

DENSO

# SYTYTYSTULPAT

DENSO -teknologiaan tutustuminen



SYTYTYSTULPAT DENSO -teknologiaan tutustuminen

DENSO Europe B.V.

Hogeweyselaan 165, 1382 JL Weesp  
Alankomaat

Puh: +31 294 493 493 | Faksi: +31 294 417 122  
marketing@denso.nl

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



Driven by  
Quality

## **DENSO Aftermarket Europe on osa DENSO Corporationia, joka on yksi maailman kolmesta johtavista autoalan teknologia-, järjestelmä- ja komponenttivalmistajista.**

DENSO perustettiin vuonna 1949 ja siitä tuli autoalan laatutuotteiden edelläkävijä, joka valmistaa laajan valikoiman alkuperäislaitteita maailman jokaiselle suurelle autovalmistajalle. Itse asiassa, löydät alkuperäisiä DENSO-osia jopa 90% tiellä olevista autoista.

Tuomme ylpeänä myös tämän ainutlaatuisen asiantuntemuksen yksityisille jälkimarkkinoille. Teknologisesti kehittyneet tuotevalikoimamme ovat nimenomaisesti valittuja jälleenmyyjä- ja loppukäyttäjäsivakkeille, ja niissä on samat tekniset tiedot kuin alkuperäisten laitevalmistajien käyttämissä osissa.

Sytytystulpat ovat yksi DENSON tärkeimmistä erikoistumisaloista. Jatkuva tutkimus- ja kehitystoimintamme on johtanut moniin alan merkittäviin innovaatioihin, mukaan lukien U-ura teknologia, maailman pienin iridiumkärki ja ensimmäiset ulkonevat maadoituselektrodit. Toyota Gazoo WECin, Volvo Cyan WTCC:n, Toyota WRC:n, Subaru WRT:n ja muiden moottoriurheilutiimien tärkeänä sponsorina sekä teknisenä kumppanina, tiedämme kaiken korkeasta suorituskyvystä ja käytämme tätä kokemusta tiedottaessamme iridium- ja kilpa-ajovalikoimistamme.

**Kun kyseessä on sytytystulppa, joka sopii kaikkiin käyttökohteisiin ja autoilutarpeisiin, voit luottaa DENSOon.**



### **Kirjailija**

Wouter Knol – DENSO Aftermarket Sovellusinsinööri

### **Kanssakirjoittajat**

Peter Coombes – Tekninen kirjoittaja

Gilbert Couvert – DENSO Aftermarket Tuotepäällikkö

# Sisältö

1.	SYTYTYSTULPPIEN ESITTELY.....	2
1.1.	Sytytystulpat: tärkeä osa palamisprosessia.....	2
1.2.	Nykykaisten sytytystulppien käyttövaatimukset.....	3
1.3.	Erlaiset sytytystulpat erilaisille moottoreille.....	4
2.	NELITAHTIMOOTTORIN TOIMINTA JA PALAMISPROSESSI.....	6
2.1.	Nelitahtijakso: imutahti, puristustahti, työtahti, poistotahti.....	6
3.	SYTYTYSJÄRJESTELMÄN TOIMINTA.....	8
3.1.	Sytytysjärjestelmän tehtävät.....	8
3.2.	Puolasytytyksen esittely.....	8
3.3.	Sytytyspuolat: matalajännitteen muuttaminen korkeajännitteeksi.....	9
3.4.	Sytytyspuolan latausaika.....	11
3.5.	Sytytyksen ajoitus: kipinän antaminen oikeaan aikaan.....	12
4.	MEKAANISET JA SÄHKÖISET SYTYTYSJÄRJESTELMÄT.....	16
4.1.	Tavanomainen mekaaninen sytytysjärjestelmä.....	16
4.2.	Varhaiset sähköiset sytytysjärjestelmät.....	20
4.3.	Nykykaiset sähköiset sytytysjärjestelmät.....	21
5.	PALAMISPROSESSI YKSITYISKOHTAISESTI.....	24
5.1.	Polttoaineen ja hapen palaminen.....	24
5.2.	Hyvän palamisreaktion saavuttaminen.....	26
5.3.	Heikon palamisen syyt ja ongelmat.....	27
5.4.	Palamisen aikana muodostuvat saasteet ja haitalliset päästöt.....	29
5.5.	Päästöjen vähentäminen ja polttoainetaloudellisuuden parantaminen.....	30
6.	SYTYTYSTULPAT.....	32
6.1.	Palamisreaktion pääkohdat.....	32
6.2.	Suorituskykyvaatimukset.....	32
6.3.	Sytytystulpan rakenne.....	33
6.4.	Sähkökipinä ja vaadittu kipinäjännite.....	35
6.5.	Sytytystulpan jännitteeseen vaikuttavat toimintaolosuhteet.....	36
6.6.	Lämpöväli.....	39
6.7.	Liekin muodostumiseen ja kasvuun vaikuttava liekin tukahduttaminen.....	41
7.	DENSO -TEKNOLOGIAT: SYTYTYSTULPPIEN SUORITUSKYKYÄ PARANTAMASSA.....	42
7.1.	DENSO-kehitys.....	42
7.2.	Elektrodimateriaalit.....	43
7.3.	Keskimateriaalit.....	44
7.4.	Maadoituselektrodi.....	45
7.5.	Muita DENSO-sytytystulppissa käytettyjä teknologioita.....	47
7.6.	Tulevaisuuden kehityssuunnat.....	48
8.	DENSO -VALIKOIMA.....	50
8.1.	Direct Fit.....	50
8.2.	Twin Tip.....	52
8.3.	Iridium Power.....	53
8.4.	Iridium Racing.....	54
9.	PÄIVITÄ SYTYTYSTULPPASI.....	56
9.1.	Miksi päivittäisit sytytystulppasi?.....	56
9.2.	Teho.....	57
9.3.	Polttoainetaloudellisuus ja päästöt.....	58
9.4.	Moitteeton joutokäynti, sytytyskatkokset ja käynnistys.....	59
9.5.	LPG/CNG -muunnetut autot.....	60
9.6.	Virittäminen ja kilpa-ajo.....	61
10.	UKK, ASENNUS JA VIANMÄÄRITYS.....	62
10.1.	UKK.....	62
10.2.	Sytytystulppien oikeaoppinen asennus.....	64
10.3.	Vianmääritys.....	65

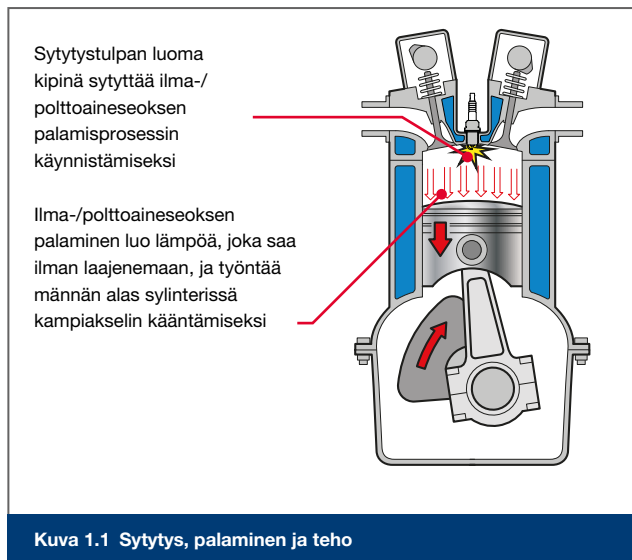


# 1. SYTYTYSTULPPIEN ESITTELY

## 1.1 Sytytystulpat: tärkeä osa palamisprosessia

### Polttomoottorit: tehon tuotto luomalla lämpöä

Polttomoottorit tuottavat tehoa valjastamalla energiaa, joka muodostuu, kun sylinterissä oleva ilma lämpenee polttoaineen palaessa. Lämpö saa ilman laajenemaan voimakkaasti, jonka vuoksi mäntä liikkuu sylinterissä alaspäin ja kääntää sitten kampiakselia (Kuva 1.1).



