

DENSO

# ZAPALOVACÍ SVÍČKY

Objevte technologii DENSO



ZAPALOVACÍ SVÍČKY Objevte technologii DENSO

DENSO Europe

Hogeweyselaan 165, 1382 JL Weesp  
Nizozemsko

Tel.: +31 294 493 493 | Fax: +31 294 417 122  
marketing@denso.nl

[www.denso-am.eu](http://www.denso-am.eu)



Driven by  
Quality

# DENSO Aftermarket Europe je součástí společnosti DENSO Corporation, jednoho ze tří nejvýznamnějších světových výrobců vyspělých technologií, systémů a komponent pro automobilový průmysl.

Společnost DENSO, založená v roce 1949, se stala průkopníkem vysoce kvalitních produktů pro automobilový průmysl a dodává široký sortiment originálního vybavení pro všechny přední světové výrobce automobilů. Originální díly DENSO najdete v devíti z deseti automobilů na silnicích.

Tyto jedinečné zkušenosti přinášíme také na nezávislý trh s náhradními díly. Naše technologicky vyspělé produktové řady jsou vybrány speciálně pro zákazníky z řad distributorů a konečných uživatelů a vyznačují se stejnými parametry jako díly používané pro prvovýbavu (OEM).

Zapalovací svíčky jsou jednou z hlavních specialit společnosti DENSO. Naše neustálé úsilí na poli výzkumu a vývoje přineslo mnoho nejvýznamnějších inovací pro toto odvětví, včetně technologie U-drážky, nejmenšího iridiového hrotu elektrody na světě a prvního použití vysunutých zemnicích elektrod. Jakožto hlavní sponzor a technický partner týmů Toyota Gazoo WEC, Volvo Cyan WTCC, Toyota WRC, Subaru WRT a dalších týmů motoristického sportu víme také vše o aplikacích vyžadujících nejvyšší výkon, a tyto zkušenosti uplatňujeme v našich produktových řadách Iridium a Racing.

**Na společnost DENSO se můžete s důvěrou obrátit pro zapalovací svíčky vhodné pro každou aplikaci a oblast motorismu.**



### **Autor**

Wouter Knol – aplikační technik společnosti DENSO pro náhradní díly

### **Spoluautoři**

Peter Coombes – autor technických textů

Gilbert Couvert – produktový manažer společnosti DENSO pro náhradní díly

# Obsah

1.	ÚVOD DO ZAPALOVACÍCH SVÍČEK A SPALOVÁNÍ .....	2
1.1.	Zapalovací svíčky: kritická součást procesu spalování .....	2
1.2.	Provozní požadavky na moderní zapalovací svíčky .....	3
1.3.	Různé zapalovací svíčky pro různé motory .....	4
2.	ČINNOST ČTYŘTAKTNÍHO MOTORU A PROCES SPALOVÁNÍ.....	6
2.1.	Čtyřtákní cyklus: sání, stlačení, zážeh, výfuk.....	6
3.	ČINNOST CÍVKOVÉ ZAPALOVACÍ SOUSTAVY .....	8
3.1.	Úkoly zapalovací soustavy .....	8
3.2.	Úvod do cívkového zapalování.....	8
3.3.	Zapalovací cívky: transformace nízkého napětí na vysoké napětí.....	9
3.4.	Doba nabíjení cívky a doba sepnutí.....	11
3.5.	Okamžik zapálení: vytvoření jiskry ve správný čas.....	12
4.	MECHANICKÉ A ELEKTRONICKÉ ZAPALOVACÍ SOUSTAVY .....	16
4.1.	Základní mechanická zapalovací soustava .....	16
4.2.	Elektronické zapalovací soustavy staršího typu.....	20
4.3.	Moderní elektronické zapalovací soustavy.....	21
5.	PROCES SPALOVÁNÍ PODROBNĚJI.....	24
5.1.	Spalování paliva a kyslíku.....	24
5.2.	Dosahování dobrého spalování.....	26
5.3.	Příčiny špatného spalování a související problémy .....	27
5.4.	Škodliviny a emise vznikající při spalování.....	29
5.5.	Snižování emisí a spotřeby paliva .....	30
6.	ZAPALOVACÍ SVÍČKY .....	32
6.1.	Klíč k dobrému spalování .....	32
6.2.	Výkonnostní požadavky.....	32
6.3.	Konstrukce zapalovací svíčky .....	33
6.4.	Elektrická jiskra a potřebné napětí jiskry .....	35
6.5.	Provozní podmínky ovlivňující napětí zapalovací svíčky .....	36
6.6.	Tepelná hodnota .....	39
6.7.	Zhášení plamene ovlivňující tvorbu a šíření plamene .....	41
7.	TECHNOLOGIE DENSO: ZVYŠOVÁNÍ VÝKONU ZAPALOVACÍCH SVÍČEK .....	42
7.1.	Vývojové aktivity společnosti DENSO .....	42
7.2.	Materiály elektrod .....	43
7.3.	Materiály střední elektrody.....	44
7.4.	Zemnicí elektroda .....	45
7.5.	Další technologie používané u zapalovacích svíček DENSO .....	47
7.6.	Vývojové trendy .....	48
8.	PRODUKTOVÁ NABÍDKA DENSO .....	50
8.1.	Direct Fit.....	50
8.2.	Twin Tip.....	52
8.3.	Iridium Power.....	53
8.4.	Iridium Racing.....	54
9.	UPGRADUJTE SVÉ ZAPALOVACÍ SVÍČKY .....	56
9.1.	Proč upgradovat zapalovací svíčky? .....	56
9.2.	Výkon motoru.....	57
9.3.	Spotřeba paliva a emise .....	58
9.4.	Plynulý volnoběh, vynechávání zapalování a startování.....	59
9.5.	Vozidla přestavěná na LPG a CNG.....	60
9.6.	Tuning a závodění .....	61
10.	ČASTÉ DOTAZY, MONTÁŽ A ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ .....	62
10.1.	Časté dotazy.....	62
10.2.	Správná montáž zapalovacích svíček.....	64
10.3.	Řešení problémů.....	65

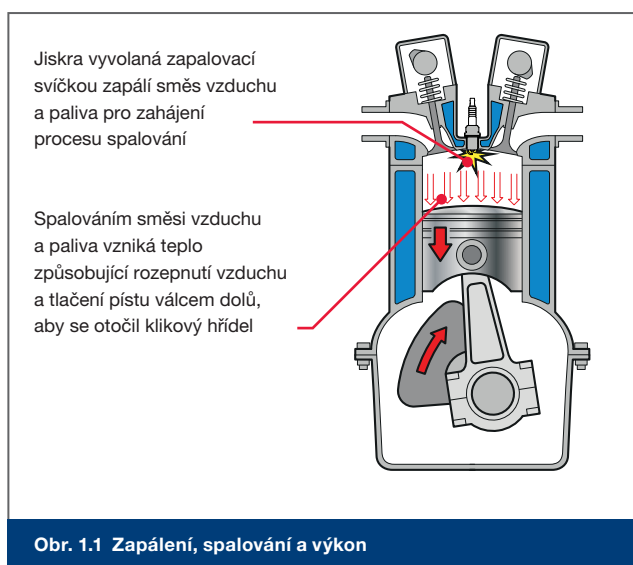


# 1. ÚVOD DO ZAPALOVACÍCH SVÍČEK A SPALOVÁNÍ

## 1.1 Zapalovací svíčky: kritická součást procesu spalování

### Spalovací motory: využívají tvorbu tepla k produkování výkonu

Spalovací motory produkují výkon využitím energie, která vzniká, když se vzduch ve válcích zahřeje spálením paliva. Teplo způsobí rychlé roztažení vzduchu, které vytlačí píst ve válci a následně otočí klikovým hřídelem (obr. 1.1).



Proces spalování je proto jednou z nejdůležitějších součástí celého pracovního cyklu motoru; pokud spalování není efektivní, motor nebude podávat požadovaný výkon. Neefektivní spalování navíc vytváří vysokou míru škodlivin a vede k nadměrné spotřebě paliva.

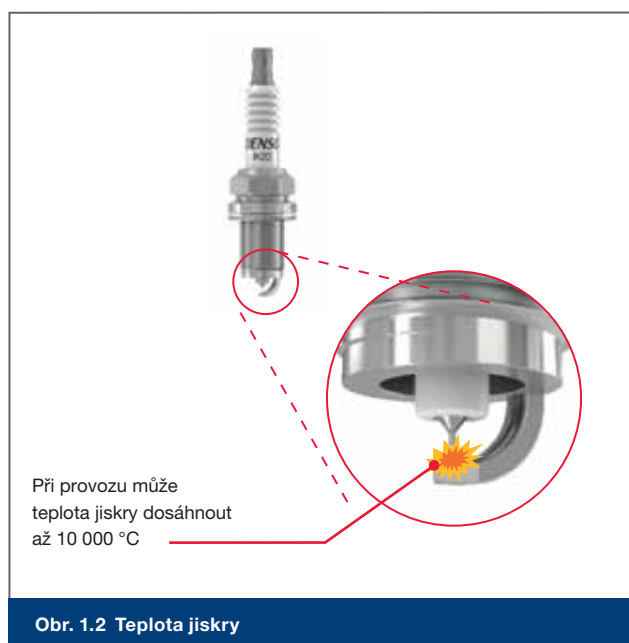
Pro dosažení efektivního spalování musí být vzduch ve válci v přesném poměru smíšen s malým množstvím paliva. Pohyb pístu pak směs stlačí do malého prostoru označovaného jako spalovací komora (viz kapitola 2).

Stlačením směsi vzduchu a paliva ve skutečnosti vznikne teplo, které je však pro zapálení směsi nedostatečné. Proto je pro iniciaci spalování zapotřebí přídatelný zdroj tepla. Přídatelné teplo poskytuje vznik jiskry (elektrického oblouku o vysoké teplotě) pomocí zapalovací svíčky strategicky umístěné ve spalovací komoře.

**Vzduch v atmosféře (a tedy i ve válci) je složen přibližně ze 78 % dusíku a přibližně 21 % kyslíku, společně s malými procenty argonu, oxidu uhličitého a několika dalších plynů. Palivo (benzín) se skládá z vodíku a uhlíku. Při procesu spalování, který uvolňuje energii uloženou v palivu, chemicky reaguje mnoho plynů a prvků obsažených ve vzduchu a palivu za vzniku dalších plynů. Proto když hovoříme o rozpínání vzduchu ve válci, jde ve skutečnosti o rozpínání směsi plynů.**

### Zapalovací svíčka je kritickým prvkem procesu spalování

Zapalovací soustava v přesném okamžiku dodá do zapalovací svíčky krátký vysokonapěťový impuls, který v malé mezeře na špičce zapalovací svíčky vytvoří jiskru. Ve středu, neboli jádru jiskry (obr. 1.2) může teplota krátce dosáhnout nebo i překročit 10 000 °C, což poskytuje dostatečné teplo pro zažehnutí malého množství směsi v blízkosti špičky zapalovací svíčky.

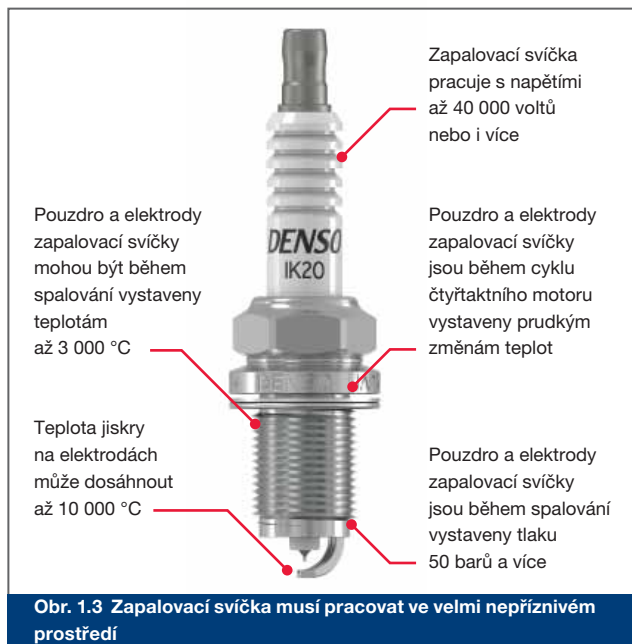


Toto počáteční zapálení vytvoří plamen, který se šíří do zbytku směsi, čímž dojde k zapálení celé stlačené směsi vzduchu a paliva ve spalovací komoře.

Teplo vzniklé procesem spalování pak způsobí rozepnutí stlačených plynů ve válci a vytlačení pístu podél stěn válce. Je to však právě zapalovací svíčka, která je kritickou součástí při vytvoření počáteční vysoké teploty, která spustí celý proces spalování.

1.1. Zapalovací svíčky: kritická součást procesu spalování	2
1.2. Provozní požadavky na moderní zapalovací svíčky	3
1.3. Různé zapalovací svíčky pro různé motory	4

## 1.2. Provozní požadavky na moderní zapalovací svíčky



### Teplota

I když mohou být elektrody zapalovací svíčky během velmi krátké doby při vzniku jiskry vystaveny teplotám až 10 000 °C, během delšího procesu spalování jsou pouzdro a elektrody zapalovací svíčky vystaveny teplotám okolo 3 000 °C. Dochází však také k prudkým změnám teplot, jako když při taktu sání vstoupí do válce čerstvý vzduch, který má okamžitý ochlazovací účinek na zapalovací svíčku, která byla právě vystavena vysokým teplotám při spalování.

Kromě možnosti, že vysoké teploty způsobí poškození elektrod a pouzdra zapalovací svíčky, existuje také možnost, že část zapalovací svíčky zůstane tak horká, že způsobí tzv. samozápal, tedy zážeh směsi vzduchu a paliva horkým místem na zapalovací svíčce, ještě než dojde k přeskoku jiskry. Toto předčasné zapálení směsi vzduchu a paliva způsobí předčasné spálení a k nárůstu tlaku a rozeptnutí plynu dojde příliš brzy. Předčasné rozeptnutí plynu a související nárůst tlaku bude tlačit píst válcem dolů ještě předtím, než píst dosáhne horní úvrati taktu stlačení (viz bod 5.3).

### Spolehlivost a trvanlivost

Bez ohledu na konstrukci motoru je místo ve válci, kde dochází ke spalování, velmi nepříznivým prostředím. Zapalovací svíčka musí vytvořit jiskru o vysoké teplotě, aby zažehla směs vzduchu a paliva. Zároveň musí dokázat vytvářet jiskru po mnoho tisíců kilometrů a mnoho milionů cyklů spalování.

### Napětí a jiskra

Hlavním úkolem zapalovací svíčky je pomocí vysokého napětí vytvořit velmi rychlou a intenzivní jiskru o vysoké teplotě. Napětí se obvykle pohybují v rozmezí 10 tisíc až 40 tisíc voltů (10 kV až 40 kV), ale současný trend směřuje k používání napětí 45 kV a vyšších. Konstrukce zapalovací svíčky musí proto zajišťovat dobrou izolaci mezi jednotlivými součástmi zapalovací svíčky, aby nedošlo k úniku vysokého napětí nebo zkratu k jiným součástem.

## Tlak

Při spalování může vznikat vysoký tlak typicky okolo 50 barů a více. U některých vysoce výkonných motorů však mohou být tyto tlaky mnohem vyšší.

Mezi pouzdrem svíčky a motorem proto musí být dobré tlakové utěsnění. Konstrukce zapalovací svíčky však musí zahrnovat také vnitřní utěsnění, které brání průniku horkých plynů o vysokém tlaku mezi jednotlivé komponenty zapalovací svíčky (obr. 1.4). Kromě ztráty tlaku by v případě průniku plynu konstrukcí zapalovací svíčky mohlo dojít také k poškození komponent svíčky.

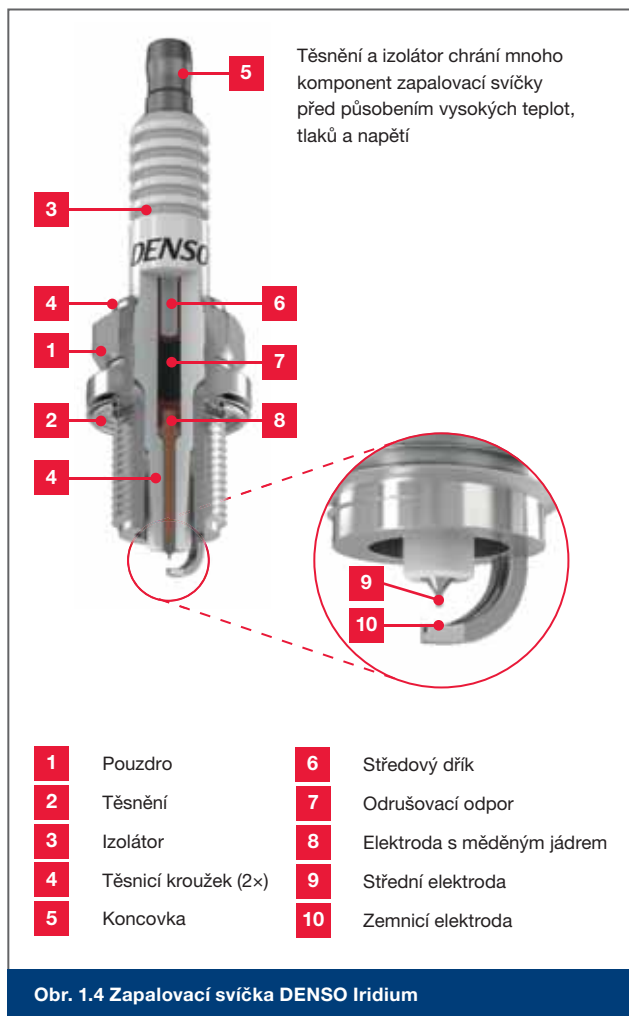
## Znečišťující látky a zanášení usazeninami

Při procesu spalování vzniká mnoho různých znečišťujících látek, včetně zbytků spáleného paliva a oleje, které se mohou usazovat na zapalovací svíčke a ovlivňovat výkon. Takže i když se zapalovací svíčka nesmí zahřát příliš, musí si zachovat dostatečnou teplotu, aby spálila znečišťující látky a bránila tvorbě usazenin (viz bod 6.6).

## Závěr

Důležitými vlastnostmi konstrukčního řešení spalovací svíčky je proto schopnost vydržet vysoké teploty a teplotní změny, společně se schopností vydržet vysoké tlaky; zároveň však musí pracovat s vysokými napětími, aby každých několik tisíců sekund produkovala žhavou jiskru, a to po celou dobu své provozní životnosti.

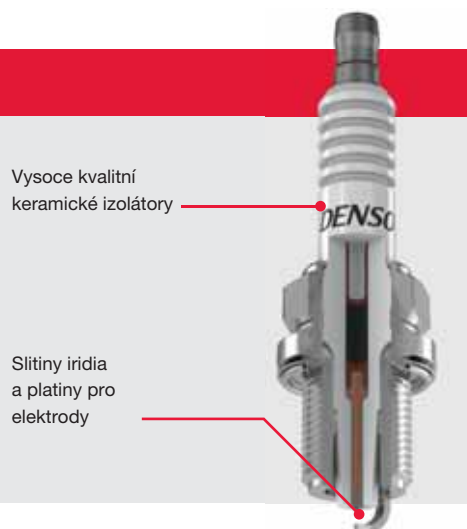
Pro zamezení škodlivým dopadům vysokých teplot musí být zapalovací svíčka schopna odvádět teplo ze svíčky do motorové skříně. Důležité ale je, že pokud by bylo odvedeno ze svíčky příliš mnoho tepla, mohlo by to snížit teplotu jiskry a způsobit špatné zapalování a spalování. Pokud by bylo odvedeno příliš mnoho tepla, zapalovací svíčka by navíc nemusela být schopna spálit znečišťující látky.



## PŘÍNOS SPOLEČNOSTI DENSO

### Použití drahých kovů a speciálních materiálů

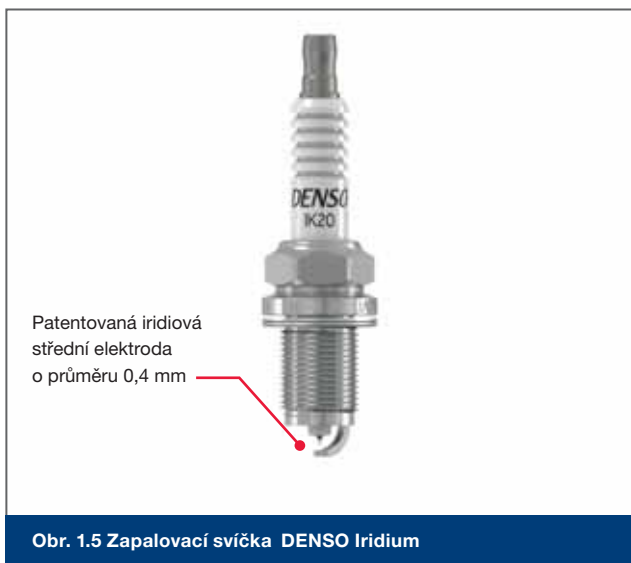
Materiály používané u zapalovacích svíček DENSO (jako jsou vysoce kvalitní keramické izolátory a drahé kovy ve slitinách iridia a platiny u elektrod) vydrží velice vysoké teploty v motoru a spalovací komoře. Proto jsou zapalovací svíčky DENSO jedny z nejtrvanlivějších na trhu.



### 1.3. Různé zapalovací svíčky pro různé motory

Různé konstrukce motoru nevyhnutelně vyžadují jiné velikosti zapalovacích svíček o různých celkových rozměrech. Před mnoha lety se objevil trend používat v motocyklových aplikacích štíhlé zapalovací svíčky. Ale i moderní automobilové motory se zmenšenými rozměry jsou nyní osazovány těmito štíhlými zapalovacími svíčkami, které stále musejí vydržet tytéž nepříznivé provozní podmínky.

Specifické provozní podmínky různých provedení motoru mohou ovlivňovat mnoho dalších konstrukčních prvků zapalovacích svíček. Na provedení zapalovací svíčky mohou mít vliv i teploty a tlaky u různých konstrukcí spalovací komory a použití vyšších napětí. Vzhledem k neustávajícímu důrazu na snižování emisí se provedení zapalovacích svíček neustále vyvíjí, aby splňovalo stále přísnější požadavky kladené na každou novou generaci motorů.



Mnoho různých provedení motoru by teoreticky vyžadovalo mnoho odlišných zapalovacích svíček se specifickými požadavky a parametry. Společnost DENSO však díky použití vyspělých konstrukčních prvků dokáže vyrábět relativně malou produktovou řadu zapalovacích svíček, které uspokojí požadavky u mnoha různých typů motorů. Zdokonalené zapalovací svíčky s vyššími parametry mohou nahradit mnoho zapalovacích svíček nižších specifikací.

Jedním z pokročilých konstrukčních prvků společnosti DENSO je použití iridia. Díky tomu může vyrábět zapalovací svíčky DENSO Iridium s ultratenkými středními elektrodami (o průměru 0,4 mm) (obr. 1.5).

Iridiové elektrody dovolují použít menší vzdálenost elektrod a nižší napětí v porovnání s méně vyspělými konstrukcemi zapalovacích svíček. Kromě vyšší pevnosti a nižšího elektrického odporu v porovnání s tradičnějšími materiály elektrod dokáže iridium vydržet vyšší teploty, a je proto trvanlivější.

**Použití iridiových elektrod a další konstrukční prvky zapalovacích svíček jsou podrobněji popsány v kapitolech 6, 7 a 8.**

## PŘÍNOS SPOLEČNOSTI DENSO

### Zapalovací svíčka DENSO pro každý motor

Unikátní zapalovací svíčky pro prvovýrobce

Když prvovýrobci vyvíjejí motor, vybírají si zapalovací svíčku podle svých požadavků. Nicméně vzhledem ke specifickým požadavkům na tento konkrétní motor mají prvovýrobci jiné potřeby než trh s náhradními díly.

#### K výhodám unikátních zapalovacích svíček pro prvovýrobce například patří:

- > Zapalovací svíčka s výkonem odpovídajícím nejméně minimálním požadavkům
- > Zapalovací svíčka s přijatelným intervalem výměny
- > Unikátní zapalovací svíčka je obvykle výsledkem splnění minimálních požadavků na výkon a trvanlivost za co nejnižších nákladů.

S unikátními zapalovacími svíčkami jsou obvykle spojeny přidané náklady na vývoj, nicméně vyráběná množství jsou často dostatečně velká, aby tyto náklady navíc kompenzovala.

Na nezávislém trhu s náhradními díly (tzv. aftermarket) někteří výrobci zapalovacích svíček rádi využívají těchto výhod a nabízejí na trhu své vlastní unikátní zapalovací svíčky jakožto originální svíčky. Například společnost DENSO vyrábí také zapalovací svíčky, které mají přesně stejnou specifikaci jako originální zapalovací svíčka.

Aby však bylo možné nabídnout kompletní sortiment produktů pokrývající všechna vozidla, bylo by zapotřebí více než 400 zapalovacích svíček.

#### Alternativní řešení od DENSO

Pro snížení tohoto počtu nabízí společnost DENSO alternativní řešení: dodáním zapalovací svíčky pro aftermarket s lepšími parametry než originál dokáže společnost DENSO nahradit mnoho různých typů zapalovacích svíček, které se často liší jen drobnými rozdíly. Například řada vysoce výkonných zapalovacích svíček „DENSO Twin Tip“ potřebuje jen 35 sortimentních položek, aby pokryla 90 % typů vozidel na trhu. Za tímto účelem byly vyvinuty vysoce výkonné zapalovací svíčky s jedinečným malým průměrem a elektrodami odolnými vůči opotřebením.

#### Závěr

Řada Twin Tip je vyvinuta s ohledem na nezávislý trh s náhradními díly a využívá vyspělé technologie, které pokrývají specifikace mnoha typů zapalovacích svíček. Vyrovnává se a často překonává zapalovací svíčky pro prvovýrobu a umožňuje nezávislému trhu s náhradními díly konsolidovat produktovou nabídku zapalovacích svíček.

Zapalovací svíčka  
Nickel



Zapalovací svíčka  
Platinum



Zapalovací svíčka  
Iridium



Zapalovací svíčka  
SIP



Zapalovací svíčka  
Nickel TT



Zapalovací svíčka  
Iridium TT



# 2. ČINNOST ČTYŘTAKTNÍHO MOTORU A PROCES SPALOVÁNÍ

## 2.1. Čtyřtaktní cyklus: sání, stlačení, zážeh, výfuk

Čtyřtaktní motor, který v roce 1876 vyvinul N. Otto a označuje se také jako Ottův motor nebo zážehový motor, je založen na cyklu čtyř procesů, kterými jsou takty sání, stlačení, zážeh a výfuk.

### (1) Takt sání

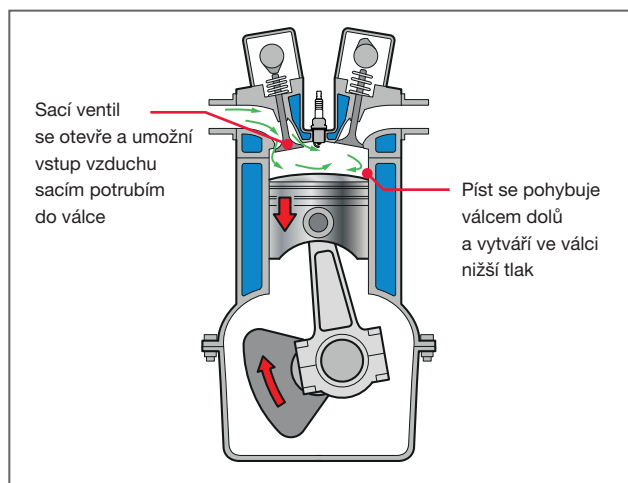
Během prvního taktu se píst pohybuje válcem dolů (obr. 2.1), čímž vzniká tlak nižší než atmosférický tlak, a protože je sací ventil otevřený, vzduch zvenčí válce (o atmosférickém tlaku) proudí do prostoru s nižším tlakem ve válci. Pohyb pístu vytváří efekt sání (neboli tlakový rozdíl), který dovnitř vtahuje vzduch.

V případě osazení motoru turbodmychadlem nebo přeplňováním je vzduch stlačený, což do válce sacím potrubím přivádí ještě více vzduchu.

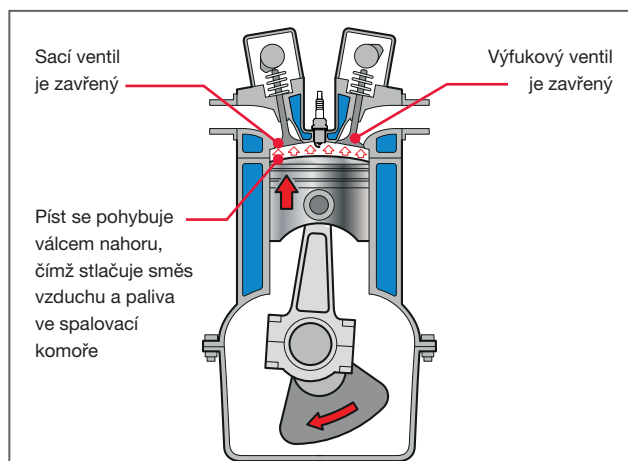
**U většiny v současnosti používaných motorů se požadované malé množství paliva smísí se vzduchem vstříknutím paliva do sacího potrubí během taktu sání, anebo někdy těsně před ním. Některé moderní motory jsou však vybaveny přímým vstříkáváním, kdy je palivo vstříkováno přímo do válce během taktu sání, nebo (za určitých provozních podmínek motoru) může být palivo vstříkováno v počátečních fázích taktu stlačení.**

### (2) Takt stlačení

Během 2. taktu (obr. 2.2) je sací ventil zavřený, čímž válec těsně uzavírá a brání úniku vzduchu nebo tlaku. Píst se ve válci zvedá, čímž stlačuje směs vzduchu a paliva na přibližně 1/10 jejího původního objemu (míra stlačení závisí na provedení motoru). Tlak ve válci proto bude teoreticky přibližně 10násobkem atmosférického tlaku (10 barů), nebo za určitých podmínek i vyšší, je-li motor vybaven turbodmychadlem nebo přeplňováním.



Obr. 2.1 Takt sání



Obr. 2.2 Takt stlačení



### (3) Takt zážehu (spálení nebo pracovní takt)

Během 3. taktu (obr. 2.3) vzniká spálením směsi vzduchu a paliva teplo způsobující rozeptnutí vzduchu a tlačení pístu válcem dolů, čímž vzniká síla potřebná k otočení klikového hřídele. Na rozdíl od vznětových motorů, které mají mnohem vyšší kompresní poměr, takt stlačení sice směs vzduchu a paliva zahřeje, ale ne natolik, aby se vznítila. Proto se pomocí zapalovací svíčky vytvoří žhavá jiskra, která poskytne potřebné teplo pro spuštění procesu spalování.

Teoreticky by měla být jiskra vytvořena přesně v okamžiku, kdy píst ve válci dosáhne horní úvrti (Top Dead Centre – TDC) a právě přechází do pohybu válcem zpět dolů. Ale protože zapálení a kompletní spálení směsi (a následné vytvoření vysokého tlaku ve válci) může trvat několik tisícín sekund, je nezbytné zahájit proces spalování o něco dříve, neboli v předstihu předtím, než jsou teplo a rozpínání ve skutečnosti zapotřebí. Zapalovací svíčka proto obvykle dodá jiskru pro zahájení spalování v době, kdy se píst teprve blíží své horní úvrti na konci taktu stlačení (viz bod 4.3).

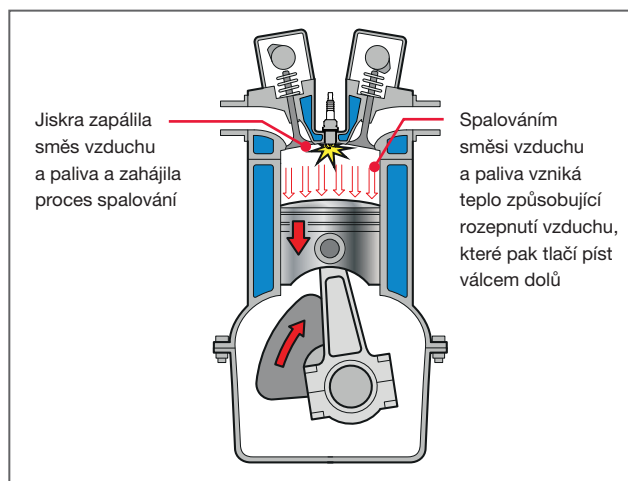
Tento předstih okamžiku vzniku jiskry a začátku spalování pak umožní, aby se postupně, avšak rychle uskutečnil zbytek procesu spalování a poskytl teplo pro rozpínání plynů ve válci.

Ačkoli tento takt obecně označujeme jako takt zážehu, lze jej také považovat za takt spálení nebo pracovní takt, protože právě během tohoto taktu se směs vzduchu a paliva spálí a vytvoří sílu, která tlačí válec dolů a pohání motor.

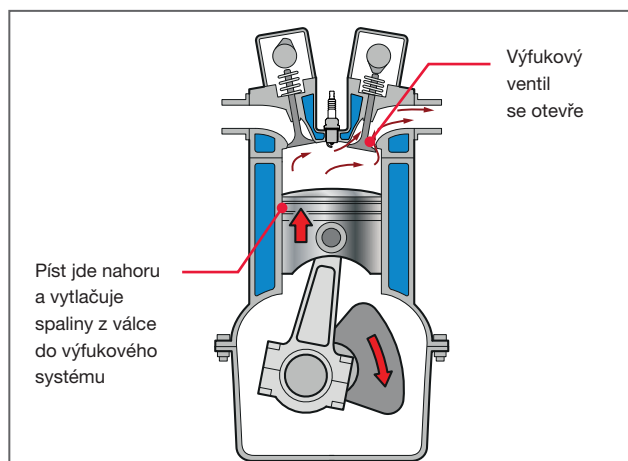
### (4) Takt výfuku

Během 4. taktu (obr. 2.4) se výfukový ventil otevře a roztočený klikový hřídel suně píst válcem nahoru, což vytlačuje spaliny z válce do výfukového systému.

Po tomto 4. taktu se výfukový ventil zavře a celý čtyřtaktní cyklus může začít znovu otevřením ventilu sání a vstupem čerstvé dávky směsi vzduchu a paliva do válce při novém taktu sání.



Obr. 2.3 Takt zážehu / pracovní takt



Obr 2.4 Takt výfuku

### Alternativní spalovací motory

Většina automobilových motorů funguje na bázi čtyřtaktního cyklu, ale některé motory využívají dvoutaktní cyklus nebo Wankelův rotační princip. Přestože jsou mezi nimi funkční rozdíly, všechny využívají stlačení směsi vzduchu a paliva, její zapálení zapalovací svíčkou a pomocí zvýšeného tlaku pak produkují rotační výkon.

# 3. ČINNOST CÍVKOVÉ ZAPALOVACÍ SOUSTAVY

## 3.1. Úkoly zapalovací soustavy

**Spolehlivost, dlouhé údržbové intervaly, podíl na snížení emisí**  
Zapalovací soustavy se v průběhu let vyvinuly ze základních mechanických systémů v technicky špičkové elektronické systémy, které můžete najít v moderních vozidlech. Přestože moderní motory pracují s vyššími teplotami a tlaky při spalování, chudšími směsmi vzduchu a paliva a vyššími otáčkami motoru, vylepšování konstrukce zapalovacích soustav neustále zvyšuje spolehlivost, snižuje spotřebu paliva, prodlužuje údržbové intervaly a zvyšuje výkon motoru. Moderní zapalovací soustavy však musí splňovat také zvýšené nároky na nižší emise.

### Dva hlavní úkoly

Zapalovací soustavy musí plnit dva hlavní úkoly:

- (1) produkovat vysoké napětí pro jiskru
- (2) dodat je v přesně daný okamžik.

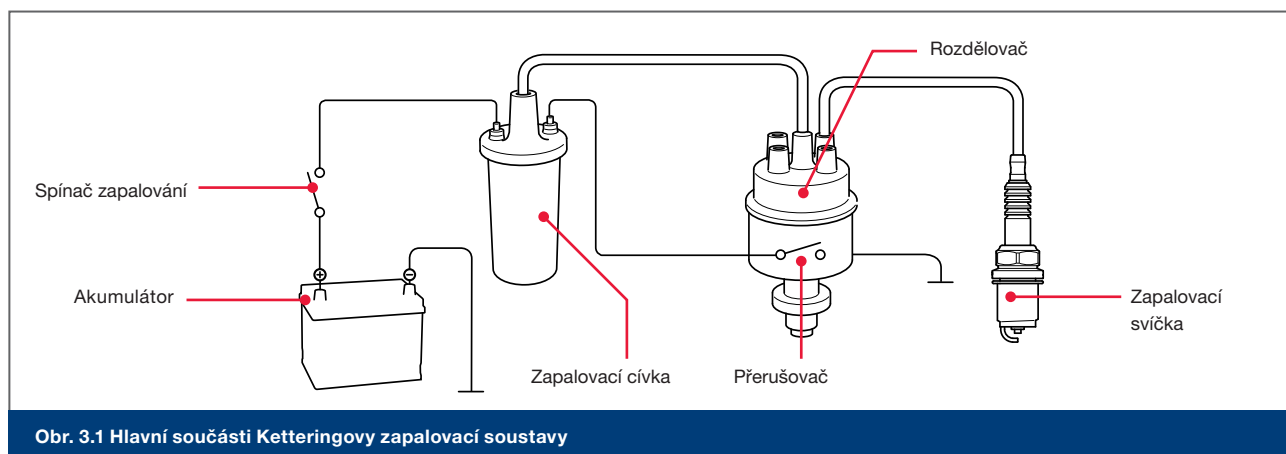
## 3.2. Úvod do cívkového zapalování

Kromě několika málo výjimek využívají zapalovací soustavy moderních zážehových motorů automobilů a motocyklů zapalovací cívky pro vytvoření vysokého napětí potřebného ke vzniku jiskry na zapalovací svíčke. Od 70. let minulého století se zapalovací soustavy díky použití elektroniky výrazně proměnily. Ale i moderní zapalovací soustavy jsou stále vývojovým stupněm původních cívkových zapalovacích soustav, které byly na trh uvedeny před více než 100 lety.

Vynález cívkové zapalovací soustavy je připisován americkému vynálezci Charlesi Ketteringovi, který vyvinul cívkovou zapalovací soustavu, jež byla v letech 1910/1911 původně osazována do vozidel Cadillac. Použití efektivní cívkové zapalovací soustavy bylo možné díky používání akumulátoru, který poskytoval elektrickou energii také spouštěcímu motoru (jenž pro Cadillac vyvinul také Kettering). Akumulátor, generátor a celá elektrická soustava vozidla poskytovaly zapalovací cívce relativně stabilní

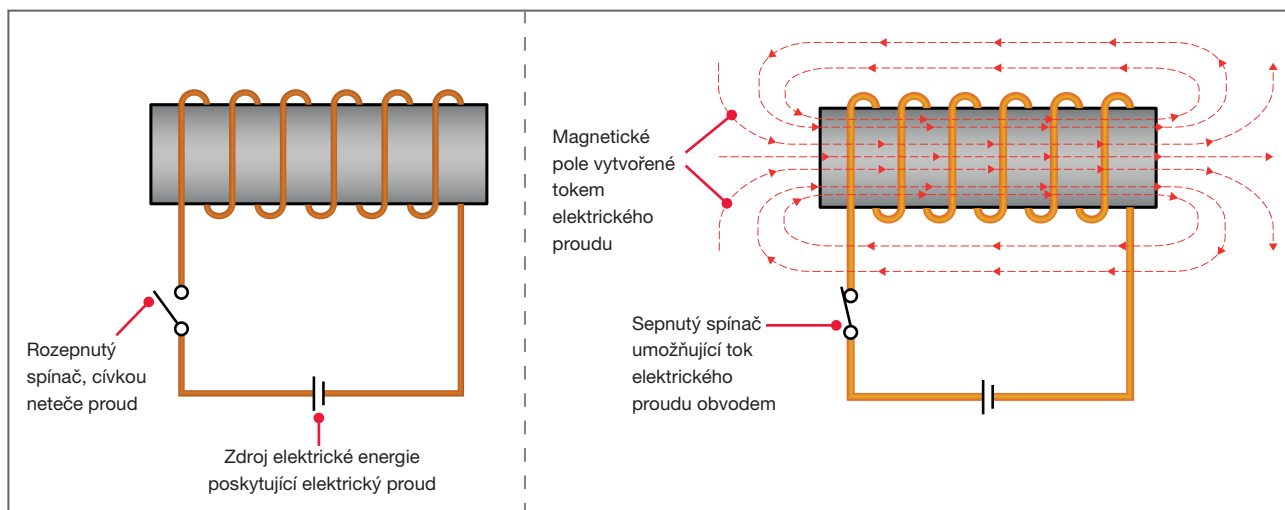
přívod elektrické energie. Ketteringův systém (obr. 3.1) pomocí jedné zapalovací cívky produkoval vysoké napětí, které pak rozváděl do zapalovacích svíček všech válců. Vysoké napětí ze zapalovací cívky bylo vedeno do raménka rozdělovače, které efektivně směřovalo vysoké napětí na sérii elektrických kontaktů v sestavě rozdělovače (jeden kontakt pro každý válec). Od těchto kontaktů pak vedly zapalovací kabely k zapalovacím svíčkám, a to v sekvenci, která umožňovala rozdělovat vysoké napětí zapalovacím svíčkám ve správném pořadí pro zažehování válců.

Ketteringova zapalovací soustava se postupně stala téměř jediným typem používaným pro sériově vyráběná vozidla se zážehovými motory, a to až do 70. až 80. let minulého století, kdy začaly mechanické zapalovací soustavy nahrazovat elektronicky spínané a řízené zapalovací soustavy. (Viz bod 4.1)



3.1. Úkoly zapalovací soustavy	8
3.2. Úvod do cívkového zapalování	8
3.3. Zapalovací cívky: transformace nízkého napětí na vysoké napětí	9
3.4. Doba nabíjení cívky a doba sepnutí	11
3.5. Okamžik zapálení: vytvoření jiskry ve správný čas	12

### 3.3. Zapalovací cívky: transformace nízkého napětí na vysoké napětí



Obr. 3.2 Vytvoření magnetického pole pomocí elektrického proudu

Pro vytváření potřebných vysokých napětí se v zapalovacích cívkách využívá vztah mezi elektrickým proudem a magnetickým polem.

