie potrubie umiestnený ventil recirkulácie výfukových plynov (EGR – Exhaust Gas Recirculation). Recirkulácia je riadená v závislosti na teplote, otáčkach a zaťažení motora.

Úprava výfukových plynov

Aby došlo k úplnej alebo čiastočnej premene škodlivín vo výfukových plynoch na neškodné, prípadne menej škodlivé plyny (látky), sa prevádza úprava výfukových plynov. V súčasnosti je najúčinnjším postupom úprava zloženia výfukových plynov použitím katalyzátora. Katalyzátor svojou prítomnosťou umožňuje chemickú premenu škodlivých látok, bez toho aby došlo k jeho opotrebovaniu, pretože sa chemických reakcií priamo nezúčastňuje.

Katalyzátor je zložený z:

- nosiča katalyzátora – kovová alebo keramická vložka je tvorená z veľkého počtu jemných kanálikov, ktorými prúdia výfukové plyny;
- nosnej vrstvy – kanáliky keramických nosičov obsahujú veľmi poréznu medzivrstvu, čím sa zväčšuje účinný povrch katalyzátora až o 7 000 krát;
- katalyticky aktívnej vrstvy – vlastný katalyzátor – je naparená tenká vrstvička (asi 2 g) vzácnych kovov (platina, rhódium, paládium).



Katalyzátor s neriadeným systémom prípravy zmesi – neriadený katalyzátor

Emisný systém, ktorý je označovaný v našej terminológii ako nezdokonalený emisný systém, nepoužíva na korekciu množstva vstrekaného paliva signál z lambda sondy. Tvorba zmesi podľa je riadená v závislosti na prevádzkovom stave motora a zloženie výfukových plynov sa nekontroluje. Účinnosť týchto katalyzátorov je asi 60 %.

V týchto systémoch sa na úpravu výfukových plynov používa:

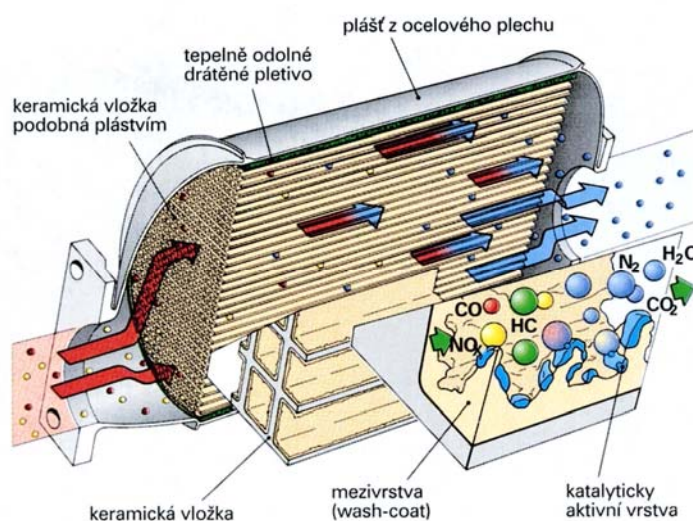
- Oxidačný katalyzátor – pracuje pri prebytku vzduchu, ktorý sa dosahuje prácou motora na chudobnú zmes alebo prisávaním sekundárneho vzduchu pred katalyzátor. V katalyzátore dochádza k znižovaniu CO a HC dodatočnou oxidáciou;
- Redukčný katalyzátor – pracuje s pri nedostatku vzduchu vo výfukových plynoch, ktorý sa dosahuje prácou motora pri bohatej zmesi. Katalyzátorom sa redukuje množstvo NO_x ;
- Dvojkomorový katalyzátor – je kombináciou redukčného a oxidačného katalyzátora. Motor pracuje s bohatou zmesou a do priestoru medzi katalyzátormi je privádzaný sekundárny vzduch.

Katalyzátor s riadeným systémom prípravy zmesi – riadený katalyzátor

Emisný systém, ktorý je označovaný v našej terminológii ako zdokonalený emisný systém používa korekciu množstva vstrekaného paliva na základe zloženia výfukových plynov, meraním prebytku vzduchu – λ . Vhodné zloženie zmesi je dosiahnuté uzavretým regulačným obvodom.