Palamisprosessi on näin ollen yksi tärkeimpiä moottoritoiminnan vaiheita; jos palaminen ei ole tehokasta, moottori ei tuota vaadittua tehoa. Lisäksi, heikko palaminen aiheuttaa korkeita saastetasoja ja johtaa ylenmääräiseen polttoainekulutukseen.

Tehokkaan palamisreaktion saavuttamiseksi, sylinterissä oleva ilma on sekoitettava tarkassa suhteessa pieneen polttoainemäärään. Seos puristetaan sylinterin sisään männän liikkeestä, joka puristaa seoksen pieneen tilaan, jota kutsutaan palokammiksi (katso luku 2).

Ilma-/polttoaineseoksen puristus luo lämpöä, mutta tämä ei yksin riitä sytyttämään seosta. Palamisreaktion käynnistämiseen tarvitaan lisälämmönlähde. Lisälämpö saadaan aikaan luomalla kipinä (kuuma sähkökaari) sytytystulpalla, joka strategisesti löytyy palokammista.

**Ilmakehässä oleva ilma (ja näin ollen myös sylinterissä oleva ilma) koostuu tyypeistä (noin 78%) ja hapesta (noin 21%) sekä pienistä määristä argonia, hiilidioksidia ja joitakin muita kaasuja.**

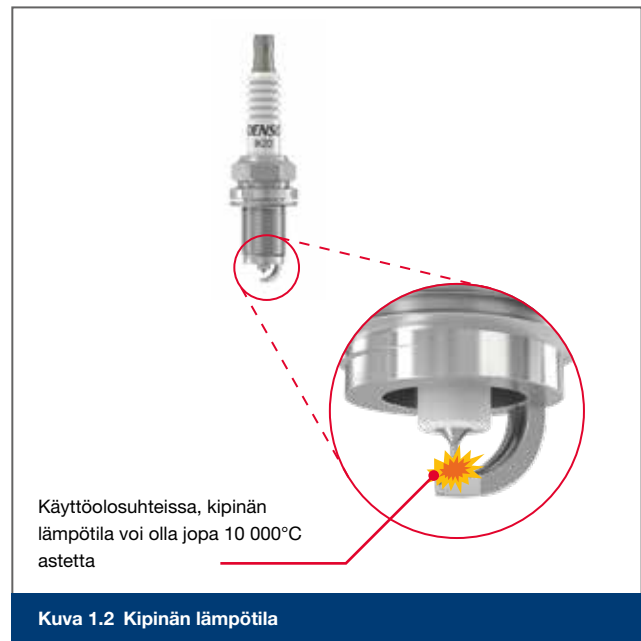
**Polttoaine (benssiini) koostuu vedystä ja hiilestä. Palamisprosessin aikana, jolloin polttoaineessa oleva energia vapautuu, monet ilmassa sekä polttoaineessa olevat kaasut ja alkuaineet reagoivat keskenään ja muodostavat erilaisia kaasuja. Tämän vuoksi, kun viittaamme sylinterissä olevan ilman laajenemiseen, kyse on itseasiassa kaasuseoksen laajeneminen.**

### Sytytystulppa on tärkeä komponentti palamisprosessille

Sytytysjärjestelmä toimittaa juuri oikeaan aikaan lyhyen korkeajännitesyöksyn sytytystulpalle, joka synnyttää kipinän

sytytystulpan kärkien välissä. Kipinän ytimessä (Kuva 1.2), lämpötila voi hetkellisesti saavuttaa, tai jopa ylittää, 10 000°C astetta, joka antaa riittävästi lämpöä sytytystulpan kärjen vieressä olevan pienen seosmäärän sytytykselle.

Tämä ensimmäinen palamisreaktio tuottaa kuumaa liekkiä, joka leviää muuhun seokseen ja näin aiheuttaa palamisreaktion palokammiossa olevassa muussa ilma-/polttoaineseoksessa.



Palamisprosessin tuottama lämpö saa sylinterissä olevat puristetut kaasut laajenemaan, ja mäntä työnnytyllyspäin sylinterissä; mutta sytytystulppa on tärkeä komponentti ensimmäisen korkean lämpötilan luomisessa, joka käynnistää koko palamisprosessin.

1.1. Sytytystulpat: tärkeä osa palamisprosessia	2
1.2. Nykyaikaisten sytytystulppien käyttövaatimukset	3
1.3. Erilaiset sytytystulpat erilaisille moottoreille	4

## 1.2. Nykyaikaisten sytytystulppien käyttövaatimukset



Kuva 1.3 Sytytystulpan on toimittava erittäin vastahakoisessa ympäristössä

### Lämpötila

Vaikka sytytystulppaelektrodit voidaan aluksi altistaa jopa 10 000°C asteen lämpötiloille sen lyhyen hetken aikana, kun kipinä tapahtuu, pidemmän palamisprosessin aikana sytytystulppakotelo ja -elektrodit altistuvat noin 3 000 °C asteen lämpötiloille. Lämpötiloissa tapahtuu myös nopeita muutoksia, kuten silloin kun raikas ilma virtaa sylinteriin imutahdin aikana aiheuttaen välittömän jäähdytysvaikutuksen sytytystulpalle, joka on vuorostaan juuri altistunut korkeille palamislämpötiloille.

Sen lisäksi, että korkeat lämpötilat voivat vaurioittaa elektrodeja ja sytytystulppakotelo, osa sytytystulpasta voi jäädä niin kuumaksi, että se aiheuttaa esisytymisen, jolloin sytytystulpan kuuma kohta on jo sytyttänyt ilma-/polttoaineseoksen ennen kuin kipinä ehtii syntyä. Tämä aikainen tai myöhäinen ilma-/polttoaineseoksen syttyminen aiheuttaa ennenaikaisen palamisreaktion, jonka vuoksi paineen nousu ja kaasujen laajeneminen tapahtuu liian aikaisin. Ennenaikainen laajeneminen sekä siihen liittyvä paineen nousu pyrkivät työntämään mäntää alas sylinterin sisällä ennen kuin mäntä on saavuttanut puristustahdin yläkuoloa (katso kohta 5.3).

### Luotettavuus ja kestävyys

Riippumatta moottorimallista, sylinterin alue, jossa palamisreaktio tapahtuu, luo erittäin vastahakoisen ympäristön. Sytytystulpan on synnyttävä kuuma kipinä ilma-/polttoaineseoksen sytyttämiseksi; ja sytytystulpan on pystyttävä jatkamaan kipinänantoa monta tuhatta kilometriä tai monta miljoonaa polttokierrosta.

### Jännite ja kipinä

Sytytystulpan ensisijainen tehtävä on hyödyntää korkeajännitteitä, muodostaakseen erittäin nopean ja kuumen kipinän. Jännitteet ovat tyypillisesti kymmenentuhannen ja neljänkymmenentuhannen voltin (10kV - 40kV) välillä, mutta kehityssuuntana on nyt 45kV ja korkeammat jännitteet. Sytytystulpan rakenteessa tulee tämän vuoksi olla hyvä eriste eri sytytystulppakomponenttien välillä, jotta voidaan varmistaa, ettei korkeajännite pääse karkaamaan tai aiheuttamaan oikosulkuja muissa komponenteissa.

## Paine

Tyypillisesti jopa yli 50 bar paineita voidaan luoda palamisreaktion aikana, vaikka nämä paineet voivat olla paljon korkeampia joissakin korkean suorituskyvyn moottoreissa.

Tästä syystä, sytytystulppakotelon ja moottorin välillä on oltava hyvä painetiiviste. Sytytystulpparakenteen on kuitenkin myös sisällettävä sisätiivisteet, jotka estävät kuumia ja korkeapaineisia kaasuja siirtymästä eri sytytystulppakomponenttien välillä (Kuva 1.4). Paineekadon lisäksi, sytytystulppakomponentit voivat vaurioitua, jos kaasut pääsevät siirtymään sytytystulpparakenteen läpi.