#### Vytvoření magnetického pole pomocí elektrického proudu

Když vodičem, například cívkou drátu, prochází elektrický proud, okolo cívky vzniká magnetické pole (obr. 3.2). Magnetické pole (nebo přesněji magnetický tok) je v podstatě zásobárnou energie, kterou lze proměnit zpět na elektrický proud.

Při zapnutí elektrického proudu se tok proudu postupně, ale rychle zvyšuje na svou maximální hodnotu. Zároveň také postupně roste na svou maximální sílu magnetické pole, neboli magnetický tok, a po stabilizaci elektrického proudu se také stabilizuje. Při následném vypnutí elektrického proudu se magnetické pole zhroutí zpět k cívce drátu.

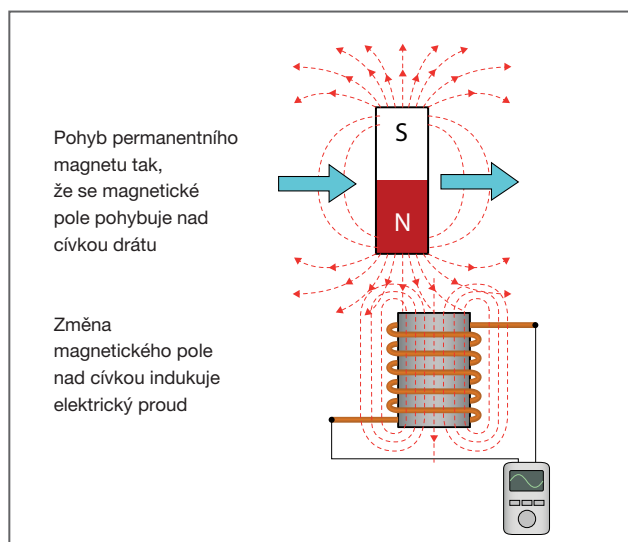
Sílu magnetického pole ovlivňují dva hlavní faktory:

- (1) Zvyšování proudu přiváděného do cívky drátu zvýší sílu magnetického pole.
- (2) Zvyšování počtu závitů v cívce zvýší sílu magnetického pole.

#### Indukování elektrického proudu změnami magnetického pole

Jestliže je cívka drátu vystavena magnetickému poli a magnetické pole se pak změní (nebo posune), v cívce drátu se vytvoří elektrický proud. Tento proces se označuje jako „indukce“.

Jednoduchým příkladem změny magnetického pole v okolí cívky drátu je pohyb permanentním magnetem nad cívkou. Pohyb nebo změna magnetického pole nebo magnetického toku pak v cívce drátu indukuje elektrický proud (obr. 3.3).



Obr. 3.3 Použití změny nebo pohybu magnetického pole pro indukování elektrického proudu v cívce drátu

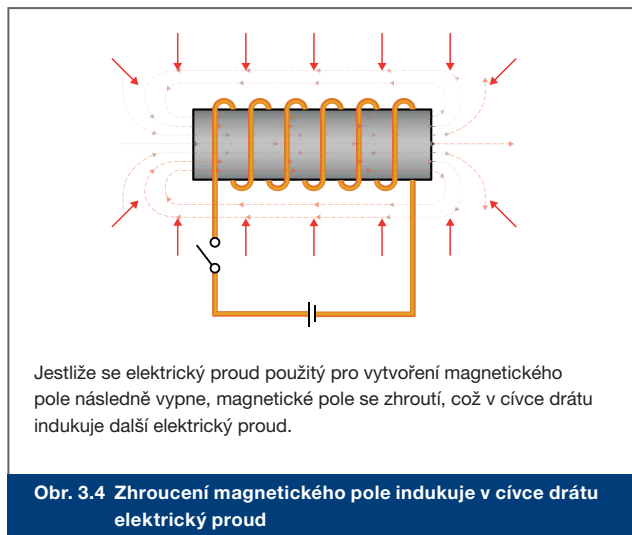
Množství napětí indukovaného v cívce ovlivňují dva hlavní faktory:

- (1) Čím rychlejší je změna (nebo rychlost pohybu) magnetického pole, a čím větší je změna síly magnetického pole, tím je indukované napětí větší.
- (2) Čím větší je počet závitů v cívce, tím je indukované napětí větší.

### 3. ČINNOST CÍVKOVÉ ZAPALOVACÍ SOUSTAVY

#### Indukování elektrického proudu změnami nebo zhroutěním magnetického pole

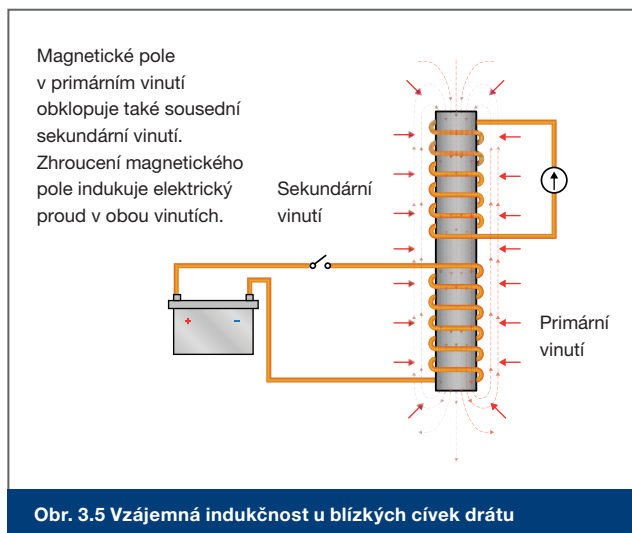
Když bylo přivedením elektrického proudu do cívky drátu vytvořeno magnetické pole, pak jakákoli změna elektrického proudu (zvýšení nebo snížení toku proudu) vytvoří stejnou změnu v magnetickém poli. Jestliže se elektrický proud vypne, magnetické pole se prudce změní – zhroutí. Toto zhroutění magnetického pole pak v cívce indukuje elektrický proud (obr. 3.4).



Zvýšení rychlosti pohybu magnetického pole nad cívku drátu zvýší napětí indukované v cívce, a stejně tak dokážeme-li způsobit zhroutění magnetického pole rychleji, bude se indukovat vyšší napětí. V cívce je možno indukovat vyšší napětí také v případě, že se zvýší počet závitů cívky.

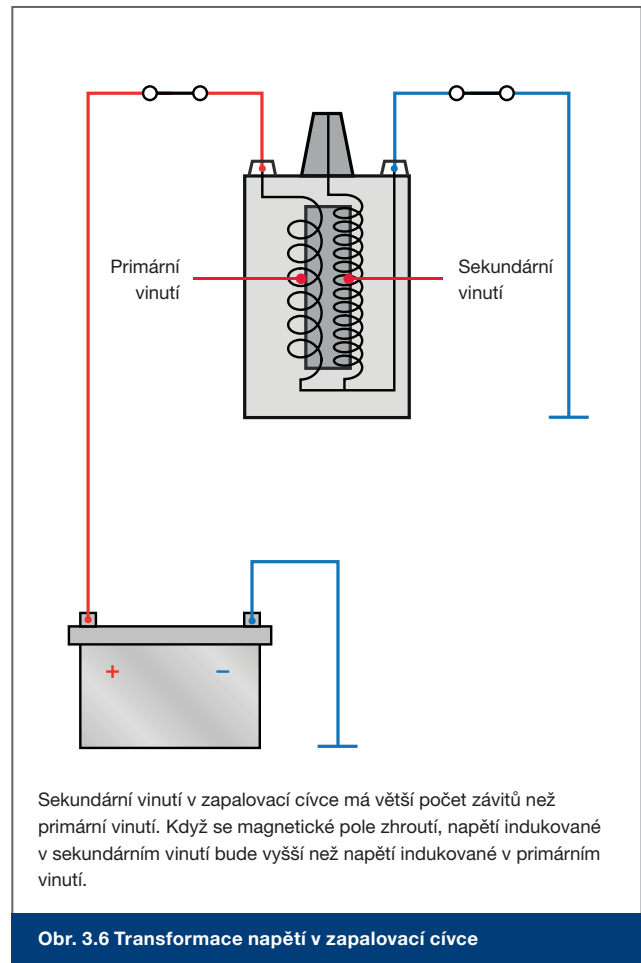
#### Vzájemná indukčnost a transformace

Jestliže jsou vedle sebe nebo na sebe umístěny dvě cívky drátu a pomocí elektrického proudu se vytvoří magnetické pole okolo jedné cívky (kterou nazýváme primárním vinutím), magnetické pole bude obklopotvat i druhou cívku (neboli sekundární vinutí). Když dojde k vypnutí elektrického proudu a následné změně nebo zhroutění magnetického pole, bude se v primárním i sekundárním vinutí indukovat napětí, což se označuje jako „vzájemná indukčnost“ (obr. 3.5).



U zapalovacích cívek (a mnoha typů elektrických transformátorů) má sekundární vinutí více závitů než primární vinutí. Když se magnetické pole zhroutí, indukuje se proto v sekundárním vinutí vyšší napětí než napětí indukované v primárním vinutí (obr. 3.6).

Primární vinutí zapalovací cívky typicky tvoří 150 až 300 závitů drátu, avšak sekundární vinutí může typicky tvořit 15 000 až 30 000 závitů drátu, což je přibližně 100krát více než u primárního vinutí.



Počáteční magnetické pole bude vytvořeno přivedením napětí přibližně 12 V z elektrického systému vozidla do primárního vinutí zapalovací cívky. Když je na zapalovací svíčke zapotřebí jiskra, zapalovací soustava vypne tok proudu do primárního vinutí, čímž se tok proudu náhle zastaví a způsobí zhroutění magnetického pole. Toto zhroutění magnetického pole pak v primárním vinutí indukuje napětí přibližně 200 V. Napětí indukované v sekundárním vinutí však bude zhruba 100krát vyšší, přibližně 20 000 V.

Využitím jevu vzájemné indukčnosti a použitím sekundárního vinutí se 100krát větším počtem závitů, než má primární vinutí, je proto možné transformovat původní přiváděné napětí 12 V na velmi vysoké napětí přibližně 20 000 V. Tento proces změny nízkého napětí na vysoké napětí lze označovat jako „transformaci“.

**V zapalovací cívce jsou primární a sekundární vinutí navinuta na železné jádro, které pomáhá koncentrovat a zvyšovat sílu magnetického pole a toku, a tím zvýšit účinnost zapalovací cívky.**



### 3.4. Doba nabíjení cívky a doba sepnutí

#### Čas potřebný pro vytvoření nebo nabití magnetického pole

Když se do primárního vinutí zapalovací cívky přivede elektrický proud, trvá krátkou dobu, než tok proudu dosáhne své maximální proudové hodnoty. Protože však síla magnetického pole (nebo magnetického toku) vytvořeného okolo vinutí je přímo úměrná proudovému toku, bude také trvat stejnou dobu, než magnetické pole dosáhne své maximální síly. Když jsou proudový tok a magnetické pole na svém maximu, magnetické pole pak zůstane stabilní.

Čas potřebný pro nárůst magnetického pole do jeho maximální síly se často označuje jako doba „nabíjení“ zapalovací cívky.

(1) Jestliže není elektrický proud přiváděn do primárního vinutí dostatečně dlouho, než tok proudu dosáhne své maximální síly.

(2) Jestliže je proud přiváděn příliš dlouho, může způsobit přehřátí elektrických obvodů a primárního vinutí.

**Požadované doby nabíjení se u různých typů zapalovacích cívek liší, nicméně u starších typů zapalovacích cívek je to typicky okolo 4 milisekund a u mnoha moderních typů cívek je to zhruba 1,5 milisekundy.**

Doba, po kterou zapalovací soustava přivádí elektrický proud do primárního vinutí zapalovací cívky, se často označuje jako „doba sepnutí“. U moderních zapalovacích soustav je doba sepnutí řízena elektronicky, aby byl vždy zajištěn dostatek času pro plné nabití cívky.

Ale u starších zapalovacích soustav mechanického typu se z důvodu omezení mechanicky ovládaného přerušovače doba sepnutí s rostoucími otáčkami motoru zkracovala. Proto při vyšších otáčkách motoru zkrácená doba sepnutí bránila nárůstu magnetického pole do plné síly.

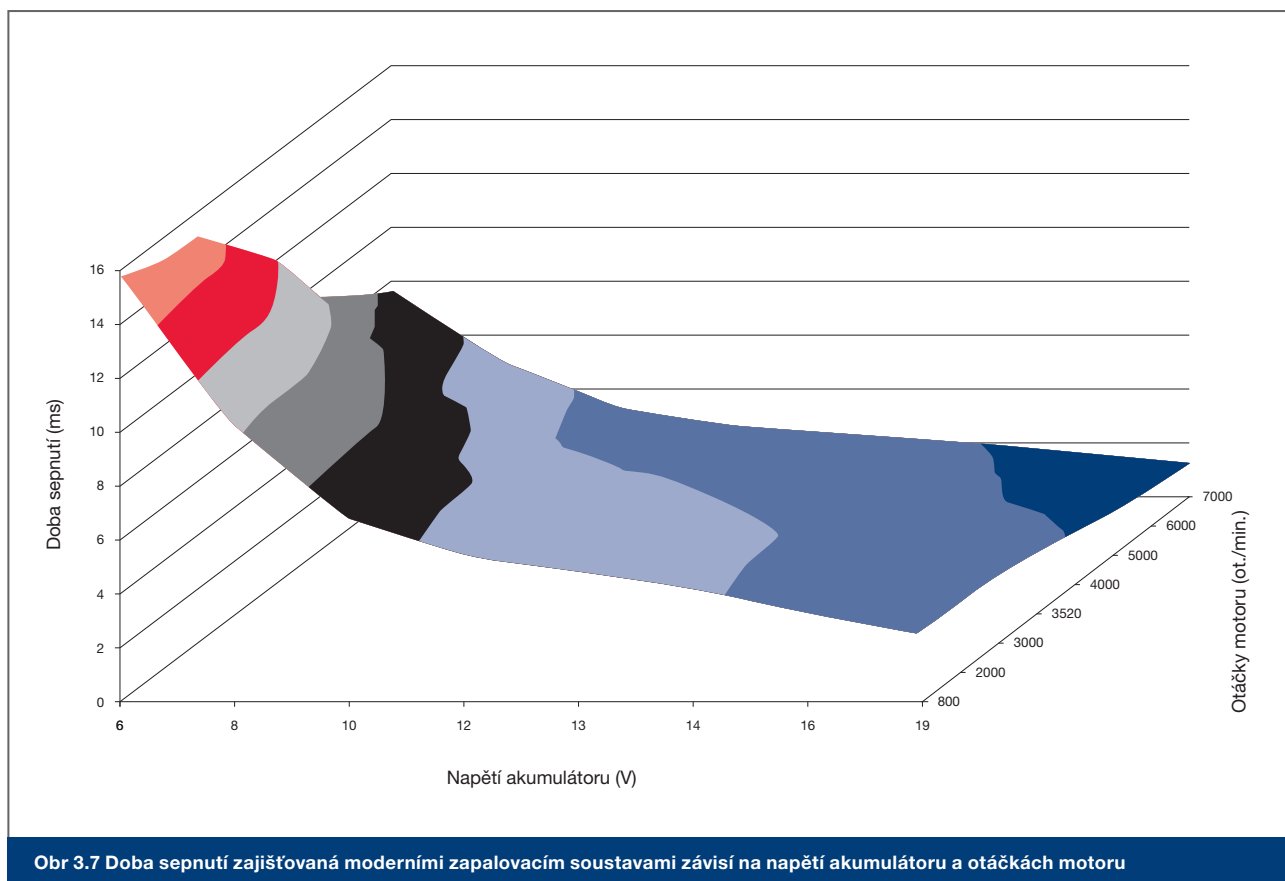
**Problém krátké doby sepnutí u mechanických zapalovacích soustav je vysvětlen v kapitole 4.**

#### Změna napětí ovlivňuje nabití cívky a dobu sepnutí

Jako u každého elektrického obvodu se změnami napětí mění i tok proudu. Jestliže se zvýší napětí dodávané elektrickým systémem vozidla do primárního vinutí, zvýší se i tok proudu primárním vinutím. Zvýšení toku proudu pak zkrátí potřebnou dobu nabití magnetického pole. Nicméně snížení napětí a toku proudu zvýší potřebnou dobu nabití magnetického pole k dosažení jeho plné síly.

Při běžné jízdě dochází k mírným změnám napětí v elektrickém systému vozidla, avšak ke značnému poklesu napětí může dojít při startování motoru, kdy může napětí akumulátoru výrazně poklesnout. Nízké napětí pak podstatně zvýší potřebnou dobu nabíjení cívky. Moderní elektronicky řízené zapalovací soustavy však dobu sepnutí upravují, aby kompenzovaly jakákoli zvýšení či snížení napětí.

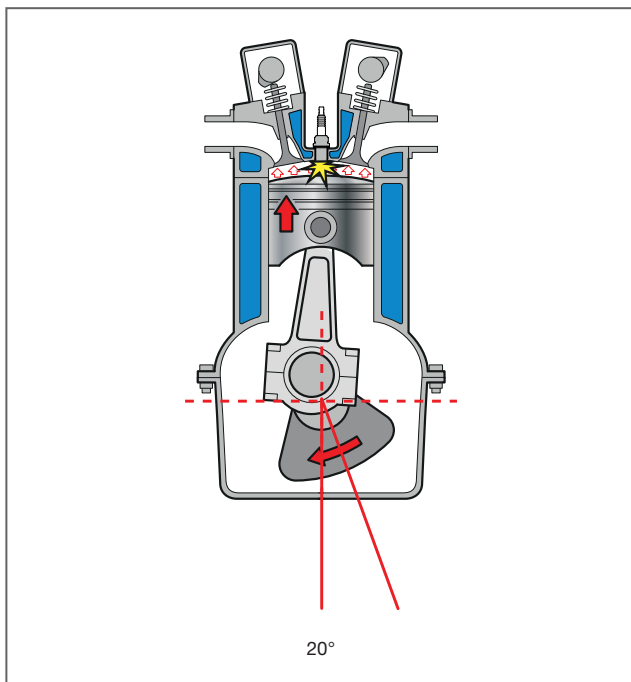
Obr. 3.7 znázorňuje typickou dobu sepnutí (v milisekundách) potřebnou pro různá napětí akumulátoru a otáčky motoru u moderní zapalovací soustavy.



Obr. 3.7 Doba sepnutí zajišťovaná moderními zapalovacími soustavami závisí na napětí akumulátoru a otáčkách motoru

#### 3.5. Okamžik zapálení: vytvoření jiskry ve správný čas

Pojem „okamžik zapálení“ popisuje okamžik, kdy na zapalovací svíčke vznikne jiskra. Okamžik zapálení se obvykle popisuje úhlem natočení klikového hřídele předtím, než píst dosáhne horní úvratí při taktu stlačení. Příklad na obr. 3.8 znázorňuje pozici klikového hřídele a pístu, jestliže okamžik zapálení nastane na 20° před horní úvratí.



Obr. 3.8 Okamžik zapálení na 20° před horní úvratí

#### Ponechání času na zpoždění zapálení, prohoření a nárůst tlaku

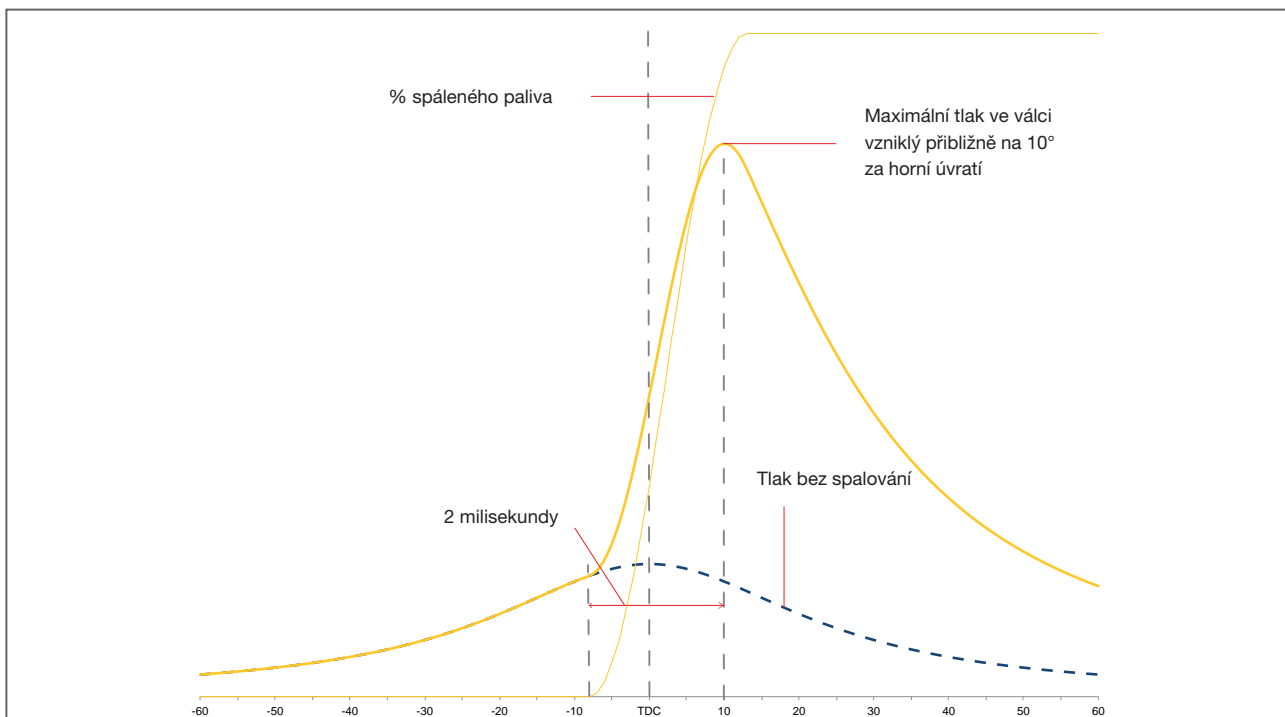
Motor obvykle podává maximální výkon, když dojde k maximálnímu tlaku ve válci na přibližně 10° za horní úvratí (když se píst zrovna začal pohybovat válcem dolů). Nicméně okamžik zapálení musí být nastaven tak, aby nastal předtím, než je požadován maximální tlak, protože mezi vytvořením jiskry a dosažením maximálního tlaku ve válci existuje zpoždění.

První zpoždění je dáno tzv. „zpožděním zapálení“, což je velmi krátká doba mezi vznikem jiskry a zahájením hoření směsi vzduchu a paliva. Potom ale také trvá nějakou dobu, než se oheň vzniklý při počátečním zapálení rozšíří zbytkem směsi, která se následně spálí a vytvoří teplo potřebné pro rozeptnutí plynů.

Tato zpoždění mezi okamžikem vzniku jiskry a dosažením maximálního tlaku ve válci mohou trvat okolo 2 milisekund. Proto je nutno jiskru vytvořit zhruba 2 milisekundy předtím, než je požadován maximální tlak.

**Přesná doba mezi vytvořením jiskry a dosažením maximálního tlaku se liší podle provozních podmínek a konstrukce motoru. Účinnost spalování je obecně lepší při středních otáčkách motoru, kdy se snižuje celková doba zpoždění. Tuto dobu zpoždění však ovlivňují také změny zatížení motoru a poměru směsi vzduchu a paliva, stejně jako používání recirkulace výfukových plynů.**

Obr. 3.9 znázorňuje příklad dosažení maximálního tlaku ve válci na 10° za horní úvratí, avšak z důvodu prodlev daných zpožděním zapalování a šířením hoření je jiskra dodána o 2 milisekundy dříve. Klikový hřídel se otáčí rychlostí 1 500 ot./min., což znamená, že se za 2 milisekundy otočí o 18°. Okamžik zapálení (vznik jiskry) je proto nastaven na 8° před horní úvratí.

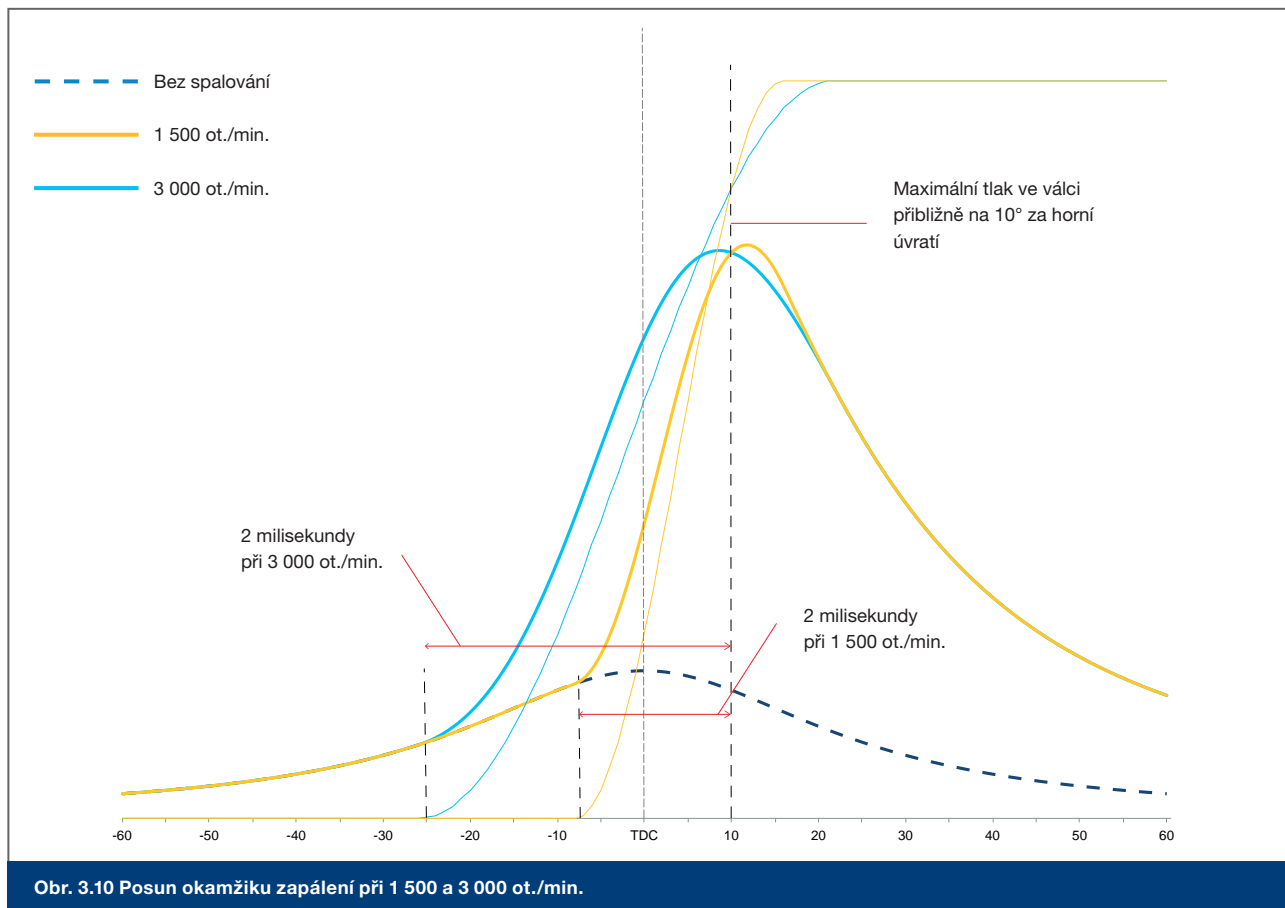


Obr. 3.9 Nastavení okamžiku zapálení přibližně 2 milisekundy předtím, než je požadován maximální tlak

### Nastavení dřívějšího okamžiku zapálení s rostoucími otáčkami motoru

Jestliže se pak rychlost otáčení motoru zvýší z 1 500 na 3 000 ot./min. (obr. 3.10), pak za předpokladu, že doba zpoždění je stále 2 milisekundy, se nyní klikový hřídel za tyto 2 milisekundy otočí o 36° (na rozdíl od 18° při 1 500 ot./min.). Aby tedy bylo dosaženo maximálního tlaku ve válci na 10° za horní úvratí, musí být nyní okamžik zapálení posunut na 26° před horní úvratí (na rozdíl od 8° při 1 500 ot./min.).

**Teoreticky by se měl okamžik zapálení posouvat přímo úměrně růstu otáček v celém rozsahu otáček motoru. Ale protože se při změně otáček motoru mění také účinnost motoru a spalování, velikost posunu okamžiku zapálení je u většiny moderních sériově vyráběných automobilových motorů obecně největší při zhruba 3 000 až 4 000 ot./min.**



## PŘÍNOS SPOLEČNOSTI DENSO

### Zapalovací svíčky DENSO: snižování nepravidelnosti ve zpoždění zapalování

Doba zpoždění zapalování může být nepravidelná a může se lišit od jednoho cyklu zapalování k druhému. Tyto nepravidelnosti pak zkracují nebo prodlužují celý proces spalování, což urychlí nebo opoždí okamžik, kdy dojde k maximálnímu tlaku ve válci.

Výrobci motorů musí proto do výpočtů časování zapalování zahrnout bezpečnostní

rezervu, aby zajistili, že okamžik zapálení a spálení nenastane příliš brzy.

V zapalovacích svíčkách DENSO se proto využívají tenké elektrody (patentovaný průměr 0,4 mm), které snižují nepravidelnost zpoždění zapalování. Díky tomu mohou výrobci motorů pracovat s menší bezpečnostní rezervou pro okamžik zapálení, který tak může být blíže optimálnímu nastavení, což zdokonaluje spalování a zvyšuje účinnost motoru.

#### Okamžik zapálení závisí na zatížení motoru

I když je optimální okamžik zapálení zpočátku závislý na otáčkách motoru, tento okamžik se mění také se změnami zatížení motoru.

Když motor běží v podmínkách nízkého zatížení, co obvykle znamená, že je škrticí klapka jen částečně otevřená, do válce bude vstupovat jen omezené množství vzduchu, a proto budou tlaky ve válci nižší, než za podmínek plného zatížení. A navíc může být u starších typů motorů, ale i u některých moderních motorů, za účelem snížení spotřeby paliva a emisí směs vzduchu a paliva chudší (méně benzínu smíšeného se vzduchem). V případě nižších tlaků ve válci a chudší směsi trvá spalování déle, což vyžaduje nastavení dřívějšího okamžiku zapálení, aby byl dostatek času pro spálení a stále se zajistil maximální tlak ve válci na 10° za horní úvratí.

**Za podmínek lehkého zatížení může systém EGR (systém recirkulace výfukových plynů) směřovat značná množství inertních výfukových plynů do válce, aby se snížila teplota spalování a množství škodlivých emisí. Použití systému EGR (viz bod 5.5) zpomaluje proces spalování, což opět vyžaduje posunutí okamžiku zapálení.**

#### Další provozní podmínky ovlivňující okamžik zapálení

U starších vozidel vybavených zapalovací soustavou mechanického typu (viz bod 4.1) závisel optimální okamžik zapálení pouze na otáčkách motoru a zatížení. Nicméně moderní elektronicky řízené zapalovací soustavy (které jsou obvykle součástí systému řízení motoru) upravují okamžik zapálení v závislosti na mnoha provozních podmínkách motoru, jako jsou: otáčky motoru, zatížení motoru, teplota chladicí kapaliny, teplota vzduchu, poměr směsi vzduchu a paliva, otevření škrticí klapky, kvalita paliva a míra činnosti systému EGR.

Různé provozní podmínky jsou detekovány různými snímači, které předávají provozní informace elektronickými signály do řídicího počítače motoru. Počítač pak monitoruje signály a optimalizuje okamžik zapálení na základě informací poskytovaných snímači.

#### Snímání klepání spalování

Mnoho moderních motorů je vybaveno také doplňkovým snímačem označovaným jako „snímač klepání“ nebo jiným zařízením pro snímání klepání. Může docházet k nepatrným změnám provozních podmínek motoru, které nejsou bezprostředně zjištělné pomocí jiných snímačů. Pokud však snímač klepání detekuje jakékoli dočasné nebo delší klepání spalování, předá tuto informaci do řídicí jednotky motoru (ECU). Jednotka ECU pak mírně zpozdí okamžik zapálení, dokud klepání nezmizí.

U motorů, které nebyly vybaveny všemi takovými moderními snímači, byl počítač zapalování naprogramován s předem definovanou mapou zapalování, která pokrývala pouze otáčky motoru a zatížení. Nicméně aby se zabránilo situaci, kdy okamžik zapálení nastane za kritických provozních podmínek příliš brzy nebo pozdě, byla do předem definované mapy časování začleněna bezpečnostní rezerva, která mohla okamžik zapálení například velmi mírně opozdit, aby nedocházelo ke klepání.

#### Dopady předčasného nebo opožděného okamžiku zapálení

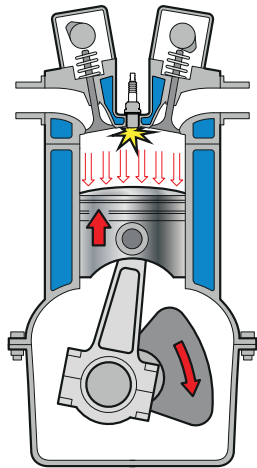
U většiny motorů a provozních podmínek nastává okamžik zapálení v pásmu od několika málo stupňů před horní úvratí za nízkých otáček motoru až po zhruba 30° nebo více před horní úvratí za vyšších otáček motoru. Avšak u starších motorů, které byly obecně méně účinné a měly méně efektivní provedení spalovací komory, mohl okamžik zapálení často nastat už na 45° před horní úvratí.

**U některých provedení motorů a za určitých provozních podmínek (které obvykle souvisely s emisemi) mohl být okamžik zapálení i těsně za horní úvratí.**

- (1) Optimální okamžik zapálení.** Optimální okamžik zapálení je nezbytný pro efektivní spalování, které následně vede k dobrému výkonu motoru, nižší spotřebě paliva a nižším emisím.
- (2) Předčasný okamžik zapálení.** Předčasné zapálení směsi vzduchu a paliva způsobí také předčasný nárůst tlaku ve válci a teploty. Tlak a teplota mohou být příliš vysoké a způsobit klepání motoru, zejména pokud významná část nárůstu tlaku nastane v době, kdy se píst stále ještě pohybuje válcem nahoru v taktu stlačení (obr. 3.11).
- (3) Opožděný okamžik zapálení.** Opožděné zapálení způsobí také opožděný nárůst tlaku způsobený spálením směsi. Píst se již posunul válcem dále než při normální činnosti, a proto bude síla nárůstu tlaku, která tlačí píst válcem dolů, bude snížena a vyvine se menší výkon (obr. 3.12).

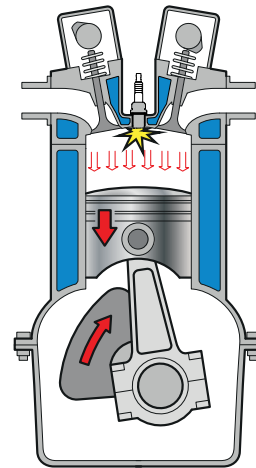
Na obr. 3.13 je porovnání dopadů předčasného, opožděného a optimálního okamžiku zapálení.





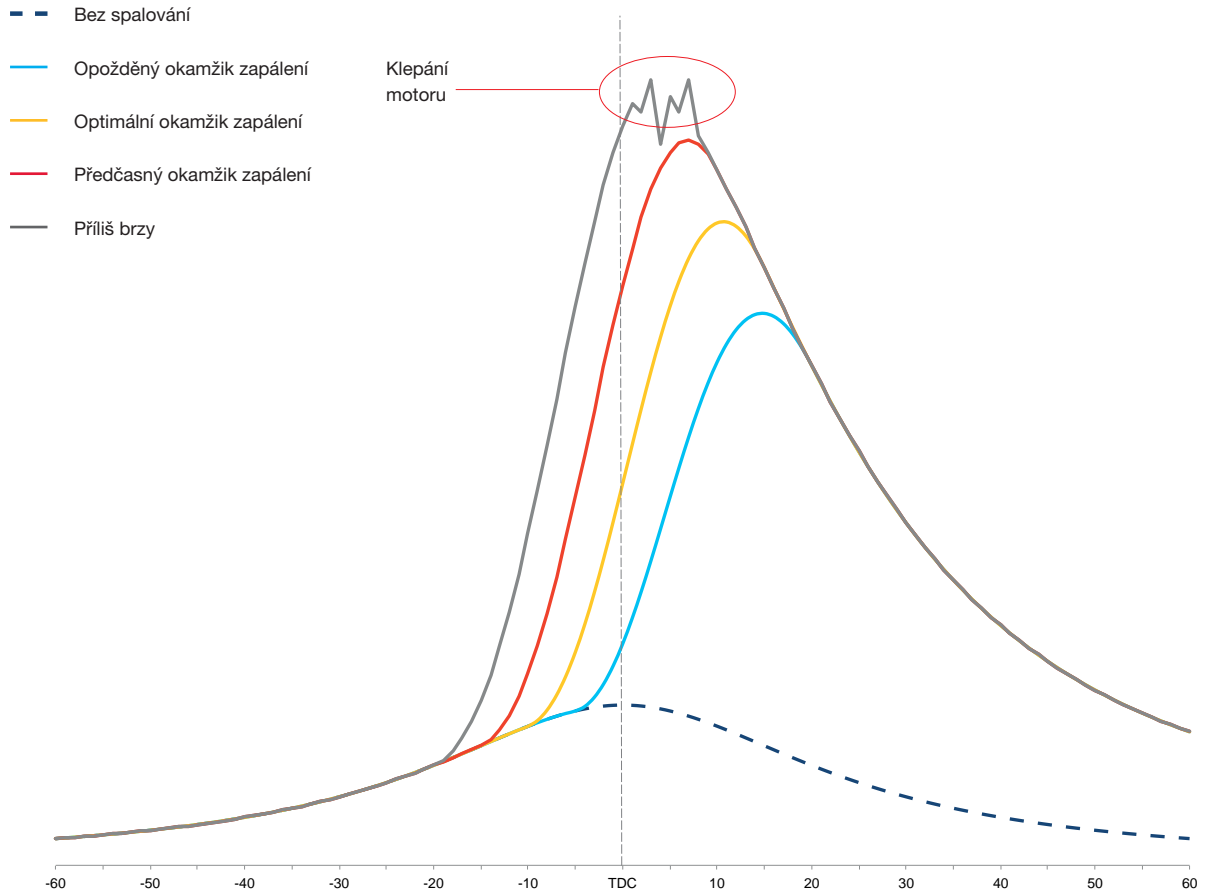
Pokud jiskra přeskočí příliš brzy (předčasný okamžik zapálení), tlak ve válci se zvýší příliš brzy, když se píst ještě zvedá v taktu stlačení. Toto předčasné zvýšení tlaku ve válci může způsobovat klepání motoru.

Obr. 3.11 Předčasný okamžik zapálení



Jestliže jiskra přeskočí příliš pozdě (opožděný okamžik zapálení), dojde i k nárůstu tlaku příliš pozdě. Píst se již mohl posunout v dalším taktu válcem dolů a nárůst tlaku způsobený spalováním proto bude mít mnohem nižší účinek na tlačení pístu válcem dolů.

Obr. 3.12 Opožděný okamžik zapálení



Obr. 3.13 Porovnání předčasného, opožděného a optimálního okamžiku zapálení

# 4. MECHANICKÉ A ELEKTRONICKÉ ZAPALOVACÍ SOUSTAVY

## 4.1. Základní mechanická zapalovací soustava

### Mechanické spínání primárního okruhu

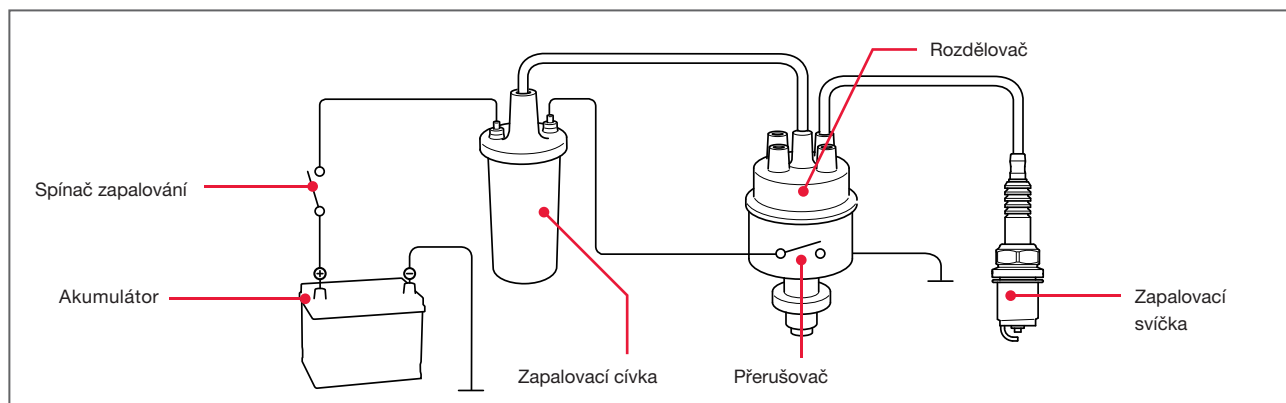
Obr. 4.1 znázorňuje hlavní součásti mechanické zapalovací soustavy založené na principech Ketteringovy zapalovací soustavy.

Z akumulátoru je přes spínač zapalování přiváděna elektrická energie 12 V do zapalovací cívky. Elektrická energie prochází primárním vinutím cívky a přes „přerušovač“ na kostru.