Pri práci motora s homogénnou zmesou sa pri zdokonalenom emisnom systéme využíva tzv. „trojcestný“ katalyzátor. V telese katalyzátora dochádza na katalyticky aktívnej vrstve súčasne k trom chemickým reakciám:

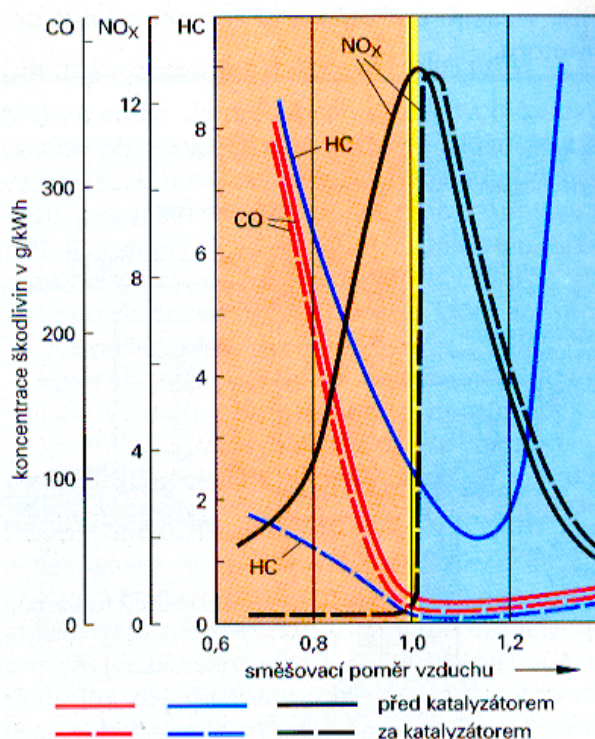
- NO_x reaguje s CO a redukuje sa na N_2 za vzniku CO_2 voľného O_2 ;
- CO reaguje s O_2 a oxiduje na CO_2 ;
- Zlúčeniny HC reagujú s O_2 a oxidujú na CO_2 a H_2O ;



Aby tieto reakcie mohli prebehnúť musia byť splnené nasledovné podmienky:

- teplota katalyzátora musí byť vyššia ako 250 °C, čo je prahová teplota pre spustenie chemických reakcií;
- zmes vzduchu a paliva musí zodpovedať približne stechiometrickému zloženiu ($\lambda = 1$).

Katalyzátor má najvyššiu účinnosť, okolo 94 – 98% vo veľmi úzkom pásme súčiniteľa prebytku vzduchu $\lambda = 0,995$ až 1,000. Táto oblasť sa nazýva okno katalyzátora a prácou motora v tomto pásme postačuje množstvo kyslíka uvoľneného pri redukcii NO_x k tomu, aby sa podiely CO a HC vo výfukových plynoch takmer úplne zoxidovali na CO₂ a H₂O. Spaľovaním bohatšej zmesi ($\lambda < 0,99$) dochádza k nárastu podielu CO a HC vo výfukových plynách. Pri spaľovaní chudobnejšej zmesi ($\lambda > 1,00$) dochádza k nárastu podielu NO_x vo výfukových plynách.



Optimálna pracovná teplota katalyzátora je 400 až 800 °C. Pri teplotách nad 800 °C začína tepelné starnutie katalyticky aktívnej vrstvy. Pokiaľ teplota v katalyzátore vystúpi nad 1 000 °C, dôjde k trvalej deformácii katalyzátora, vplyvom tepelnej deformácie nosiča

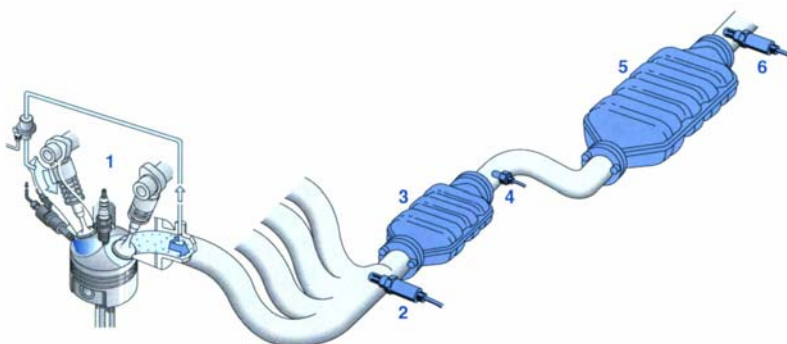
katalyzátora. Vynechávania zapaľovania je najčastejším následkom tepelnej deformácie katalyzátora. Pri tejto poruche sa do katalyzátora dostáva nespálené palivo, ktoré v ňom oxiduje so zostatkovým kyslíkom (zhorí), čím sa čo zvýši teplota v katalyzátora až na 1 400 °C, čo spôsobí „zatavenie“ katalyzátora.