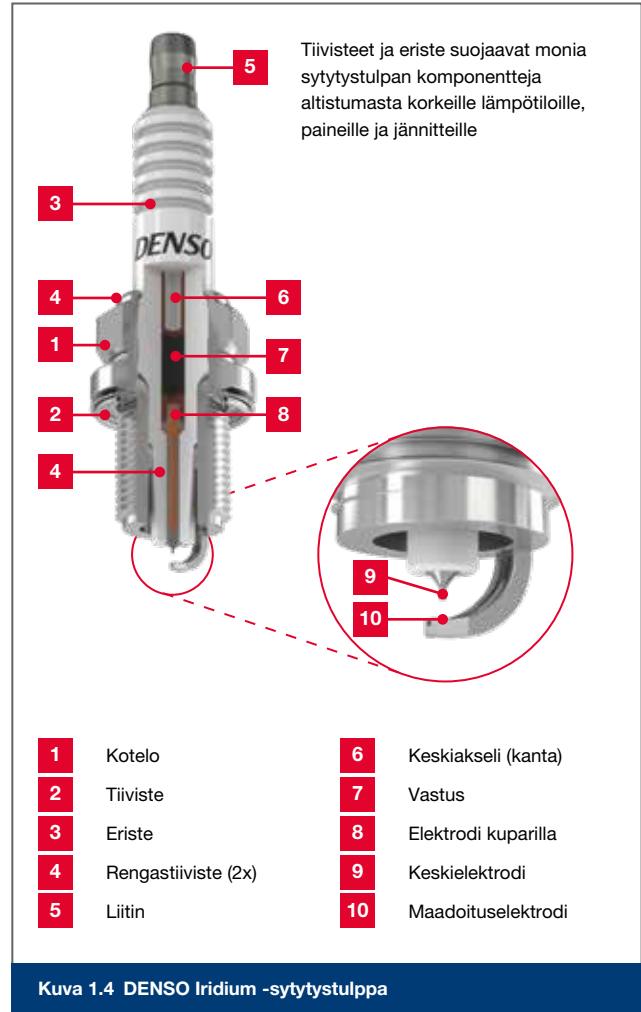
## Saasteet ja likaantuminen

Palamisprosessi tuottaa monia eri saasteita, mukaan lukien palaneita polttoaine- ja öljyjäämiä, jotka voivat kertyä sytytystulpalle ja vaikuttaa sen suorituskykyyn. Joten, vaikka sytytystulppa ei saa muuttua liian kuumaksi, sen on ylläpidettävä riittävä lämpöä, jolla se polttaa saasteet pois ja estää sytytystulpan likaantumisen (katso kohta 6.6).

## Johtopäätökset

Sytytystulppasuunnittelun tärkeitä ominaisuuksia ovat näin ollen korkeiden lämpötilojen ja lämpötilamuutosten sietokyky, sekä korkeiden paineiden sietokyky; samalla sytytystulpan on kuitenkin toimittava korkeajännitteillä muodostaakseen kuumen kipinän muutaman tuhannesosasekunnin välein koko sytytystulpan käyttöajan ajan.

Välttääkseen korkeiden lämpötilojen vaurioittavia vaikutuksia, sytytystulpan on pystyttävä johdattamaan tai siirtämään lämpöä sytytystulpalta pois ja moottorikotelon läpi. On kuitenkin huomioitava, että jos liikaa lämpöä siirretään tai johdatetaan sytytystulpalta, tämä voi alentaa kipinän lämpötilaa ja aiheuttaa heikkoa syttymistä ja palamista. Lisäksi, jos liikaa lämpöä johdatetaan, sytytystulppa ei välttämättä pysty polttamaan saasteita pois.



Kuva 1.4 DENSO Iridium -sytytystulppa

## DENSON KOROSTUS

### Jalometallien ja erikoismateriaalien käyttö

DENSO-sytytystulppissa käytetyt materiaalit (kuten elektrodien iridium- ja platinaseoksissa käytetyt korkealaatuiset keraamiset eristeet ja jalometallit) kestävät moottorissa ja palokammiossa olevia erittäin korkeita lämpötiloja, tehden DENSO-sytytystulppista markkinoiden kestävimpiä.

Korkealaatuiset keraamiset eristeet

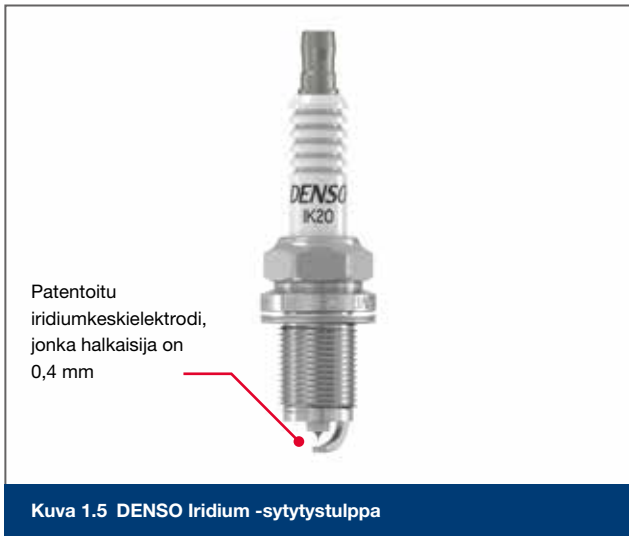
Elektrodien iridium- ja platinaseokset



### 1.3. Erilaiset sytytystulpat erilaisille moottoreille

Erilaiset moottorimallit vaativat väistämättä erikokoisia sytytystulppia, joiden kokonaisuudet voivat vaihdella. Kapeiden sytytystulppien kehityssuunta moottoripyöräkäyttökohteissa alkoi monta vuotta sitten; mutta nyt myös nykyaikaisiin pienennettyihin automoottoreihin asennetaan näitä kapeita sytytystulppia, joiden on silti kestävä samoja vastahakoisia toimintaolosuhteita.

Sytytystulppissa on monia muita muotoilominaisuuksia, joihin voidaan vaikuttaa eri moottorimallien nimenomaisissa käyttöolosuhteissa. Eri palokammioimalleissa olevat lämpötilat ja paineet sekä korkeampien jännitteiden käyttö vaikuttavat sytytystulpan muotoiluun. Kun päästöjen vähentämiseen keskitytään jatkuvasti, sytytystulppien muotoilu kehittyi myös sopeutumaan yhä tiukeneviin vaatimuksiin, joita asetetaan moottorien uudemmille sukupolville.



Kuva 1.5 DENSO Iridium -sytytystulppa

Teoriassa, lukuisat eri moottorimallit vaatisivat lukuisia eri tarkoilla vaatimuksilla ja teknisillä tiedoilla olevia sytytystulppia; käyttämällä edistyneitä muotoiluominaisuuksia, DENSO pystyy kuitenkin tuottamaan suhteellisen pienen valikoiman sytytystulppia, jotka täyttävät monien eri moottorityyppien vaatimukset. Kehittyneet, korkeampien teknisten tietojen sytytystulpat voivat korvata useat alempien teknisten tietojen sytytystulpat.

Yksi edistysellinen DENSO-muotoiluominaisuus on iridiumin käyttö, jonka avulla DENSO Iridium -sytytystulpat voidaan valmistaa erittäin ohuilla (0,4 mm halkaisija) keskielektrodeilla (Kuva 1.5).

Iridiumielektrodit mahdollistavat, että pienempiä tulppavälejä ja alempia jännitteitä voidaan käyttää verrattuna vähemmän edistysellisiin sytytystulppamalleihin. Sen lisäksi, että sillä on korkeampi vahvuus ja alempi sähkövastus kuin perinteisimmillä elektrodimateriaaleilla, iridium kestää korkeampia lämpötiloja ja on näin myös kestävämpi.