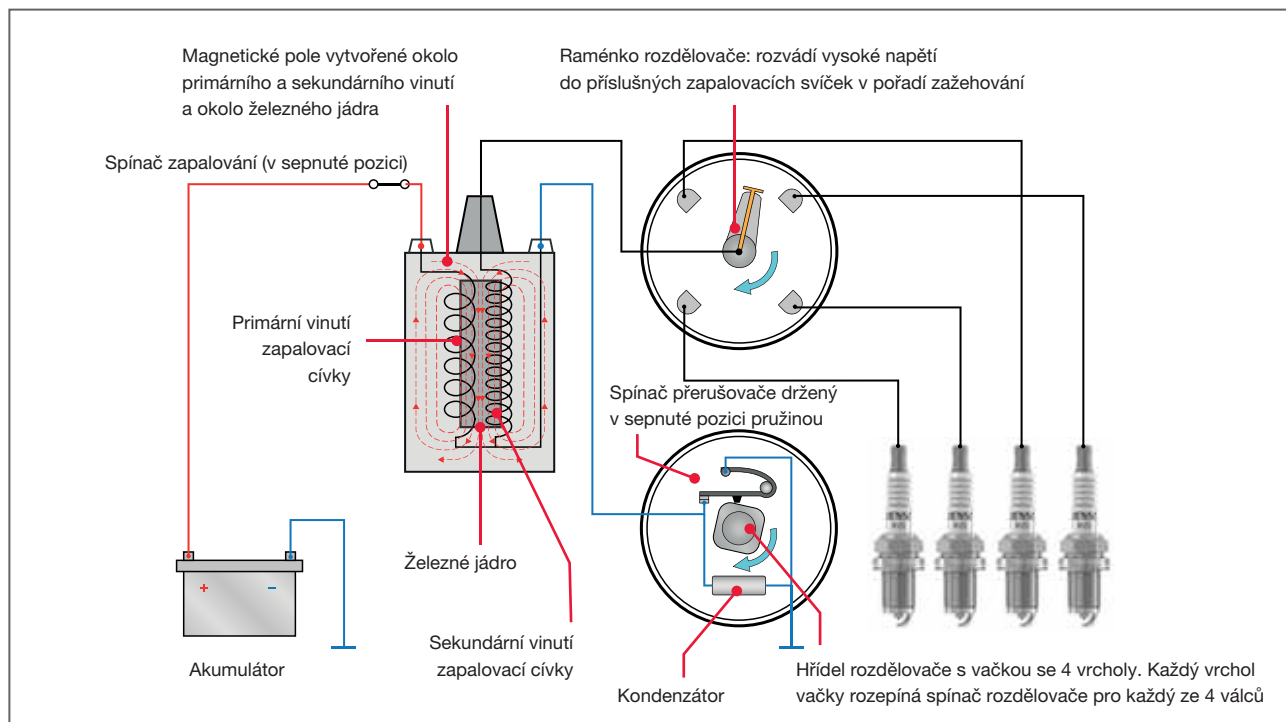
### První fáze činnosti: nabíjení cívky / doba sepnutí

Obr. 4.2 znázorňuje první fázi činnosti mechanicky řízené soustavy.

Z akumulátoru je přes spínač zapalování přiváděna elektrická energie 12 V do zapalovací cívky. Elektrická energie prochází primárním vinutím cívky a přes „přerušovač“ na kostru.



Obr. 4.1 Hlavní součásti mechanické zapalovací soustavy



Obr. 4.2 Činnost základní mechanické zapalovací soustavy. Fáze 1 – doba sepnutí vytvářející magnetické pole

4.1. Základní mechanická zapalovací soustava	16
4.2. Elektronické zapalovací soustavy staršího typu	20
4.3. Moderní elektronické zapalovací soustavy	21

Pružina tvořící součást sestavy přerušovače drží spínač v sepnuté pozici, což umožňuje průtok elektrického proudu primárním vinutím cívky. Průtok proudu pak vytváří magnetické pole okolo primárního a sekundárního vinutí.

**Pro zjednodušení je na obr. 4.2 znázorněno sekundární vinutí zapalovací cívky vedle primárního vinutí, ale ve skutečnosti jsou závitů primárního i sekundárního vinutí navinuty okolo železného jádra.**

#### Druhá fáze činnosti: vysokonapěťový výboj

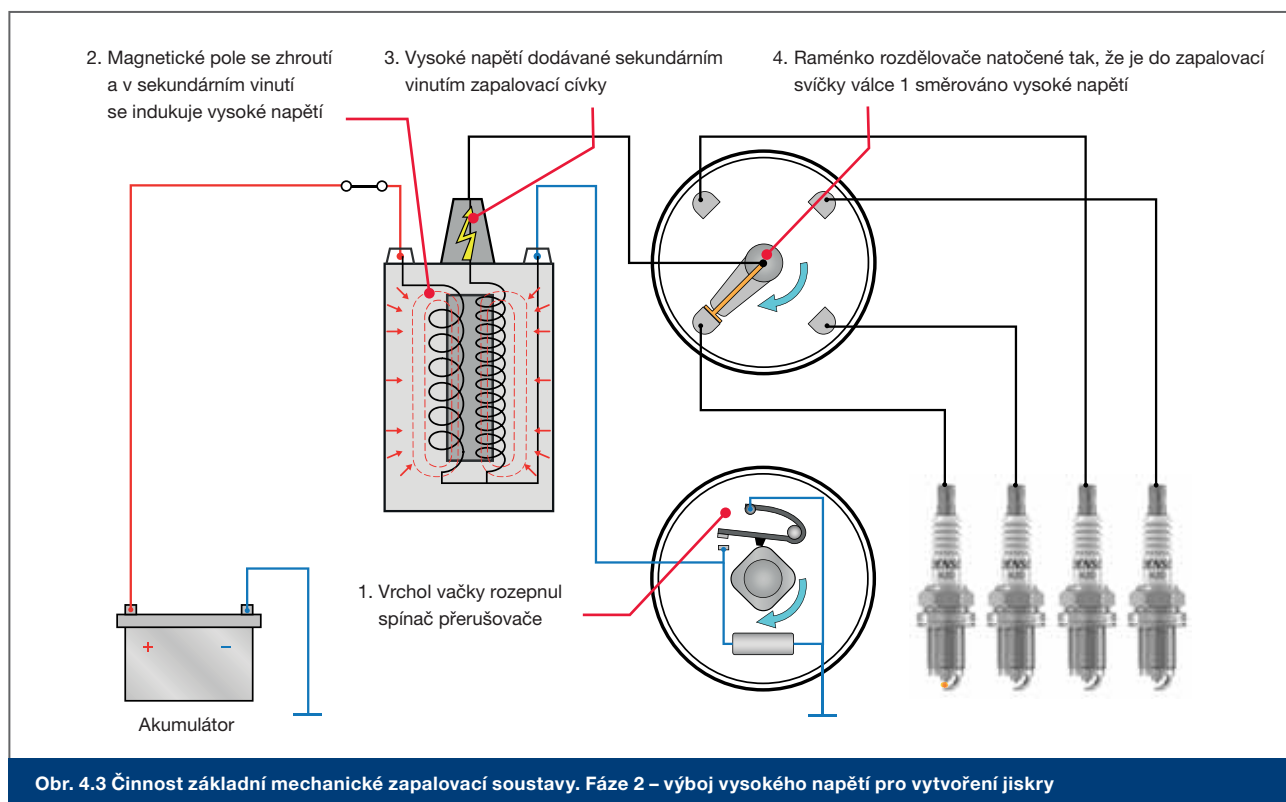
Na hřídeli v tělese rozdělovače je připevněna vačka s několika vrcholy (jeden pro každý válec) (obr. 4.3). Tento hřídel je spojen s klikovým hřídelem a otáčí se poloviční hodnotou otáček motoru. Otáčející se vrcholy vačky rozepínají v příslušném okamžiku spínač přerušovače, který okamžitě přerušuje tok proudu primárním vinutím cívky. Magnetické pole v okolí primárního a sekundárního vinutí se pak velmi rychle zhroutí, což v sekundárním vinutí indukuje vysoké napětí.

Vysoké napětí pak přejde izolovaným vodičem do raménka rozdělovače uvnitř víka rozdělovače. Protože i raménko rozdělovače se otáčí na hřídeli rozdělovače, může směřovat vysoké napětí ve správném pořadí na čtyři kontakty ve víku rozdělovače. Vysoké napětí pak přejde izolovaným vodičem do zapalovacích svíček.

#### Kondenzátor v primárním okruhu

Když se spínač přerušovače rozezne, zhroucení magnetického pole může v primárním vinutí indukovat elektrický proud o napětí přibližně 150 až 200 V. Tento proud bude mít snahu přeskočit přes rozeptý spínač přerušovače a vytvořit elektrický oblouk, který by rychle opálil čela kontaktů spínače. Tento indukovaný proud by ale také měl efekt v podobě udržování magnetického pole okolo primárního a sekundárního vinutí, čímž by bránil rychlému zhroucení magnetického pole, což by zase bránilo indukování vysokého napětí v sekundárním vinutí.

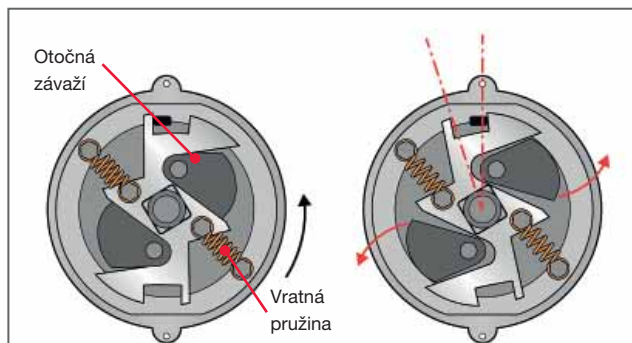
Proto je k primárnímu okruhu připojen kondenzátor, který indukované napětí účinně pohltí a uchová. Když se pak spínač přerušovače znovu sepně (aby znovu umožnil tok proudu primárním vinutím), kondenzátor může vybit uloženou elektrickou energii zpět do primárního okruhu, což pomůže vytvořit další magnetické pole.



### Systémy urychlení / oddálení okamžiku zapálení

V kapitole 3 je vysvětleno, že se při změně otáček a zatížení motoru musí měnit i okamžik zapálení.

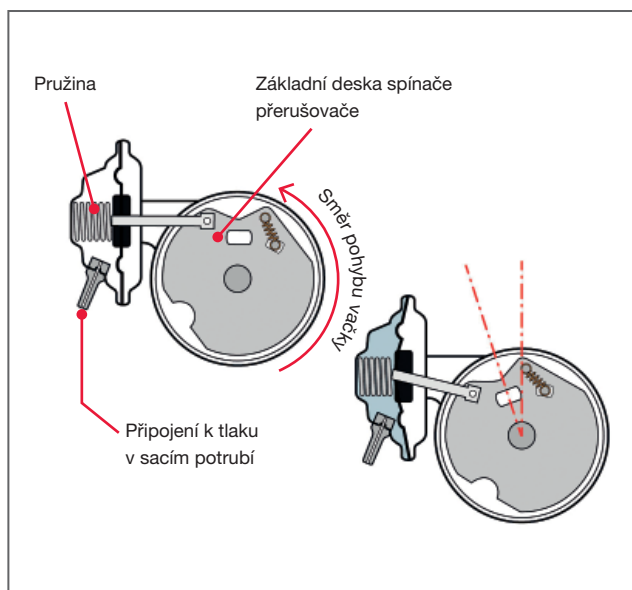
U mechanických zapalovacích soustav se urychlení okamžiku zapálení s rostoucími otáčkami motoru dosahuje pomocí otočných závaží a pružin (obr. 4.4). Závaží jsou namontována na desku připojenou k sestavě hřídele rotoru, proto se závaží a deska otáčejí společně s hřídelem. Když se zvyšují otáčky motoru, odstředivá síla vytlačuje závaží ven proti napětí malých pružin. Pohyb závaží pak pootočí vrcholy vaček na hřídeli rotoru, což vyvolá dřívější rozepnutí spínače přerušovače, a tím i urychlení okamžiku zapálení.



Obr. 4.4 Mechanismus regulace předstihu okamžiku zapálení podle rychlosti

Druhý mechanismus se pak používá k úpravě okamžiku zapálení se změnami zatížení motoru (obr. 4.5). Spínač přerušovače je namontován na základní desce, která se může v malém rozsahu natáčet ve směru nebo proti směru hodinových ručiček. Základní deska je pak spojena s membránovou komorou, do níž je trubkou přiváděn tlak v sacím potrubí.

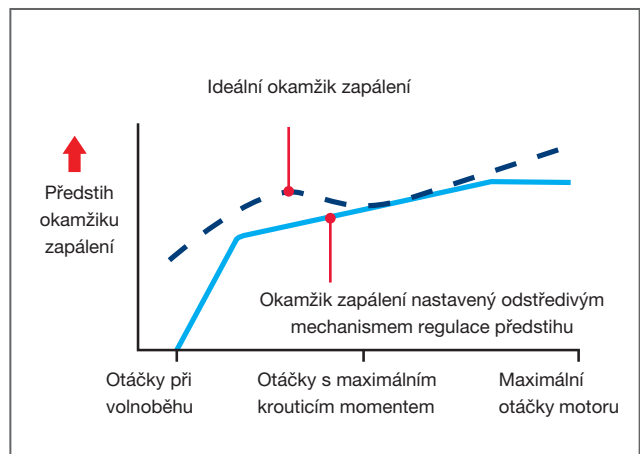
Když se tlak v sacím potrubí změní společně se změnou zatížení motoru, membrána se pohne a vyvolá mírné natočení základní desky a spínače přerušovače. Natočení základní desky a spínače pak upravuje okamžik zapálení společně se změnami zatížení motoru.



Obr. 4.5 Mechanismus regulace předstihu okamžiku zapálení podle zatížení motoru

### Omezení mechanických zapalovacích soustav

Přesnost okamžiku zapálení u mechanických zapalovacích soustav je omezena schopnostmi hardwaru. V rámci běžné údržby bylo často vyžadováno vyladění, seřízení a výměna součástí. Jako příklad těchto omezení obr. 4.6 znázorňuje typický graf závislosti předstihu okamžiku zapálení na otáčkách motoru u mechanické zapalovací soustavy v porovnání s ideálním požadovaným okamžikem zapálení.



Obr. 4.6 Omezení odstředivého mechanismu regulace předstihu

Díky použití progresivních vratných pružin (obr. 4.4) se předstih okamžiku zapálení zajišťovaný odstředivým systémem zvyšuje ve dvou lineárních krocích. Nicméně ideální předstih okamžiku zapálení se mění v nelineární progresi. Aby bylo zajištěno, že se okamžik zapálení nikdy neurychlí příliš, musí se odstředivá regulace nastavit tak, aby byl okamžik zapálení vždy za ideální hodnotou mírně opožděn.

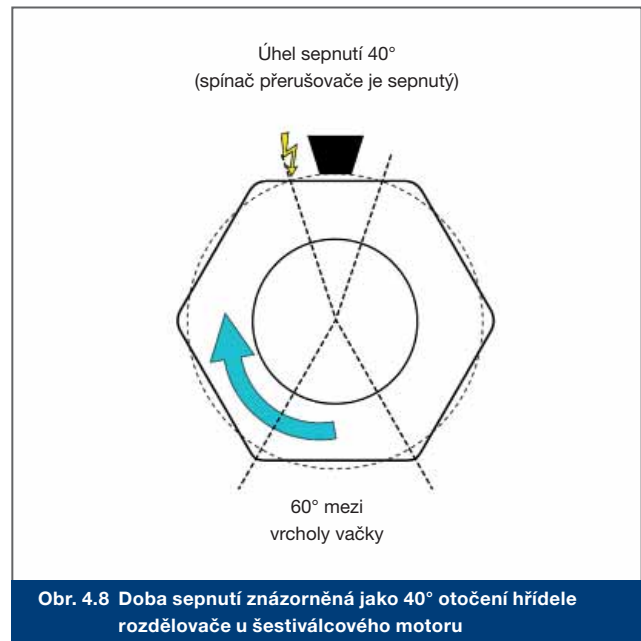
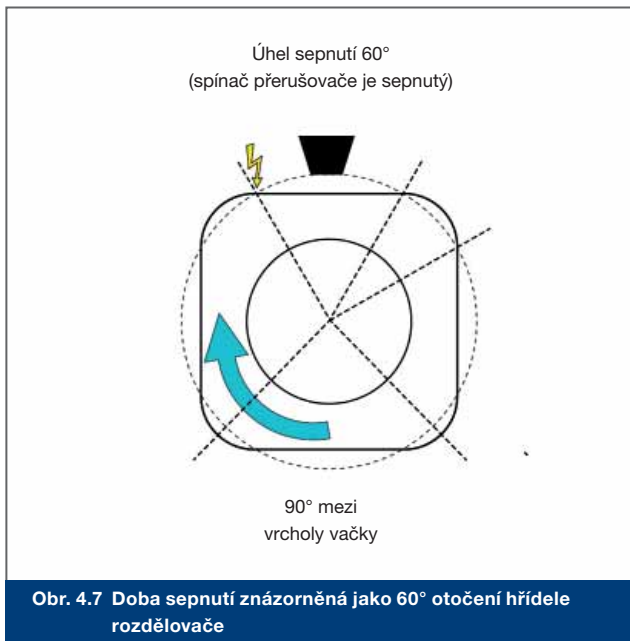
### Doba sepnutí / úhel sepnutí

U mechanické zapalovací soustavy začíná doba sepnutí okamžikem, kdy otáčející se vrcholy vačky umožní sepnutí spínače přerušovače, takže pak primárním vinutím cívky teče proud. Doba sepnutí se pak zastaví, když některý vrchol vačky opět způsobí rozepnutí spínače přerušovače, což vypne tok proudu do primárního vinutí. Doba sepnutí lze proto definovat jako úhel natočení vrcholu vačky, zatímco je spínač přerušovače v sepnuté pozici.

Obr. 4.7 znázorňuje 4 vrcholy vačky (u čtyřválcového motoru), což znamená, že mezi stejnými body sousedních vrcholů vaček bude úhel 90°. Tvar vrcholu vaček v tomto příkladu umožňuje, aby spínač přerušovače zůstal sepnutý po 60° otáčení. Proto zde je úhel sepnutí 60 stupňů otáček rozdělovače, když je spínač přerušovače sepnutý a proud protéká primárním vinutím cívky.

Pokud se například klikový hřídel otáčí rychlostí 1 000 ot./min., rotor rozdělovače (který se otáčí poloviční hodnotou otáček motoru) se bude otáčet rychlostí 500 ot./min. Při této rychlosti bude trvat 20 milisekund, než se hřídel rozdělovače otočí o úhel sepnutí 60°, ale protože zapalovací cívka vyžaduje dobu nabíjení jen přibližně 4 milisekundy, je doba sepnutí více než dostatečná pro nárůst magnetického pole v cívce.





Když se pak motor otáčí rychlostí 5 000 ot./min., stejných 60° rotace hřídele rozdělovače potrvá pouhé 4 milisekundy, což je přesně doba potřebná k nabití cívky s magnetickým polem o maximální síle. Pokud by se však měl motor otáčet rychleji, nebyl by dostatečný čas na plné nabití zapalovací cívky, což by vedlo ke snížení energie v magnetickém poli a přivodu menšího napětí na zapalovací svíčky.

Problém se zkrácením doby sepnutí při vyšších otáčkách motoru bude výraznější u motorů s více válci. Například u šestiválcového motoru bude vačka se šesti vrcholy, úhel mezi vrcholy bude pouze 60° (obr. 4.8) a úhel sepnutí bude pouze 40°. V důsledku to znamená, že při otáčkách motoru 5 000 ot./min. bude úhel sepnutí 40° trvat pouze 2,6 milisekundy. Jestliže plné nabití cívky vyžaduje 4 milisekundy, doba sepnutí bude příliš krátká, což povede k nižšímu napětí a případně i k vynechávání zapalování. K překonání problému se zkrácením doby sepnutí se u mechanických zapalovacích soustav využívala různá

řešení. Jedním řešením bylo použít výkonnější zapalovací cívku. Dalším, extrémním řešením, uplatňovaným u vysokootáčkových motorů s 8 nebo 12 válci, bylo osadit dva samostatné rozdělovače, každý s vlastní zapalovací cívkou. Motory tak v podstatě měly dvě samostatné zapalovací soustavy, které dodávaly vysoké napětí pro zapalovací svíčky poloviny válců motoru.

## PŘÍNOS SPOLEČNOSTI DENSO

### Na mechanické soustavě můžeme pochopit vývoj současných digitálních zapalovacích soustav.

Jednou z kritických součástí zapalovací soustavy, která nikdy nebyla nahrazena, a nejspíš ani nikdy nebude, je zapalovací svíčka.

Rozhodující význam má, aby zapalovací svíčka poskytovala vysoký výkon a přesně načasované zapálení. Společnost DENSO dobře rozumí tomu, že pro splnění těchto požadavků výrobců motorů je nezbytná vysoká kvalita. Pro dosažení tohoto cíle společnost DENSO využívá kombinaci těch nejlepších systémů s prověřenou kvalitou a mnohaletých zkušeností.

## 4.2. Elektronické zapalovací soustavy staršího typu

### Elektronické spínání vinutí primárního okruhu

První generace elektronických zapalovacích soustav byly v podstatě vývojovým stupněm mechanických soustav. Obr. 4.8 znázorňuje hlavní součásti elektronické soustavy rané generace, která zachovávala mechanické systémy regulace předstihu a raménko rozdělovače, využívané u plně mechanických soustav. Avšak jednou z hlavních změn u elektronické soustavy bylo použití elektroniky pro zapínání a vypínání toku proudu primárním vinutím namísto mechanického spínače přerušovače, který byl nepřesný a vyžadoval pravidelnou údržbu.

Tranzistor funguje jako elektronický spínač pro primární okruh a je součástí relativně jednoduchého zesilovače, který se často označuje jako „zapalovací modul“ nebo „zapalovač“. Zapalovače reagovaly na spouštěcí nebo časovací signál dodávaný snímačem časování nebo generátorem signálu, který se obvykle nacházel v tělese rozdělovače zapalování.

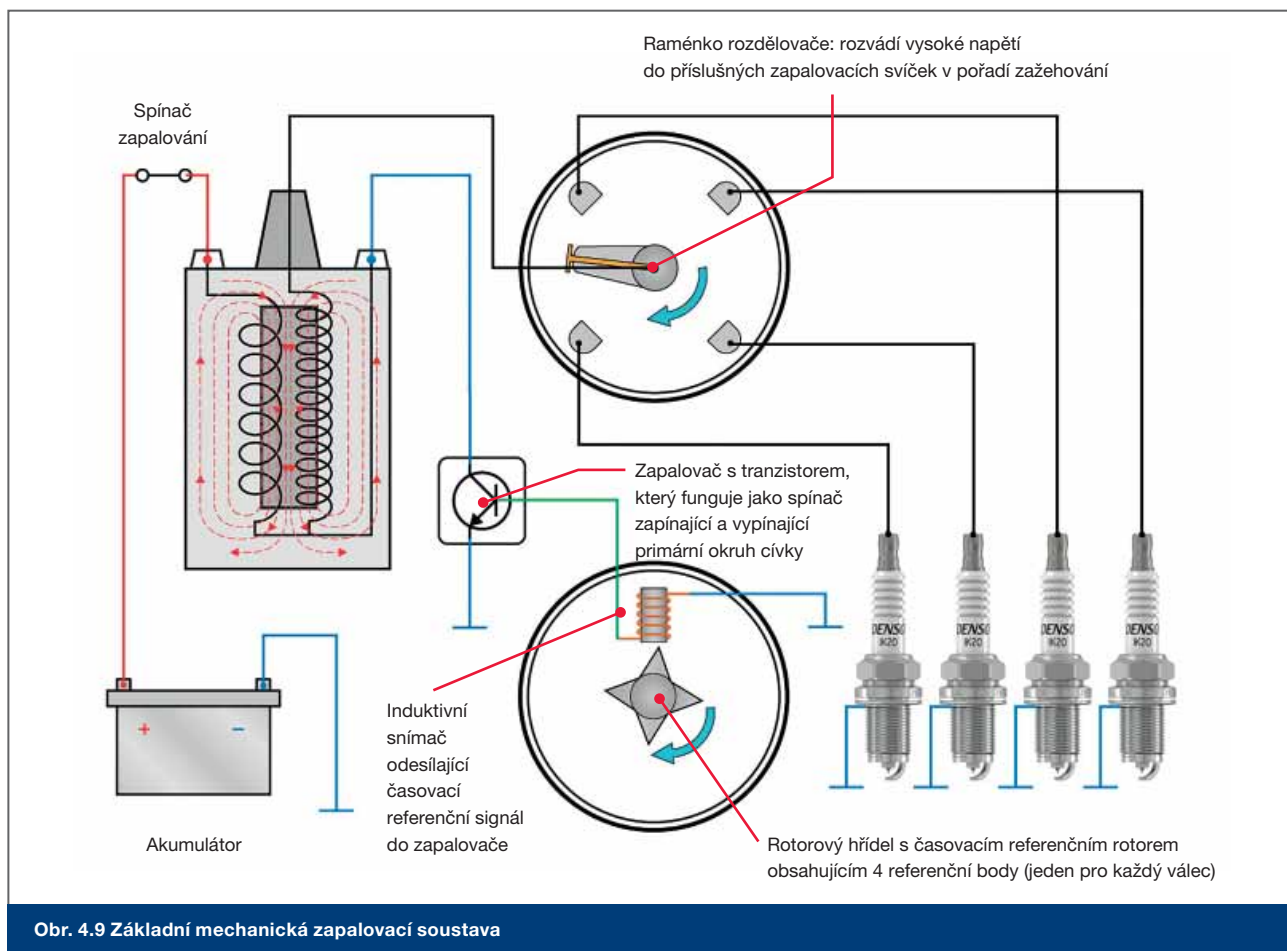
Existují dva hlavní typy snímačů časování – induktivní snímače a Hallovy snímače. Příklad znázorňuje induktivní typ snímače využívajícího referenční body (jeden pro každý válec) umístěné na hřídeli rotoru rozdělovače. Když se rotor otáčí, referenční body procházejí před malou cívkou drátu ovinutého okolo permanentního magnetu. Při průchodu jednotlivých referenčních bodů před magnetem a cívkou se magnetické pole změnilo nebo zakolísalo, což v cínce následně indukovalo malý elektrický proud, neboli elektrický impuls. Elektrické impulsy pak poskytovaly časovací referenční signál pro zapalovač, který pak vypnul elektrický proud přiváděný do primárního vinutí zapalovací cívkou.

### Konstantní doba sepnutí a konstantní energie

Přestože existovalo mnoho variací raných soustav, u většiny variant zapalovač řídil také okamžik zapnutí přívodu elektrického proudu do primárního vinutí i okamžik jeho vypnutí. Zapalovač tedy řídil i to, jak dlouho elektrický proud protékal primárním vinutím, což je doba sepnutí.

Na rozdíl od mechanických zapalovacích soustav, kde se s rostoucími otáčkami motoru doba sepnutí zkracuje, u elektronických soustav se doba sepnutí udržuje po relativně konstantní dobu, bez ohledu na otáčky motoru. Aby bylo navíc možno použít vysoce výkonné zapalovací cívkou pracující s vyšším tokem proudu primárním vinutím, obsahovaly zapalovače také elektronický omezovač proudu. Omezovač proudu zpočátku umožňuje průchod vysokého proudu primárním vinutím, ale jakmile proud dosáhne definované maximální hodnoty, je omezen, aby nedošlo k přehřívání okruhu.

Použití relativně konstantní doby sepnutí v kombinaci s omezováním proudu umožňuje téměř konstantní energii magnetického pole v zapalovací cívkou, bez ohledu na otáčky motoru a bez ohledu na běžné změny napětí akumulátoru. Tyto elektronické zapalovací soustavy se proto označovaly jako „zapalovací soustavy s konstantní energií“.



Obr. 4.9 Základní mechanická zapalovací soustava

### 4.3. Moderní elektronické zapalovací soustavy

#### Elektronické řízení časování

Přestože elektronické zapalovací soustavy raného typu zajišťovaly elektronické řízení doby sepnutí a spolehlivé spínání proudu tekoucího primárním vinutím cívky, stále využívaly mechanické systémy regulace předstihu. Tyto mechanické časovací systémy nedokázaly zajistit optimální okamžik zapálení při všech otáčkách a zatíženích motoru (viz bod 4.1). Z důvodu stále přísnějších emisních předpisů bylo zapotřebí přesnější a spolehlivější řízení okamžiku zapálení, což vedlo k zavedení elektronického řízení časování, které dokázalo konzistentně určovat optimální okamžik zapálení v širokém rozsahu provozních podmínek.

#### Řízení motoru: integrace s dalšími systémy motoru

Elektronické zapalovací soustavy se v průběhu 80. a 90. let minulého století postupně rozvíjely a získávaly další prvky a schopnosti. Vyspělejší elektronické zapalovací soustavy využívaly sofistikované počítače, neboli elektronické řídicí jednotky (Electronic Control Unit – ECU), ale zapalování, vstřikování paliva, řízení emisí a další systémy související s motorem stále fungovaly jako samostatné systémy. Protože byly všechny tyto samostatné systémy v podstatě řízeny počítačem a vyžadovaly stejné nebo podobné provozní údaje motoru, tyto různé systémy byly brzy integrovány do jediného systému řízení motoru, který využívá jeden počítač neboli ECU pro řízení činnosti všech těchto systémů.

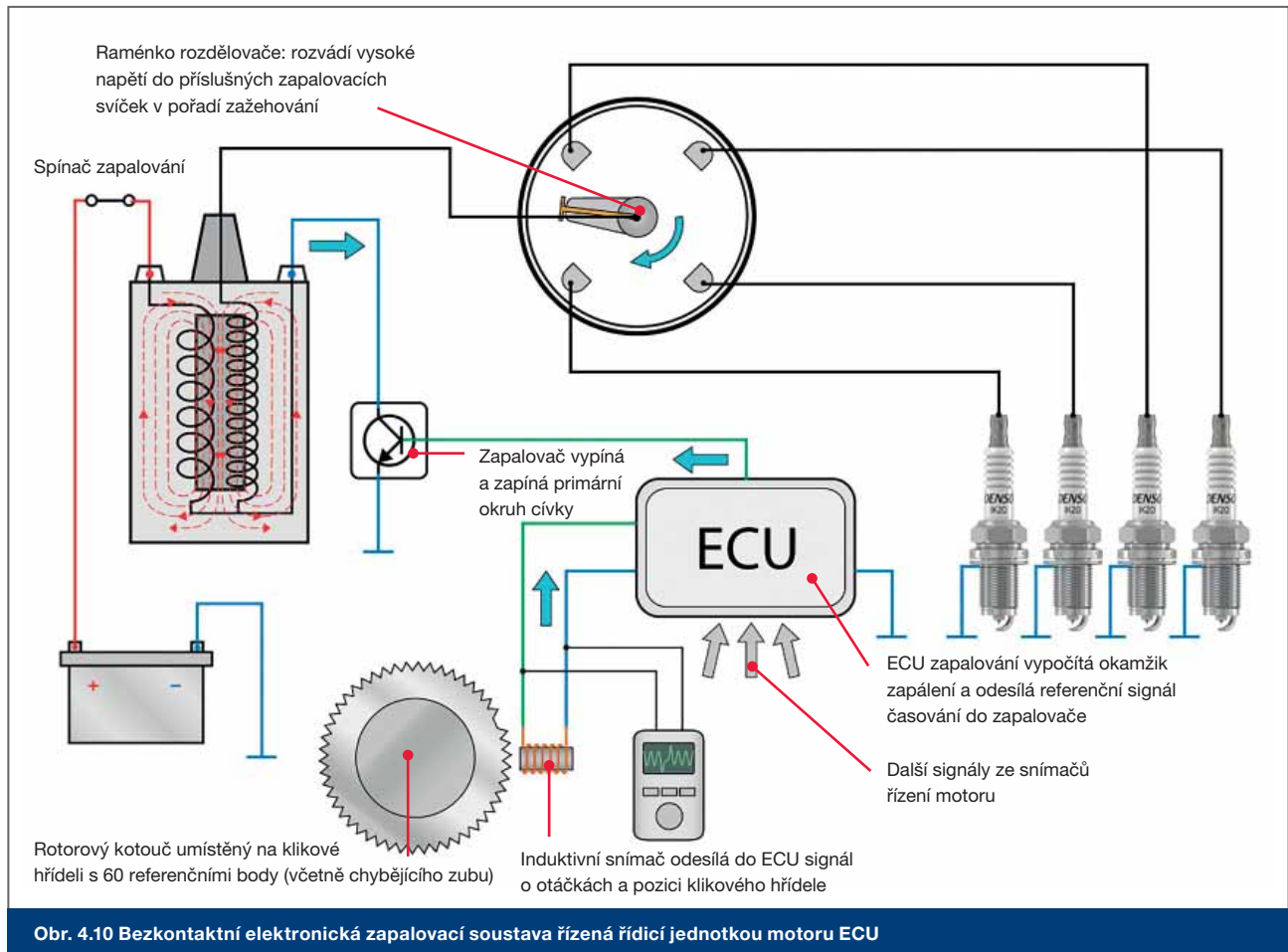
ECU umožňuje využívat další a přesnější provozní údaje motoru poskytované nejrůznějšími snímači (obr. 4.10). Snímače detekující provozní podmínky motoru, jako je rychlost a pozice klikového

hřídele, pozice vačkového hřídele, hmotnostní průtok vzduchu, pozice škrtkové klapky a teplota chladicí kapaliny. Údaje ze snímačů jsou předávány do ECU, která efektivně vypočte optimální okamžik zapálení na základě naprogramované mapy zapalování. ECU pak předá signál časování do zapalovače, který zapne a vypne tok elektrického proudu do primárního vinutí. Připomínáme, že u mnoha zapalovacích systémů je zapalovač ve skutečnosti integrován do ECU.

#### Reference časování a snímače otáček motoru

Příklad zapalovací soustavy na obr. 4.10 znázorňuje induktivní snímač umístěný vedle klikového hřídele. V tomto příkladu má rotorový kotouč připevněný ke klikové hřídeli 60 referenčních bodů, každý představující 6° otočky klikového hřídele. Když se klikový hřídel a kotouč otáčejí, jednotlivé referenční body procházejí před induktivním snímačem, což v cívice drátu umístěné v těle snímače indukuje malý elektrický impuls. Série referenčních impulsů je pak předávána do ECU zapalování, která tímto získává informace o otáčkách a pozici klikového hřídele. Chybějící zub na rotorovém kotouči poskytuje unikátní impuls (jak ukazuje osciloskop na obr. 4.10), který poskytuje hlavní referenci o konkrétní pozici klikového hřídele (obvykle označuje horní úvrať 1. válce). Na základě informací ze snímače pak ECU dokáže vypočítat přesnou úhlovou pozici klikového hřídele a poskytovat mimořádně přesný okamžik zapálení.

**Jiné zapalovací soustavy využívaly rotorové kotouče, které často tvořily součást přední kladky nebo setrvačnicku motoru. Kotouče mohou mít jen 2 referenční body nebo až 360 bodů.**



### Zapalování s více zapalovacími cívkami / bezkontaktní zapalování (Distributorless Ignition – DLI)

Jak jsme již uvedli, jednou z hlavních nevýhod používání jedné zapalovací cívkou je to, že za vysokých otáček motoru je k dispozici kratší doba sepnutí pro nárůst magnetického pole zapalovací cívkou do plné síly. Tento problém se projevuje zejména u vysokootáčkových motorů a u motorů se 6 nebo více válci, doba sepnutí však také získala zásadní význam, neboť je potřeba používat moderní zapalovací cívkou poskytující ještě vyšší napětí než v minulosti, aby se zvýšila efektivita zapalování a spalování.

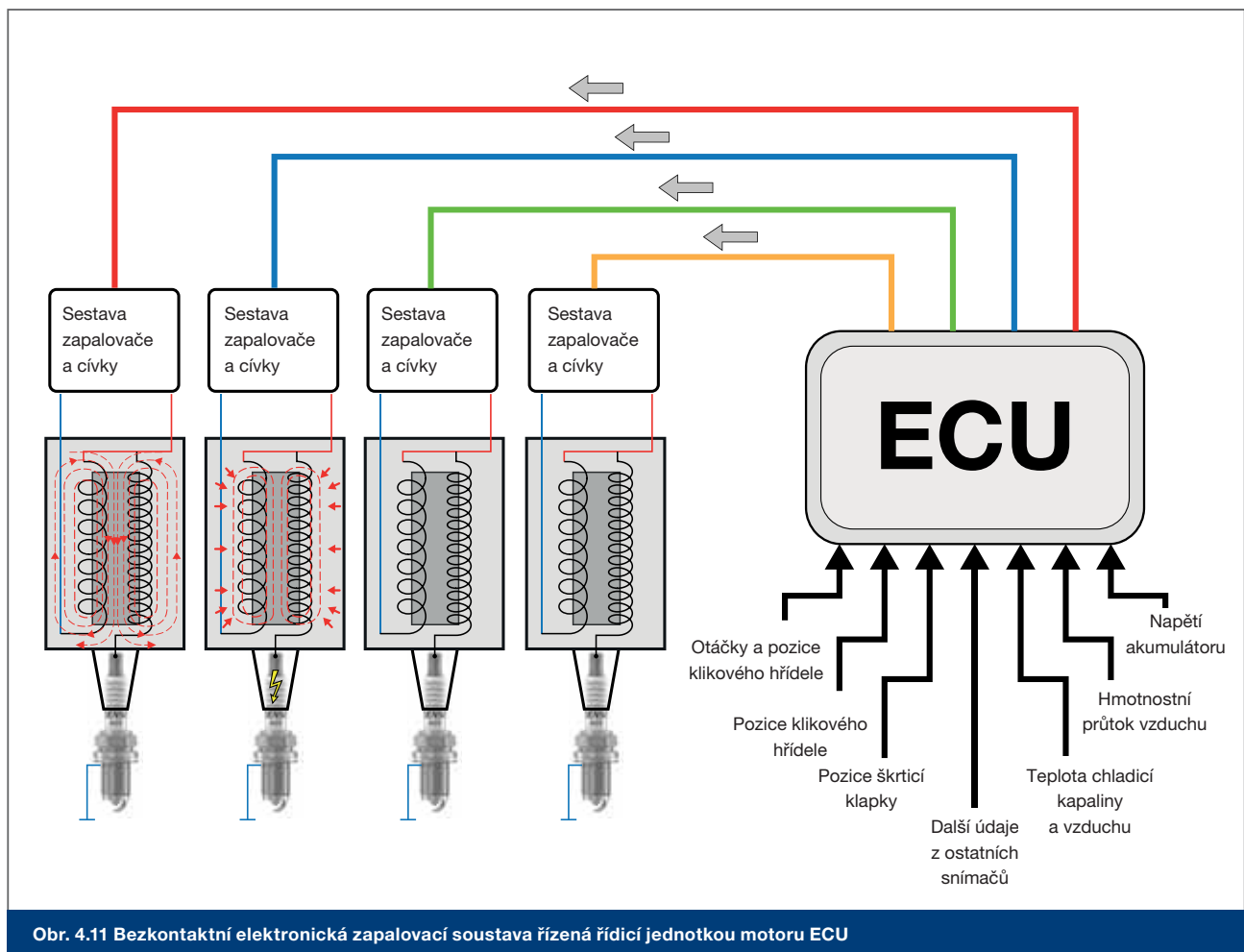
Logickým řešením je použít jednu cívkou pro každou zapalovací svíčku (viz obr. 4.11), což znamená, že se každá cívkou potřebuje během jednoho kompletního motorového cyklu nabít jen jednou. V porovnání s tím by se u 12válcového motoru s jednou zapalovací cívkou musela cívkou nabít až 12krát na každé 2 otáčky klikového hřídele. Když se pro každou zapalovací svíčku používá individuální cívkou, je pak pro každou cívkou potřeba individuální zapalovač. Individuální zapalovače lze integrovat do jednotky řízení motoru ECU nebo je umístit samostatně. Nicméně v dnešní době se používají zapalovací cívkou (jako jsou cívkou DENSO „tyčového“ typu) se zapalovačem integrovaným v sestavě cívkou.

Dalším přínosem používání individuálních zapalovacích cívkou je to, že již nejsou zapotřebí raménko a víko rozdělovače, čímž se odstraňuje hrozba elektrického oblouku, k němuž mohlo docházet na kontaktech víka rozdělovače. To v konečném důsledku snižuje nároky na údržbu a zvyšuje spolehlivost.

Nicméně některé typy bezkontaktních zážehových soustav stále využívají propojení zapalovacích cívkou se zapalovacími svíčkami pomocí izolovaných zapalovacích kabelů. U většiny moderních systémů řízení motoru jsou však zapalovací cívkou osazeny přímo na zapalovací svíčky, což odstraňuje potřebu zapalovacích kabelů.

Díky moderním technologiím jsou nyní počítače výkonnější. Jeden počítač zvládne to, na co jich bylo dříve potřeba mnoho. To platí i pro jednotky řízení motoru ECU. V dnešní době je většina vozidel vybavena jen jednou jednotkou řízení motoru ECU, která řídí kompletní činnost motoru, včetně zapalovací soustavy, vstřikování paliva, EGR a mnoha dalších systémů. Řídicí jednotka motoru ECU dostává informace z různých snímačů (které společnost DENSO také dodává).

**Schopnost řídit jednotlivé zapalovací cívkou umožňuje ECU zcela vypnout činnost kterékoli jednotlivé cívkou (a souvisejícího vstřikovače paliva), pokud ve válci dojde k selhání zapalování. Dochází-li k selhání zapalování, zvyšují se škodlivé emise, ale nespálené či částečně spálené palivo a nadměrné množství kyslíku pak projdou do katalyzátoru. Katalyzátor se pak stane neúčinným, dlouhodobé vystavení nadměrnému množství kyslíku a nespálenému palivu (které může ve skutečnosti katalyzátor zapálit) však může nakonec způsobit poškození.**



Obr. 4.11 Bezkontaktní elektronická zapalovací soustava řízená řídicí jednotkou motoru ECU





## PŘÍNOS SPOLEČNOSTI DENSO

### Zapalovací cívky

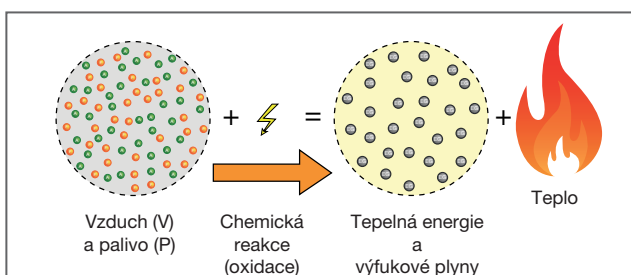
Kromě toho, že je společnost DENSO předním výrobcem zapalovacích svíček, je také dlouhodobým lídrem oblasti technologií zapalování a úzce spolupracuje s výrobcí automobilů po celém světě. Jako první v celém automobilovém průmyslu jsme vyvinuli kompaktní zapalovací cívku tyčového typu. Společnost DENSO byla rovněž průkopníkem mikroobvodů ovladače a diagonálního induktivního vinutí pro zvýšení výkonu v menším prostoru. Tato a další průlomová konstrukční řešení jsou využita i zapalovacích cívkách DENSO pro trh s náhradními díly a zajišťují spolehlivé a účinné spalování při každé jízdě.