Zloženie podielu škodlivín vo výfukových plynách CO, HC a NO_x sa mení prostredníctvom „trojcestného“ katalyzátora na zložky H₂O, CO₂ a N₂. Aby bola účinnosť katalyzátora čo najväčšia, musí sa zloženie zápalnej zmesi pohybovať v rozsahu $\lambda = 0,995$ až 1,000 čo musí zabezpečiť presné dávkovanie paliva je korigované na požadovanú hodnotu pri všetkých režimoch práce motora prostredníctvom regulačného obvodu prípravy zmesi. Regulačný obvod (λ – regulácia) pracuje na základe signálov z regulačnej lambda sondy umiestnenej vo výfukovom potrubí pred katalyzátorom (za katalyzátorom môže byť umiestnená tzv. monitorovacia lambda sonda, ktorá monitoruje účinnosť katalyzátora).

Zásobníkový katalyzátor NO_x

Pri prevádzke motora na chudobnú zmes nedokáže trojcestný katalyzátor redukovať veľké množstvo NO_x vznikajúce pri spaľovaní. Kyslík potrebný pre oxidáciu CO a HC nie je získavaný štiepením NO_x, ale odoberá sa z vysokého podielu voľného kyslíka vo výfukových plynoch.

Zásobníkový katalyzátor redukuje množstvo NO_x vo výfukových plynoch iným spôsobom ako klasický trojcestný katalyzátor. Zásobníkový katalyzátor má podobnú konštrukciu ako trojcestný katalyzátor a ich aktívne vrstvy je možné naniesť na jedno spoločné teleso katalyzátora.



1 – motor s EGR; 2 – λ sonda pred katalyzátorom; 3 – predradený trojcestný katalyzátor; 4 – snímač teploty; 5 – zásobníkový katalyzátor NO_x; 6 – dvojbodová λ sonda (môže byť s integrovaným snímačom NO_x).

Pôsobením aktívnej vrstvy z ušľachtilých kovov pracuje zásobníkový katalyzátor pri prevádzke s $\lambda = 1$ ako trojcestný katalyzátor, ktorý navyše redukuje oxidy dusíka. Konverzia NO_x neprebieha kontinuálne ale prebieha v troch stupňoch:

1. **ukladanie (absorpcia)** – katalyzátor ukladá NO_x vznikajúce pri prevádzke na chudobnú zmes ako dusičnany;
2. **uvoľňovanie (desorpcia)** – pri naplnení katalyzátora (pokles schopnosti viazať NO_x) dôjde k jeho regenerácii, t.j. usadené NO_x sa musia odstrániť a konvertovať. Motor krátkodobo prejde do oblasti spaľovania bohatej zmesi ($\lambda < 0,8$), kedy začne dochádzať k uvoľňovaniu usadeného NO_x;
3. **konverzia** – po uvoľnení NO_x sa za prítomnosti CO začne konverzia NO_x na CO₂ a N₂;

Absorpčná schopnosť zásobníkového katalyzátora je výrazne závislá od jeho teploty. Najvyššiu účinnosť dosahuje pri teplotách v rozsahu 300 až 400 °C, čo je nižšia teplota ako je pracovná teplota trojcestného katalyzátora. Z tohto dôvodu sa pri motoroch s vrstvenou zmesou používajú dva katalyzátory – jeden (trojcestný katalyzátor) umiestnený blízko motora, vo funkcii predradeného katalyzátora a druhý (zásobníkový katalyzátor) umiestnený pod podlahou ako hlavný katalyzátor.

Systém sekundárneho vzduchu

Dodatčným (sekundárnym) prívodom vzduchu do výfukových plynov pred katalyzátor a jeho následnou oxidáciou v katalyzátore vo fáze spustenia a zahrievania studeného motora (pri $\lambda < 1$) sa výrazne skracuje čas zahrievania katalyzátora a klesá podiel CO a HC vo výfukových plynach pri tomto prevádzkovom stave motora, pri ktorom katalyzátor ešte nie je pripravený účinne prevádzať všetky chemické reakcie. Systém sekundárneho vzduchu umožňuje umiestniť katalyzátor ďalej od motora čím sa zníži jeho tepelné zaťaženie a zvýši sa jeho životnosť.

Sekundárny vzduch môže byť privádzaný prostredníctvom elektrického ventilátora a elektropneumatického ventilu, ktoré sú riadené riadiacou jednotkou motora. Spätný ventil bráni úniku výfukových plynov a tomu aby nedosiahli na elektrický ventilátor v prípade stúpnutia tlaku vo výfukovom potrubí.

Pri systémoch so združeným riadením vstrekovania a zapaľovania (Motronic) sa pre skrátenie času ohrevu využíva aj zmenšenie predstihu zážihu, čím sa síce zníži účinnosť spaľovania ale spaliny obsahujúce väčšie množstvo tepla, výrazne skrátia čas ohrevu lambda sondy a katalyzátora.