**Iridiumielektrodien sekä muiden sytytystulppien muotoiluominaisuuksien käyttöä on kuvailtu tarkemmin luvuissa 6, 7 ja 8.**

## DENSON KOROSTUS

### DENSO -sytytystulppa jokaiselle moottorille

Ainutlaatuiset sytytystulpat alkuperäisille laitevalmistajille

Kehiteltäessä moottoria, alkuperäiset laitevalmistajat valitsevat sytytystulpan omien vaatimustensa perusteella. Kun kyseisellä moottorilla on tarkat vaatimukset, alkuperäisillä laitevalmistajilla on eri tarpeet kuin jälkimarkkinoilla.

#### Alkuperäiselle laitevalmistajalle ainutlaatuisen sytytystulpan etuihin kuuluu:

- > Sytytystulppa, joka suoriutuu vähintään vähimmäisvaatimusten mukaisesti
- > Sytytystulppa, joka suoriutuu kohtuullisella vaihtovälillä
- > Ainutlaatuinen sytytystulppa on yleensä vähimmäis suorituskyvyn ja kestävyysvaatimusten saavutuksen tulos, ja on valmistettu mahdollisimman alhaiseen hintaan.

Ainutlaatuinen sytytystulppa aiheuttaa lisäkehityskuluja, mutta valmistetut määrät ovat usein niin suuria, että ne kompensoivat näitä lisäkuluja.

Jälkimarkkinoilla, jotkut sytytystulppavalmistajat käyttävät mielellään näitä etuja markkinoidessaan omia ainutlaatuisia sytytystulppiaan alkuperäisenä tulppana. Esimerkiksi, DENSO valmistaa myös sytytystulppia, joilla on aivan samat tekniset tiedot, kuin alkuperäisellä sytytystulppalla.

Tarjotakseen kattavan valikoiman, joka sopisi joka autoon, tarvittaisiin yli 400 sytytystulppaa.

#### DENSON vaihtoehto

Tämän määrän alentamiseksi, DENSO tarjoaa vaihtoehtoista ratkaisua: tarjoamalla jälkimarkkinoiden sytytystulppa, jossa on korkeampi suorituskyky kuin alkuperäisessä, DENSO voi korvata useita eri sytytystulppatyyppejä, joissa on usein vain pieniä eroavaisuuksia. Esimerkiksi, 'DENSO Twin Tip' -valikoima korkean suorituskyvyn sytytystulppia tarvitsee vain 35 osanumeroa, joilla se kattaa 90% autoista. Tämän saavuttamiseksi, korkean suorituskyvyn sytytystulppia on kehitetty, joissa on ainutlaatuisen pienillä halkaisijoilla varustetut sekä kulutusta kestävät elektrodit.

#### Johtopäätökset

Twin Tip -valikoima on kehitetty jälkimarkkinoiden näkökulmasta ja sen ominaisuutena on edistysellinen teknologia, joka kattaa monien sytytystulppatyyppeiden tekniset tiedot. Se on yhdenveroinen ja usein ylittää suorituskyvyltään alkuperäisten laitevalmistajien sytytystulpat, ja antaa jälkimarkkinoiden vahvistaa sytytystulppavalikoimaa.



# 2. NELITAHTIMOOTTORIN TOIMINTA JA PALAMISPROSESSI

## 2.1. Nelitahtijakso: imutahti, puristustahti, työtahti, poistotahti

Nelitahtimoottorin, joka tunnetaan myös ottomoottorina tai kipinäsytytteisenä moottorina, kehitti N. Otto vuonna 1876. Moottori perustuu neljän prosessin työkiertoon, jotka ovat imutahti, puristustahti, sytytystahti ja pakotahahti.

### (1) Imutahti

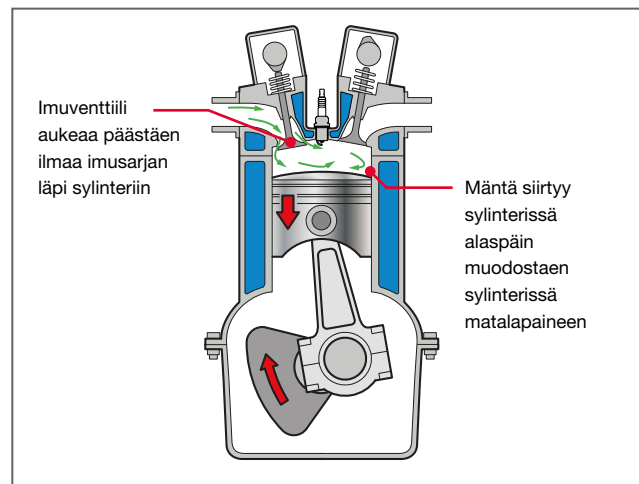
Ensimmäisen tahdin aikana, mäntä siirtyy sylinteriä pitkin alas (Kuva 2.1). Tämä muodostaa paineen, joka on ilmanpainetta alempi; ja koska imuventtiili on auki, sylinterin ulkopuolella oleva ilma (joka on samassa paineessa kuin ilmanpaine) virtaa sylinterissä olevaa alemmaa painetta kohti. Itse asiassa, männän liikkuminen muodostaa imun (tai paineeron), joka imee ilman sisään.

Kun turboahtimet tai mekaaniset ahtimet ovat asennettuina, ilma puristetaan, joka aiheuttaa sen, että vielä enemmän ilmaa pääsee imusarjasta sylinteriin.

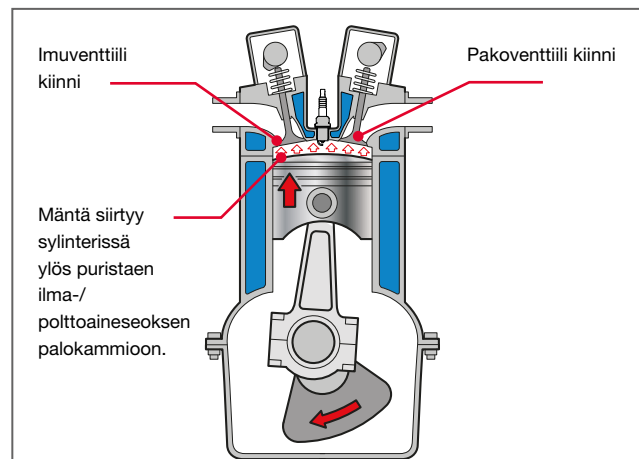
**Useimpien jo käytössä olevien moottoreiden kohdalla, tarvittava polttoainemäärä sekoittuu ilman kanssa ruiskuttamalla polttoaine imusarjaan joko imutahdin aikana tai joskus juuri ennen imutahtia. Joissain nykyaikaisissa moottoreissa on kuitenkin suoraruiskutus, jossa polttoaine ruiskutetaan suoraan sylinteriin imutahdin aikana tai (joissain moottorin toimintaolosuhteissa) polttoaine voidaan ruiskuttaa puristustahdin alkuvaiheessa.**

### (2) Puristustahti

Toisen tahdin aikana (Kuva 2.2), imuventtiili on kiinni ja näin tiivistää sylinterin sekä estää ilma- tai painekatoa. Mäntä nousee sylinterissä, joka puristaa ilma-/polttoaineseoksen noin kymmenesosaan sen alkuperäisestä tilavuudesta (puristuksen määrä riippuu moottorimallista). Näin ollen, sylinterissä oleva paine tulee teoriassa olemaan 10 kertaa ilmanpaine (10 bar) tai enemmän tietyissä olosuhteissa, jos moottori on turboahdettu tai mekaanisesti ahdettu.