# 5. PROCES SPALOVÁNÍ PODROBNĚJI

## 5.1. Spalování paliva a kyslíku

### Získávání energie z chemických reakcí

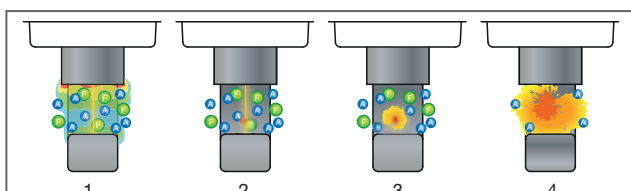
Spalování je proces, kdy dochází k chemickým reakcím mezi palivem a kyslíkem, tento proces označuje také jako oxidace. Reakce pak způsobují, že se energie uložená v palivu uvolní v podobě tepelné energie. Ve spalovacím motoru je palivo smíšené se vzduchem, který obsahuje potřebný kyslík. Pro spuštění chemických reakcí směsi vzduchu a paliva je zapotřebí zdroj vysoké teploty. Obrovské množství tepelné energie vzniklé během spálení se pak využije pro rozpínání plynů ve válci.



Obr. 5.1 Kompletní spálení produkující tepelnou energii, oxid uhličitý a vodu

V zážehovém motoru se během taktu stlačení vytváří teplo, které však není dostatečné pro zapálení směsi vzduchu a paliva. Proto se používá zapalovací svíčka, která v přesně určeném okamžiku dodá žhavou jiskru (o teplotě 10 000 °C i více), která zvýší teplotu paliva nad její „teplotu vznícení“.

**Pro vznícení paliva je možné použít jen teplo produkované stlačením – na tomto principu pracují vznětové motory. Vyšší kompresní poměry používané ve vznětovém motoru vytvářejí vyšší tlaky a teploty ve válci a vstříknutím nafty do zahřátého a stlačeného vzduchu ve správný okamžik je možno dosáhnout přesně načasovaného zapálení a spálení paliva.**



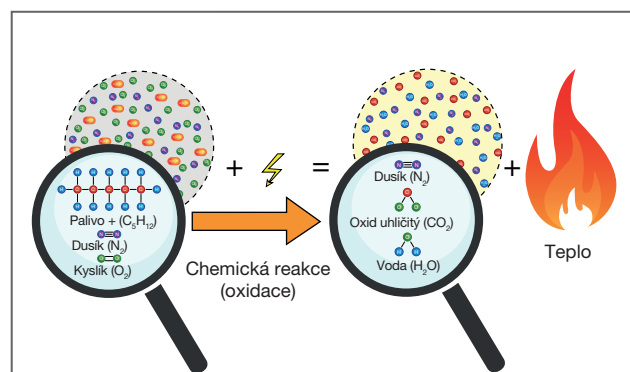
1. Vysoké napětí generované zapalovací cívkou je přeneseno do střední elektrody, což mezi elektrodami vyvolá jiskru
2. Vysoká teplota jiskry zapálí malé množství směsi vzduchu a paliva v blízkosti elektrod a vytvoří plamen
3. Plamen se začne šířit a zapaluje více směsi vzduchu a paliva v blízkosti plamene
4. Plamen dál roste a šíří se celou směsí vzduchu a paliva ve spalovací komoře

Obr. 5.2 Vytvoření a růst plamene

U zážehového motoru jiskra zapálí jen malé množství směsi paliva a vzduchu, které je přímo vystaveno jiskře, ale toto lokalizované zapálení pak vytvoří plamen, který má ve svém jádru teplotu okolo 3 000 °C. Plamen se rozroste do formy neuhasínajícího plamene a šíří se stlačenou směsí, dokud se v ideálním případě spalováním nespoteřebuje všechno palivo a kyslík (viz bod 5.3 popisující špatné spalování).

### Chemické reakce a ideální poměr směsi vzduchu a paliva pro spalování

Benzín je uhlovodíkovým (HC) palivem s molekulami obsahujícími atomy vodíku (H) a uhlíku (C). Molekuly kyslíku obsahují dva atomy kyslíku (O<sub>2</sub>) a během hoření, když dochází k oxidaci, vzniká reakcí vodíku a kyslíku voda (H<sub>2</sub>O) a reakcí uhlíku a kyslíku vzniká oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>). Právě při těchto reakcích, k nimž dochází během spalování, vzniká velké množství tepla. Nicméně aby došlo k úplnému spálení paliva a kyslíku a vytvoření maximální tepelné energie, palivo se musí smíchat a reagovat s přesně daným množstvím kyslíku.



Uhlovodíkové palivo reaguje s kyslíkem za vzniku vody a oxidu uhličitého. Dusík obsažený ve vzduchu se v ideálním případě na procesu oxidace nepodílí

Obr. 5.3 Chemické reakce u kompletního spálení

Kyslík spotřebováváný při spalování pochází z atmosférického vzduchu, který obsahuje přibližně 21 % kyslíku (O<sub>2</sub>), zhruba 78 % dusíku (N<sub>2</sub>) a zbývající 1 % tvoří další plyny. Palivo musí být rovnoměrně smíseno se vzduchem ve správném poměru, aby bylo zajištěno, že také poměr paliva a kyslíku je správný. Správného poměru vzduchu a paliva je dosaženo tehdy, když je hmotnost vzduchu 14,7krát vyšší než hmotnost paliva (např. 14,7 g vzduchu na 1 g paliva).

**Jednotné smíšení a distribuce paliva ve vzduchu se označuje jako „homogenní“ a ideální poměr vzduchu a paliva se označuje jako „stechiometrický poměr“.**



5.1. Spalování paliva a kyslíku	24
5.2. Dosahování dobrého spalování	26
5.3. Příčiny špatného spalování a související problémy	27
5.4. Škodliviny a emise vznikající při spalování	29
5.5. Snižování emisí a spotřeby paliva	30

### Stechiometrický poměr a lambda

Ve světě automobilismu se nyní běžněji používá pojem lambda než pojem stechiometrický poměr. Hodnota lambda se určuje měřením obsahu kyslíku; snímače kyslíku monitorují obsah kyslíku ve výfukovém plynu, který zpočátku závisí na poměru směsi vzduchu a paliva. Tyto snímače, známé také jako snímače O<sub>2</sub> nebo lambda sondy (které také společnost DENSO dodává), odesílají elektronické signály do jednotky řízení motoru ECU, na jejichž základě ECU podle potřeby upravuje směšovací poměr vzduchu a paliva.

- (1) Poměr vzduchu a paliva, který je stechiometrický, má hodnotu lambda rovnou 1.
- (2) Chudý poměr vzduchu a paliva, který produkuje nevyužitý kyslík, má hodnotu lambda vyšší než 1.
- (3) Bohatá směs s nedostatkem kyslíku má hodnotu lambda menší než 1.

Teoreticky by měl motor vždy běžet s hodnotou lambda 1 (stechiometrický poměr vzduchu a paliva), ale i za ideálních podmínek je velmi obtížné dosáhnout kompletního smíšení a rovnoměrné distribuce paliva ve vzduchu. Proto jsou neustále prováděny drobné úpravy, aby byl zajištěn správný poměr směsi vzduchu a paliva.

**Pro snížení obsahu některých škodlivých emisí produkovaných během spalování využívají moderní vozidla katalyzátory osazené do výfukového systému. Katalyzátory pomocí chemických reakcí přeměňují škodliviny na méně škodlivé látky (viz bod 5.5).**

### Rozsah poměru vzduchu a paliva, neboli rozsah hodnoty lambda

Graf na obr. 5.4 znázorňuje rozsah poměrů vzduchu a paliva a příslušné hodnoty lambda, které se obvykle využívají v moderních zážehových motorech.

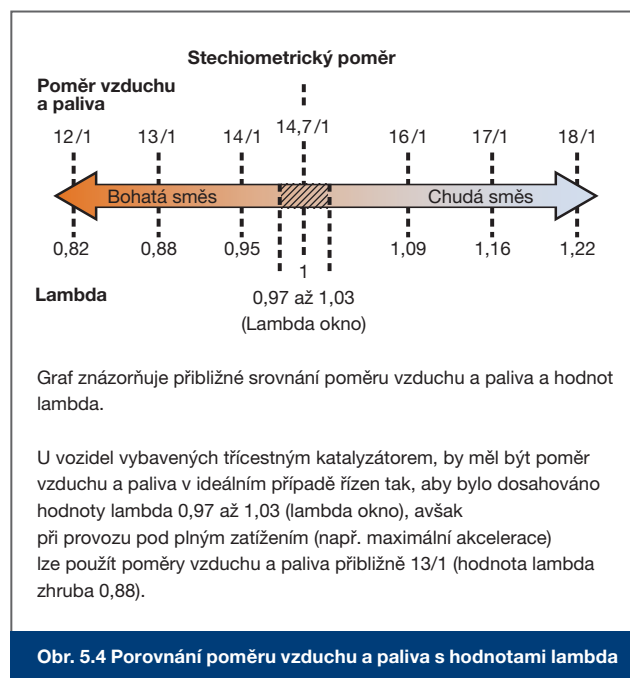
Z grafu je patrný poměrně úzký rozsah mezi chudého a bohatého poměru vzduchu a paliva, který následně poskytuje požadované množství kyslíku pro efektivní spalování a pro efektivní činnost katalyzátoru. Když jsou poměry vzduchu a paliva a úroveň kyslíku v rámci požadovaného rozsahu, hodnoty lambda budou v rozsahu přibližně 1,03 (chudá směs, neboli nadbytek kyslíku) až lambda 0,97 (bohatá směs, neboli nadbytek paliva), který se označuje jako lambda okno.

Používání snímačů kyslíku (lambda sond) pro monitorování množství kyslíku ve výfukovém plynu pak umožňuje jednotce řízení motoru ECU regulovat poměr vzduchu a paliva a úroveň kyslíku v rámci lambda okna. Existují však určité jízdní podmínky (popsané v následujících pasážích), kdy je nezbytné na krátkou dobu poskytovat poměr vzduchu a paliva nebo úroveň nacházející se mimo lambda okno.

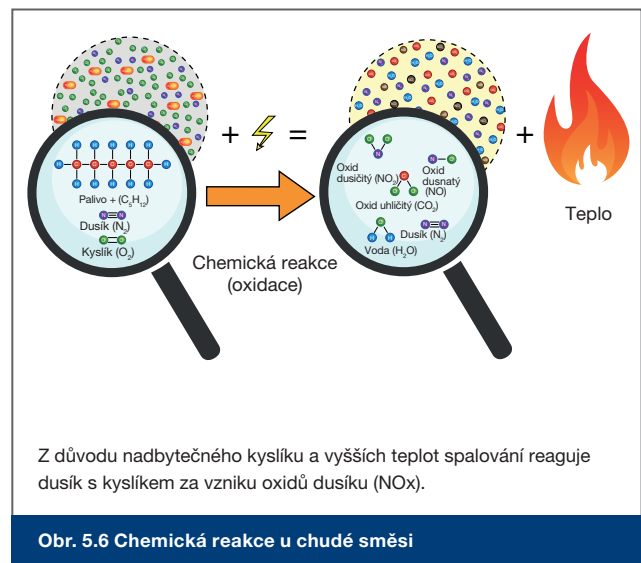
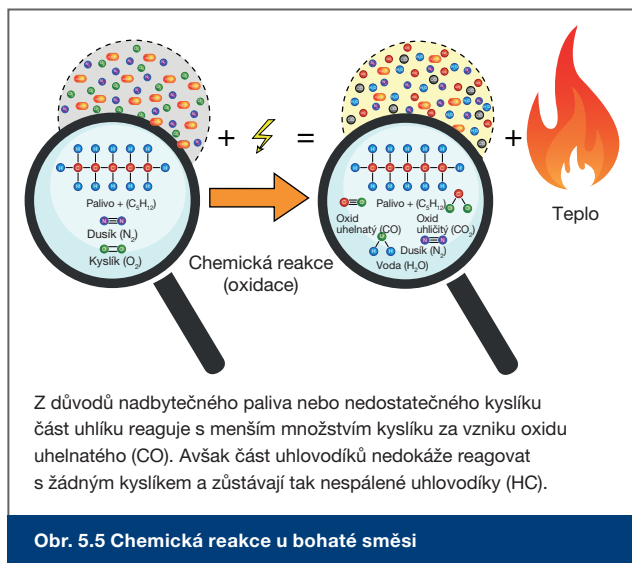
### Bohaté směsi vedou k neúplnému spálení

Jestliže je směs bohatá, bude pro smíšení s palivem příliš mnoho kyslíku. Vodík v palivu bude obvykle stále schopen reagovat s požadovaným množstvím kyslíku za vzniku vody (H<sub>2</sub>O), ale určitá část uhlíku nebude schopna kompletně reagovat se správným množstvím kyslíku. V důsledku to vede k neúplnému spálení, kdy je spálena jen část uhlíku a chemickou reakcí pak vzniká oxid uhelnatý (CO) namísto méně škodlivého oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>). Navíc nemusí být část paliva schopna vůbec reagovat s jakýmkoli kyslíkem, což znamená, že toto palivo zůstane zcela nespálené a přechází do výfukového systému jakožto nespálený uhlovodík (HC).

Vypouštěné výfukové plyny po spalování bohaté směsi budou proto obsahovat oxid uhelnatý (CO) a nespálené palivo (HC). Sloučeniny CO a HC jsou považovány za škodliviny, které negativně působí na atmosféru a naše zdraví (více informací o škodlivinách viz bod 5.4).



Obr. 5.4 Porovnání poměru vzduchu a paliva s hodnotami lambda



Bohatý poměr vzduchu a paliva se často používá pro zvýšení výstupního výkonu na úkor spotřeby paliva. Lze použít zhruba 10procentní nadbytek paliva ( $\lambda$  0,9), aby bylo zajištěno, že bude dostatek paliva pro veškerý dostupný kyslík, což přinese zvýšení výstupního výkonu o přibližně 2–3 %.

Jednou z výhod bohatých směsí je skutečnost, že kapalné palivo má chladicí účinek na teplotu spalování. Za provozních podmínek vysokého zatížení se tlaky a teploty spalování zvyšují, což může vést k samozápalům a klepání. Jestliže se použije bohatá směs, absorpce dalšího tepla nadbytečným palivem pomáhá snížit teploty spalování, což snižuje riziko samozápalů a klepání a umožňuje procesu spalování bezpečně produkovat vysoký výkon.

**Bohatá směs je obvykle vyžadována během studeného startu a bezprostředně po něm. Nízké teploty paliva a studený válec a povrchy spalovací komory mohou bránit v odpařování paliva a jeho míšení se vzduchem a kyslíkem, a proto je zapotřebí palivo navíc, aby se zajistilo, že může dojít ke spalování.**

### Chudé směsi vedou k neúplnému spálení

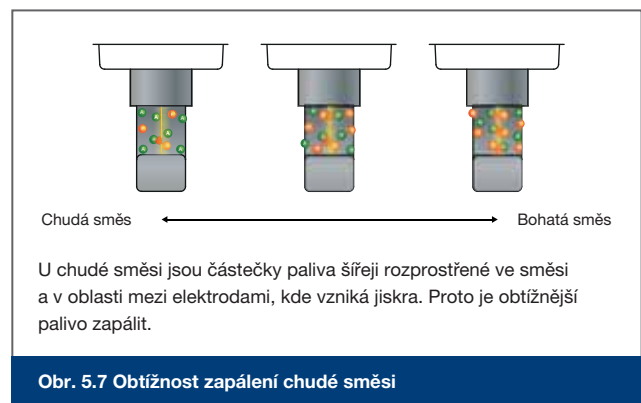
U chudé směsi bude nadbytek kyslíku, což umožní, aby s kyslíkem reagovalo všechno palivo. Nadbytek kyslíku snižuje tvorbu a emise CO a HC. Nižší množství paliva neabsorbuje tolik tepla jako bohatá směs, takže teplota spalování bude vyšší.

Vyšší teplota pak způsobí reagování vzdušného dusíku s nadbytečným dostupným kyslíkem za tvorby oxidů dusíku (NOx). Oxidy dusíku jsou škodliviny poškozující naše zdraví a životní prostředí.

## 5.2. Dosahování dobrého spalování

### Konstrukční řešení motoru a spalovací komory

U konstrukčního řešení moderních motorů je prioritou proces spalování. Motor musí podávat požadovaný výkon, společně s nízkými emisemi a nízkou spotřebou paliva, což bylo v minulosti často těžké dosáhnout. Moderní motory využívají výhod elektronicky řízených systémů, jako jsou zapalovací a palivové soustavy, které umožňují přesnější řízení funkcí, jako je okamžik zapálení a vstříknutí paliva pro zvýšení účinnosti spalování, která následně umožňuje dosažení maximální energie při spalování za použití co nejmenšího množství paliva a s co nejmenší produkcí škodlivin.



V případě chudé směsi jsou částice paliva širěji rozptřeny v celém objemu vzduchu, což znamená, že je jiskře vytvořené zapalovací svíčkou vystaveno méně částic paliva. Toto širší rozptření částic paliva proto znesnadňuje zapálení směsi vzduchu a paliva. Obtížnější je také šíření plamene směsí paliva. Extrémně chudé směsi mohou proto způsobovat špatné zapalování a spalování, což povede k selhání zapalování se zvýšeným množstvím nespálených uhlovodíků (HC).

**Některé motory jsou navrženy pro běh na chudé směsi za podmínek nízkého zatížení, což přispívá ke snížení spotřeby paliva. Z důvodů obtížnějšího zapalování a hoření chudších směsí se využívají vysoce výkonné zapalovací soustavy a zapalovací svíčky, které dávají silnější a déle trvající jiskru. (Viz body 5.5 a 7.6).**

Existuje však mnoho dalších aspektů konstrukčního řešení motoru (elektronického i mechanického), které mohou ovlivnit proces spalování:

> **Zapalovací svíčka.** Zapalovací svíčky přivádí vysoké napětí na své elektrody, aby vznikla žhavá jiskra pro zapálení směsi vzduchu a paliva. Zapalovací svíčka si musí udržet správnou teplotu, aby nedocházelo k zanášení usazeninami nebo samozápalům. Další informace o požadavcích na zapalovací svíčky jsou uvedeny v kapitole 6.

> **Zapalovací soustava.** Zapalovací soustavy musí ve správný okamžik dodávat zapalovací svíčke potřebné napětí a elektrickou energii, aby bylo dosaženo konzistentního zapalování směsi vzduchu a paliva.

- > **Poměr vzduchu a paliva.** Tento poměr musí být správný, aby se co nejvíce paliva spálilo zcela a efektivně.
- > **Okamžik vstřiku.** U moderních motorů (se vstřikováním do sacího kanálu nebo s přímým vstřikováním) pomáhá správné časování vstřiku zvýšit rovnoměrnost smíšení vzduchu a paliva.
- > **Tvar spalovací komory.** Tvar spalovací komory může přispět vytváření turbulence během taktu sání, stlačení a spalování. Turbulence přispívá k lepšímu smíšení vzduchu a paliva a šíření plamene celým prostorem spalovací komory.
- > **Provozní teplota motoru.** Povrchy spalovací komory (a stěny válce) si musejí uchovávat dostatečnou teplotu, aby chladné povrchy nezhasínaly plamen při spalování, avšak povrchy nesmí být příliš horké, aby nezpůsobovaly samozápal.
- > **Proměnné časování a zdvih ventilů.** Úpravami časování a zdvihu ventilů u některých systémů se zlepšuje plnění válce vzduchem a odstraňování výfukových plynů v širokém rozsahu otáček a zatížení motoru.
- > **Recirkulace výfukových plynů (Exhaust Gas Recirculation – EGR).** Při nízkém zatížení se čerstvý vzduch mísí s výfukovými plyny, které následně vstupují do spalovací komory. Výfukové plyny se nepodílejí na spalování, čímž se snižuje teplota spalování a snižují emise NOx (viz bod 5.5).
- > **Použití turbodmychadla (a přeplňování).** Zvyšuje objem vzduchu vstupujícího do válce a tím zvyšuje tlak/teplotu ve válci, což následně zvyšuje krouticí moment a výkon motoru (viz bod 5.5).

### 5.3. Příčiny špatného spalování a související problémy

Konstrukční řešení motoru má samozřejmě přímý vliv na účinnost spalování. Dosažení optimální účinnosti spalování často znamená provoz v blízkosti limitů. Překročení těchto limitů však může vést ke špatnému spalování. Moderní motory využívají výhod elektronického řízení vstřikování paliva, zapalování a dalších systémů souvisejících s motorem pro výrazné snížení rizika špatného spalování v porovnání s dřívějšími generacemi motorů.

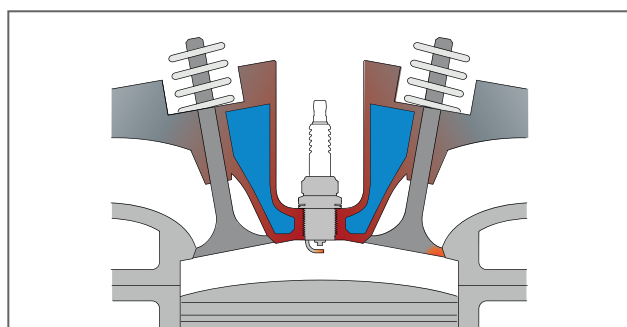
#### Samozápal a klepání

Samozápal a klepání jsou ve skutečnosti různými symptomy, které mohou být způsobeny mnoha chybami ovlivňujícími proces spalování.

K samozápalu dochází, když horké místo ve spalovací komoře zapálí směs vzduchu a paliva ještě předtím, než zapalovací svíčka dodá správně načasovanou jiskru (obr. 5.8). Má to stejný účinek jako příliš brzy načasované zapálení (viz bod 3.5). Předčasné spálení paliva způsobí předčasný nárůst tlaku a teploty ve válci, což nakonec vede ke škodlivějšímu klepání.

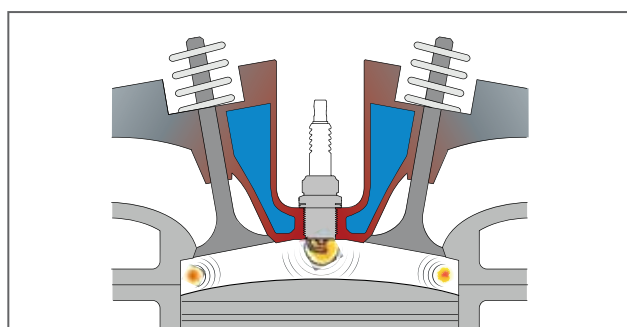
Ke klepání dochází, když jsou po zahájení spalování nezávisle zapáleny vysokým tlakem malé kapsy směsi vzduchu a paliva (obr. 5.9). Během normálního spalování, když plamen postupně roste a šíří se spalovací komorou, roste tlak a teplota v dalších částech spalovací komory. Při klepání dojde k nadměrnému zvýšení tlaku a teploty v místech, kam plamen ještě neprohořel. Kapsy směsi vzduchu a paliva vybuchují nezávisle na plameni. Výbuchy těchto malých kapes směsi vyvolávají rychlé tlakové vlny, které vytvářejí zřetelné klepání nebo zvonění.

Delší klepání může způsobit vážné poškození motoru, jako je roztavení pístů nebo i výfukových ventilů.



Samozápal může být způsobován horkými místy, jako jsou usazeniny uhlíku na zapalovací svíčke, nebo příliš vysokou teplotou ventilů, která zapaluje směs vzduchu a paliva ještě předtím, než vznikne jiskra.

Obr. 5.8 Samozápal



Tlaková vlna vytvořená samozápalem způsobuje výbuchy

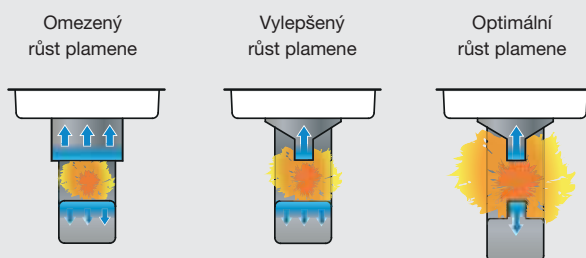
Obr. 5.9 Klepání motoru

### PŘÍNOS SPOLEČNOSTI DENSO

#### Tvar elektrody

Větší elektrody více blokují růst plamene, zatímco nejmenší elektrody umožní lepší prostorové šíření – jako například patentovaná střední elektroda o průměru 0,4 mm a patentovaná technologie Twin Tip.

DENSO tímto způsobem zlepšuje zapalování – používáním menších elektrod a zvýšením výkonu.



#### Chyby způsobující špatné spalování

Špatné spalování může způsobovat mnoho chyb souvisejících s motorem. Následující seznam poukazuje jen na hlavní problémy, které je ve většině případů relativně snadné diagnostikovat a napravit.

> **Zapalovací svíčky.** Chyby zapalovacích svíček ovlivňují moderní i starší motory. Podrobný průvodce identifikací chyb souvisejících se zapalovacími svíčkami je uveden v bodu 10.3. Je nezbytné používat správné zapalovací svíčky.

**Správné svíčky můžete snadno nalézt v elektronickém katalogu DENSO na adrese [denso-am.eu/e-catalogue](http://denso-am.eu/e-catalogue).**

> **Okamžik zapálení.** I když by elektronické řízení zapalovacích soustav u moderních vozidel nemělo dovolit, aby se okamžik zapálení odchýlil od naprogramované hodnoty, chyba v systému řízení motoru může vést k nesprávnému okamžiku zapálení. Nicméně u starších vozidel, zejména s mechanickými a staršími elektronickými zapalovacími soustavami, bude mít opotřebené komponenty a nesprávné nastavení okamžiku zapálení značný dopad na účinnost spalování a výkon motoru.

> **Bohatá směs.** Přestože může mírně bohatá směs přispět k dosahování dobrého výkonu a krouticího momentu motoru, u bohaté směsi se nebude moci kompletně spálit veškeré palivo z důvodu nedostatku kyslíku ve směsi. Proces spalování bude méně efektivní, což se odrazí ve zvýšené spotřebě paliva (viz bod 5.1).

K bohatosti směsi u moderních vozidel obecně dochází těmito vlivy:

- > Netěsné nebo odkapávající vstřikovače paliva
- > Vysoký tlak paliva
- > Zablokované nebo omezené vzduchové filtry
- > Vadné snímače kyslíku (lambda sondy)

> **Chudá směs.** V případě velmi chudé směsi jsou částičky paliva široce rozprostřeny v celém objemu vzduchu, což znamená, že je pro jiskru obtížné směs zapálit. V chudé směsi vzduchu a paliva je obtížný také růst a šíření plamene spalování. Obtížné zapalování a udržování hoření směsi pak může vést selhání zapalování.

K chudosti směsi u moderních vozidel obecně dochází těmito vlivy:

- > Vzduchová netěsnost v systému sání
- > Nízký tlak paliva
- > Zanesené nebo zablokované vstřikovače
- > Vadné snímače kyslíku (lambda sondy)

> **Chyby recirkulace výfukových plynů.** Recirkulace výfukových plynů (EGR) přivádí zpět část výfukových plynů do systému sání za účelem snížení obsahu škodlivin. Proto je kritické, aby bylo množství recirkulovaných výfukových plynů pečlivě řízeno.

Chyba v systému EGR může snížit objem recyklovaných výfukových plynů, což může vést ke zvýšení teploty spalování, která následně může způsobit samozápal nebo i klepání. Pokud však chyba umožní recirkulaci nadměrného množství výfukových plynů, omezí to objem čerstvého vzduchu a kyslíku vstupujícího do spalovací komory, čímž dojde ke špatnému spalování a selhávání zapalování.

> **Teplota motoru a spalovací komory.** Úbytek chladicí kapaliny motoru nebo vada chladicího systému může způsobit zvýšení teploty motoru a spalovací komory. Teploty spalování se proto zvýší, což může vést k samozápalům a klepání.

Pokud však chyba chladicího systému brání motoru v dosažení normální provozní teploty, stěny válce a povrchy spalovací komory budou chladnější. To může zhasínat plamen spalování ještě předtím, než bude spalováním spotřebována celá směs vzduchu a paliva. Nízká provozní teplota motoru proto může způsobovat vyšší spotřebu paliva.

## 5.4. Škodliviny a emise vznikající při spalování

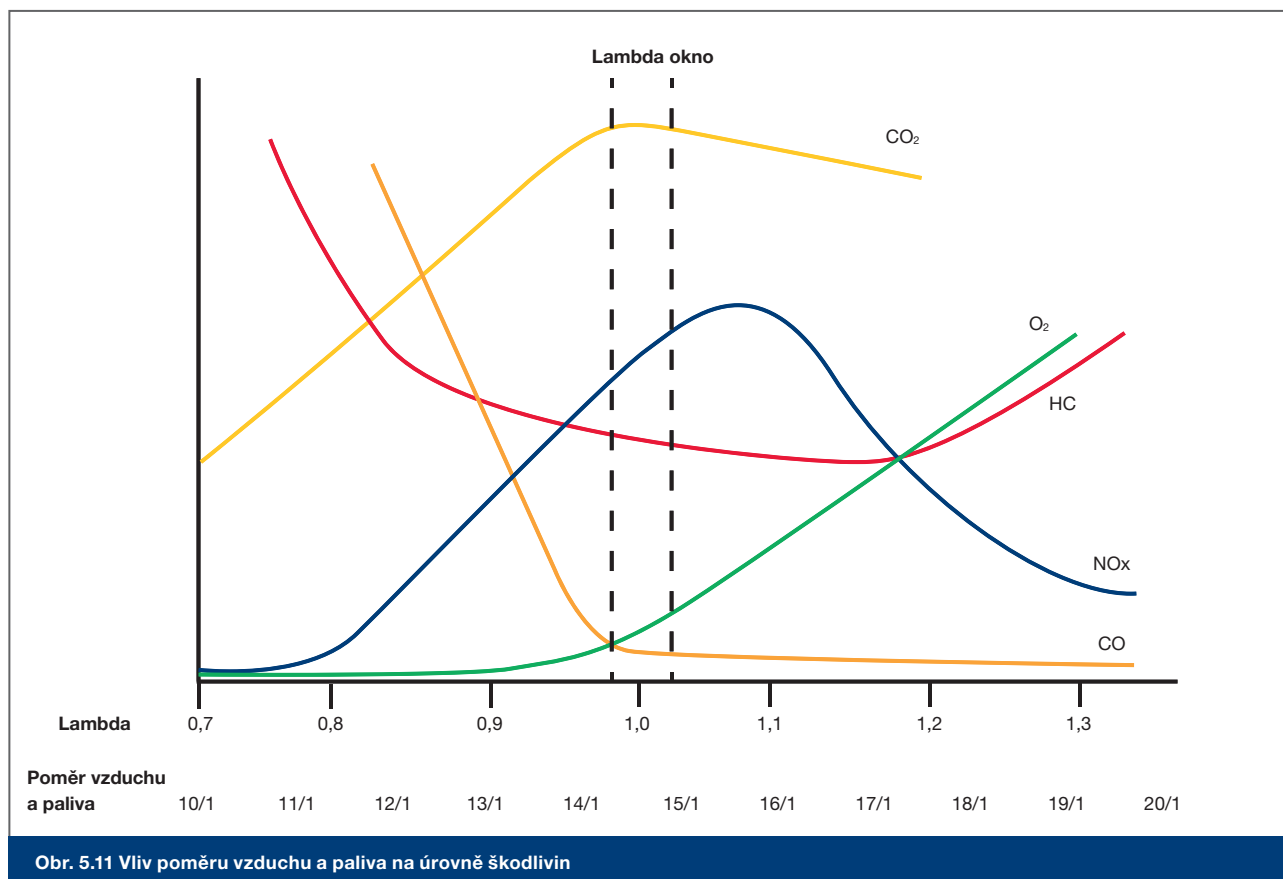
Od 60. let minulého století se neustále zpřísňují emisní předpisy, což si vynutilo zdokonalování konstrukčního řešení motoru a značná vylepšení a změny zapalovací a palivové soustavy. Emisní předpisy se stále vztahují na mnoho různých škodlivin. A přestože již byly některé škodliviny, například na bázi síry a olova, značně omezeny nebo odstraněny, při procesu spalování v motoru škodliviny stále vznikají. Hlavní sledované škodliviny jsou uvedeny v tabulce na obr. 5.10.

### Poměr vzduchu a paliva a jeho dopad na hlavní škodliviny

Graf na obr. 5.11 znázorňuje hlavní škodliviny a obsah kyslíku ve výfukových plynech. Ukazuje, jak mohou i malé změny poměru vzduchu a paliva výrazně zvýšit nebo snížit úroveň škodlivin. Když je poměr vzduchu a paliva udržován v rámci lambda okna, je dosahováno přiměřeného kompromisu mezi různými škodlivinami. Následně jsou však vyžadovány i další metody pro ještě větší snížení emisí škodlivin.

Škodlivina	Symbol	Dopady	Příčiny vzniku
Oxid uhelnatý	CO	Pozůstatek po nedokonalě spáleném palivu, který může pronikat do krevního oběhu a nahrazovat kyslík, což omezuje schopnost rozvádět kyslík po těle.	Bohatá směs, špatné zapalování (chyba jiskry nebo zapalovací soustavy), špatné spalování, nesprávný okamžik zapálení.
Uhlovodíky	HC	Nespálené palivo je karcinogenní (může způsobit rakovinu) a ovlivňuje růst buněk v těle. Může reagovat s dalšími škodlivinami za tvorby ozónu.	Bohatá směs, špatné zapalování (chyba jiskry nebo zapalovací soustavy), špatné spalování, nesprávný okamžik zapálení.
Oxidy dusíku	NOx (oxid dusnatý – NO a oxid dusičitý – NO <sub>2</sub> )	Mohou vyvolávat podráždění očí a plic a způsobovat dýchací potíže. Přispívají k tvorbě smogu a kyselého deště a vytváření přízemního ozónu.	Vznikají během vysokoteplotního spalování chudých směsí, při němž atmosférický dusík reaguje s kyslíkem.
Oxid uhličitý	CO <sub>2</sub>	Nejméně škodlivá emise v tomto seznamu. Nahromaděný CO <sub>2</sub> v atmosféře zadržuje teplo a přispívá ke globálnímu oteplování.	Produkt úplného spalování paliva a kyslíku.

Obr. 5.10 Hlavní škodliviny



Obr. 5.11 Vliv poměru vzduchu a paliva na úroveň škodlivin

## 5.5. Snížení emisí a spotřeby paliva

Zdokonalováním konstrukčního řešení motoru a procesu spalování bylo dosaženo značného snížení úrovně škodlivin. Protože se předpisy platné pro motorová vozidla v budoucnu zpřísní, někteří výrobci se zaměří na vylepšování systémů dodatečné úpravy výfukových plynů. Byly však vyvinuty nové technologie, které brání nebo redukuje tvorbu škodlivin. Některé z těchto technologií jsou vysvětleny níže.

### Katalyzátory a lambda sondy pro snížení úrovně CO, HC a NOx

Třícestné katalyzátory byly uvedeny na trh v 80. letech minulého století a nyní se osazují téměř do všech sériově vyráběných vozidel se zážehovými motory. Tyto třícestné katalyzátory zajišťují následné čištění výfukových plynů pro snížení obsahu škodlivin CO, HC a NOx vznikajících při spalování (obr. 5.12).

V automobilových katalyzátorech se využívají drahé kovy, jako je paladium, rhodium nebo platina, k podpoře chemických reakcí, ale samy se jich neúčastní. Katalyzátor potřebuje pro efektivní fungování teplo.

Při zpracování CO a HC (částečně spáleného a nespáleného paliva) v podstatě pokračují chemické reakce, které nebyly úplně dokončeny při spalování v motoru. V katalyzátoru reaguje oxid uhelnatý (CO) a nespálené uhlovodíky (HC) s kyslíkem podobně jako oxidační reakce během spalování. Je poskytován mírně chudý poměr vzduchu a paliva, aby byl zajištěn dostupný kyslík pro reakci, která efektivně mění CO a HC na CO<sub>2</sub> (oxid uhličitý) a H<sub>2</sub>O (vodu).

Snížení množství oxidů dusíku (NOx) vzniklých při spalování vyžaduje jinou chemickou reakci, která efektivně odděluje kyslík (O<sub>2</sub>) od dusíku (N). Tato reakce (označovaná jako redukce) vyžaduje poněkud bohatší směs se sníženým množstvím kyslíku, aby se mohl kyslík oddělit od dusíku. Oddělený kyslík pak lze použít pro reakci se zbývajícím CO a HC ve výfukových plynech, čímž opět vznikne CO<sub>2</sub>.

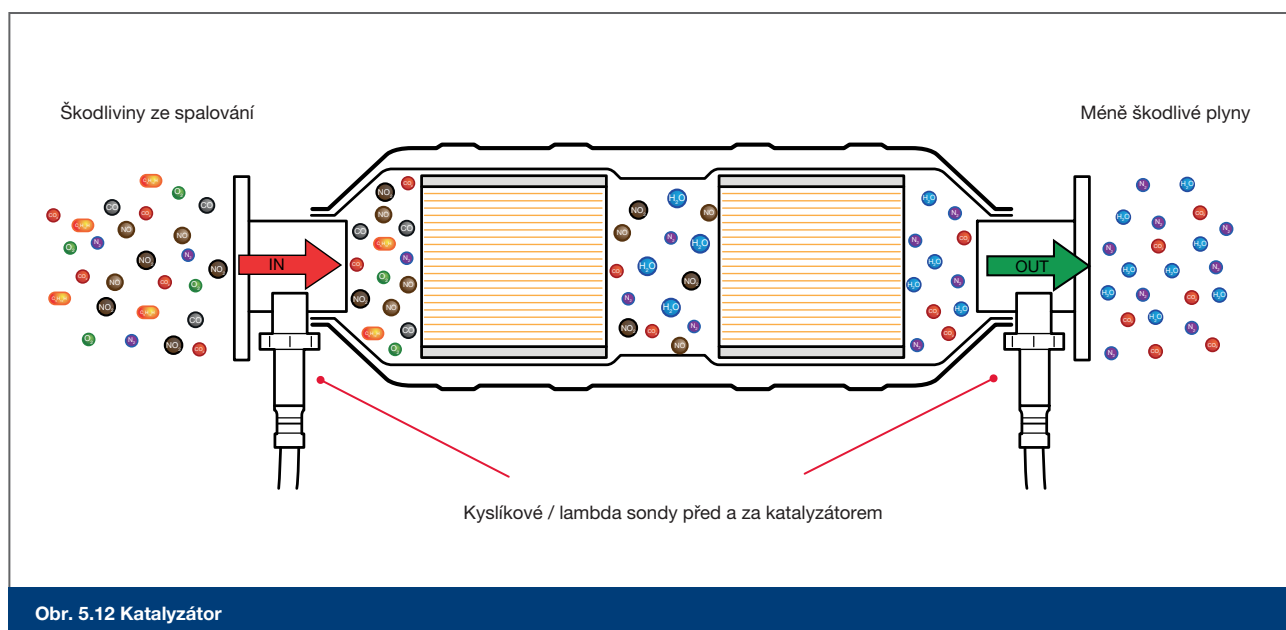
Protože jedna chemická reakce vyžaduje nadbytek kyslíku a druhá reakce vyžaduje snížené množství kyslíku, řídicí jednotka motoru ECU přepíná poměr vzduchu a paliva mezi limity lambda okna pro bohatou a chudou směs. Obsah kyslíku ve výfukovém plynu se proto pohybuje přibližně mezi hodnotami lambda 0,97 až cca 1,03, což katalyzátoru umožňuje podporovat dvě různé chemické reakce.

Aby mohla jednotka ECU přesně řídit poměr vzduchu a paliva a dodávat potřebné množství kyslíku, poskytuje lambda sonda před katalyzátorem jednotce ECU elektrický signál informující o obsahu kyslíku ve výfukovém plynu před katalyzátorem (obr. 5.12). Podle signálu přijatého z lambda sondy pak jednotka ECU upravuje poměr vzduchu a paliva. Tento kontinuální proces monitorování a úpravy obsahu kyslíku se označuje jako řízení s uzavřenou smyčkou. Druhá lambda sonda za katalyzátorem pak monitoruje obsah kyslíku na výstupu katalyzátoru pro zjištění, zda byl během chemických reakcí spotřebovaný kyslík. Tato druhá sonda se proto označuje jako diagnostická sonda.

### Zmenšování motorů a přeplňování

Kromě snižování množství výše popsaných škodlivin existuje v současnosti větší tlak na snižování produkce CO<sub>2</sub> (oxidu uhličitého), který vzniká spalováním fosilních paliv. To od poloviny první dekády nového tisíciletí vedlo k trendu zmenšování motorů. Výroba menších motorů šetří hmotnost, což přispívá ke snižování nároků na výkon a ke snížení spotřeby paliva. Ale aby se zachovaly očekávané jízdní vlastnosti vozidla, musí menší motory stále produkovat dostatečný výkon a krouticí moment, které se blíží jejich větším ekvivalentům, což vyžaduje zvýšení měrného výkonu motoru.

Měrný výkon je maximální podávaný výkon dělený zdvihovým objemem motoru. Jednou z účinných metod zvyšování měrného výkonu je použití turbodmychadla. Neustále sílí trend používat turbodmychadla, která zvyšují množství vzduchu přiváděného do válce (přeplňování). Větší množství vzduchu zvyšuje teplotu a tlak při spalování a vede ke zvýšení výkonu a krouticího momentu.