Kuva 2.1 Imutahti



Kuva 2.2 Puristustahti



### (3) Työtahti (palaminen)

Kolmannen tahdin aikana (Kuva 2.3), ilma-/polttoaineseoksen palaminen luo lämpöä. Tämä saa ilman laajenemaan ja työntää männän sylinterissä alas, joka tehokkaasti tuottaa tehoa kampaikselin kääntämiseksi. Toisin kuin dieselmootoreissa, joissa on paljon korkeampi puristusuhde, työtahti lämmittää ilma-/polttoaineseosta mutta ei tarpeeksi sen sytyttämiseksi. Tämän vuoksi sytytystulppaa käytetään kuuman kipinän luomiseen, joka antaa vaadittua lämpöä palamisprosessin aloittamiseksi.

Teoriassa, kipinän olisi toteuduttava aivan samaan aikaan, kun mäntä saavuttaa sylinterissä yläkuolokohdan (TDC tai YKK) ja mäntä on juuri siirtymässä takaisin alas sylinterissä. Mutta koska seoksen syttymiseen ja täydelliseen palamiseen (ja vielä sylinterissä olevan korkean paineen luomiseen) voi mennä muutama tuhannesosasekunnista, palamisprosessi on aloitettava hieman ennen kuin lämpöä ja laajenemista tarvitaan. Näin ollen, sytytystulppa yleensä antaa kipinän palamisreaktion aloittamiseksi, kun mäntä on vasta lähestymässä yläkuolokohdtaa työtahdin lopussa (katso kohta 4.3).

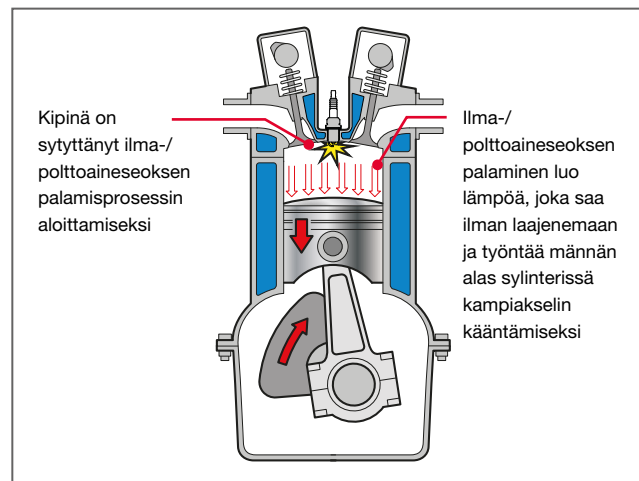
Kipinän ajoitusennakko ja palamisreaktion aloitus antavat palamisprosessin progressiivisesti, mutta nopeasti, edetä ja antaa lämpöä sylinterissä olevien kaasujen laajentamiseksi.

Vaikka viittaamme yleisesti työtahtiin, tätä tahtia voi myös palamistahtina tai tehotahtina, koska työtahdin aikana ilma-/polttoaineseos syttyy ja tuottaa voiman, joka työntää sylinterin alas ja antaa moottorille tehoa.

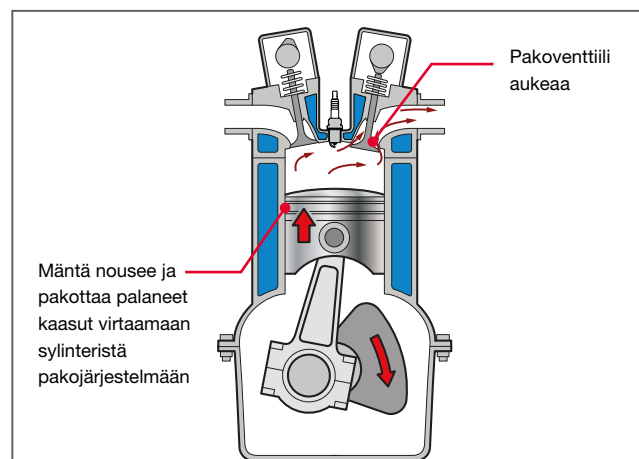
### (4) Pakotahti

Neljännän tahdin aikana (Kuva 2.4), pakoventtiili on auki ja kampaikselin jatkuva kierto siirtää mäntä sylinteriä pitkin ylös, joka pakottaa palaneet kaasut virtaamaan sylinteristä pakojärjestelmään.

Neljännän tahdin jälkeen, pakoventtiili sulkeutuu ja koko nelitahtikierto voi alkaa alusta imuventtiilin aukeamisella ja raikkaan ilman sekä polttoaineen virtaamisella sylinteriin uudessa imutahdissa.



Kuva 2.3 Työtahti



Kuva 2.4 Pakotahti

### Vaihtoehtoiset polttomoottorit

Useimmat automoottorit toimivat nelitahtikierrolla, mutta jotkut moottorit toimivat kaksitahtikierrolla tai pyörivän Wankelin toimintaperiaatteen mukaisesti. Vaikka niissä on toimintaeroja, ne kaikki perustuvat ilma-/polttoaineseoksen puristamiseen, sen syttymiseen sytytystulppalla ja kohonneen paineen käytön tuottamaan kiertotehoon.

# 3. SYTYTYSJÄRJESTELMÄN TOIMINTA

## 3.1. Sytytysjärjestelmän tehtävät

### Luotettavuus, pitkät huoltovälit, alempien päästömien edesauttaminen

Sytytysjärjestelmät ovat kehittyneet vuosien mittaan suhteellisen tavanomaisista mekaanisista järjestelmistä korkean teknologian sähköisiksi järjestelmiksi, joita löytyy nykyaikaisista autoista. Vaikka nykyaikaiset moottorit toimivat korkeammissa palamislämpötiloissa ja paineissa, laihemmilla ilma-/polttoaineseoksilla ja korkeammassa kierrosnopeuksissa, sytytysjärjestelmäparannukset jatkuvasti parantavat luotettavuutta, polttoainekulutusta, huoltovälejä ja moottorin suorituskykyä. Nykyaikaisten sytytysjärjestelmien on kuitenkin sopeuduttava puhtaampien päästöjen kasvavaan vaatimukseen.

### Kaksi ensisijaista tehtävää

Sytytysjärjestelmien on suoritettava kaksi ensisijaista tehtävää:

- (1) Tuottaa korkeajännite kipinää varten
- (2) Täsmälleen oikeaan aikaan.

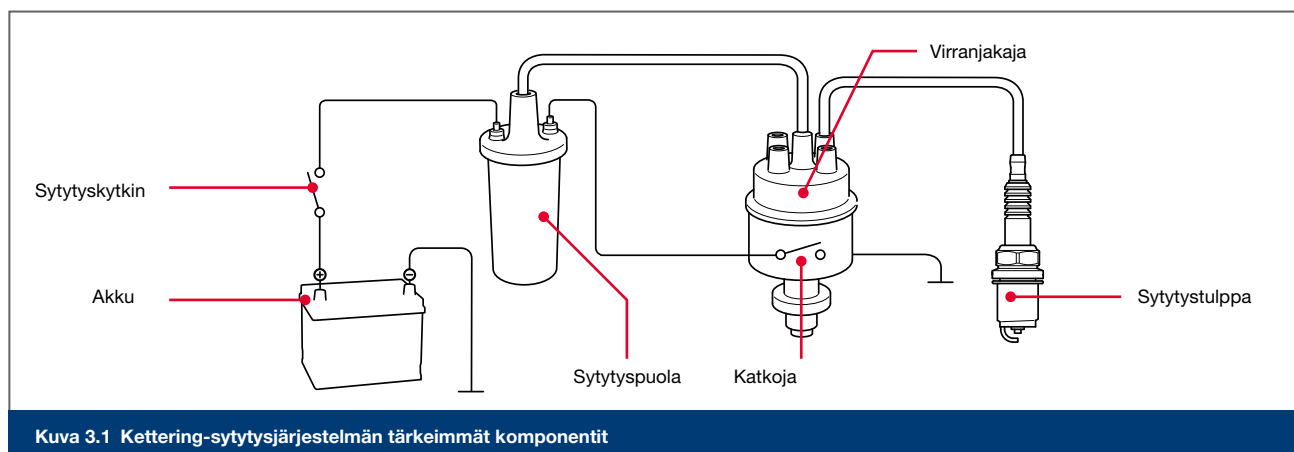
## 3.2. Sytytyksen esittely

Erittäin harvaa poikkeusta lukuun ottamatta, nykyaikaisten bensiiniautojen ja moottoripyörien moottoreiden sytytysjärjestelmät käyttävät sytytyspuolia luodakseen korkeajännitteen, jota tarvitaan kipinän tuottamiseksi sytytystulpassa. Sytytysjärjestelmät ovat muuttuneet merkittävästi 1970-luvun jälkeen elektroniikan käytön vuoksi, mutta jopa nykyaikaiset sytytysjärjestelmät ovat selvästi kehittyneet yli 100 vuotta sitten käyttöönottettuihin alkuperäisiin sytytysjärjestelmiin verrattuna.

Sytytyspuolapohjaisen sytytysjärjestelmän keksi amerikkalainen keksijä Charles Kettering, joka kehitti vuoden 1910/1911 Cadillac-ajoneuvoihin alun perin asennetun sytytysjärjestelmän. Tehokkaan sytytysjärjestelmän käyttö oli mahdollista akkukäytön avulla, joka antoi sähkövirtaa käynnistymoottorille (jonka Kettering myös kehitti Cadillacille). Akku, generaattori ja kattavampi ajoneuvon sähköjärjestelmä antoi suhteellisen vakaan virtalähteen sytytyspuolalle.

Kettering-järjestelmä (Kuva 3.1) käytti yksittäistä sytytyspuolaa korkeajännitteen luomiseen, joka sitten jaettiin kaikkien sylinterien sytytystulpille. Sytytyspuolasta saatu korkeajännite johdatettiin kiertovarteeseen, joka tehokkaasti ohjasi korkeajännitteen virranjakajakokoonpanossa olevaan sähköliittimien sarjaan (yksi liitin per sylinteri). Nämä liittimet olivat sytytystulppajohdoilla kytkettyinä sytytystulppiin sellaisessa sekvenssissä, joka mahdollisti korkeajännitteen jakamisen sytytystulpille oikeassa sylinterien sytytysjärjestyksessä.

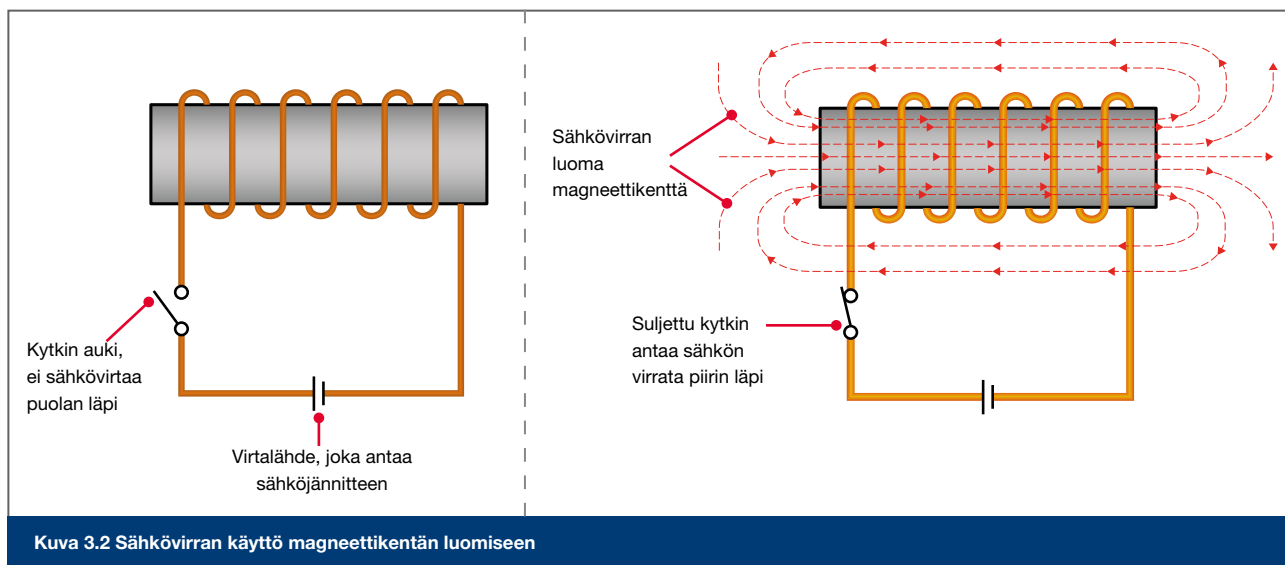
Kettering-sytytysjärjestelmästä tuli progressiivisesti melkein ainoa sytytysjärjestelmä, jota käytettiin massatuotantona valmistetuissa bensiiniautoissa, kunnes sähkökytkettävät ja -ohjatut sytytysjärjestelmät alkoivat korvaamaan mekaanisia sytytysjärjestelmiä 1970- ja 1980-luvuilla. (Katso kohta 4.1).



Kuva 3.1 Kettering-sytytysjärjestelmän tärkeimmät komponentit

3.1. Sytytysjärjestelmän tehtävät	8
3.2. Puolasytytyksen esittely	8
3.3. Sytytyspuolat: matalajännitteen muuttaminen korkeajännitteeksi	9
3.4. Sytytyspuolan latausaika	11
3.5. Sytytyksen ajoitus: kipinän antaminen oikeaan aikaan	12

### 3.3. Sytytyspuolat: matalajännitteen muuttaminen korkeajännitteeksi



Kuva 3.2 Sähkövirran käyttö magneettikentän luomiseen

Sytytyspuolat käyttävät sähköä ja magneettisuuden välisiä suhteita hyväkseen tuottaakseen vaaditut korkeajännitteet.

#### Sähkövirran käyttö magneettikentän luomiseen

Kun sähkövirta virtaa sähköjohtimen, kuten käämin läpi, puolan ympärille muodostuu magneettikenttä (Kuva 3.2). Magneettikenttä (tai tarkemmin sanottuna magneettivuoto) on tosi asiassa energiavaraosto, jonka pystyy muuntamaan takaisin sähköksi.

Kun sähkövirta aluksi käynnistetään, virta progressiivisesti, mutta nopeasti, kohoaa enimmäisarvoonsa. Samanaikaisesti, magneettikenttä tai -vuo kasvaa myös enimmäisvahvuuteensa ja muuttuu vakaaksi, kun sähkövirta on vakaa. Kun sähkövirta sammutetaan, magneettikenttä romahtaa takaisin käämistä kohti.

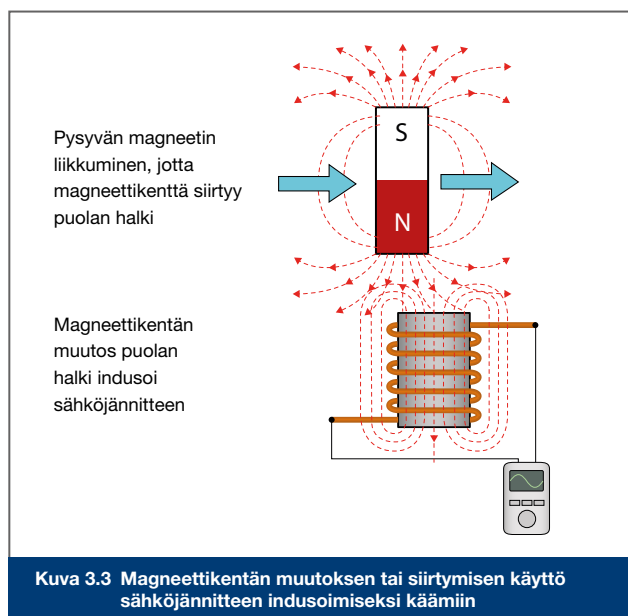
Magneettikentän vahvuuteen vaikuttaa kaksi päätekijää:

- (1) Käämitykselle annettavan jännitteen nostaminen nostaa magneettikentän vahvuutta.
- (2) Puolan käämisten lisääminen nostaa magneettikentän vahvuutta.