Obr. 5.12 Katalyzátor



### Chudé směsi a přímé vstřikování

Další metodou, jak snižovat spotřebu paliva a množství emisí  $\text{CO}_2$ , je za podmínek menšího zatížení motoru používat chudší směsi. Používáním chudších směsí se zajistí, že se pro spalování použije veškeré palivo a neodchází zbytečně do výfukového systému.

Jednou z metod, která umožňuje chod motoru na spalování chudé směsi, je přímé vstřikování, kdy se benzín namísto do sacích kanálů vstříkne přímo do spalovací komory (obr. 5.13).

Za podmínek nízkého zatížení se palivo vstříkne během taktu stlačení. Palivo se pak smísí s jen malým množstvím celkového vzduchu ve válci. I když se pak zapálí jen malé množství směsi, proces spalování stále produkuje dostatečné teplo pro rozeptání zbývajících plynů a produkuje výkon dostatečný pro podmínky nízkého zatížení. Tento princip zapalování jen malého množství směsi se označuje jako „vrstvené“ spalování.

Za podmínek vyššího zatížení je palivo vstřikováno během taktu sání, palivo se může smístit s veškerým vzduchem ve válci (za vzniku homogenní směsi) a díky spálení normálního poměru vzduchu a paliva se dosahuje vyššího výkonu.

**Při vrstveném spalování chudá směs způsobuje vyšší teplotu spalování. Kombinace vysokých teplot a nadbytku kyslíku produkuje vysoká množství  $\text{NO}_x$ , která jsou následně redukována použitím vyšší míry recirkulace výfukových plynů.**

### Recirkulace výfukových plynů (EGR) pro snížení množství $\text{NO}_x$

Pro snížení tvorby  $\text{NO}_x$  při spalování se využívá technologie recirkulace výfukových plynů (EGR). Úrovně  $\text{NO}_x$  se výrazně zvyšují v případě nadbytku kyslíku (chudá směs) a teplot spalování nad  $1\,600\text{ }^\circ\text{C}$ .

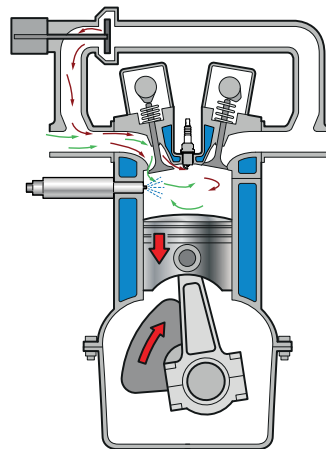
Recirkulací řízeného množství výfukových plynů zpět do systému sání motoru, kde se mísí s čerstvým nasávaným vzduchem (obr. 5.14) nahrazují tyto inertní (nespalitelné) výfukové plyny určité množství vzduchu a kyslíku ve válci. I když jsou recirkulované výfukové plyny horké, jsou chladnější než teplota spalování, a proto mohou absorbovat teplo z procesu spalování. Díky snížení teploty spalování se omezuje tvorba  $\text{NO}_x$  a snižuje se také riziko samozápalů a klepání.

**Při provozu za plného zatížení je pro vysoký podávaný výkon zapotřebí co největší možné množství čerstvého vzduchu. Proto se za podmínek plného zatížení EGR obvykle nevyužívá.**

**Jednotka řízení motoru ECU reguluje otevření ventilu EGR (které společnost DENSO také dodává) a v závislosti na provozních podmínkách je pak možno zpět do systému sání přivádět přibližně 5 až 15 % výfukových plynů.**

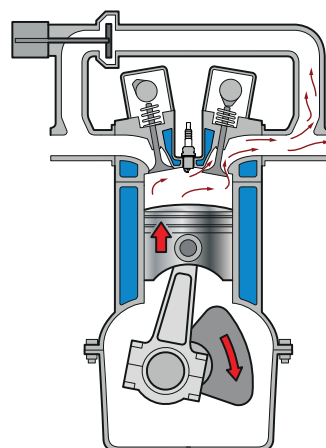
**Tyto technologie byly vyvinuty za účelem snížení emisí, zvýšení výkonu a snížení spotřeby paliva.**

Následně byly ještě více zdokonaleny. Nové trendy a jejich dopad na zapalovací soustavy jsou popsány v bodu 7.6.

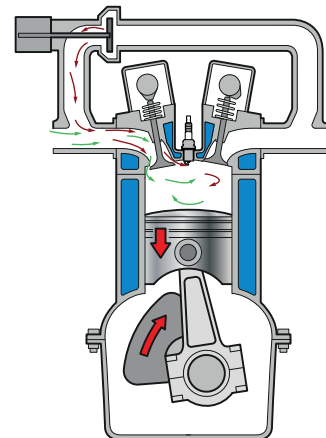


Palivo se vstříkne do spalovací komory během taktu sání, ale u mnoha typů systémů přímého vstřikování se může palivo za provozních podmínek nízkého zatížení vstříkovat také během taktu stlačení.

Obr. 5.13 Přímé vstřikování paliva



Během taktu výfuku se může část výfukových plynů dostat nahoru k ventilu EGR



Během taktu sání umožní ventil EGR, aby se určité, přesně odměřené množství výfukových plynů smísilo s nasávaným vzduchem.

Obr. 5.14 Recirkulace výfukových plynů (EGR)

# 6. ZAPALOVACÍ SVÍČKY

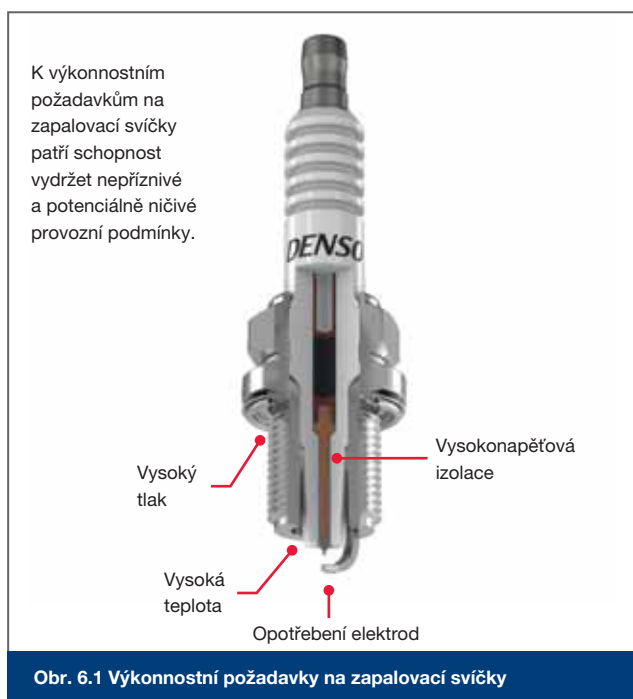
## 6.1. Klíč k dobrému spalování

Zapalovací svíčky hrají klíčovou roli při zajištění účinného procesu zapalování a spalování. Přestože hlavním úkolem zapalovací svíčky je dodat jiskru, která spustí spalování směsi vzduchu a paliva, má konstrukční řešení zapalovací svíčky velký vliv na proces spalování během jeho počátečních fází. Konstrukce zapalovacích svíček má řadu aspektů, které všechny ovlivňují

způsob, jakým zapalovací svíčka zapaluje směs vzduchu a paliva. Jiskra však musí být schopna zapálit směs v širokém rozsahu provozních podmínek, které zahrnují variace teploty, tlaku, poměru vzduchu a paliva, otáček motoru a zatížení motoru.

## 6.2. Výkonnostní požadavky

Kromě vytvoření jiskry musí zapalovací svíčky splňovat řadu výkonnostních požadavků. Ty hlavní jsou uvedeny níže (obr. 6.1).



### Vydržet vysoké teploty a neustále teplotní změny

Povrchy zapalovacích svíček ve spalovací komoře jsou během spalování směsi vzduchu a paliva neustále vystaveny teplotám okolo 3 000 °C. Avšak během taktu sání je zapalovací svíčka vystavena náhlému ochlazení chladným čerstvým nasávaným vzduchem. Toto prudké zahřívání a ochlazování se opakuje za chodu motoru v každém čtyřtakovém cyklu. Kromě toho, že musí zapalovací svíčka vydržet žár, musí také odvádět dostatek tepla, aby na ní nezůstávala horká místa, která by mohla způsobit samozápal.

### Odolnost vůči intenzivním změnám tlaku

Během taktu sání je tlak menší než 1 bar, avšak při taktu stlačení může tlak překračovat 50 barů. Zapalovací svíčka proto musí mít mechanickou pevnost a odolnost, aby vydržela silné tlaky a intenzivní tlakové změny.

### Vysokonapěťová izolace

Zapalovací svíčky, pracující v prostředí s drastickými a neustálými změnami teploty a tlaku, musí být zároveň zkonstruovány s mimořádnou schopností izolace vůči vysokým napětím, které u moderních zapalovacích soustav dosahují přes 40 kV.

### Zachování vzduchotěsnosti v nepříznivém prostředí

Zapalovací svíčky musí udržovat neprodyšné utěsnění mezi pouzdrem a izolátorem za podmínek intenzivních změn teploty a tlaku a za přítomnosti vysokého napětí. Proto se mezi izolátorem a pouzdrem využívají vysoce kvalitní těsnění, která brání úniku žhavých plynů pod vysokým tlakem konstrukcí svíčky do volného prostoru a brání poškození různých komponent zapalovací svíčky.

### Minimalizace zanášení vlivem spalování

Za podmínek intenzivního používání může spalování směsi vzduchu a paliva způsobovat zanášení a znečišťování pouzdra a elektrod zapalovací svíčky. Zapalovací svíčky musí proto dokázat minimalizovat zanášení elektrod a mít samočisticí vlastnosti, kdy žár spaluje usazeniny uhlíku.

Sekce izolátoru v blízkosti elektrod by měla v ideálním případě dosahovat samočisticí teploty (cca 500 °C). Je proto žádoucí, aby teplota zapalovací svíčky rychle vzrostla, i když je teplota spalování relativně nízká (například za podmínek nízkého zatížení). Některé zapalovací svíčky jsou navrženy s dalšími prvky, které minimalizují zanášení nebo zdokonalují samočistění (viz bod 6.6).

### Minimalizace opotřebení elektrod

Elektrody zapalovacích svíček jsou vystaveny vysokým teplotám a také prudkým teplotním změnám. Elektrody však musí opakovaně plnit svou základní funkci dodávání žhavé jiskry, která vznikne, když elektrodami prochází vysoké napětí.

Elektrody proto musí mít vysokou odolnost vůči opotřebení a erozi způsobené procesem jiskření a výslednými vysokými teplotami (viz bod 7.2).

6.1. Klíč k dobrému spalování	32
6.2. Výkonnostní požadavky	32
6.3. Konstrukce zapalovací svíčky	33
6.4. Elektrická jiskra a potřebné napětí jiskry	35
6.5. Provozní podmínky ovlivňující napětí zapalovací svíčky	36
6.6. Tepelná hodnota	39
6.7. Zhášení plamene ovlivňující tvorbu a šíření plamene	41

## PŘÍNOS SPOLEČNOSTI DENSO

Společnost DENSO vyrábí řadu zapalovacích svíček s elektrodami z drahých kovů, které značně přispívají ke snížení opotřebení elektrod. Použití vyspělých technologií,

jako je DENSO Twin Tip, přináší vyšší výkon po delší dobu. Zapalovací svíčky DENSO Iridium s dlouhou životností nabízejí provozní životnost až 180 000 km.

### 6.3. Konstrukce zapalovací svíčky

#### Hlavní části zapalovací svíčky

Aby mohly zapalovací svíčky pracovat v náročných podmínkách a plnit výkonnostní požadavky, jsou zkonstruovány ze tří hlavních částí:

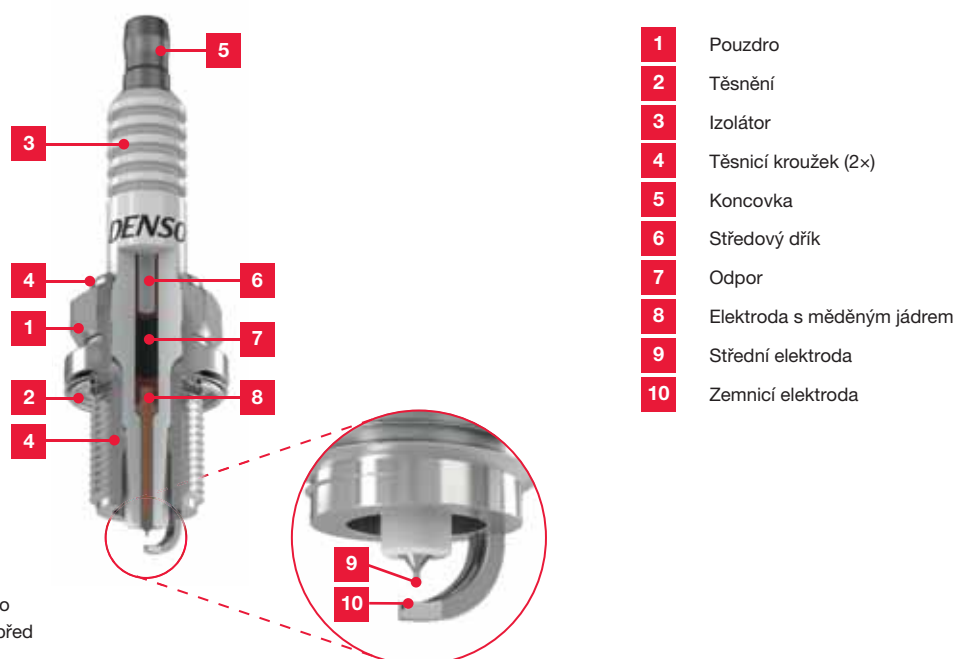
- (1) pouzdro
- (2) izolátor
- (3) elektrody

Tyto hlavní části pak obsahují jednotlivé komponenty zapalovací svíčky vyrobené z pečlivě vybraných materiálů. Schéma (obr. 6.2) znázorňuje hlavní části a komponenty zapalovací svíčky DENSO Iridium Power.

#### Pouzdro

Pouzdro (pol. 1) tvoří vnější plášť, který obklopuje a podepírá izolátor a zajišťuje upevnění svíčky k motoru. Kruhová podložka, neboli těsnění (pol. 2) zajišťuje izolační těsnění mezi pouzdem zapalovací svíčky a motorem, které brání úniku plynu při stlačování a spalování.

Zemnicí elektroda (pol. 10) je namontovaná na spodní závitovou část pouzdra a umožňuje tok elektrického proudu motorem zpět do akumulátoru.



Těsnění a izolátor chrání mnoho komponent zapalovací svíčky před působením vysokých teplot, tlaků a napětí

Obr. 6.2 Konstrukce zapalovací svíčky

### Izolátor

Keramický izolátor (pol. 3) zajišťuje elektrickou izolaci mezi koncovkou, středovým dříkem a střední elektrodou a pouzdrem.

Vzhledem k tomu, že napětí jiskry u některých moderních zapalovacích soustav přesahuje 40 kV, musí mít izolátor požadované izolační vlastnosti, a to při tloušťce pouhých několika milimetrů.

Společnost DENSO využívá keramický materiál s oxidem hlinitým o vysoké čistotě, který zajišťuje vynikající odolnost proti teplotám, mechanickou pevnost a vynikající elektrickou izolaci.

Těsnicí kroužky (pol. 4) se starají o bezpečné usazení a neprodyšné utěsnění mezi pouzdrem a izolátorem.

### Koncovka

Vysoké napětí je přiváděno přes koncovku (pol. 5) buď z přímého osazení v základně zapalovací cívkou, nebo zapalovacím kabelem spojujícím koncovku svíčky s cívkou. Vyrábí se různé koncovky umožňující připojení téměř jakéhokoli vysokonapěťového zapalovacího kabelu nebo zapalovací cívkou.

### Společnost DENSO nabízí 4 typy koncovek:

1. Závitová (bez koncové matice, používá se u motocyklů a starších typů vozidel)
2. Koncová matice (závit s maticí, kterou lze snadno odšroubovat)
3. Vrubová (závit s vrubovou maticí pro lepší spojení mezi maticí a závitem. Matici lze sejmout, ale je to obtížnější)
4. Pevná (pevná koncovka pro automobilové aplikace, nelze ji sejmout)

### Středový dřík

Ocelový středový dřík (pol. 6) spojuje koncovku se střední elektrodou a umožňuje tok proudu o vysokém napětí z koncovky do středu.

### Odrušovací odpor

Odpor (pol. 7), označovaný také jako odrušovač, potlačuje špičkový proud jiskry. Bez tohoto odporu by špičkový proud vytvářel rázy elektromagnetického pole nebo radiofrekvenčního rušení, které by mohly rušit elektrická zařízení ve vozidle. Odpor zapalovacích svíček DENSO jsou vyrobeny ze speciální směsi skla a měděného prášku.

### Střední elektroda

Střední elektroda (pol. 9) je vyrobena z materiálů odolávajících vysokým teplotám, jako jsou slitiny niklu. Tyto materiály musí být také mimořádně tvrdé a odolné, aby se minimalizovalo opotřebení jiskrovou erozí. Středová část elektrody (pol. 8) často obsahuje měděné jádro pro zlepšení tepelné vodivosti.

Pro zvýšení výkonu a trvanlivosti je možno střední elektrody vyrobit s hrotem z drahých kovů, které jsou ještě odolnější než tradiční materiály elektrod. Tyto trvanlivé materiály dokážou pracovat za vyšších teplot s nižším opotřebením. Další velkou výhodou těchto tvrdších materiálů je možnost použití tenčích elektrod, což přináší lepší zapalovací výkon.

### Zapalovací svíčky DENSO využívají celou řadu unikátních patentovaných materiálů:

1. Standardní niklová slitina, průměr elektrody 2,5 mm.
2. Nová a unikátní niklová slitina, průměr elektrody 1,5 mm (použitá v zapalovacích svíčkách Nickel TT), která snižuje jiskrové opotřebení o 40 % v porovnání se standardní niklovou slitinou.
3. Platina, drahý kov, který vydrží velmi vysoké teploty, s elektrodami o průměru 1,1 mm.
4. Slitina iridia o vysoké čistotě, odolávající těm nejvyšším teplotám, je vůbec nejtvrdějším materiálem použitým v zapalovací svíčce. Iridiové hroty o průměru 0,4 mm, 0,55 mm nebo 0,7 mm jsou laserem přivařené ke střední elektrodě.

### Menší elektrody snižují potřebné napětí, zajišťují spolehlivou jiskru, snižují efekt zhášení a zvyšují zapalovací výkon.

### Zemnicí elektroda

Zemnicí elektroda (pol. 10) je vystavena extrémním teplotním změnám uvnitř spalovací komory. Pro většinu zemnicích elektrod se používá slitina niklu a chromu, ale pro prodloužení její životnosti lze do slitiny přidat platinu. Některé zapalovací svíčky jsou pro zlepšení tepelné vodivosti vybaveny zemnicí elektrodou s měděným jádrem.

### Společnost DENSO využívá pro zvýšení zapalovacího výkonu několik speciálních opatření pro zemnicí elektrodu:

1. Patentovaná U-drážka<sup>\*</sup> prodlužuje hranový úsek, což usnadňuje vznik jiskry a rychlejší růst plamene.
2. Zemnicí elektroda s tvarovým úkosem pro snížení efektu zhášení a zlepšení růstu plamene.
3. Jehlový typ buď s vyčnívající niklovou elektrodou o průměru 1,5 mm (Nickel TT) nebo s přivařenou platinovou elektrodou o průměru 0,7 mm (SIP a Iridium TT).

### Podobně jako u střední elektrody, snižují menší zemnicí elektrody jehlového typu potřebné napětí, zajišťují spolehlivou jiskru, omezují efekt zhášení a zvyšují zapalovací výkon.

<sup>\*</sup>Patentovaná technologie DENSO

## 6.4. Elektrická jiskra a potřebné napětí jiskry

Jiskra vytvořená napříč mezerou mezi elektrodami zapalovací svíčky poskytuje v přesný okamžik energii a teplotu potřebnou pro zapálení směsi vzduchu a paliva. Pokud však teplo jiskry není dostatečné, může dojít k selhání zapálení.

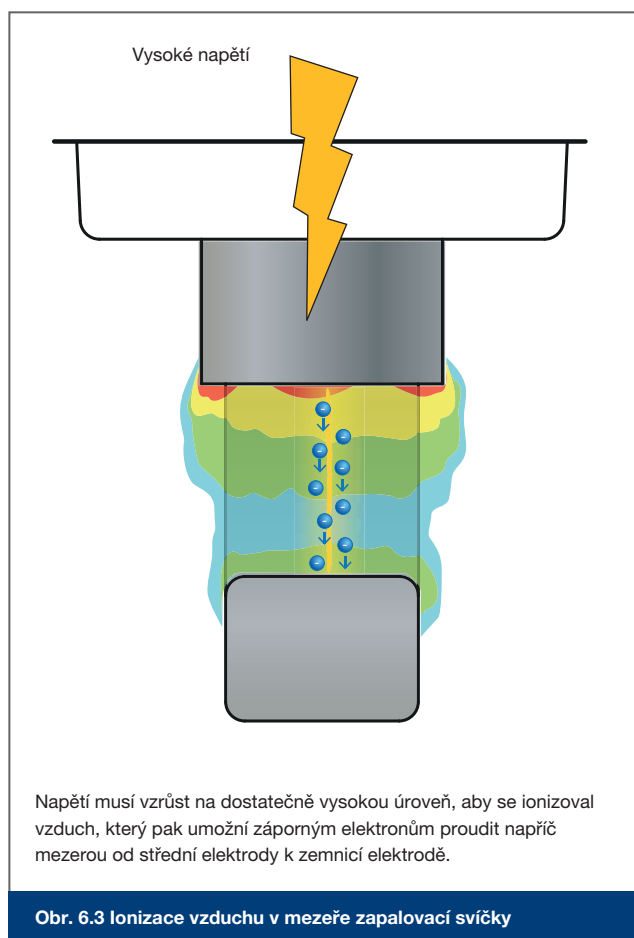
Jak bylo vysvětleno v kapitole 3, pomocí energie ve formě magnetického pole se v sekundárním vinutí zapalovací cívky indukuje vysoké napětí. Vysoké napětí je pak přivedeno do zapalovací svíčky, aby v mezeře mezi elektrodami vznikla jiskra, která pak zapálí směs vzduchu a paliva přímo v mezeře zapalovací svíčky. Důležité však je, že elektrická jiskra může vzniknout jen tehdy, pokud existuje dostatečná elektrická energie pro vytvoření ionizovaného, elektricky vodivého kanálu neboli dráhy přes normálně nevodivou směs vzduchu a paliva.

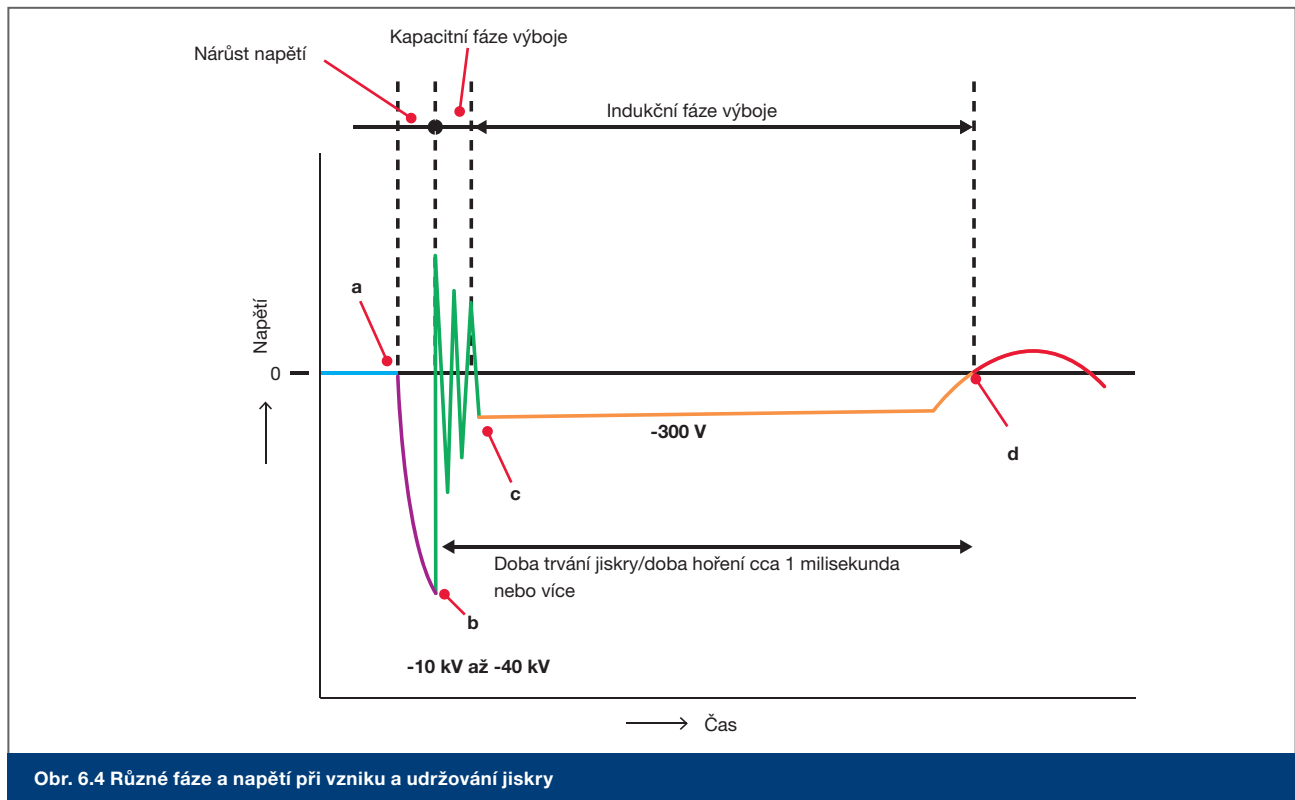
**Ionizace je složitým procesem, který může přimět látku změnit své elektrické vlastnosti. Vzduch je jednou z mnoha látek, které jsou přirozenými elektrickými izolanty, neboť atomy jsou elektricky neutrální a neposkytují dráhu pro tok elektrické energie. Avšak při aplikaci dostatečného napětí přiměje elektrická energie záporně nabitě částice (elektrony) v atomech k pohybu mezi atomy. Elektricky neutrální atomy jsou konvertovány na elektricky nabitě atomy označované jako „ionty“. Proto se tento konverzní proces označuje jako „ionizace“ (obr. 6.3).**

Pro zajištění dostatečné energie k ionizaci vzduchu je zapotřebí vysoké napětí, typicky v rozmezí 10 až 40 kV, a u některých motorových aplikací je potřeba až 45 kV. Ionizací vzduchu vznikne vodivá dráha pro elektrickou energii, která následně vytvoří jiskru o vysoké teplotě napříč elektrodovou mezerou, která zapálí směs vzduchu a paliva.

Samotná jiskra může mít teplotu i přes 10 000 °C, nicméně výboj může trvat pouhou 1 milisekundu. Během této krátké doby výboje je struktura jiskry mimořádně komplexní a tvoří ji různé fáze a různé úrovně napětí znázorněné na obr. 6.4.

**Tok elektrické energie (i napříč mezerou zapalovací svíčky) je tokem záporně nabitých elektronů. Elektronový tok je snadnější vytvořit z povrchu o vysoké teplotě. Jiskra vzniká přinucením elektronů téct z teplejší střední elektrody k chladnější zemnicí elektrodě, což znamená, že zapalovací soustava vytváří záporný napěťový výboj. Požadavek na napětí 10 kV až 40 kV tedy znamená záporné napětí. Proto má napětí v bodech „b“ a „c“ na obr. 6.4 zápornou polaritu.**





Obr. 6.4 Různé fáze a napětí při vzniku a udržování jiskry

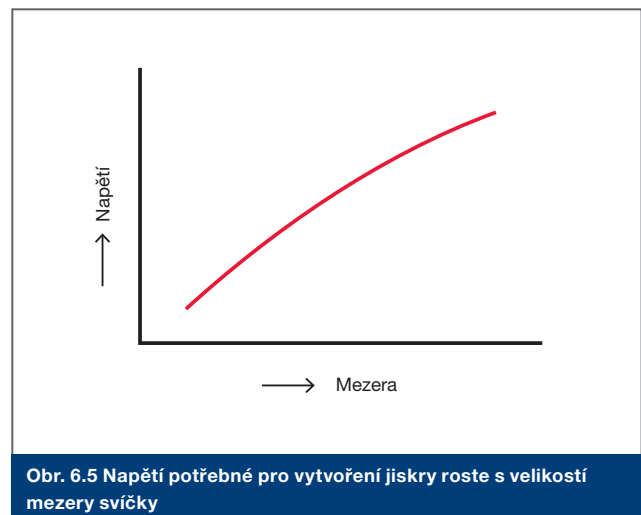
1. V okamžiku vypnutí proudu přiváděného na primární vinutí zapalovací cívky (bod „a“) se v sekundárním vinutí indukují rostoucí (záporné) vysoké napětí, které přechází do zapalovací svíčky.
2. V bodu „b“ napětí vzroste na 10 kV až 40 kV nebo více, aby po ionizování vzduchu vznikla mezi elektrodami jiskra.
3. Na počátku výboje, mezi body „b“ a „c“, je jiskra zpočátku generována elektrickou energií uloženou v sekundárním okruhu. V tomto úseku, označovaném jako kapacitní fáze, je proud velký, ale doba trvání krátká.
4. Po založení výboje nastává mezi body „c“ a „d“ delší fáze výboje o výbojovém napětí cca 300 V. Tento úsek výboje (označovaný jako indukční fáze výboje) je generován elektromagnetickou energií v cívce a s vyčerpáváním uložené energie proud postupně klesá. Výboj pokračuje na dobu asi 1 milisekundy až do bodu „d“, kdy už nezůstává dostatek energie pro udržení výboje a výboj skončí.

### 6.5. Provozní podmínky ovlivňující napětí zapalovací svíčky

V bodu 6.4 je vysvětleno, že napětí dodávané zapalovací cívkou bude růst, dokud bude schopno ionizovat vzduch napříč mezerou svíčky. Dva hlavní faktory, které ovlivňují potřebné napětí, jsou velikost mezery zapalovací svíčky a tvar a velikost elektrody. Potřebné napětí však ovlivňují i různé provozní podmínky. Některé z těchto podmínek lze ošetřit konstrukčním řešením zapalovací svíčky a jiné nikoli. Pokud by bylo možné snížit potřebné napětí, znamenalo by to méně zatížení pro zapalovací cívku a zejména menší pravděpodobnost selhání zapálení.

#### Mezera zapalovací svíčky

Napětí potřebné pro vytvoření jiskry je přímo úměrné velikosti mezery zapalovací svíčky (obr. 6.5). Větší mezera znamená, že je nutno ionizovat více vzduchu, což vyžaduje vyšší napětí.



Obr. 6.5 Napětí potřebné pro vytvoření jiskry roste s velikostí mezery svíčky

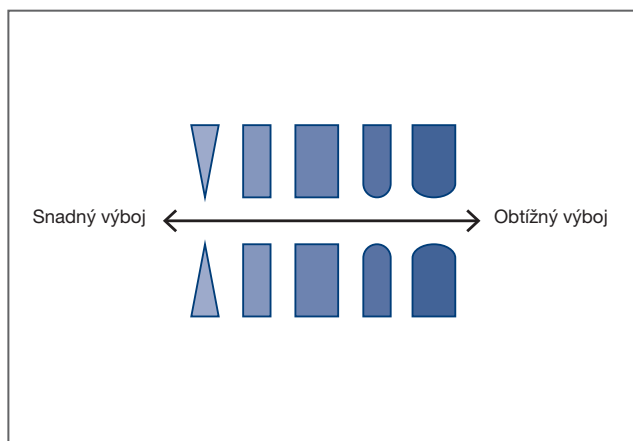


### Tvar a velikost elektrody

Ionizace vzduchu v mezeře zapalovací svíčky je snadnější, když je ionizace více koncentrovaná. K větší koncentraci ionizace přispívají dva hlavní aspekty konstrukčního řešení elektrody, a to její tvar a velikost.

Nejdůležitějším faktorem je tvar elektrody (obr. 6.6). Výboj elektrické energie z ostré hrany vytváří koncentrovanější ionizaci vzduchu. Když se elektrody opotřebují, hrany se zaoblí, což zvýší potřebné napětí.

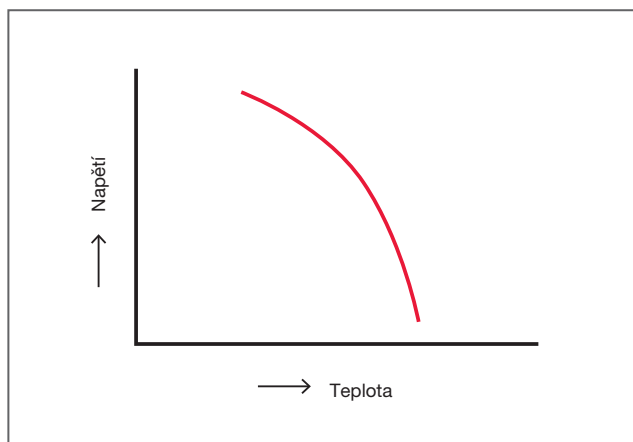
Ménší elektrody mají menší plochu, což opět produkuje koncentrovanější ionizaci vzduchu, a tím snižuje potřebné napětí.



Obr. 6.6 Tvary elektrody vedoucí ke snadnějšímu nebo obtížnějšímu elektrickému výboji

### Teplota elektrody

Napětí potřebné pro vytvoření jiskry se snižuje s rostoucí teplotou elektrody (obr. 6.7). Protože teplota elektrody roste přímo úměrně otáčkám motoru, snižuje se i potřebné napětí.

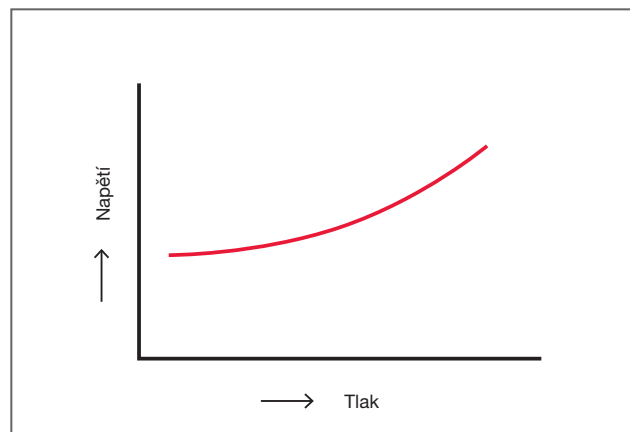


Obr. 6.7 Napětí potřebné pro vytvoření jiskry se snižuje s růstem teploty elektrody

### Kompresní tlak

Napětí potřebné pro vytvoření jiskry roste přímo úměrně kompresnímu tlaku (obr. 6.8). Za vyšších tlaků bude v mezeře zapalovací svíčky více molekul směsi vzduchu a paliva, které je nutno ionizovat, což znamená, že pro dosažení ionizace je zapotřebí vyšší napětí.

Při vyšším zatížení motoru bude v do spalovací komory vstupovat větší množství směsi vzduchu a paliva, což znamená, že je zapotřebí vyšší tlak a vyšší napětí.



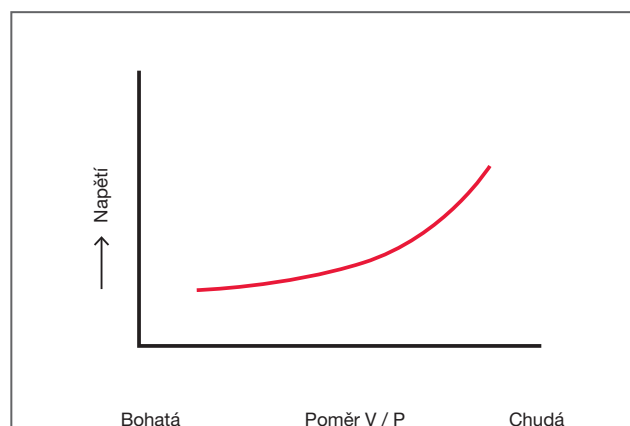
Obr. 6.8 Napětí potřebné pro vytvoření jiskry se zvyšuje s růstem kompresního tlaku

Vysoké kompresní poměry a turbodmychadla, která jsou stále běžnější u moderních motorů, také zvyšují kompresní tlak, což opět pro ionizaci vyžaduje vyšší napětí.

### Poměr vzduchu a paliva

Palivo, zejména ve své kapalné formě, se snadněji ionizuje než vzduch. Směsi s bohatším poměrem vzduchu a paliva je proto snadnější ionizovat a vyžadují nižší napětí než směsi s chudším poměrem vzduchu a paliva.

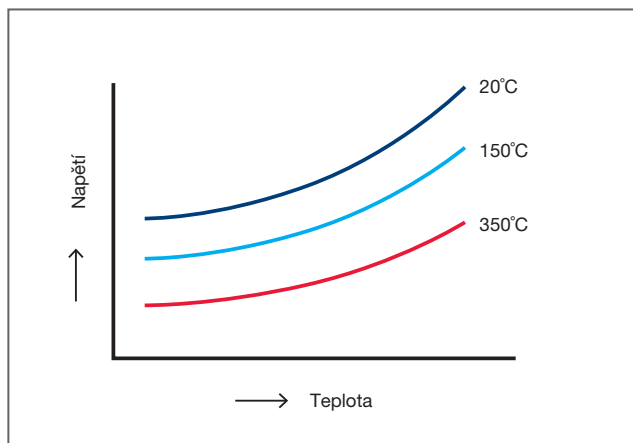
Některé motory jsou navrženy pro běh na chudé směsi za podmínek nízkého zatížení, proto musí být zapalovací soustava schopna dodávat vyšší potřebné napětí.



Obr. 6.9 Napětí potřebné pro vytvoření jiskry je vyšší u chudších poměrů vzduchu a paliva

### Teplota směsi vzduchu a paliva

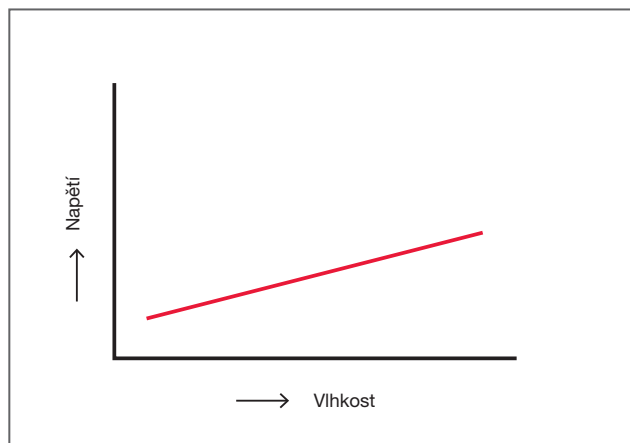
Napětí potřebné pro vytvoření jiskry se snižuje s růstem teploty směsi vzduchu a paliva (obr. 6.10). Při vyšších teplotách molekuly vzduchu kmitají rychleji, což usnadňuje ionizaci a snižuje potřebné napětí.



Obr. 6.10 Napětí potřebné pro vytvoření jiskry se snižuje s nárůstem teploty směsi vzduchu a paliva

### Vlhkost

S růstem vlhkosti se teplota elektrod snižuje, čímž se napětí potřebné pro ionizaci opět zvyšuje (obr. 6.11).



Obr. 6.11 Napětí potřebné pro vytvoření jiskry se zvyšuje s rostoucí vlhkostí

## PŘÍNOS SPOLEČNOSTI DENSO

### Řešení společnosti DENSO

Za účelem překonání problémů s růstem napětí potřebného pro vznik jiskry společnost DENSO vyrábí řadu zapalovacích svíček s menšími elektrodami vyrobenými s využitím drahých kovů, jako je iridium.

Některé zapalovací svíčky DENSO Iridium jsou vyráběny s malou střední elektrodou, jako je patentovaná iridiová elektroda o průměru 0,4 mm.

Řada zapalovacích svíček SIP má menší i zemnicí elektrodu.

Menší elektrody snižují potřebné napětí a iridium poskytuje elektrodám povrch vysoce odolný vůči teplotním vlivům a opotřebení.

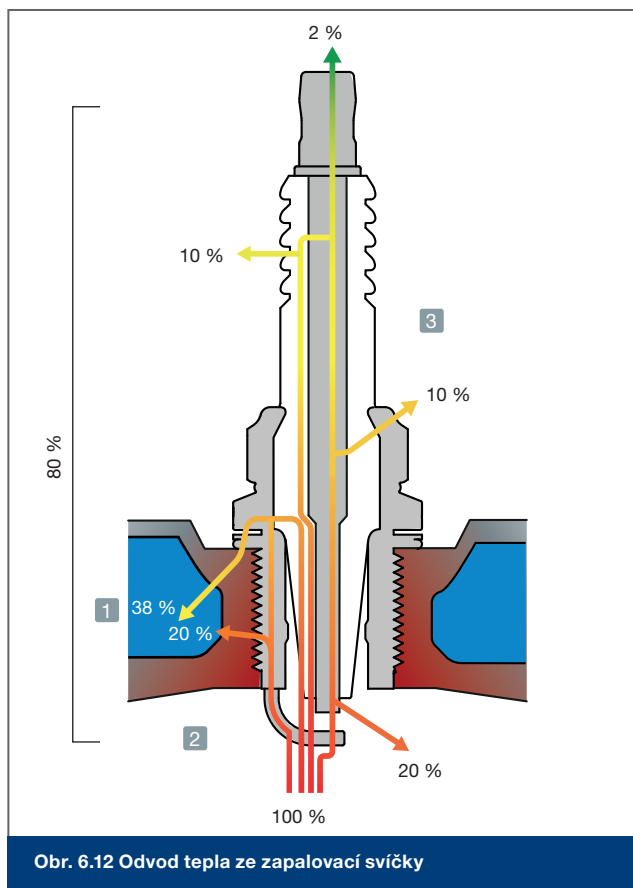
Nabídka zapalovacích svíček DENSO umožňuje upgradovat zapalovací svíčky se standardními specifikacemi osazené do mnoha vozidel, a dosáhnout tak snížení potřebného zápalného napětí, omezení zátěže zapalovací soustavy, a dokonce zvýšení výkonu motoru.