#### Muuttuvan magneettikentän käyttö sähkövirran indusointiin

Jos käämi altistuu magneettikentälle ja magneettikenttä muuttuu (tai siirtyy), se luo käämissä sähköjännitteen. Tätä prosessia kutsutaan 'induktanssiksi'.

Eräs yksinkertainen esimerkki magneettikentän muuttumisesta käämin ympärillä on siirtää pysyvä magneetti puolan halki. Magneettikentän tai magneettivuon siirtyminen tai muutos indusoi sähköjännitteen käämiin (Kuva 3.3).



Kuva 3.3 Magneettikentän muutoksen tai siirtymisen käyttö sähköjännitteen indusoimiseksi käämiin

Puolaan indusoitavalle jännitemäärälle on kaksi päätekijää:

- (1) Mitä nopeampi magneettikentän muutos (tai siirtymisen nopeus) ja mitä suurempi magneettikentän vahvuuden muutos on, sitä suurempi indusoitu jännite on.
- (2) Mitä enemmän käämityksiä puolassa on, sitä suurempi indusoitu jännite on.

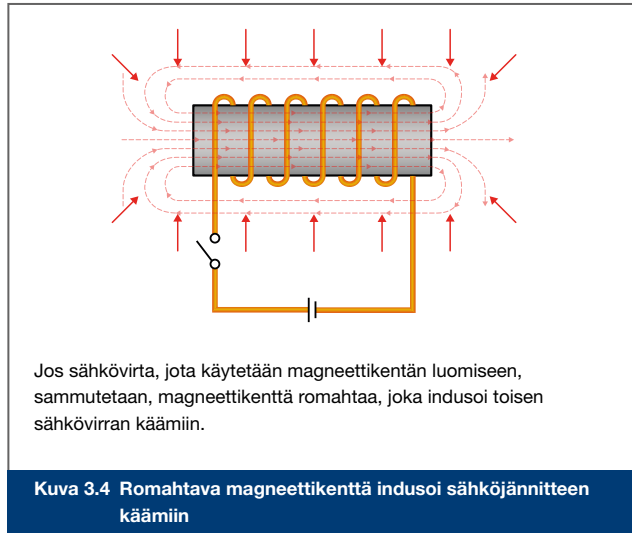
### 3. SYTYTYSJÄRJESTELMÄN TOIMINTA

#### Muuttuvan tai romahtavan magneettikentän käyttö sähkövirran indusointiin

Kun magneettikenttä indusoi sähköjännitteen käämiin, sähköjännitteen muutos (jännitevirran nousu tai lasku) aiheuttaa saman muutoksen magneettikentässä. Jos sähköjännite sammutetaan, magneettikenttä muuttuu nopeasti; itse asiassa, se romahtaa.

Romahtava magneettikenttä indusoi sähköjännitteen puolaan (Kuva 3.3).

Samalla tavalla kuin magneettikentän siirtymisen nopeuttaminen puolan halki nostaa puolaan indusoitavaa jännitettä, jos romahtava

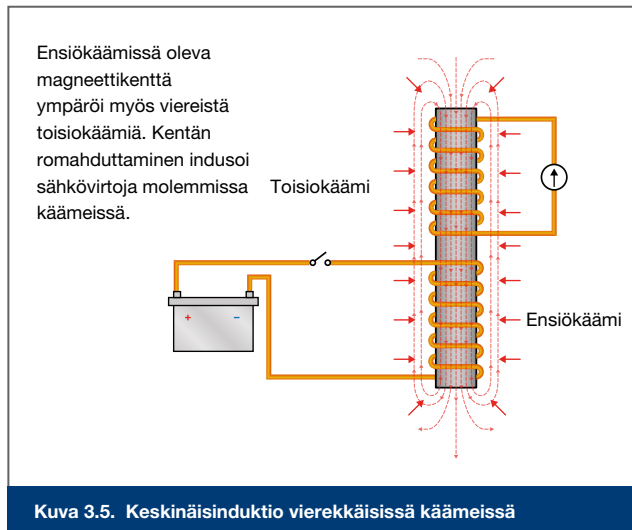


magneettikenttä saadaan romahtamaan nopeammin, tämä indusoi korkeamman jännitteen. Lisäksi, korkeamman jännitteen saa indusoitua puolaan, jos puolan käämitysten määrää lisätään.

#### Keskinäisinduktio ja muuntajatoiminta

Jos kaksi käämiä asetetaan vierekkäin tai toistensa ympärille ja sähkövirralla luodaan magneettikenttä yhden puolan ympärille (jota voimme kutsua ensiökäämiksi), magneettikenttä ympäröi myös toisen käämin (tai toisiokäämin). Kun sähkövirta sammutetaan ja magneettikenttä muuttuu tai romahtaa sen tuloksena, se indusoi jännitteen sekä ensiö- että toisiokäämiin, joka tunnetaan 'keskinäisinduktiona' (Kuva 3.5).

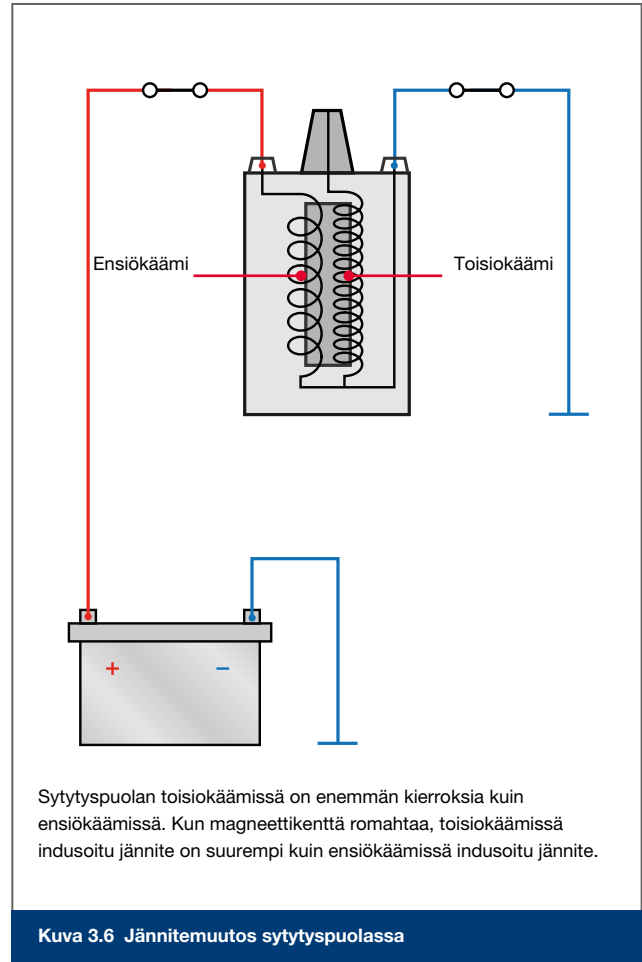
Sytytyspuolissa (tai monenlaisissa sähkömuuntimissa), toisiokäämi koostuu useammasta käämityksestä kuin ensiökäämi. Kun magneettikenttä romahtaa, se indusoi



korkeamman jännitteen toisiokäämissä verrattuna ensiökäämissä indusoitua jännitteeseen (Kuva 3.6).

Sytytyspuolan ensiökäämissä voi tyypillisesti olla 150 - 300 kierrosta; mutta toisiokäämissä voi tyypillisesti olla 15 000 - 30 000 kierrosta, joka on noin 100 kertaa enemmän kuin ensiökäämissä.