Zapalovací svíčka  
DENSO SIP



## 6.6. Tepelná hodnota

Zapalovací svíčka je vystavena značnému množství tepla z procesu spalování a také teple vytvářeném jiskrou mezi elektrodami. Proto je důležité, aby svíčka dokázala odvádět dostatečné teplo, aby se ochladila na přijatelnou provozní teplotu. Nedostatečné chlazení znamená, že se svíčka příliš rozežřeje a může způsobit samozápal. Přílišné ochlazování naopak brání zapalovací svíčce dosáhnout teploty nezbytné pro spálení usazenin po spalování, což může vést k zanášení zapalovací svíčky. Míra, s jakou zapalovací svíčka odvádí teplo, neboli jak se ochlazuje, se označuje jako „tepelná hodnota“.



### Odvod tepla, neboli ochlazování

Ilustrace na obr. 6.12 znázorňuje, jak je teplo absorbované zapalovací svíčkou odváděno zejména chladicí kapalinou motoru (1). Zbývající část tepla a se odvádí do čerstvé dávky směsi nasávaného vzduchu a paliva (2), pouzdrem zapalovací svíčky a izolátorem do okolního vzduchu (3).

### Výběr správné tepelné hodnoty

Existují teplotní meze, ve kterých mohou zapalovací svíčky spolehlivě a efektivně pracovat. Zapalovací svíčka funguje správně jen tehdy, když je teplota její střední elektrody v rozsahu přibližně 500 až 950 °C.

### Samočisticí teplota

Za určitých provozních podmínek, jako jsou studené starty, může neúplné spalování produkovat malé částičky uhlíku, které se mohou usazovat na špičce izolátoru zapalovací svíčky. Pokud je nainstalována správná zapalovací svíčka, střední elektroda pak dosáhne teploty nad přibližně 500 °C, při níž usazeniny shoří a další se na izolátoru tvořit nebudou. Tato dolní teplotní mez se proto označuje jako „samočisticí teplota“. Jestliže teplota elektrody zůstává pod samočisticí teplotou, vrstva usazenin

uhlíku může poskytnout elektricky vodivou dráhu mezi izolátorem a pouzdrem zapalovací svíčky. To omezí nebo znemožní tvorbu jiskry mezi elektrodami.

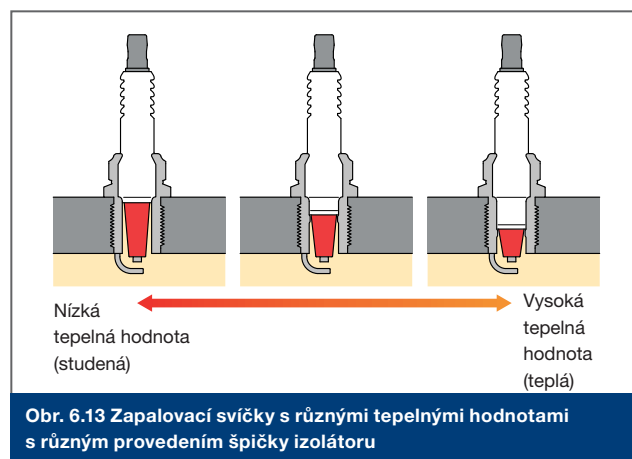
### Teplota samozápalu

Když střední elektroda dosáhne teploty 950 °C nebo vyšší, může způsobovat samozápaly (viz bod 5.2).

### Zapalovací svíčky s nízkou a vysokou tepelnou hodnotou

Pojmy nízká nebo vysoká tepelná hodnota označují provozní podmínky a nikoli teplotu vlastní svíčky. Svíčka s nízkou tepelnou hodnotou má malý odvod tepla a lze ji proto označovat za „teplou svíčku“, která je vhodnější pro chladnější provozní podmínky. Svíčka s vysokou tepelnou hodnotou má vyšší odvod tepla, a proto se jí říká „studená svíčka“, která je vhodnější pro teplejší provozní podmínky.

Příklady na obr. 6.13 znázorňují různé délky špičky izolátoru používané pro dosažení tří různých tepelných hodnot zapalovací svíčky.



### Zapalovací svíčka s nízkou tepelnou hodnotou (teplá)

Zapalovací svíčka s nízkou tepelnou hodnotou má dlouhý úsek špičky izolátoru. Dlouhá špička poskytuje dlouhou dráhu, kterou musí teplo urazit, neboli se rozptýlit do pouzdra svíčky, čímž se snižuje odvod tepla a umožňuje snadný nárůst teploty střední elektrody. U motorů, kde je teplo produkované spalováním obecně nižší, se proto svíčka s nízkou tepelnou hodnotou rychle zahřeje a dosáhne samočisticí teploty, čímž zabrání tvorbě usazenin uhlíku na izolátoru.

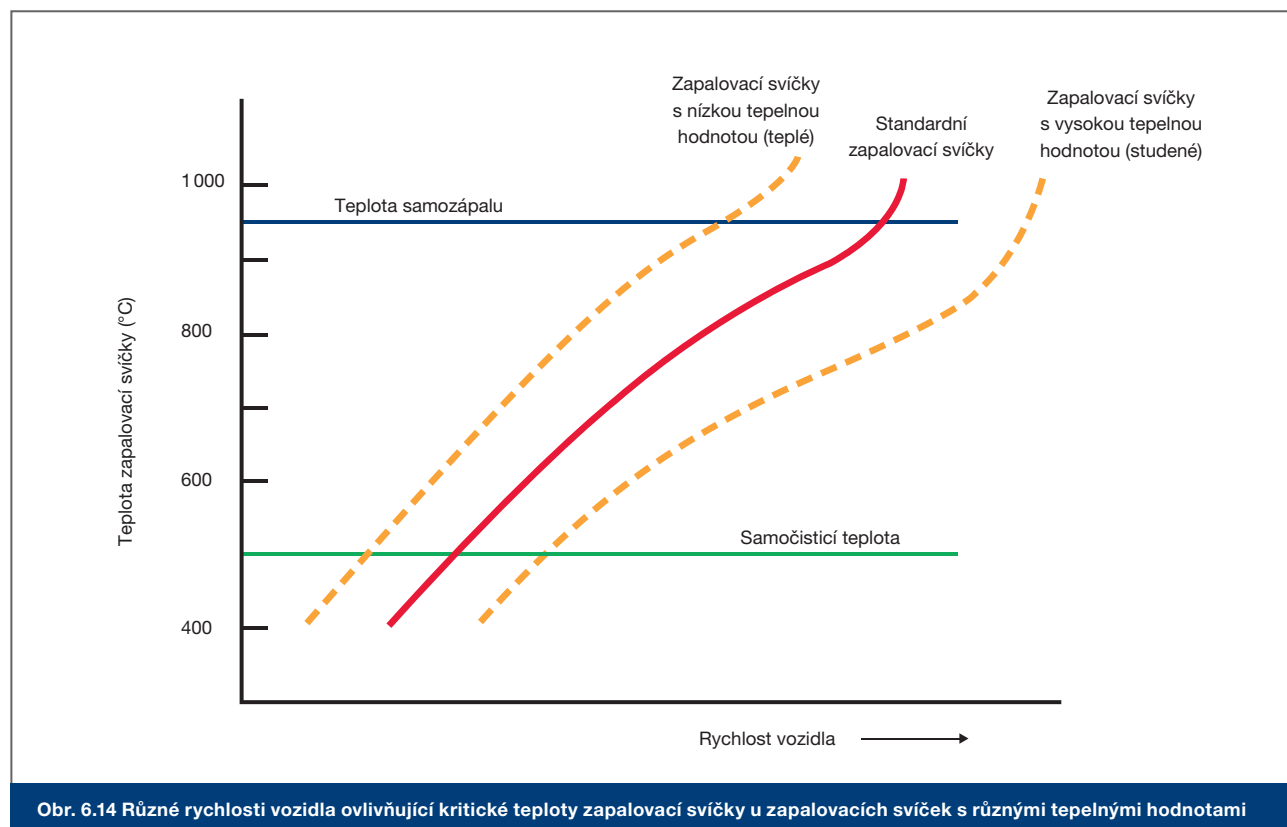
### Zapalovací svíčka s vysokou tepelnou hodnotou (studená)

Oproti zapalovacím svíčkám s nízkou tepelnou hodnotou mají zapalovací svíčky s vysokou tepelnou hodnotou krátký úsek špičky izolátoru. Kratší špička zajišťuje pro teplo kratší dráhu, čímž se teplo odvádí rychleji. Teplota střední elektrody se proto nezvyšuje tak snadno. Avšak protože jsou zapalovací svíčky s vysokou tepelnou hodnotou osazovány do motorů, kde je teplo produkované spalováním obecně vyšší, teplo ze spalování stále zahřívá izolátor na samočisticí teplotu.

**Zapalovací svíčky s vysokou tepelnou hodnotou jsou určeny pro použití v motorech s vysokými otáčkami a vysokým výkonem. Dojde-li k úpravě motoru na vyšší výkon, může být zapotřebí zapalovací svíčka s vyšší tepelnou hodnotou (studenější), která by zvládala konzistentně vznikající vyšší teploty spalování (viz bod 9.6).**

### Další faktory ovlivňující požadavky na tepelnou hodnotu

Tepelná hodnota svíčky je přímo ovlivněna teplotami spalovací komory. Teploty spalování zase závisí na zatížení motoru, které je dáno způsobem jízdy a hmotností a rozměry vozidla. Křivky na obr. 6.14 znázorňují vztah mezi rychlostí vozidla a kritickými teplotami (samočisticí teplotou a teplotou samozápalu) u zapalovacích svíček s nízkou a vysokou tepelnou hodnotou.



Obr. 6.14 Různé rychlosti vozidla ovlivňující kritické teploty zapalovací svíčky u zapalovacích svíček s různými tepelnými hodnotami

## 6.7. Zhášení plamene ovlivňující tvorbu a šíření plamene

### Tvorba a růst plamene

Když na elektrodách zapalovací svíčky vznikne jiskra, vysoká teplota jiskry zažehne malé jádro plamene hořící směsí vzduchu a paliva (viz bod 5.1). Teplu jádra plamene (o teplotě cca 3 000 °C) zažehne sousední vrstvu směsi vzduchu a paliva.

Plamen zpočátku roste uvnitř mezery mezi elektrodami zapalovací svíčky a následně se šíří mimo tuto mezeru a pokračuje jako nezhasínající plamen skrz celou spalovací komoru.

Čelo plamene by mělo v ideálním případě růst rovnoměrně a stejnou rychlostí, aby se směs vzduchu a paliva postupně, avšak rychle spálila. Stejný růst plamene závisí na tvaru spalovací komory, turbulenci a směsi vzduchu a paliva ve spalovací komoře.

Je však nemožné dosáhnout dokonale stejnoměrného růstu plamene, protože nelze vytvořit ideální tvar spalovací komory, která by stále obsahovala ventily, zapalovací svíčku a případně i vstříkovač. Růst plamene může být částečně narušen nebo omezen a plamen může dokonce zhasnout vinou odvodu tepla z plamene na studený povrch.

**Turbulence napomáhá vystavení celé směsi čelu plamene, což přispívá ke spálení veškeré dostupné směsi vzduchu a paliva napříč celou spalovací komorou.**

### Zhášení plamene a teplota elektrody

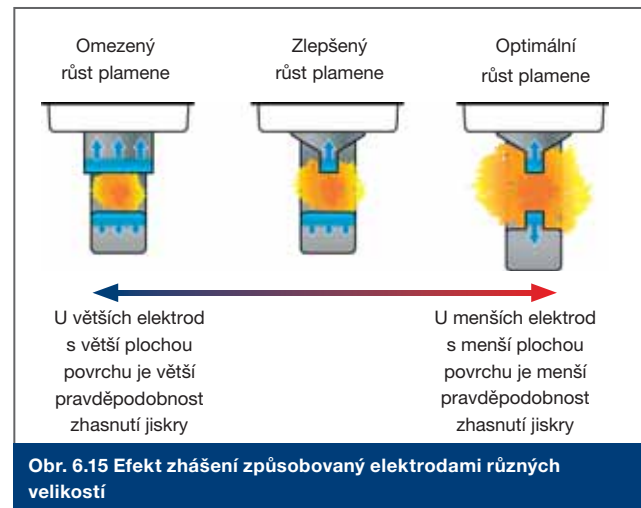
Než se plamen stane nezhasínajícím (samoudržujícím), při počátečním vzniku jádra plamene je velmi blízko k elektrodám, které mají nižší teplotu než plamen. Tato nižší teplota odebírá teplo z jádra plamene. Tento ochlazovací účinek může plamen uhasit, což se označuje za efekt „zhášení“.

Protože studené elektrody pohlcují více tepelné energie z plamene než teplé elektrody, konstrukce zapalovací svíčky a elektrod musí umožňovat elektrodám podržet si dostatečné teplo, aby se snížil efekt zhášení.

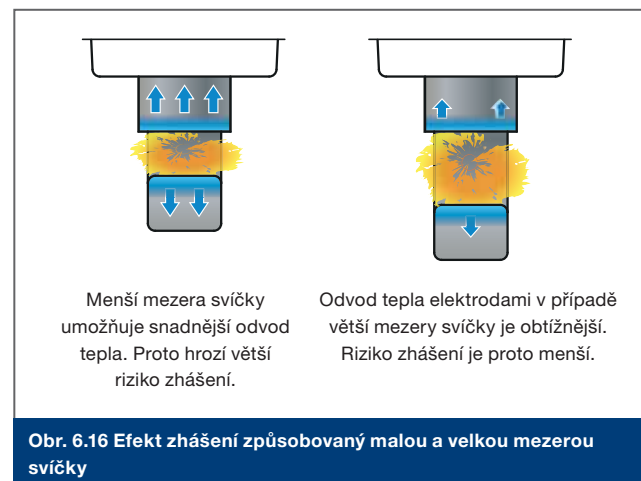
Efekt zhášení lze omezit konstrukčním provedením zapalovací svíčky. Tvar elektrody a mezera zapalovací svíčky mají výrazný dopad na zhášení plamene.

**Ke zhášení plamene může také docházet, když je rostoucí čelo plamene blízko stěn spalovací komory. Pokud je motor studený (například po studeném startu), chladné povrchy ve válci mohou (částečně) zhášet plamen (viz bod 5.3).**

Tvar elektrody. Příklady na obr. 6.15 znázorňují, jak větší elektroda odvádí více tepelné energie z jádra plamene z důvodu většího objemu a většího povrchu. Při použití menší střední elektrody s menším objemem a menším povrchem bude docházet k menšímu odvodu tepla z jádra plamene, čímž se sníží riziko zhášení plamene. Také menší zemnicí elektroda bude mít stejný účinek na snížení rizika zhášení plamene.



Mezera zapalovací svíčky. V případě malé mezery zapalovací svíčky (obr. 6.16) jsou elektrody blízko jádra plamene, což usnadňuje odvod tepla z plamene do elektrod, a efekt zhášení je proto větší. U větší mezery zapalovací svíčky je větší prostor, což omezuje narušování procesu tvorby plamene.



## PŘÍNOS SPOLEČNOSTI DENSO

Společnost DENSO vyrábí zapalovací svíčky s různými tvary a velikostmi elektrod, které snižují efekt zhášení v různých motorových aplikacích. Tato různá provedení zapalovacích svíček jsou popsána v kapitole 7.

# 7. TECHNOLOGIE DENSO: ZVYŠOVÁNÍ VÝKONU ZAPALOVACÍCH SVÍČEK

## 7.1. Vývojové aktivity společnosti DENSO

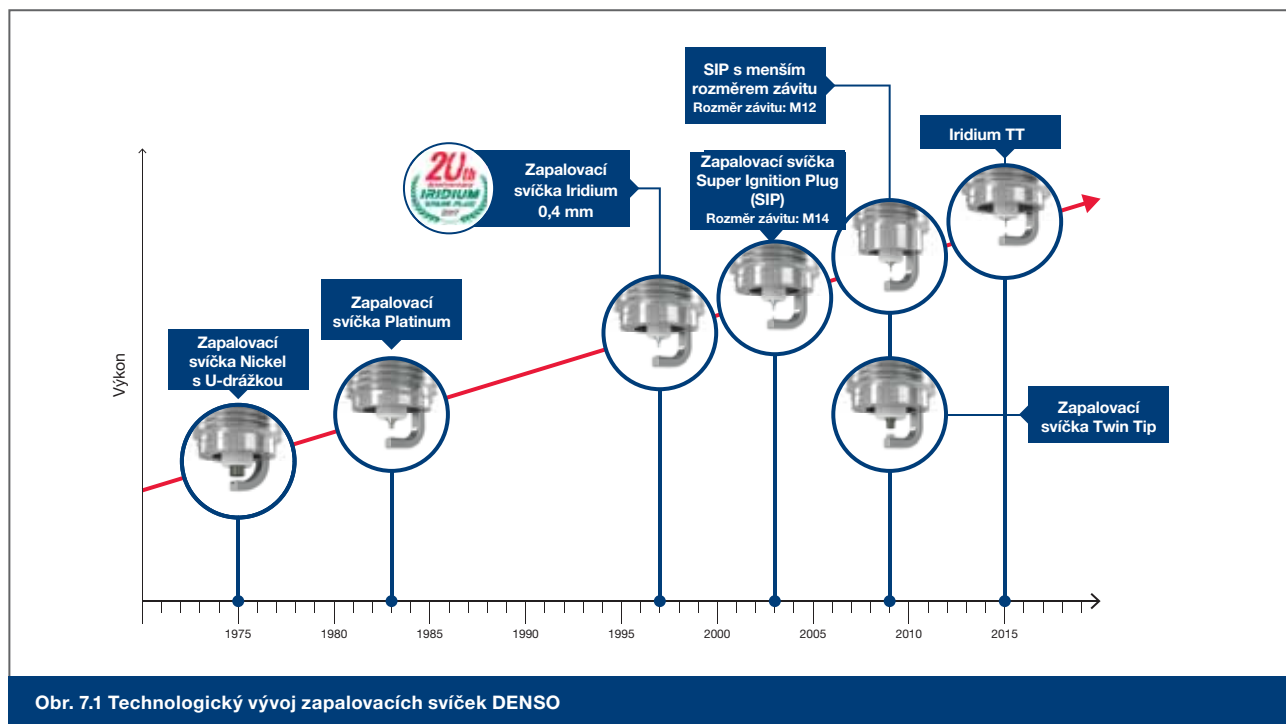
Společnost DENSO má za sebou dlouhou historii vývoje zapalovacích svíček. Některé z těchto výsledků zůstávají unikátní pro společnost DENSO, jiné široce přejal celý trh zapalovacích svíček.

V roce 1960 začala společnost DENSO vyrábět zapalovací svíčky s měděným jádrem určené pro jednostopá a dvoustopá vozidla. V roce 1972 byla patentována a v roce 1975 na trh uvedena zemnicí elektroda s U-drážkou přinášející vyšší výkon. V roce 1983 byly na trh uvedeny zapalovací svíčky s dvojitou platinovou elektrodou s delší provozní životností. V roce 1997 pak společnost DENSO uvedla na trh zapalovací svíčky Iridium Power s doposud nejmenší iridiovou elektrodou na světě.

Vyvinutí svíčky Super Ignition Plug (SIP) lze považovat za jeden z největších průlomů směrem k lepší zápalnosti. Technologie SIP pak vedla k vývoji zapalovacích svíček Nickel TT (v r. 2009) a Iridium TT (v r. 2015), které byly speciálně navrženy pro nezávislý trh s náhradními díly.

Silící trend zmenšování motorů vedl k vývoji zapalovacích svíček s delším, ale užším závitem, např. o průměru 12 mm. Zapalovací svíčky s užším závitem poskytují větší prostor pro vedení chladicí kapaliny motoru a pro větší sací a výfukové ventily.

Tyto menší zapalovací svíčky, které také vyrábí společnost DENSO, musí být stále schopné poskytovat podobný nebo vyšší zapalovací výkon ve srovnání se zapalovacími svíčkami tradičnějších rozměrů, avšak v mnohem menším a kompaktnějším provedení.



## PŘÍNOS SPOLEČNOSTI DENSO

### Zcela bez závad

Společnost DENSO udává standard v oblasti technologií zapalovacích svíček již od roku 1959. Všechny řady zapalovacích svíček jsou vyvíjeny interně a vyráběny v našich vlastních závodech po celém světě, s certifikací podle IATF 16949 – standardně „zcela bez závad“. Poskytujeme stejnou vynikající kvalitu jak pro prvovýrobce, tak i pro trh náhradních dílů a zaručujeme optimální výkon motoru v každém okamžiku.



7.1. Vývojové aktivity společnosti DENSO	42
7.2. Materiály elektrod	43
7.3. Materiály střední elektrody	44
7.4. Zemnicí elektroda	45
7.5. Další technologie používané u zapalovacích svíček DENSO	47
7.6. Vývojové trendy	48

## 7.2. Materiály elektrod

Díky svému umístění ve spalovací komoře jsou zapalovací svíčky vystaveny extrémním teplotám a tlaku, a také opakovaným a prudkým změnám teploty a tlaku. Nicméně i za těchto náročných provozních podmínek musí být elektrody schopny neustále dodávat spolehlivou vysokoenergetickou jiskru po miliony cyklů spalování a po mnoho tisíců najetých kilometrů (u některých typů zapalovacích svíček až 180 000 km).

Tabulka na obr. 7.2 popisuje vlastnosti různých materiálů. Při výrobě elektrod zapalovacích svíček DENSO se široce využívá nikl (často slitiny niklu), platina a iridium.

I když je v tabulce uvedena platina jako materiál s největší odolností vůči oxidaci ze všech tří hlavních materiálů elektrod, nejlepší celkový výkon poskytuje iridium, díky svému velmi vysokému bodu tání a své vysoké pevnosti a tvrdosti.

	Iridium (Ir)	Platina (Pt)	Nikl (Ni)	Zlato (Au)	Stříbro (Ag)
Bod tání (°C)	2454	1769	1453	1063	960
Pevnost (kgf / mm <sup>2</sup> )	112	14	68	13	13
Elektrický odpor (μΩ × cm)	5,3	10,6	6,8	2,3	1,6
Tvrdost (HV; 20 °C)	240	40	160	25	26
Odolnost vůči oxidaci	+	++	+	++	++

Obr. 7.2 Technologický vývoj zapalovacích svíček DENSO

### Bod tání

Z důvodu vysokých teplot a tepla působícího během spalování a elektrického výboje musí mít materiály používané pro elektrody vysoký bod tání, aby nedocházelo k natavování materiálu elektrody.

### Pevnost

Pevnější materiály poskytují stabilnější zapalovací výkon a vyšší dlouhodobou trvanlivost, zejména při použití v podmínkách vysokého jízdního zatížení, kdy jsou elektrody zapalovacích svíček více fyzicky zatěžovány.

### Odolnost vůči oxidaci

Odolnost vůči oxidaci, zejména za vysokých teplot má zásadní význam pro snížení opotřebení elektrod.

**Iridium nemá vynikající odolnost vůči oxidaci, nicméně smíšením iridia s malým množstvím rhodia vznikne slitina s podobnou odolností vůči oxidaci jako platina.**

### Elektrický odpor

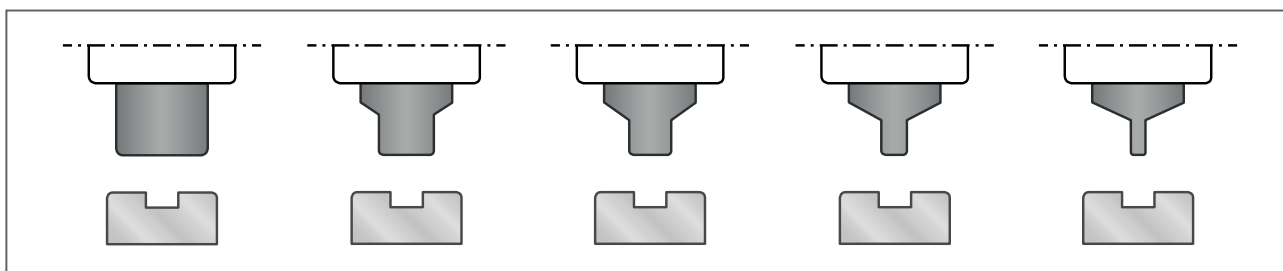
Kovy mají obecně velmi nízký elektrický odpor, který nijak nepříznivě neovlivňuje proud nebo napětí vytvářející jiskru. Avšak v průběhu provozní životnosti zapalovací svíčky si musí materiály elektrod zachovávat svůj velmi nízký elektrický odpor, i když jsou elektrody vystaveny nepříznivým provozním podmínkám.

### 7.3. Materiály střední elektrody

Neustávající vývoj spalovacích motorů, zejména s cílem zvýšení výkonu, snížení spotřeby paliva a množství emisí, vede ke zvyšování teplot spalování a tlaků ve válci, stejně jako k celkovému zlepšení účinnosti spalování. Pro udržení kroku s těmito vylepšeními motorů se vyvinuly také zapalovací svíčky DENSO, aby poskytovaly jiskry o vyšší energii.

K vylepšením konstrukce střední elektrody patří menší průměry (obr. 7.3), dosažené použitím odolnějších kovů, které následně umožňují použít nižší napětí k dodávání podobné nebo i vyšší úrovně energie.

Díky menším středním elektrodám (a zemnicím elektrodám) je omezeno blokování plamene během zapalování a spalování. U menších elektrod je však také nižší odvod tepla z plamene, čímž se snižuje riziko zhasnutí plamene.



Obr. 7.3 Příklady různých typů a rozměrů středních elektrod

#### Niklová střední elektroda

Zapalovací svíčky DENSO se dlouhá léta vyrábějí s niklovými středními elektrodami, obvykle o průměru 2,5 mm (obr. 7.4). Niklové elektrody standardního typu jsou velmi spolehlivé, cenově dostupné a v současnosti se stále používají.

#### Platinová střední elektroda

Platina se ve středních elektrodách používá díky své odolnosti vůči vysokým teplotám. Na elektrodu je přivařen platinový hrot a díky své vysoké teplotní odolnosti lze průměr hrotu snížit na 1,1 mm (obr. 7.5), a přesto bude mít delší provozní životnost než niklové zapalovací svíčky. Platinové střední elektrody byly díky svému vynikajícímu výkonu velmi populární v 80. a 90. letech minulého století, ale od té doby byly postupně nahrazeny lepšími iridiovými středními elektrodami.



Obr. 7.4 Niklová střední elektroda – průměr 2,5 mm



Obr. 7.5 Platinová střední elektroda – průměr 1,1 mm

## PŘÍNOS SPOLEČNOSTI DENSO

Zapalovací svíčky DENSO Iridium mají nejvyšší koncentraci iridia na trhu – přibližně 90 % iridia a 10 % rhodia. Jiní výrobci zapalovacích svíček často své svíčky na trhu prezentují jako „iridiové“, ty jsou však ve skutečnosti slitinou zejména platiny s jen malým procentem iridia. Tato kombinace nedovoluje dosáhnout tak malých rozměrů elektrod a může mít za následek kratší životnost.

#### Iridiová střední elektroda

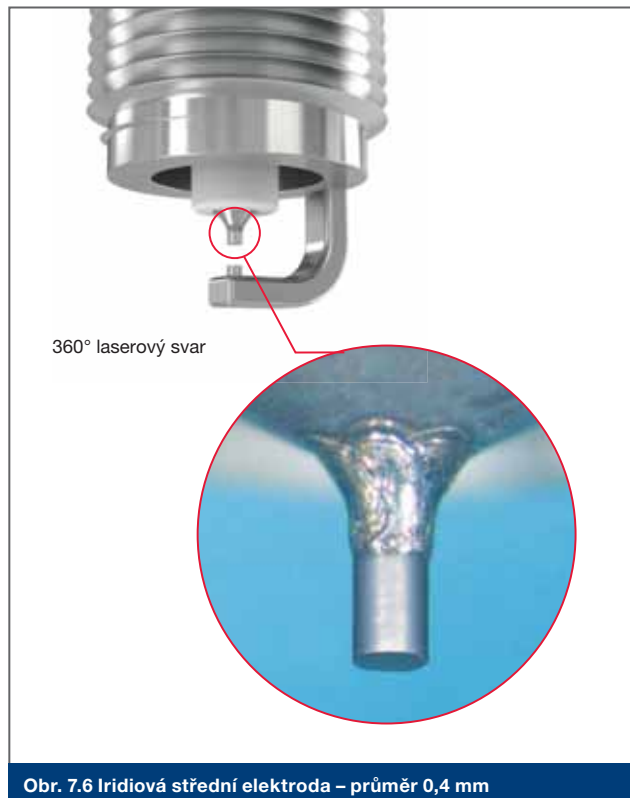
Iridiové střední elektrody společnosti DENSO využívají slitinu iridia s obsahem iridia nejvyšší čistoty na trhu. Díky svým patentovaným výrobním technologiím dokáže společnost DENSO vyrábět střední elektrody o průměru pouhých 0,7 mm nebo 0,55 mm, a dokonce i unikátní patentovanou elektrodu o průměru 0,4 mm (obr. 7.6).

Iridium je vůbec nejtvrdějším a tepelně nejodolnějším materiálem, který se kdy používal u zapalovacích svíček, ale čisté iridium pro elektrody zapalovacích svíček nemá dostatečnou odolnost vůči oxidaci za vysokých teplot. Společnost DENSO proto vyvinula slitinu iridia a rhodia, aby odolnost vůči oxidaci zvýšila. Tato nová slitina je materiálem patentovaným společností DENSO.

Iridium je extrémně tvrdým materiálem. V minulosti bylo možno s iridiem ve výrobě pracovat pouze metodou slinování. Tento výrobní postup je však drahý a omezený, pokud jde o tvar a rozměry, což znamená, že jej nelze použít pro výrobu zapalovacích svíček. Společnost DENSO však vyvinula novou technologii pro práci s drahými kovy, která umožňuje tažení nebo tvarování iridia ještě v roztaveném stavu, což již dovoluje iridiové střední elektrody vyrábět. Iridiová elektroda je připevněna patentovaným procesem 360° laserového svařování.

Díky těmto novým technologiím byla společnost DENSO první, kdo vyráběl zapalovací svíčky s iridiovými elektrodami.

**Díky svému vysokému bodu tání a vynikající odolnosti vůči korozi se iridium široce využívá v oborech s nejmodernějšími technologiemi, jako je letectví a lékařská technika, ale také ve šperkařství.**



Obr. 7.6 Iridiová střední elektroda – průměr 0,4 mm

## 7.4. Zemnicí elektroda

Zemnicí elektroda vyčnívá dovnitř spalovací komory, a proto musí vydržet vysoké teploty a extrémní kolísání teplot. Také zemnicí elektroda má důležitý vliv na zapalovací výkon, stejně jako na spalování a tím i na celkový výkon motoru. Stejně jako u střední elektrody je i u zemnicí elektrody materiál klíčem k zajištění dlouhé životnosti zapalovací svíčky. Společnost DENSO proto vyvinula celou řadu technologií využívaných u zemnicích elektrod.

#### U-drážka

Zemnicí elektroda DENSO s U-drážkou (obr. 7.7) má doplněny další hrany, čímž snižuje potřebné napětí. Poskytuje také prostor pro větší objem směsi vzduchu a paliva v blízkosti jiskry, což pomáhá při zapalování i chudých směsí. Energie zážehu je vyšší, čímž se omezuje zanášení uhlíkem a dosahuje plynulejší akcelerace.

#### Zkosení

V případě zkosené zemnicí elektrody (obr. 7.8) je hrot zúžený, což omezuje efekt zhášení a zvyšuje zápalnost.



Obr. 7.7 Zemnicí elektroda s U-drážkou



Obr. 7.8 Zkosená zemnicí elektroda

### Povrchový výboj u rotačních motorů

Svíčky pro povrchový výboj (obr. 7.9) se používají zejména u rotačních motorů, kde tradiční zemnicí elektrody nevyhovují konstrukci jejich spalovací komory. Jiskra vzniká mezi střední elektrodou a vnitřní hranou zemnicí elektrody.



Obr. 7.9 Zemnicí elektroda pro povrchový výboj

### Vnější elektrody

Tato konstrukce zapalovací svíčky (obr. 7.10) poskytuje optimální výkon pro použití u motorů s přímým vstřikováním, u nichž může být směs vzduchu a paliva v blízkosti zapalovací svíčky poměrně bohatá a může docházet k zanášení svíčky uhlíkem. Za běžného provozu vzniká jiskra mezi hlavní elektrodou a zemnicí elektrodou. Pokud však dojde k zanesení, jiskra přechází na vnější elektrody a dochází ke spalování uhlíku (viz obr. 10.3).



Obr. 7.10 Vnější elektrody

### Svíčka pro polopovrchový výboj

Používání zapalovacích svíček pro polopovrchový výboj zvyšuje zápalnost a odolnost vůči zanášení (obr. 7.11). Hrana na vnitřku pouzdra funguje podobně jako vnější elektrody. Pokud nános uhlíku brání přeskoku jiskry na normální zemnicí elektrodu, poskytuje tato hrana alternativní zemnicí dráhu. Tato alternativní zemnicí dráha umožňuje, aby jiskra spálila případně vytvořený nános uhlíku a jiskra mohla poté opět procházet přes normální zemnicí elektrodu.



Obr. 7.11 Svíčka pro polopovrchový výboj

### Větší počet zemnicích elektrod

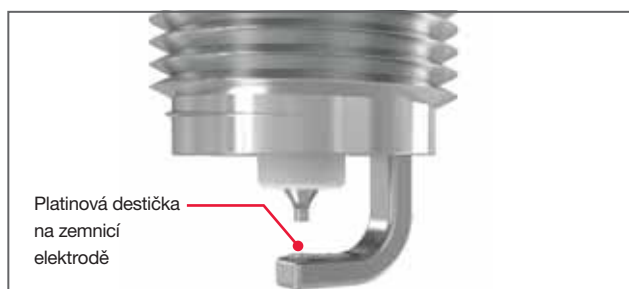
U niklových zapalovacích svíček lze provozní životnost snadno prodloužit přidáním dalších zemnicích elektrod. Tento typ zapalovací svíčky DENSO je k dispozici se dvěma nebo třemi zemnicími elektrodami, které jsou považovány za cenově výhodné řešení v prodloužení životnosti zapalovacích svíček (obr. 7.12). Nicméně větší počet zemnicích elektrod se nepříznivě odráží na výkonu spalování. Použití platinové destičky na zemnicí elektrodě je proto preferovanějším řešením prodloužení životnosti.



Obr. 7.12 Větší počet zemnicích elektrod

### Elektroda s platinovou destičkou

Platina je velice odolná vůči korozi a vydrží prudké teplotní změny. Zvyšuje životnost zapalovací svíčky bez újmy na výkonu. Zemnicí elektrody s platinovou destičkou jsou vždy kombinovány s platinovou nebo iridiovou střední elektrodou (obr. 7.13).



Obr. 7.13 Elektroda s kruhovou platinovou destičkou

### Zapalovací svíčka Super Ignition Plug (SIP)

Tato revoluční iridiová zapalovací svíčka, uvedená společností DENSO na trh v roce 2003, využívá u zemnicí elektrody technologii platinového hrotu vyvinutou společností DENSO a její jehlovitý hrot má průměr 0,7–1,0 mm. Tento malý průměr zemnicí elektrody zajišťuje bezkonkurenční omezení efektu zhášení a ničím neomezený růst plamene. Tato zemnicí elektroda o malém průměru je vždy kombinována s iridiovou střední elektrodou (obr. 7.14).



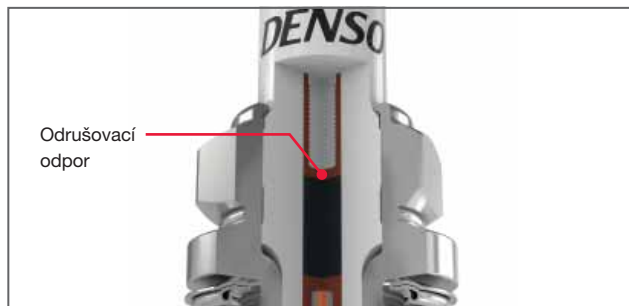
Obr. 7.14 Zapalovací svíčka Super Ignition Plug

## 7.5. Další technologie používané u zapalovacích svíček DENSO

### Svíčky s odrušovacím odporem

Zařazením odporu 5 k $\Omega$  mezi koncovku a střední elektrodu jsme vytvořili zapalovací svíčku, která při zapalování produkuje menší elektromagnetické rušení. Vzhledem k rostoucímu počtu elektronických zařízení ve vozidlech jsou v současnosti všechna nová vozidla standardně dodávána se svíčkami s odrušovacím odporem (obr. 7.15).

Odpor nijak neovlivňuje napětí a pouze omezuje proudové špičky, čímž snižuje elektromagnetické rušení bez vlivu na zápalný výkon.



Obr. 7.15 Svíčka s odrušovacím odporem

### Zapalovací svíčky s vysunutými elektrodami

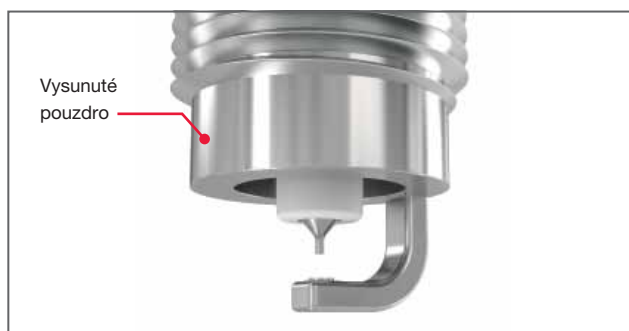
Vysunutím elektrod (obr. 7.16) je jiskra umístěna blíže středu spalovací komory. Toto centrální umístění jiskry může být výhodné u motorů s obtížnou zápalností, například u motorů s nízkým výkonem a nízkým stlačením, které běží s nižšími teplotami spalování. Protože je vzdálenost od elektrody k pouzdru mnohem delší, je tento typ zapalovacích svíček dostupný pouze s nízkou tepelnou hodnotou.



Obr. 7.16 Vysunuté elektrody

### Vysunuté pouzdro

Vysunutě pouzdro umožňuje vysunout pozici jiskry (obr. 7.17). Podobně jako u zapalovacích svíček s vysunutými elektrodami zasahuje tato svíčka hlouběji do spalovací komory. Avšak vysunutím pouzdra dokáže lépe zvládat vysoké teploty a výkony. Zapalovací svíčky s vysunutým pouzdrům jsou dostupné s vyššími tepelnými hodnotami než zapalovací svíčky s vysunutými elektrodami.



Obr. 7.17 Vysunutě pouzdro

### Zapalovací svíčky se zkoseným sedlem

Zapalovací svíčky se zkoseným sedlem jsou určeny výhradně pro vozidla nejaponské výroby, kde zapalovací svíčka nevyužívá těsnění (obr. 7.18). Rozhodnutí používat zapalovací svíčky se zkoseným sedlem nebo svíčky s těsněním je výhradně preferencí výrobce.

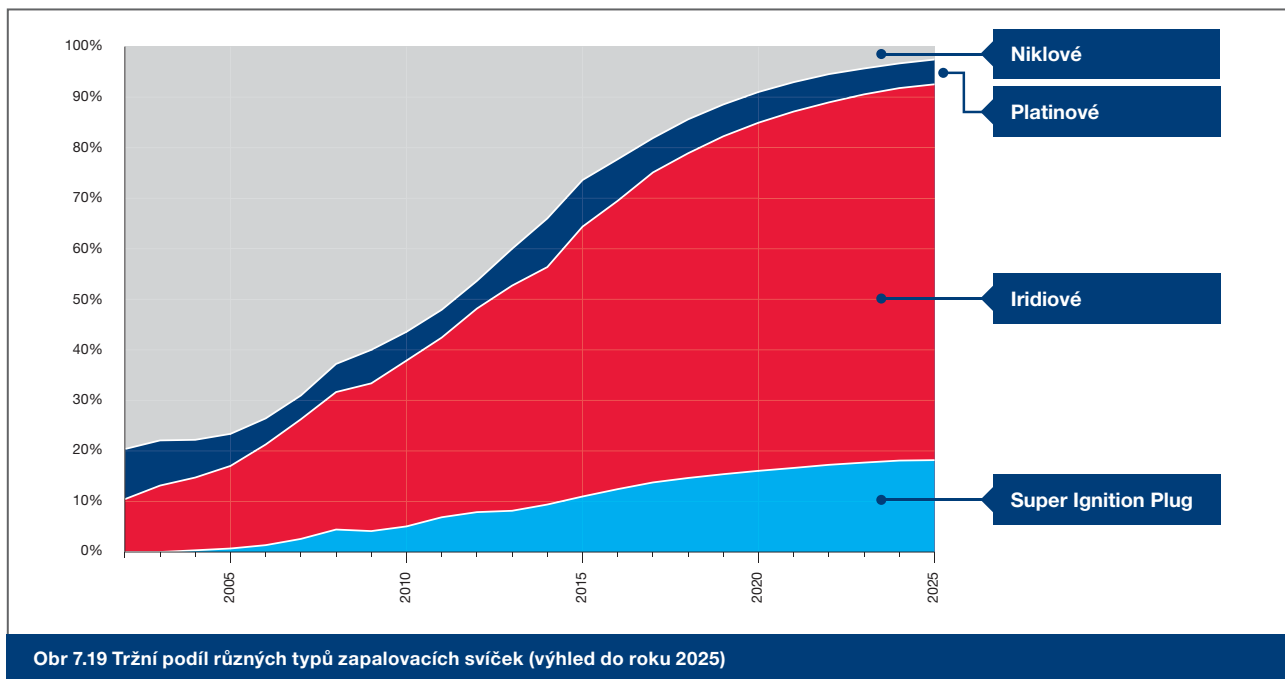


Obr. 7.18 Zapalovací svíčky se zkoseným sedlem

## 7.6. Vývojové trendy

### Přehled

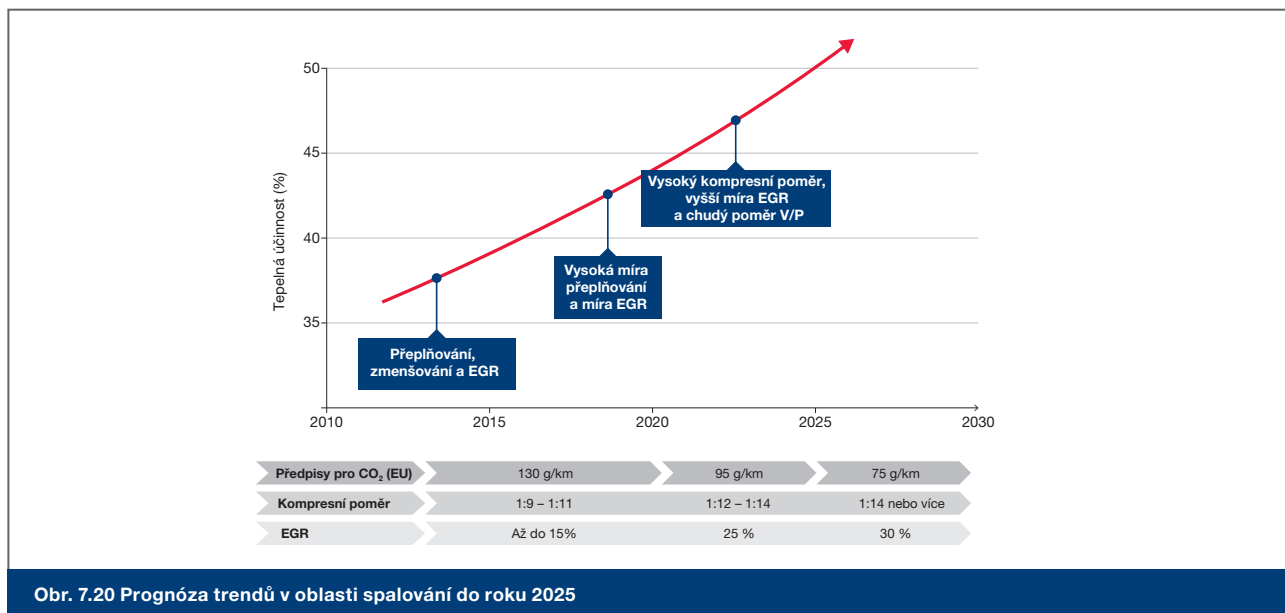
V současné době využívá více než 75 % všech nově registrovaných vozidel se zážehovými motory iridiové zapalovací svíčky (obr. 7.19). Očekáváme, že po zpřísnění emisních předpisů se toto procento ještě zvýší.



Aby výrobci automobilů dokázali plnit ještě přísnější limity emisí CO<sub>2</sub>, musí najít způsoby, jak zvýšit účinnost spalovacího motoru. U zážehových motorů toho lze dosáhnout použitím řady technologií, jako je zmenšování motoru, vysoká míra recirkulace výfukových plynů (EGR) a použití chudých směsí. I když jsou tyto moderní technologie motoru popsány v bodu 5.5, stojí za to znovu připomenout jejich dopady na konstrukci zapalovacích svíček. Jedná se například o požadavek, aby zapalovací svíčky vydržely ještě vyšší napětí než 45 kV.

Obr. 7.20 znázorňuje hrubý odhad trendů v oblasti spalovacích motorů zahrnující předpisy EU pro emise CO<sub>2</sub>, kompresní poměry a míry recirkulace výfukových plynů (EGR) do roku 2025.

Jakožto přední inovátor v oblasti automobilových technologií zůstane i nadále společnost DENSO na čele vývoje konstrukčních řešení pro spalovací motory, aby její produkty průběžně plnily požadavky na zvýšenou účinnost motoru, vyšší výkon a nižší objem emisí.



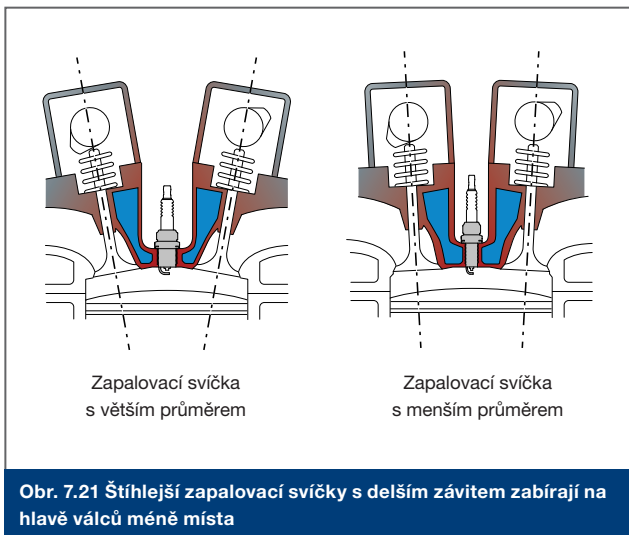


### Zmenšování motorů

Výrobci již nějakou dobu vyvíjejí menší motory, které mají relativně menší zdvih, avšak stále musí podávat vysoký výkon, k čemuž se často využívá přeplňování.

S menším motorem jsou spojeny určité neobvyklé výzvy, jako je nutnost vtěsnat komponenty do omezeného prostoru (obr. 7.21). Do menší hlavy válců je stále nutno umístit 4 velké ventily pro náležitý přívod a odvod plynů, stejně jako zapalovací svíčky a často i vstřikovače paliva. Musí zde však být také dostatek místa pro kanály chladicí kapaliny, aby se vše udrželo na požadované teplotě. Jedním z řešení těchto prostorových nároků je používat štíhlejší zapalovací svíčky s dlouhými závitmi, které se již nějakou dobu úspěšně používají v motocyklových motorech a nyní se uplatňují i v automobilech.

Zmenšování rozměrů a vysoký výkon jdou ruku v ruce s vyššími tlaky ve válci, a to buď zvýšením tlaku turbodmychadlem, nebo vyššími kompresními poměry. Vyšší tlaky však znesnadňují ionizaci vzduchu a vytvoření jiskry (další informace o ionizaci naleznete v bodu 6.4). Pro překonání tohoto problému jsou zapotřebí vyšší napětí pro jiskru a očekává se, že potřebné napětí se zvýší na více než 45 kV.



Obr. 7.21 Štíhlejší zapalovací svíčky s delším závitem zabírají na hlavě válců méně místa

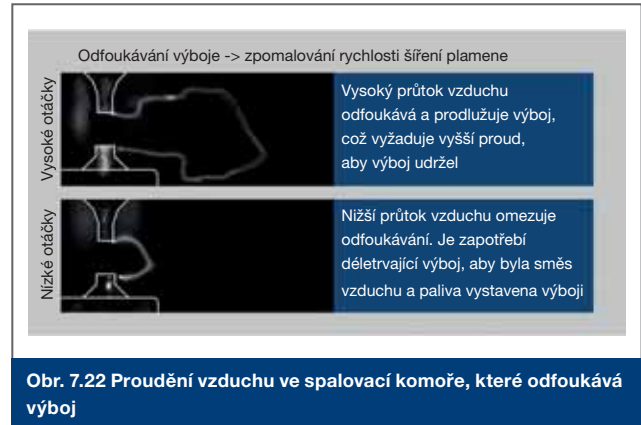
### Vysoká míra EGR

Se zvyšováním kompresního poměru a teplot spalování se zvyšuje také riziko klepání motoru. Pro potlačení klepání motoru se zvyšuje míra recirkulace výfukových plynů (EGR), která napomáhá snížit teploty spalování. Zvyšuje se tím také proudění plynů ve spalovací komoře, což přispívá k lepšímu smíšení vzduchu a paliva.

Toto zvýšené proudění, zejména za vyšších otáček motoru, má tendenci odfoukávat jiskru z elektrod, což vytváří prodloužený nebo delší elektrický oblouk, který je vystaven většímu množství směsi vzduchu a paliva a zlepšuje se tím zápalnost (obr. 7.22). Aby však nedocházelo k úplnému sfouknutí, musí zapalovací cívka dodávat vyšší proud, aby se oblouk udržel.

Nicméně při nižším průtoku plynu, k němuž může docházet za nižších otáček motoru, může být obtížnější směs vzduchu, paliva a výfukových plynů zapálit. Pro překonání tohoto problému by měl výboj trvat déle, aby na směs vzduchu a paliva působil delší dobu a zápalnost se opět zlepšila.

Zapalovací cívka proto musí být schopna dodávat zapalovací svíčke vyšší energii, aby jednak udržela fyzicky delší oblouk a udržela tento oblouk po delší dobu.



Obr. 7.22 Proudění vzduchu ve spalovací komoře, které odfoukává výboj

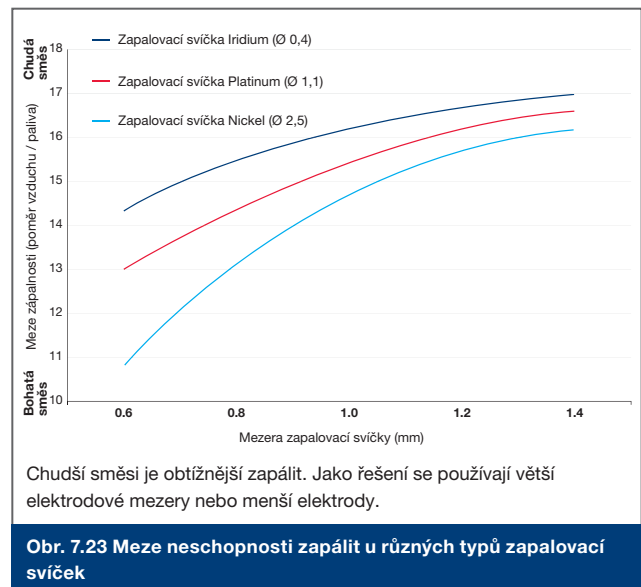
Měrná jednotka energie je joule (J). Energie produkovaná zapalovací cívkou se obvykle pohybuje okolo 30 až 80 mJ (milijoulů, 1 mJ = 1/1 000 J). Aby však mohla cívka poskytovat potřebná vyšší napětí, vyšší proudy a zajistit déletrvajících výboj, očekává se, že se dostupná energie cívky zvýší na více než 200 mJ.

### Chudý poměr vzduchu a paliva

Ačkoliv mají chudé směsi za následek vyšší teploty spalování, mohou ve skutečnosti zvýšit účinnost motoru. Chudé směsi zvyšují také emise NOx, což pak vyžaduje následné zpracování výfukových plynů. Stejně jako v případě vysoké míry recirkulace výfukových plynů, i chudé směsi vyžadují výkonnější zapalovací jiskru. Protože se očekává, že poměry vzduchu a paliva dosáhnou hodnoty lambda 2 (poměr vzduchu a paliva cca 30:1) nebo více, vývoj zapalovacích svíček bude pokračovat, aby byl zajištěna co nejlepší jiskra i za ještě náročnějších provozních podmínek.

Na obr. 7.23 je znázorněna zápalnost směsi vzduchu a paliva při použití niklových, platinových a iridiových zapalovacích svíček s různými elektrodozí mezerami.

Iridiové zapalovací svíčky poskytují nejlepší výkon. Pro zaručení řádné zápalnosti se tenké iridiové elektrody, jaké vyrábí například společnost DENSO, jednoho dne stanou standardem.



Chudší směsi je obtížnější zapálit. Jako řešení se používají větší elektrodozí mezery nebo menší elektrody.

Obr. 7.23 Meze neschopnosti zapálit u různých typů zapalovacích svíček

# 8. PRODUKTOVÁ NABÍDKA DENSO

## 8.1. Direct Fit

Přední výrobci motorů a vozidel volí zapalovací svíčky DENSO pro jejich spolehlivost a výkon. Zapalovací svíčky DENSO Direct Fit najdete ve špičkových i v sériově vyráběných vozidlech. Zapalovací svíčky DENSO Direct Fit jsou přesně tytéž zapalovací svíčky jako originály, nebo jsou přímou ekvivalentní alternativou DENSO.

Řada Direct Fit zahrnuje: niklové, platinové, iridiové a SIP zapalovací svíčky, které jsou dostupné pro obecné automobilové a motocyklové aplikace, stejně jako pro námořní, zemědělské a malé motory.

### Nickel

Zapalovací svíčky DENSO Nickel využívají patentovanou zemnicí elektrodu s U-drážkou pro zvýšení zapalovacího výkonu (obr. 8.1). Technologii U-drážky vyvinula společnost DENSO a v 70. letech minulého století byla považována za nejlepší dosavadní vylepšení zapalovací svíčky. Automobilky spolupracující se společností DENSO v oblasti osazování originálních zapalovacích svíček okamžitě přijali technologii U-drážky pro použití ve svém portfoliu vozidel.

Technologie společnosti DENSO pro tepelné hodnoty u niklových zapalovacích svíček pokrývá širší rozsah tepelných hodnot než jiní výrobci, což umožňuje konsolidovanou nabídku menšího počtu sortimentních položek a nižší skladové zásoby.

Společnost DENSO stále využívá technologii U-drážky u většiny zapalovacích svíček s jednou zemnicí elektrodou.

Zapalovací svíčky DENSO Nickel můžete najít ve vozidlech Toyota Aygo-Citroën C1-Peugeot 107 modelového roku 2005 s motorem 1KR-FE o objemu 1,0 litru a v mnoha dalších sériově vyráběných vozidlech.



Všechny dostupné sortimentní položky společnosti DENSO naleznete na adrese:

[www.denso-am.eu/e-catalogue](http://www.denso-am.eu/e-catalogue)

### Platinum

Platinové zapalovací svíčky se staly populární v 80. letech minulého století, neboť přinášely vyšší výkon zapalovacích svíček a motoru. S rostoucí poptávkou po snižování emisí bylo zapotřebí nahradit niklovou technologii vyspělejšími zapalovacími svíčkami.

Platinové zapalovací svíčky s dlouhou životností využívají jak platinovou střední elektrodu, tak platinovou destičku na zemnicí elektrodě (viz obr. 8.2).

Společnost DENSO v nedávné době přeměřovala svou pozornost od vývoje platinových zapalovacích svíček na dokonalejší iridiové zapalovací svíčky. Platina se však pro svou odolnost vůči korozi stále používá na zemnicích elektrodách většiny moderních zapalovacích svíček.

Zapalovací svíčky DENSO Platinum můžete najít ve špičkovém vozu Lexus LFA modelového roku 2010 s motorem V10.



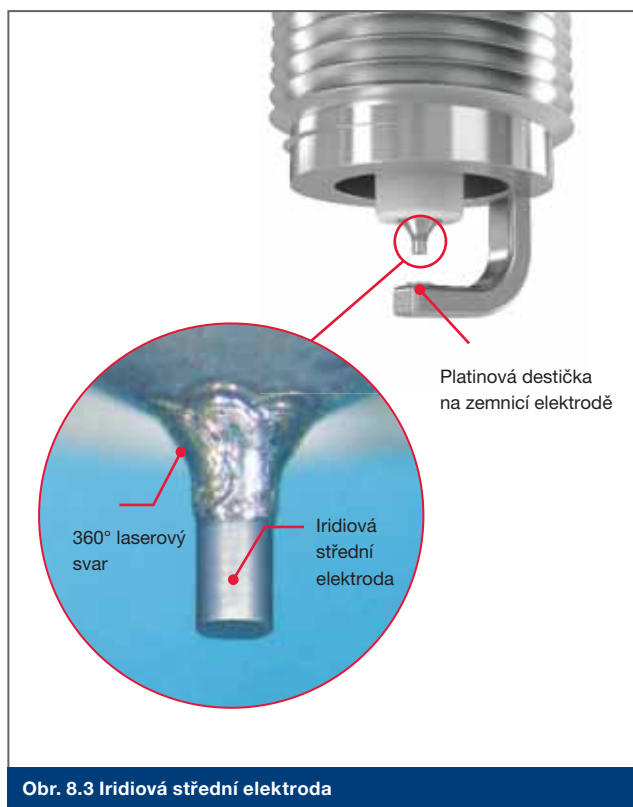
8.1. Direct Fit	50
8.2. Twin Tip	52
8.3. Iridium Power	53
8.4. Iridium Racing	54

### Iridium

Společnost DENSO, jakožto průkopník výroby iridiových zapalovacích svíček, si nechala patentovat nejtenčí dostupnou střední elektrodu o průměru pouhých 0,4 mm a metodu jejího upevnění pomocí 360° laserového svařování (obr. 8.3).

Iridiová zapalovací svíčka není jen spolehlivější, ale je také přesnější. Zapálí směs vzduchu a paliva v přesně správný okamžik určený systémem řízení motoru.

V kombinaci s platinovou destičkou na zemnicí elektrodě (viz obr. 8.3) mohou iridiové zapalovací svíčky vydržet po celou provozní životnost vozidla, což snižuje náklady na údržbu.

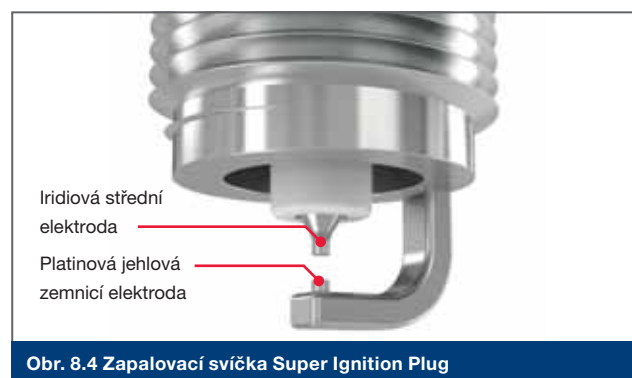


### Super Ignition

Technologie Super Ignition byla zavedena pro špičkové zapalovací svíčky za účelem snížení emisí výfukových plynů u špičkových vozidel. V současnosti jde o nejdokonalejší dostupnou technologii zapalovacích svíček. Využívá iridiovou střední elektrodu a unikátní platinovou zemnicí elektrodu jehlového typu. Střední elektroda je k dispozici v průměrech 0,55 mm nebo 0,7 mm. Zemnicí elektrodou je platinová jehla o průměru 0,7 mm nebo 1,0 mm.

Tato unikátní platinová zemnicí elektroda jehlového typu přináší více než jen vynikající provozní životnost. Snižuje také potřebné napětí a poskytuje větší prostor pro růst plamene, přičemž v podstatě odstraňuje efekt zhášení.

Zapalovací svíčky DENSO Super Ignition FXE20HR11 můžete najít ve vozu Nissan Qashqai modelového roku 2007 a v mnoha dalších špičkových vozidlech. Pro tyto aplikace existuje také ekvivalent Iridium TT splňující požadavky tohoto motoru, v kombinaci s patentovanou technologií střední elektrody o průměru 0,4 mm.

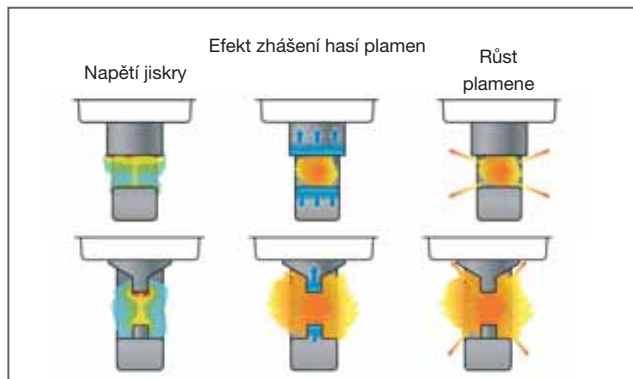


Zapalovací svíčky DENSO Iridium pro prvovýrobce můžete najít v hybridním voze Volvo XC90 T8 modelového roku 2015 a v mnoha dalších motorech Volvo. Na trhu s náhradními díly jsou dostupné také zapalovací svíčky Iridium TT určené pro další nové motory Volvo a poskytující nejvyšší výkon, které jsou vyráběny na stejných výrobních linkách.

### 8.2. Twin Tip

V předchozích kapitolách je vysvětleno, že pro téměř všechna výkonnostní kritéria zapalovacích svíček, s výjimkou jejich životnosti, poskytují nejlepší výsledky menší elektrody zapalovacích svíček.

Menší elektrody mají koncentrovanější elektrické pole, což snižuje potřebné napětí. Menší povrch a objem omezují efekt zhášení a dovolují neomezený růst plamene.



Obr. 8.5 Výhody malé elektrody

Prosté zmenšení velikosti elektrody by za normální situace zkrátilo provozní životnost zapalovací svíčky. Společnost DENSO vyvinula unikátní materiály dovolující použít menší elektrody bez jakéhokoli dopadu na provozní životnost.

Na základě zkušeností a úspěchu zapalovacích svíček Super Ignition (SIP) se štíhlou středovou a zemnicí elektrodou společnost DENSO vyvinula dva typy zapalovacích svíček Twin Tip využívající malé elektrody bez zkrácení životnosti zapalovací svíčky. Ve skutečnosti je provozní životnost často prodloužena. Tyto zapalovací svíčky lze použít jako alternativu originálních zapalovacích svíček nebo jako upgrade. Řada výkonnějších zapalovacích svíček DENSO Twin Tip umožňuje nabízet malý rozsah sortimentních položek pokrývající většinu vozidel.

#### Nickel TT

Nikl je relativně levným materiálem používaným pro elektrody zapalovacích svíček, nicméně z důvodu požadované dlouhé provozní životnosti má střední elektroda obvykle průměr 2,5 mm. Je-li požadována menší zemnicí elektroda, obvykle by bylo nutno na zemnicí elektrodu přivařit doplňkový hrot, což by značně zvýšilo výrobní náklady a zkrátilo provozní životnost zapalovací svíčky.

Zapalovací svíčka DENSO Nickel TT (obr. 8.6) využívá unikátní patentovanou slitinu obsahující nikl, křemík, yttrium a titan (Ni-Si-Y-Ti). Tato slitina má podobné vlastnosti jako nikl, ale je o 80 % odolnější vůči oxidaci a o 40 % odolnější vůči opotřebení jiskřením.



Obr. 8.6 Zapalovací svíčka DENSO Nickel TT

Využitím této speciální slitiny lze použít tenčí elektrody o průměru 1,5 mm, které mají stejnou provozní životnost jako standardní niklové elektrody o průměru 2,5 mm. Tato nová slitina navíc umožňuje vyrábět malé zemnicí elektrody ražením z materiálu namísto velmi drahých výrobních procesů. Nová slitina niklu je levnější než drahé kovy, jako je platina nebo iridium, což je pro konečného uživatele velmi ekonomicky výhodné.

Se dvěma elektrodami o průměru 1,5 mm mohou zapalovací svíčky Nickel TT poskytovat podobný výkon jako platinové zapalovací svíčky, a to za cenu standardní niklové svíčky.

Díky svým malým elektrodám a výslednému vyššímu výkonu než standardní niklové svíčky mohou svíčky Nickel TT nahradit mnoho jiných zapalovacích svíček se stejným tvarem a často přitom zvýšit účinnost motoru. Díky použití vyspělých technologií lze pokrýt různé specifikace mnoha různých zapalovacích svíček pomocí mnohem menšího rozsahu sortimentní nabídky.

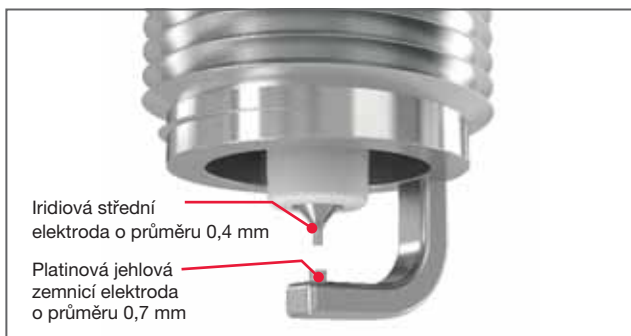
Slitina Ni-Si-Y-Ti a vysunutá zemnicí elektroda, použité u zapalovacích svíček Nickel TT, jsou patentované společností DENSO.

#### Iridium TT

Kombinací základní koncepce zapalovacích svíček Nickel TT a Super Ignition společnost DENSO dále vyvinula svou technologii zapalovacích svíček do podoby řady Iridium TT, která se stala etalonem iridiových zapalovacích svíček. Spojení technologie SIP s iridiovou střední elektrodou o průměru 0,4 mm vytváří unikátní zapalovací svíčku, která překonává všechny ostatní technologie na trhu.

Nová zapalovací svíčka Iridium TT (obr. 8.6) kombinuje technologii SIP s iridiovou střední elektrodou o průměru 0,4 mm, patentovanou společností DENSO, a platinovou zemnicí elektrodou jehlového typu o průměru 0,7 mm. Iridium TT je nejvýkonnější zapalovací svíčkou dostupnou na trhu, která dosahuje také velmi dlouhé provozní životnosti. Zapalovací svíčka Iridium TT rovněž snižuje množství emisí a spotřebu paliva.



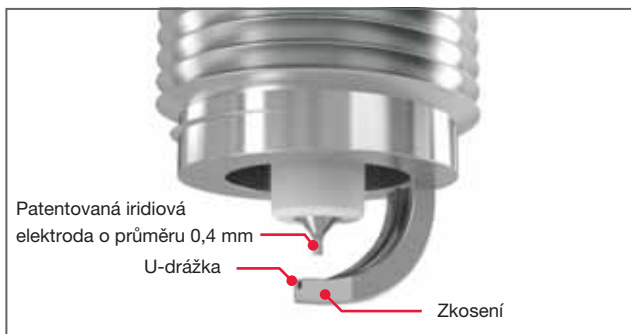


Obr. 8.7 Zapalovací svíčka DENSO Iridium TT

Střední elektroda o průměru 0,4 mm se vyrábí z patentované iridiové slitiny, která má nejvyšší obsah iridia na trhu a extrémně vysoký bod tání. Tyto vlastnosti umožnily miniaturizaci střední elektrody zapalovací svíčky Iridium TT, což přispělo ke snížení potřebného napětí a zlepšení zapalovacího výkonu (další informace o iridiových středních elektrodách naleznete v bodu 7.3).

### 8.3. Iridium Power

Zatímco je Iridium TT nejlepším dostupným řešením pro automobily, řada Iridium Power je nejlepším řešením pro motocykly. Zapalovací svíčky Iridium Power, osazené stejnou tenkou iridiovou střední elektrodou o průměru 0,4 mm (obr. 8.7), podávají vyšší výkon než téměř každá jiná zapalovací svíčka na trhu. Protože zvládá vysoké otáčky motoru, je Iridium Power ideální zapalovací svíčkou pro motocykly a automobily vyladěné na vysoký výkon.



Obr. 8.8 Zapalovací svíčka DENSO Iridium Power

Zapalovací svíčky Iridium Power jsou dostupné v široké nabídce tepelných hodnot, a jsou proto vhodné pro velkou řadu aplikací.

Díky svému vynikajícímu výkonu mohou zapalovací svíčky Iridium TT nahradit mnoho různých typů zapalovacích svíček. Proto může být produktová nabídka konsolidovanější a může pokrývat téměř každé vozidlo. Řadu Iridium TT v současnosti tvoří 19 sortimentních položek a nabízí vysoce výkonnou alternativu pro téměř všechny niklové, platinové, iridiové a SIP zapalovací svíčky.

Zapalovací svíčky Iridium Power jsou ideální pro vysoce výkonné a vysokootáčkové motory, které se používají například v motocyklech nebo také ve vysoce výkonných automobilech, sněžných skútrech a vodních skútrech.

#### Ultra tenká iridiová elektroda o průměru 0,4 mm

Díky použití patentované střední elektrody ze slitiny iridia o průměru 0,4 mm bylo sníženo potřebné napětí a zlepšen zapalovací výkon.

#### U-drážka a zkosená zemnicí elektroda

Zemnicí elektrody zapalovacích svíček Iridium Power je možno vyrábět s U-drážkou vyřezanou do vnitřního čela zemnicí elektrody. U-drážka poskytuje velký prostor pro formování plamene a doplňkové hrany pro další snížení potřebného napětí. Tato technologie umožňuje vynikající zapalovací výkon bez zvětšování elektrodové mezery.

Špička zemnicí elektrody je vytvarována do zkosení, což snižuje plochu přicházející do styku s plamenem. Zkosená zemnicí elektroda má také menší objem, což snižuje zatížení způsobené vibracemi a snižuje tepelné zatížení na elektrodě. Zapalovací svíčka se proto dokáže dobře vyrovnat s jízdními podmínkami s vyšším zatížením.

**Ne všechny zapalovací svíčky řady Iridium mají U-drážku a/nebo zkosení.**

**IRIDIUM POWER®**



### 8.4. Iridium Racing

Zapalovací svíčky Iridium Racing jsou preferovanou volbou jezdců a závodních týmů pro svou spolehlivost, odolnost a výkon.

Zapalovací svíčky Iridium Racing (obr. 8.9) jsou speciálně navrženy pro velmi náročné podmínky vysoce výkonných závodních motorů a náročných podmínek při závodech. Závodění na plný plyn při vysokých otáčkách motoru způsobuje trvale vysoké spalovací teploty a tlaky. Proto se konstrukční řešení zapalovacích svíček DENSO Iridium Racing soustředí na produkování vysoce kvalitního výboje, který odolává těmto extrémním provozním podmínkám.

U mnoha kategorií závodů není spotřeba paliva a běh motoru na chudou směs primárním hlediskem. Pro dosažení co nejvyššího výkonu se využívají bohatší směsi vzduchu a paliva, které však zvyšují tvorbu usazenin uhlíku na zapalovací svíčke, zejména během občasných podmínek lehčího zatížení. Proto musí být zapalovací svíčky Iridium Racing schopné rychle spálit usazeniny uhlíku, aby nedošlo k zanášení svíčky uhlíkem.

U většiny typů zapalovacích svíček pro silniční vozidla elektrody vyčnívají do spalovací komory. Avšak vyšší tlaky a teploty u závodních motorů s vysokým kompresním poměrem mohou vyčnívající elektrody poškodit. Zapalovací svíčky Iridium Racing proto využívají elektrody, které jsou téměř zapuštěné ve spodním čele pouzdra zapalovací svíčky.

**Protože jsou zapalovací svíčky Iridium Racing navrženy výhradně pro použití v náročných závodních podmínkách, nejsou určeny pro efektivní fungování za normálních podmínek, při pomalé jízdě nebo za lehkého zatížení. Dokonce i tuningem jemně vyladěné motory a motory používané pro občasnou jízdu na okruhu nemusejí produkovat potřebné teploty, tlaky a další podmínky, které umožňují efektivní fungování svíček Iridium Racing. Pro méně náročné motory a nižší jízdní požadavky (jako jsou silniční vozidla a občasná použití na okruhu) jsou nejlepším řešením zapalovací svíčky Iridium Power.**

Elektrody, které vyčnívají do spalovací komory mají obecně lepší zápalnost a výkon. Nicméně díky vysokým kompresním poměrům, tlakům a teplotám ve vysoce výkonných závodních motorech není tolik potřeba zapalovací svíčka s vysunutou elektrodou. A navíc by dlouhá zemnicí elektroda neměla při vystavení vysokým teplotám spalování dostatečný odvod tepla a mohla by se příliš zahřívát. Čím více je motor vyladěn pro vysoký výkon, tím je menší potřeba vysunuté elektrody.

**Fernando Alonso v hybridním závodním voze Toyota Gazoo, vítěz závodu 24 hodin Le Mans 2018**



#### **Ultra tenká iridiová elektroda o průměru 0,4 mm**

S patentovanou ultratenkou iridiovou elektrodou o průměru 0,4 milimetru dosahují zapalovací svíčky Iridium Racing vynikajícího zapalovacího výkonu.

#### **Celoplatinová zemnicí elektroda o průměru 0,8 mm**

V porovnání s niklovou slitinou používanou u běžných zapalovacích svíček odstraňuje vysoký bod tání platiny problémy, jako je tavení a opotřebení zemnicí elektrody. Platinový hrot je přivařen na elektrodu a ustaven do vhodné vzdálenosti bez ohýbání elektrody, což snižuje zbytková napětí způsobená výrobním procesem, a tím zvyšuje odolnost a spolehlivost.

#### **Isolátor pro závodění**

Tato svíčka využívá unikátní izolátor osvědčený při závodech se zvýšenou pevností o cca 20 %.

#### **Jiskrová čistící kapsa**

Protože zanesení usazeninami uhlíku může snížit účinnost zapalovací svíčky, byla okolo hrotu mezi střední elektrodou a izolátorem vytvořena malá kapsa. Tato kapsa umožňuje, aby elektrický výboj spaloval uhlík a další usazeniny, a tím udržoval výkonnost zapalovací svíčky.

#### **Silikonový povlak**

Při startu závodu může mít neúspěšné nastartování z důvodu usazenin uhlíku fatální důsledky. Aby k takové situaci nedošlo, je izolátor potažen vysoce vodoodpudivou vrstvou silikonu pro ochranu izolátoru před jakoukoli vlhkostí a uhlíkem.

#### **Zkosení koncového čela pouzdra**

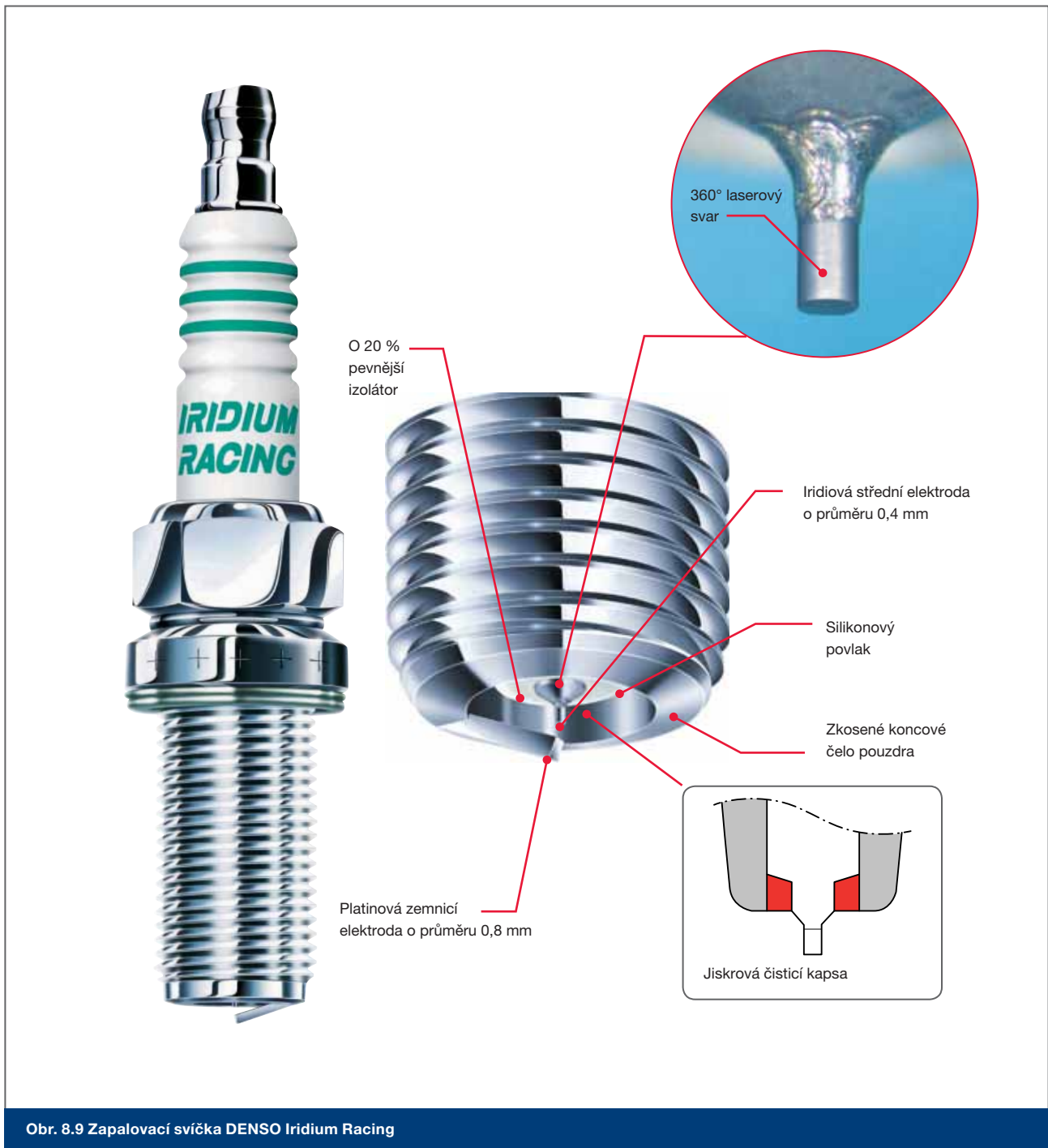
Pro zvýšení odolnosti vůči extrémním podmínkám spalování bylo rozšířeno zkosení koncového čela pouzdra. Plyny bohaté směsí vzduchu a paliva jsou vedeny mimo izolátor, což chrání před usazování uhlíku.

# IRIDIUM RACING®

**Vůz týmu DENSO Kobelco SARD RC F, Super GT500 2016**







Polestar Cyan Racing, mistr světa WTCC 2017



Subaru BRZ v seriálu Super GT



# 9. UPGRADUJTE SVÉ ZAPALOVACÍ SVÍČKY

## 9.1. Proč upgradovat zapalovací svíčky?

Existuje mnoho důvodů, proč upgradovat ze standardní zapalovacích svíček na výkonnější zapalovací svíčky poskytující zvýšený zapalovací výkon. Možná hledáte maximální možný výkon motoru pro závodění, nebo jen chcete snížit spotřebu paliva u každodenního ježdění, anebo chcete vyřešit obtížné startování či volnoběh motoru. Ať už je váš důvod k upgradu jakýkoli, nabídka zapalovacích svíček DENSO poskytuje vhodný upgrade pro téměř všechna vozidla.

V elektronickém katalogu DENSO jsou uvedeny specifikace standardních a upgradových zapalovacích svíček pro většinu vozidel, včetně motocyklů. Elektronický katalog je k dispozici na adrese: [denso-am.eu/e-catalogue](https://denso-am.eu/e-catalogue)

### Hlavní výhody upgradu

Hlavní přínosy, které získáte upgradováním zapalovacích svíček, jsou uvedeny v následujících v bodech. Vedle zvýšení výkonu motoru a krouticího momentu však můžete zaznamenat i výrazné zlepšení plynulosti chodu motoru, startování, běhu za studena a spotřeby paliva, společně se skrytými přínosy v podobě snížení množství emisí. Upgradování na zapalovací svíčky s vyšší specifikací může navíc pomoci překonat občasné nebo i časté selhávání zapalování při volnoběhu nebo nízkém zatížení.

U vozidel využívajících niklové zapalovací svíčky se standardní specifikací přinese upgrade na iridiové svíčky lepší zapalovací výkon, a to za nižších napětí. Nižší počáteční potřebné napětí znamená, že je zapalovací cívka méně zatížená, zůstává v ní více energie, což umožňuje lepší fungování zapalovací soustavy za náročnějších provozních podmínek, jako je akcelerace při plném zatížení.

### LPG/CNG

U vozidel, která byla přestavěna na LPG nebo CNG, mohou být přínosy upgradování ještě zřetelnější z důvodu větší obtížnosti zapalování plyných paliv, které vyžaduje vyšší zapalovací napětí (viz bod 9.5). Také spalovací teploty u LPG/CNG kolísají více než u zážehových motorů, což se odráží ve zkrácení provozní životnosti až o 30 %. Upgradováním niklových zapalovacích svíček na iridiové zapalovací svíčky s delší životností a zvýšeným zapalovacím výkonem dojde ke zvýšení výkonu motoru a prodloužení intervalu výměny zapalovacích svíček.

### Přínosy moderní technologie zapalovacích svíček

Jedním z důležitých faktorů, který byste měli vzít v úvahu, je zdokonalení technologií zapalovacích svíček v posledních letech. Mnoho novějších vozidel je z výroby standardně osazováno iridiovými zapalovacími svíčkami, které jsou účinnější v porovnání se staršími konstrukcemi zapalovacích svíček. I když mohou být dostupné náhradní zapalovací svíčky se stejnou specifikací, bude přínosné osadit modernější náhradní zapalovací svíčky s vyšší specifikací (například DENSO Iridium TT), které zlepšují zapalování a zvyšují výkon motoru.

**Přínos upgradování silně závisí na standardním typu zapalovací svíčky. Když upgradujete z niklové na iridiovou zapalovací svíčku, můžete pozorovat měřitelný rozdíl. Avšak při upgradu z iridiové zapalovací svíčky na typ SIP (jako je DENSO Iridium TT) bude rozdíl menší.**



Chcete-li najít tu nejlepší iridiovou zapalovací svíčku pro vaši aplikaci LPG nebo CNG, prohlédněte si elektronický katalog DENSO.

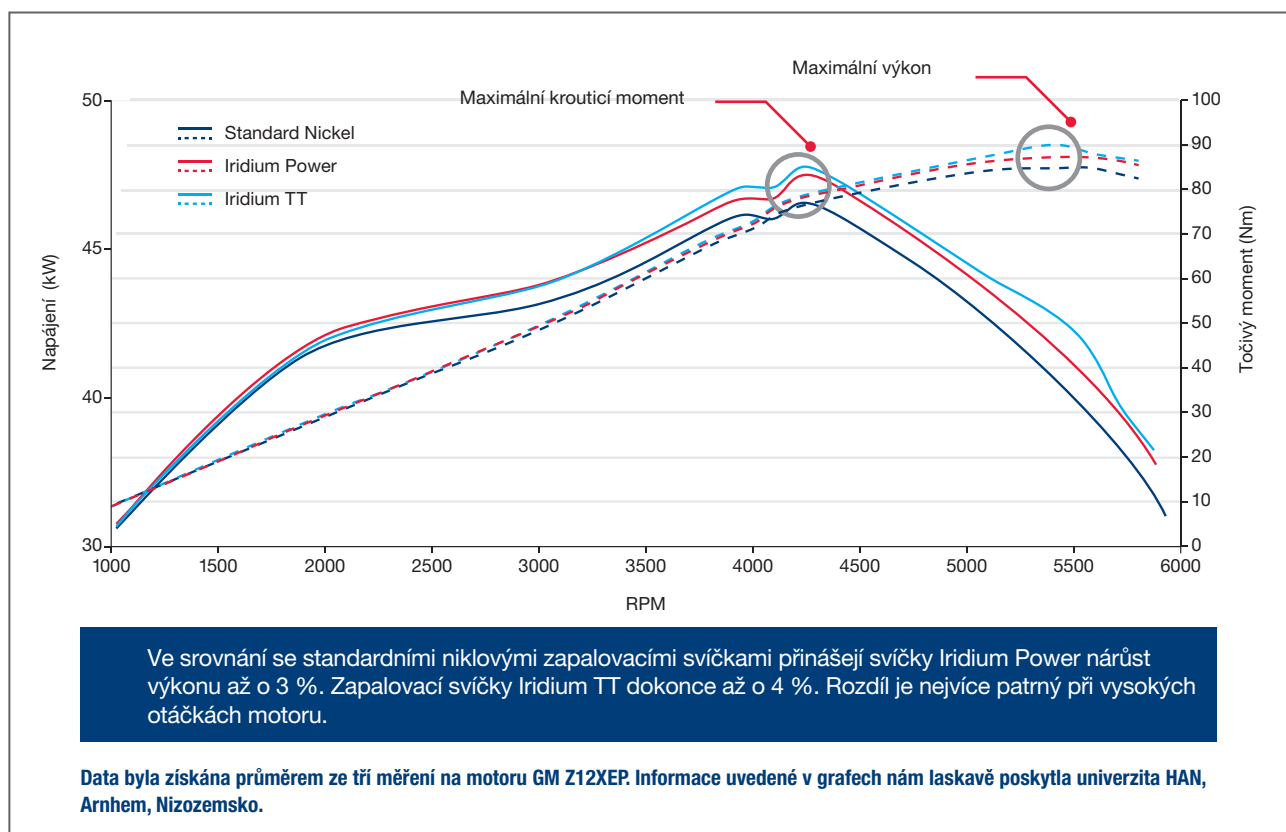
[denso-am.eu/e-catalogue](https://denso-am.eu/e-catalogue)

9.1. Proč upgradovat zapalovací svíčky?	56
9.2. Výkon motoru	57
9.3. Spotřeba paliva a emise	58
9.4. Plynulý volnoběh, vynechávání zapalování a startování	59
9.5. Vozidla přestavěná na LPG a CNG	60
9.6. Tuning a závodění	61

## 9.2. Výkon motoru

Upgradování z niklových zapalovacích svíček na iridiové může přinést měřitelné zvýšení výkonu motoru a krouticího momentu. Graf na obr. 9.1 znázorňuje zlepšení, kterého lze dosáhnout při použití zapalovacích svíček Iridium Power a Iridium TT v porovnání se standardními niklovými zapalovacími svíčkami. Použití zapalovacích svíček Iridium Power přineslo zvýšení výkonu až o 3 %, a se svíčkami Iridium TT došlo k navýšení výkonu až o 4 %, což je zvláště patrné při vyšších otáčkách motoru.

Zapalovací svíčky DENSO Iridium využívají tenčí elektrody, přičemž řada Iridium TT má zemnicí elektrody o průměru pouhých 0,7 mm a ještě tenčí středové elektrody – 0,4 mm. Tyto tenčí elektrody méně zakrývají plamen a mají výrazně snížený efekt zhášení plamene ve srovnání s většími niklovými elektrodami. Plamen proto může růst rychleji s nižším rizikem zhášení, spaluje se více přivedeného paliva a dochází k účinnějšímu spalování, což vede k vyššímu výkonu.

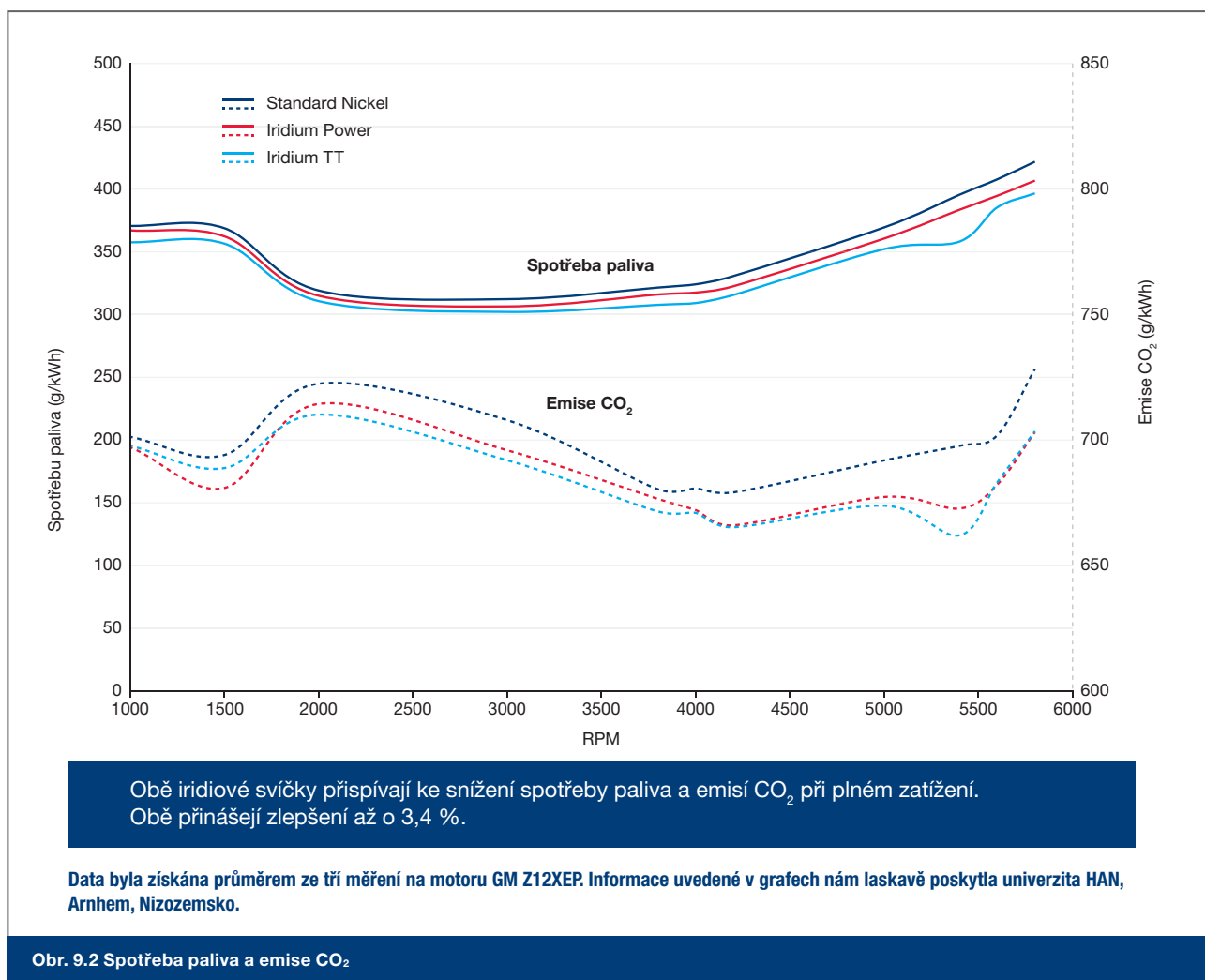


Obr. 9.1 Výkon a krouticí moment

### 9.3. Spotřeba paliva a emise

Upgradování z niklových zapalovacích svíček na iridiové může přinést efektivnější využití paliva během akcelerace a za podmínek vysokého zatížení. Graf na obr. 9.2 opět porovnává zapalovací svíčky Iridium Power a Iridium TT se standardními niklovými zapalovacími svíčkami. Graf znázorňuje dosažené snížení spotřeby paliva pro stejné množství energie produkované motorem (kWh). Vozidlo bude akcelarovat rychleji s použitím stejného množství paliva a umožní uvolnit škrticí klapku o něco dříve, a tím ušetřit palivo.

Toto snížení spotřeby paliva potřebného k produkování stejného výkonu vozidla vede také ke snížení emisí CO<sub>2</sub>. Protože palivo hoří efektivněji během spalování v motoru namísto ve výfuku, jsou sníženy i další škodlivé emise.



## 9.4. Plynulý volnoběh, vynechávání zapalování a startování

### Problémy při volnoběžných otáčkách

Spalovací motory jsou navrženy pro dodávání výkonu. Nicméně tyto motory mohou značný čas strávit v režimu volnoběhu a nedodávat na kola žádný výkon. Aby se při volnoběhu zachovala nízká spotřeba paliva a množství emisí, jsou volnoběžné otáčky nastaveny na nízkou hodnotu. Avšak během volnoběhu je uvnitř spalovací komory velmi malé množství vzduchu a paliva a také turbulence vzduchu je nízká. Malé množství směsi vzduchu a paliva nízká turbulence společně znesnadňují zapalování směsi, což často vede k selhávání zapalování a nerovnoměrnému chodu motoru na volnoběh.

**Někteří výrobci motorů akceptují míru selhávání zapalování až 30 % (zejména u čtyřválcových a víceválcových motorů) při volnoběhu, jsou-li v tomto v režimu umožněny nižší otáčky. Při volnoběhu na nižší otáčky je také nižší množství emisí než u rychlejších otáček při volnoběhu bez selhávání zapalování.**

Upgradováním na výkonnější zapalovací svíčku, jako je Iridium TT, pak lepší zápalnost díky menším elektrodám snižuje pravděpodobnost selhání zapalování, což přispívá k plynulejšímu chodu motoru na volnoběh. Díky omezení selhávání zapalování a plynulejšímu chodu motoru neodchází zbytečně do výfuku tolik paliva. Protože do výfuku odchází méně nespáleného paliva, snižují se také emise uhlovodíků a oxidu uhelnatého. Plynulejší chod motoru rovněž umožní snížit volnoběžné otáčky, a tím dále snížit spotřebu paliva a emise.

**Znatelné zlepšení chodu na volnoběh lze pozorovat u motorů s 1, 2 nebo 3 válci, zejména u motocyklů s uspořádáním V2.**

### Problémy při startování

Ke stejným problémům jako při volnoběhu může docházet také během startování z důvodu velmi nízkých startovacích otáček motoru. Množství směsi vzduchu a paliva ve spalovací komoře je při startování ještě menší, všechny povrchy jsou stále velmi studené a je zde velmi nízký průtok vzduchu s omezenou turbulencí, což opět znesnadňuje zapalování. Dochází zde však k dalšímu problému, neboť napětí akumulátoru během startování klesá, což může snížit schopnost zapalovací cívky produkovat potřebné zapalovací napětí a energii. Tento problém je výraznější u starších zapalovacích soustav, které nedokážou zvýšit dobu sepnutí, aby kompenzovaly snížené napětí akumulátoru. Ale i u moderních zapalovacích soustav, když motor pomalu startuje, a tím dále snižuje napětí akumulátoru, nebo pokud je akumulátor slabý již před startováním, je schopnost zapalovací soustavy poskytovat dobrou jiskru snížena.

Startování je možno zlepšit osazením vylepšených zapalovacích svíček, například DENSO Iridium, které potřebují nižší napětí a poskytují lepší zapalovací výkon. Zvýšený zapalovací výkon při volnoběžných otáčkách

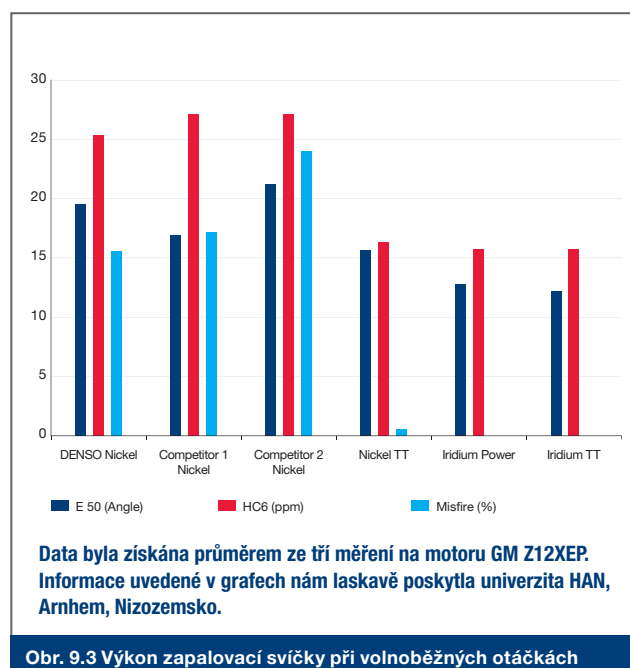
Některé zapalovací svíčky řady Iridium Power s nižší tepelnou hodnotou jsou standardně dodávány se elektrodovou mezerou 1,1 mm. U některých motocyklů (zejména starších) nemusí být zapalovací soustava schopná dodávat dostatečné napětí pro vytvoření jiskry při takto velké elektrodové mezeře (zejména během startování). V takovýchto výjimečných případech lze mezeru snížit na 0,8 mm. Při změně mezery u zapalovacích svíček s iridiovými elektrodami dbejte na mimořádnou opatrnost a vždy používejte speciální nástroje, aby nedošlo k poškození tenké střední elektrody.

Obr. 9.3 znázorňuje výsledky testování při volnoběžných otáčkách a porovnání niklových zapalovacích svíček společnosti DENSO se dvěma jejími konkurenty, a také srovnání se zapalovacími svíčkami DENSO Nickel TT, Iridium Power a Iridium TT.

Výsledky nejprve ukazují úhel za horní úvratí v okamžiku spálení 50 % paliva (úhel E50). U zapalovacích svíček jednoho konkurenta dochází ke spálení 50 % paliva více než 20° za horní úvratí, což znamená, že je píst již urazil značnou vzdálenost dolů válcem. Rozpínání plynů a navýšení tlaku způsobené spálením proto nevytváří na píst maximální účinek.

Nicméně se zapalovacími svíčkami DENSO Iridium TT je spálení 50 % paliva dosahováno na přibližně 12° za horní úvratí, což znamená, že je píst blíže horní úvratí a nárůst tlaku má mnohem větší účinek na tlačení pístu dolů válcem. Používání zapalovacích svíček Iridium TT v důsledku umožňuje efektivní využití spalování, což zvyšuje plynulost chodu na volnoběh a výrazně zlepšuje startování.

Graf také znázorňuje snížení emisí uhlovodíků (HC) vznikajících během spalování (HC6), když jsou použity zapalovací svíčky DENSO Nickel TT. Úrovně emisí HC jsou však sníženy ještě více při použití svíček DENSO Iridium. Tohoto snížení emisí HC je dosahováno zejména snížením procenta selhání zapalování (% selhání), které se snížilo z téměř 25 % u konkurenční zapalovací svíčky téměř na nulu při použití zapalovacích svíček DENSO Nickel TT. Když jsou však použity zapalovací svíčky Iridium Power nebo Iridium TT, selhání zapalování je zcela odstraněno.



Obr. 9.3 Výkon zapalovací svíčky při volnoběžných otáčkách

## 9.5. Vozidla přestavěná na LPG a CNG

Zapálení směsi vzduchu a paliva v případě zkapalněného plynu (Liquid Petroleum Gas –LPG) a stlačeného zemního plynu (Compressed Natural Gas – CNG) je ještě obtížnější než u motorů poháněných benzínem. Zapalování je obtížnější, protože LPG a CNG jsou vstřikovány jako plyn, zatímco benzín je vstřikován jako kapalina. Plyny potřebují pro vytvoření jiskry vyšší ionizační napětí než kapaliny. Plyn rovněž zaujímá větší objem než kapalina, takže pro čerstvý vzduch zůstává uvnitř spalovací komory méně místa. Tím se snižuje množství molekul vzduchu a paliva v okolí elektrod. V důsledku toho existuje vyšší pravděpodobnost selhání zapálení.

Vyšší potřebné napětí pro zapálení LPG/CNG klade vyšší nároky na zapalovací cívku a zapalovací svíčku. Proto se v mnoha případech volí zapalovací svíčka s menší mezerou, aby se snížilo potřebné napětí, ovšem menší mezera pak snižuje zapalovací výkon. Alternativní metodou snížení zatížení cívky a zapalovacích svíček je použití zapalovací svíčky s tenčími elektrodami, jako je řada iridiových zapalovacích svíček DENSO, které vyžadují nižší napětí, a proto umožňují zachovat větší mezeru.

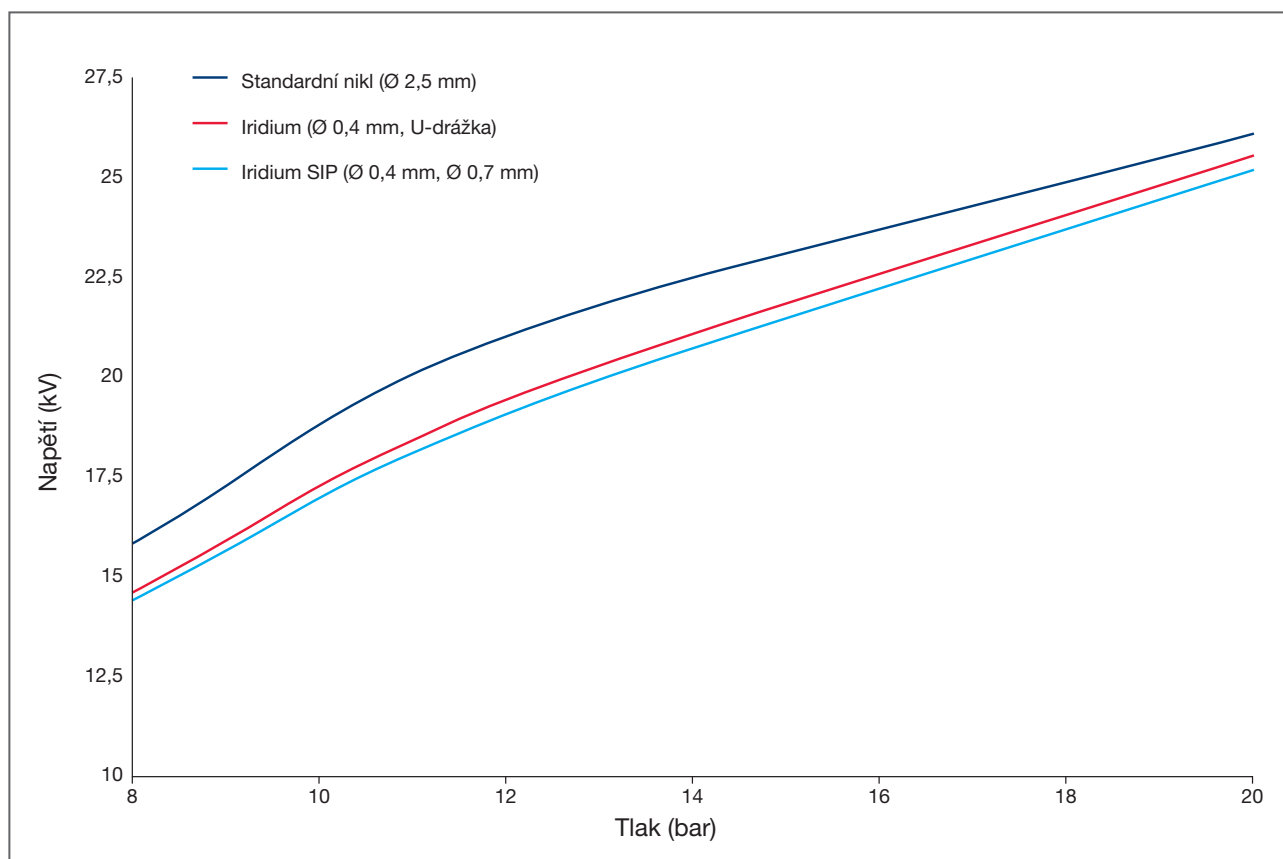
**V určitých aplikacích, například u motorů s turbodmyčadlem, může být zapotřebí snížit mezeru na 0,8 mm..**

LPG a CNG hoří při vyšších teplotách než benzín, což vede k větším změnám teploty elektrody v různých taktech motorového cyklu. Toto větší kolísání teplot zkracuje provozní životnost zapalovací svíčky přibližně o 20-30 %. Upgradování zapalovacích svíček na iridiové svíčky s dlouhou životností prodlouží provozní životnost svíček, a tím sníží celkové náklady.

Chcete-li najít tu nejlepší iridiovou zapalovací svíčku pro vaši aplikaci LPG nebo CNG, prohlédněte si elektronický katalog DENSO.



[denso-am.eu/e-catalogue](https://denso-am.eu/e-catalogue)



Obr. 9.4 Potřebné napětí u různých typů zapalovacích svíček



## 9.6. Tuning a závodění

Když je motor vyladěn pro podávání co nejvyššího výkonu, potřebujete zapalovací svíčku, která odpovídá výkonu motoru (viz body 8.3 a 8.4). Při výběru správné zapalovací svíčky je nutno zvážit několik aspektů.

V prvé řadě musí rozměry zapalovací svíčky odpovídat hlavě válce a ve většině případů lze jako referenční hodnotu použít originální zapalovací svíčku pro daný motor.

### Typ zapalovací svíčky

Upgradované zapalovací svíčky, jako například DENSO Iridium Power, jsou velmi dobrým všestranným řešením. Zvyšují zápalnost a poskytují spolehlivé výsledky při použití v jakékoli aplikaci. Ve většině případů je DENSO Iridium Power ideální zapalovací svíčkou, zejména když se automobil nebo motocykl používá na silnici nebo se občas používá na závodním okruhu.

Když je motor vysoce vyladěn a nastaven pouze pro použití na okruhu, mohou být lepším řešením speciální závodní svíčky, jako jsou DENSO Iridium Racing. Závodní svíčky jsou vyrobeny z ještě odolnějších materiálů, které vydrží vysoké tlakové špičky uvnitř motoru. Jsou opatřeny iridiovými středními elektrodami a platinovými zemnicími elektrodami pro vůbec nejspolehlivější zapalování dostupné na trhu.



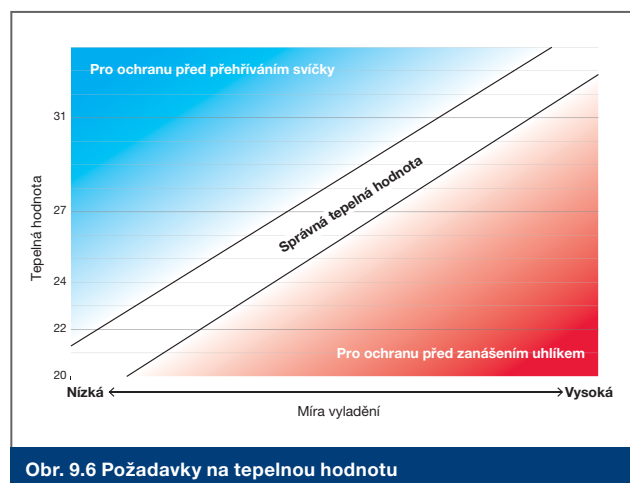
Obr. 9.5 Zapalovací svíčky Iridium Power a Iridium Racing

Dostupné jsou dva typy zapalovacích svíček Iridium Racing: šikmý typ a plochý typ (obr. 9.5). Šikmý typ má šikmou zemnicí elektrodu a je určen pro použití v atmosférických motorech a přeplňovaných motorech s plnicím tlakem až 1,3 baru (19 psi).

Závodní svíčka plochého typu má plochou zemnicí elektrodu a je určena pro použití s ještě vyššími plnicími tlaky a v motorech vybavených systémem oxidu dusného.

### Tepelná hodnota

Vyšší výkon motoru v důsledku znamená vyšší teploty uvnitř spalovací komory. Proto je nutno volit odpovídající tepelnou hodnotu zapalovací svíčky, neboť výkonnější motory vyžadují vyšší číslo tepelné hodnoty (obr. 9.6). Důležitý je ale také způsob jízdy s vozidlem, protože motory v silničních vozidlech nedosahují stejných teplot jako vozidla používaná na závodním okruhu. Motory pro silniční použití proto mohou vyžadovat nižší tepelnou hodnotu. V některých případech může být zapotřebí o něco nižší tepelná hodnota během zimního období pro lepší studené startování.



Potřebujete-li poradit s výběrem vhodné zapalovací svíčky pro konkrétní vozidlo, technici společnosti DENSO vám rádi pomohou. Další informace naleznete na webové stránce: [denso-am.eu/products/automotive-aftermarket/ignition/spark-plugs](https://denso-am.eu/products/automotive-aftermarket/ignition/spark-plugs)

Nebo se obraťte na techniky společnosti DENSO na e-mailové adrese: [marketing@denso.nl](mailto:marketing@denso.nl)



# 10. ČASTÉ DOTAZY, MONTÁŽ A ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ

## 10.1. ČASTÉ DOTAZY

### Jak si vybrat správnou zapalovací svíčku?

Je nutno vzít v úvahu mnoho faktorů, jako jsou rozměry, vysunutí do spalovací komory a tepelná hodnota. Nejsnáze naleznete správnou zapalovací svíčku pomocí elektronického katalogu DENSO (obr. 10.1 a 10.2). Elektronický katalog vám umožňuje najít správné komponenty DENSO na základě informací o výrobci a modelu vozidla nebo křížového odkazu.

### Jakou zapalovací svíčku mám použít pro LPG?

Motory na LPG a CNG vyžadují výkonnější zapalovací svíčky než benzínové motory. Řada TT nabízí upgrade splňující požadavky LPG/CNG. Další informace naleznete v kapitole 9, bod 9.4.



Pro nalezení té nejlepší zapalovací svíčky pro vaše vozidlo použijte elektronický katalog DENSO (obr. 10.1 a 10.2) na adrese:

[denso-am.eu/e-catalogue](http://denso-am.eu/e-catalogue)

### Mám upravit elektrodovou mezeru?

Zapalovací svíčky DENSO jsou vyrobeny s předem nastavenou elektrodovou mezerou. U niklových svíček, zejména pro motocykly, může být zapotřebí mezeru upravit. Za tímto účelem vždy použijte speciální nástroj pro úpravu mezery zapalovacích svíček. Neupravujte mezeru u platinových, iridiových nebo zapalovacích svíček typu Twin Tip, neboť by se mohly tenké elektrody poškodit.

### Co je to samozápal?

Samozápal, nebo také předčasný zápal, nastává, když se směs vzduchu a paliva spálí ještě před vznikem načasované jiskry. Může k tomu dojít z důvodu žhavého povrchu ve spalovací komoře. Samozápal může způsobit:

- (1) Přehřátá špička zapalovací svíčky (v případě zvolení nevhodné tepelné hodnoty).
- (2) Nedostatečně chlazený výfukový ventil.
- (3) Usazeniny uhlíku rozžhavené z předchozího spalovacího cyklu.

Další informace o samozápalu naleznete v bodu 5.3.

### Co je to klepání motoru (detonace)?

Klepání motoru je často důsledkem samozápalu. Namísto postupného hoření směs vzduchu a paliva nekontrolovaně vybuchuje. Klepání motoru může poškodit zapalovací svíčku a způsobit vážné škody na motoru. Další informace o klepání motoru naleznete v bodu 5.3.

The screenshot shows the DENSO e-catalogue website. The navigation bar includes 'PRODUCTS', 'SERVICES', 'E-CATALOGUE', 'WHERE TO BUY', 'NEWS & EVENTS', 'ABOUT US', and 'SITEMAP'. There is a search bar and a 'UK' flag. The main content area is divided into three sections: 'SELECT VEHICLE TYPE' with icons for car, van, and motorcycle; 'SEARCH BY VEHICLE' with a 'REG NUMBER' search box and dropdowns for 'Find your vehicle' (make, model, year); and 'FIND YOUR PRODUCT' with a 'DENS0 part number, OE, Competitor' search box and a 'Search by product' dropdown menu. A car image is shown on the right.

Obr. 10.1 Elektronický katalog DENSO – výběr vozidla

Spark Plugs							
KW	Engine Codes	Notes	Application years	Part number	TT	Iridium LPG/CNG	Qty of Fit
50	1KR-FE		07/05-05/11	+ K16HR-U11	+ KH16TT	+ IKH16TT	3

Obr. 10.2 Elektronický katalog DENSO – výsledky vyhledávání variant zapalovacích svíček

### Jak často mám měnit zapalovací svíčky?

Interval výměny obecně stanovuje výrobce vozidla. Zapalovací svíčky DENSO se řídí stejnými intervalem. Při upgradu zapalovacích svíček se může interval změnit.

Jízda na LPG nebo CNG zkracuje životnost zapalovací svíčky o 25–30 %. Doporučuje se pravidelně kontrolovat stav zapalovacích svíček a v případě jejich zanesení je vyměnit.

### Mám na závit zapalovací svíčky nanést mazivo?

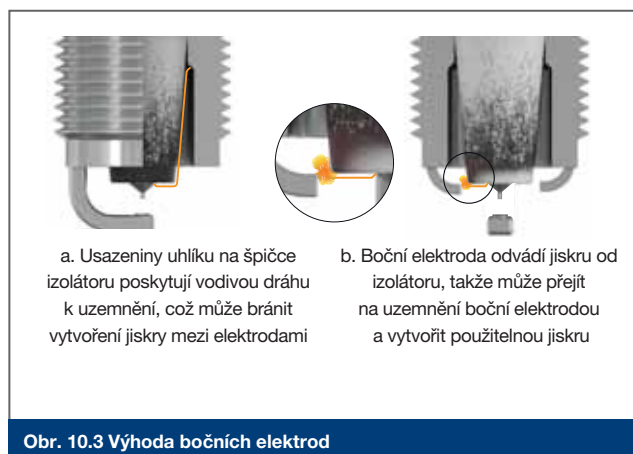
Jestliže se na závit nanese mazivo, při aplikaci doporučeného krouticího momentu pravděpodobně dojde k nadměrnému utažení zapalovací svíčky, což může zapalovací svíčku poškodit. Následně mohou vibrace zapalovací svíčku uvolnit. Z tohoto důvodu společnost DENSO doporučuje nepoužívat na závit žádné mazivo.

Jen v několika málo výjimečných případech (například u vysokozdvížných vozíků na LPG) může být potřeba malé množství maziva. V takovém případě bude zapalovací svíčka dodána předmazaná (viz bod 10.2).

### Jaký je rozdíl mezi bočními elektrodami a vícenásobnými zemnicími elektrodami?

U motorů s přímým vstřikováním může být směs vzduchu a paliva v blízkosti zapalovací svíčky lokálně velmi bohatá, což může způsobovat zanášení keramického izolátoru uhlíkem. Uhlík pak může vytvořit alternativní dráhu pro elektrickou energii podél izolátoru k pouzdru svíčky (obr. 10.3a) a způsobit tak selhání zapalování.

Doplněním bočních elektrod (obr. 10.3b) je jiskra odvedena od izolátoru do boční elektrody, což zabraňuje selhání zapalování. Když je spalování zahájeno v blízkosti bočních elektrod, vytvořený žár spálí nános uhlíku. V následujícím cyklu již bude izolátor čistý a jiskra vznikne mezi střední elektrodou a hlavní zemnicí elektrodou.



Obr. 10.3 Výhoda bočních elektrod

### Jak velký nárůst výkonu mohu očekávat, když upgraduji své zapalovací svíčky?

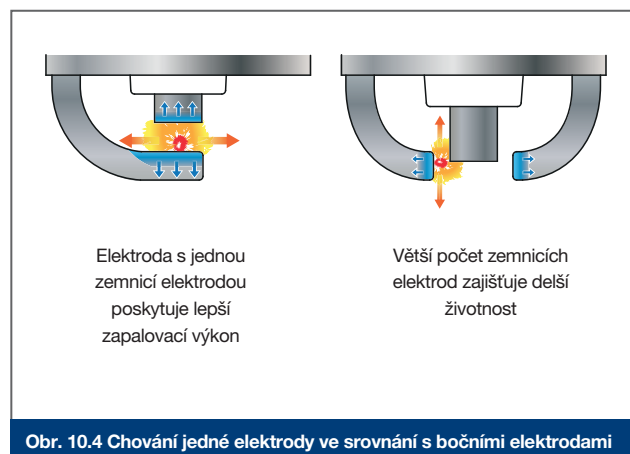
Při upgradování na zapalovací svíčky Iridium TT nebo Iridium Power bylo naměřeno zvýšení výkonu až o 5 %. To však závisí na motoru. Moderní motory jsou již často vybaveny vysoce výkonnými zapalovacími svíčkami, takže rozdíl nemusí být tak velký. Obecně je hlavním přínosem lepší startování a plynulejší chod motoru. Další informace o upgradování zapalovacích svíček naleznete v kapitole 9.

### Mohu nahradit zapalovací svíčku s více zemnicími elektrodami svíčkou s jednou zemnicí elektrodou?

Někteří výrobci motorů a vozidel preferují zapalovací svíčky s více zemnicími elektrodami pro jejich delší životnost zajištěnou přidavnými zemnicími elektrodami (obr. 10.4). Jde o velmi ekonomické řešení, jak prodloužit interval výměny zapalovacích svíček bez použití drahých kovů.

Zapalovací svíčky s více zemnicími elektrodami jsou optimalizovány spíše pro dlouhou životnost než pro výkon. Výměna svíčky s více zemnicími elektrodami za zapalovací svíčku s jednou zemnicí elektrodou zvýší výkon, pokud akceptujete kratší provozní životnost zapalovací svíčky s jednou zemnicí elektrodou.

Jestliže upgradujete ze svíčky s více zemnicími elektrodami na iridiovou zapalovací svíčku s dlouhou životností, jako je DENSO Iridium TT, dosáhnete dokonce delší životnosti než má zapalovací svíčka s více zemnicími elektrodami. Zároveň získáte zvýšený výkon.



Obr. 10.4 Chování jedné elektrody ve srovnání s bočními elektrodami

## 10.2. Správná montáž zapalovacích svíček

### Demontáž starých zapalovacích svíček

V případě zapalovacích soustav, kde jsou k zapalovacím svíčkám připojeny zapalovací kabely, byste měli pokud možno odpojit tyto kabely tažením za izolační koncovku pokrývající konec konektoru a nikoli tažením za tenčí úsek zapalovacího kabelu. V některých případech, kdy je zapalovací svíčka zapuštěná hluboko v hlavě válce, může být nezbytné použít nástroj pro sejmutí zapalovacího kabelu. Zkontrolujte také stav zapalovacích kabelů na přítomnost prasklin, zlomení nebo znečištění, které by mohly způsobovat únik vysokého napětí ze zapalovacího kabelu, a pokud nejsou v dobrém stavu, vyměňte je.

Jestliže se zapalovací cívky nacházejí přímo na zapalovací svíčce, řiďte se speciálními pokyny pro sejmutí zapalovací cívky platnými pro vaše vozidlo.

Před demontáží staré zapalovací svíčky odstraňte z okolí zapalovací svíčky olej, písek a jakékoli jiné znečištění, aby se po vyjmutí zapalovací svíčky nemohlo dostat do vnitřního prostoru motoru. Demontujte starou zapalovací svíčku pomocí klíče na zapalovací svíčky nebo šestihranného nástrčného klíče o rozměru odpovídajícím zapalovací svíčce.

### Montáž, utahovací moment nebo úhel

Většina zapalovacích svíček pro moderní motory je dodávána s již předem nastavenou elektrodovou mezerou. Pokud je však nutno mezeru upravit, použijte speciální nástroj určený k seřizování této mezery. Dbejte na mimořádnou opatrnost při seřizování mezery u platinových nebo iridiových zapalovacích svíček, elektrody se mohou snadno poškodit.

Zkontrolujte, zda je nová zapalovací svíčka dobře nasazena v závitovém otvoru pro svíčku, a ručně ji dotáhněte nadoraz.

V ideálním případě použijte momentový klíč a správný rozměr nástrčky a utáhněte zapalovací svíčku na doporučený utahovací moment (podle momentové tabulky uvedené na obr. 10.5). Nemáte-li k dispozici momentový klíč, použijte doporučený utahovací úhel.

Při montáži zapalovacích svíček je velmi důležité použít správný utahovací moment. Použijete-li nedostatečný moment, může dojít k unikům a velké ztrátě tlaku ze spalovací komory, zejména při taktu stlačení a zážehu/spalování. Použijete-li příliš velký moment, pouzdro se zdeformuje, což může ovlivnit odvod tepla nebo vznik mechanického napětí uvnitř zapalovací svíčky a může dokonce prasknout keramický izolátor. V případě poškození nebo prasknutí izolátoru dojde k unikání výboje nebo změně tepelných vlastností zapalovací svíčky, což může vést k přehřívání, samozápalu a v některých případech i poškození motoru.

Znovu připojte zapalovací cívky nebo zapalovací kabely a zkontrolujte, zda jsou správně usazeny na koncovce zapalovací svíčky.

**Společnost DENSO nedoporučuje používat na závit žádné mazivo.**

**V případě aplikace maziva na závit může utažení na doporučený moment vést k nadměrnému utažení a vzniku netěsnosti. Mazivo je zapotřebí jen ve výjimečných případech. V takovém případě bude zapalovací svíčka DENSO již v balení předmazána a připravena k použití.**

**V případě aplikace nesprávného utahovacího momentu dojde ke ztrátě záruky na zapalovací svíčku.**

Rozměr závitu	Typy aplikace	Doporučený moment	Doporučený úhel	
			Nová svíčka	Již použitá svíčka
M8	Všechny typy	8–10 Nm	1 otáčka	1/12 otáčky
M10	Jiné typy, než je uvedeno níže	10–15 Nm	1/3 otáčky	1/12 otáčky
M10	Typy UFE, IUH, VUH, VNH	10–15 Nm	2/3 otáčky	1/12 otáčky
M10	Typ s těsněním z nerezové oceli (končí označením „S“)	10–15 Nm	3/4 otáčky	1/12 otáčky
M12	Všechny typy	15–20 Nm	1/3 otáčky	1/12 otáčky
M14	Všechny jiné typy, než je uvedeno níže	20–30 Nm	1/2 otáčky	1/12 otáčky
M14	Typ s těsněním z nerezové oceli (končí označením „S“ nebo „G“)	20–30 Nm	2/3 otáčky	1/12 otáčky
M14	Všechny typy se zkoseným sedlem	20–30 Nm	1/16 otáčky	1/16 otáčky
M18	Všechny typy	30–40 Nm	1/4 otáčky	1/12 otáčky

Obr. 10.5 Utahovací momenty a úhly zapalovacích svíček



### VÝSTRAHA, ZAKÁZANÉ POUŽITÍ



> Zapalovací svíčky DENSO nepoužívejte v motorech jakýchkoli letounů, včetně letadel, helikoptér, kluzáků a dronů. Prodávané zapalovací svíčky DENSO nejsou určeny a vyráběny pro použití v letadlech: jejich použití může vést k pádu letadla nebo jiným nehodám z důvodu selhání motoru.

> Zapalovací svíčky DENSO uvedené v tomto katalogu nepoužívejte v motorech generátorů a klimatizačních systémů s plynovým tepelným čerpadlem. Námí prodávané zapalovací svíčky DENSO nejsou určeny a vyráběny pro takové použití. Takové použití může vést k nehodám, včetně zastavení generování elektrické energie nebo dodávek tepla. K dispozici je samostatný katalog zapalovacích svíček DENSO speciálně určených pro generátory (plynové motory). Chcete-li získat více informací, obraťte se na svého zástupce společnosti DENSO.

> Nepoužívejte zapalovací svíčky DENSO pro zapalování plynových hořáků. Námí prodávané zapalovací svíčky DENSO nejsou určeny a vyráběny pro takové použití. Takové použití může vést selhání zapalování nebo poškození zařízení z důvodu přehřívání.

## 10.3. Řešení problémů

Mohou se objevovat různé příznaky související se zapalováním, které se mohou zpočátku jevit jako chyby týkající se zapalovacích svíček. Avšak mnoho z těchto příznaků může být způsobeno chybami jiných systémů vozidel nebo jinými problémy, které ovlivňují činnost zapalovací svíčky.

Pokud se vyskytnou problémy, nejprve zkontrolujte, zda jsou použité zapalovací svíčky správného typu pro daný motor a zda není překročena jejich doporučená provozní životnost. Zkontrolujte stav elektrod a případné praskliny nebo poškození izolátoru.

V následujícím seznamu jsou uvedeny některé relativně snadno rozpoznatelné problémy související se zapalováním, které lze diagnostikovat pečlivým prohlédnutím elektrod, špičky izolátoru a pouzdra svíčky, tedy „čtením“ jejího stavu.

### Normální činnost

**Vzhled:** světle šedé nebo béžové usazeniny a mírná eroze elektrody.

### Zanesení uhlíkem

**Vzhled:** suchá, černá vrstva uhlíku na izolátoru a elektrodách.

**Důsledky:** špatné startování, selhávání zapalování, zejména během akcelerace a za podmínek vysokého zatížení.

**Možné příčiny:** příliš bohaté směsi vzduchu a paliva, vadné zapalovací kabely, příliš „studená“ svíčka. U starších vozidel nebo u vozidel s nastavitelným předstihem a karburátorem mohou být příznaky způsobeny opožděným okamžikem zapálení a chybami karburátoru, jako je vadný systém studeného startu / škrticí klapky.

### Zanesení olovem

**Vzhled:** žluté nebo béžové struskovité nánosy nebo lesklý povlak na izolátoru.

**Důsledky:** selhávání zapalování při prudké akceleraci nebo za podmínek vysokého zatížení, bez nepříznivých účinků za normálních provozních podmínek.

**Možné příčiny:** použití benzínu s vysokým obsahem olova.

### Přehřívání

**Vzhled:** extrémně bílý izolátor s drobnými černými usazeninami a předčasnou erózí nebo natavením elektrody.

**Důsledky:** ztráta výkonu, zejména za vysokých otáček / vysokého zatížení.

**Možné příčiny:** nedostatečné utažení svíčky, nedostatečné chlazení motoru, příliš „teplá“ svíčka, intenzivní detonace. U starších vozidel nebo u vozidel s nastavitelným předstihem může být okamžik zapálení nastaven příliš brzy.

### Samozápal

**Vzhled:** roztavená nebo spálená střední a/nebo zemnicí elektroda, puchýřovitý vzhled.

Normální stav



Zanesení uhlíkem



Zanesení olovem



Přehřívání



Samozápal



Zanesení



Vzhled zapalovací svíčky může signalizovat některé typy chyb související s motorem, palivovou soustavou nebo zapalováním. Připomínáme však, že je normální pozorovat korónovou změnu zabarvení, zejména při použití vyšších napětí.

Obr. 10.6 Diagnostika chyb na základě vzhledu zapalovací svíčky