Magneettikenttä luodaan aluksi antamalla sytytyspuolan ensiökäämille noin 12 voltia ajoneuvon sähköjärjestelmästä. Kun sytytystulpassa



tarvitaan kipinä, sytytysjärjestelmä sammuttaa sähkövirran ensiökäämille niin, että sähkövirta pysähtyy äkillisesti aiheuttaen magneettikentän romahtamisen. Romahtava magneettikenttä indusoi noin 200 voltin jännitteen ensiökäämiin; mutta toisiokäämissä indusoitu jännite on noin 100 kertaa suurempi, eli noin 20 000 voltia.

Käyttämällä keskinäisinduktiovaikutuksia ja käyttämällä toisiokäämiä, jossa on 100 kertaa enemmän käämityksiä kuin ensiökäämissä, on mahdollista muuttaa alkuperäinen 12 voltin virtalähde erittäin korkeaksi noin 20 000 voltin jännitteeksi. Tätä matalajännitteen muutosprosessia korkeajännitteeksi kutsutaan 'muunnintoiminnaksi'.

**Sytytyspuolassa ensiö- (pienjännite-) ja toisiokäämi (suurjännite-) käämitään rautasydämen ympäri, joka auttaa kohdistamaan sekä tehostamaan magneettikentän vahvuutta ja vuota, joka vuorostaan tekee sytytyspuolasta tehokkaamman.**



### 3.4. Puolan latausaika

#### Magneettikentän muodostamis- tai latausaika

Kun sytytyspuolan ensiökäämiin kohdistetaan sähkövirta, vie vain lyhyen ajan, että virta saavuttaa enimmäisvirranvoimakkuutensa (ampeerit). Mutta koska magneettikentän (tai magneettivuon) vahvuus, joka muodostuu käämityksen ympärille, on suoraan verrannollinen sähkövirtaan, magneettikentän enimmäisvahvuuden saavuttaminen vie saman verran aikaa. Kun sähkövirta ja magneettikenttä ovat korkeimmillaan, magneettikenttä pysyy vakaana.

Magneettikentän enimmäisvahvuuden saavuttamiseen menevää aikaa kutsutaan usein sytytyspuolan 'latausajaksi'.

**(1)** Jos sähkövirtaa ei kohdisteta ensiökäämiin riittävän pitkäksi aikaa, magneettikenttä ei saavuta enimmäisvahvuuttaan.

**(2)** Jos sähkövirtaa kohdistetaan liian kauan, se voi aiheuttaa sähköpiirin ja ensiökäämin ylikuumenemistä.

**Vaaditut latausajat vaihtelevat eri sytytyspuolatyyppien välillä, mutta tyypillisesti ne ovat 4 millisekunnista vanhempien sytytyspuolien kohdalla aina 1,5 millisekuntiin asti useilla nykyaikaisilla puolatyypeillä.**

Sytytysjärjestelmän käyttämää aikaa, kohdistessaan sähkövirtaa sytytyspuolan ensiökäämiin, kutsutaan usein 'latausajaksi'. Nykyaikaisissa sytytysjärjestelmissä, latausaika on sähköisesti ohjattua, joten puolan täyteen varaamista varten pitäisi aina olla riittävästi aikaa. Vanhempien mekaanisten sytytysjärjestelmien kohdalla, mekaanisesti toimivan katkojan

rajoitukset aiheuttivat latausajan, joka aleni, kun kierrosnopeus nousi. Sen vuoksi, korkeammissa kierrosnopeuksissa aleneva latausaika esti magneettikenttää saavuttamasta täyttä vahvuuttaan.

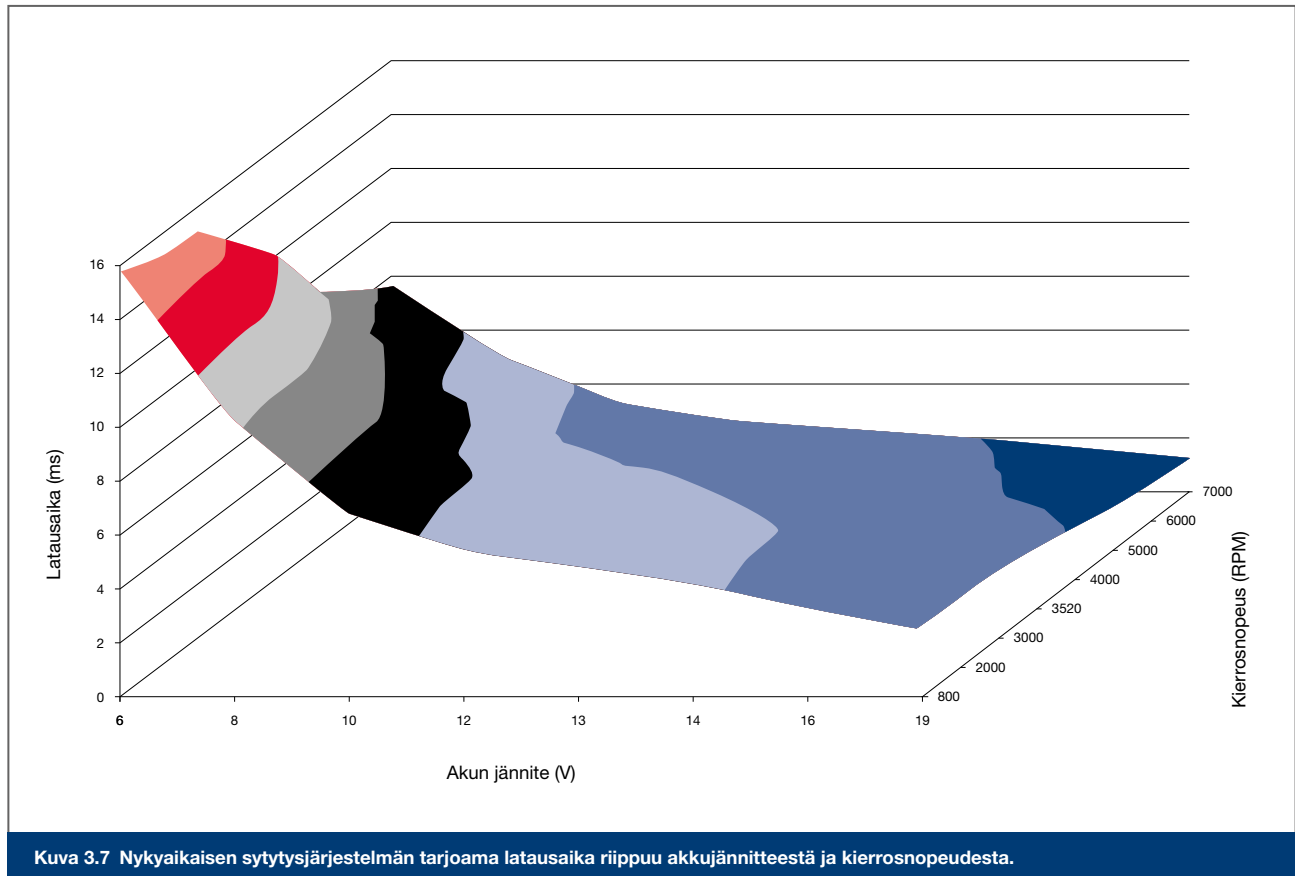
**Mekaanisten sytytysjärjestelmien lyhyiden latausaikojen ongelmat ovat selitettynä luvussa 4.**

#### Puolan latausaikaan vaikuttavien jännitteiden muuttaminen

Kuten muissakin sähköpiireissä, sähkövirta muuttuu, kun jännitteessä tapahtuu muutoksia. Jos ajoneuvon sähköjärjestelmän antama jännite ensiökäämille nousisi, tämä nostaisi sähkövirtaa ensiökäämissä. Sähkövirran nousu vähentäisi magneettikentän vaatimaa latausaikaa. Toisaalta, jännitteen ja sähkövirran lasku nostaisi magneettikentän enimmäisvahvuuden saavuttamiseen tarvittavaa latausaikaa.

Ajoneuvon sähköjärjestelmässä ilmeneviä pieniä jännitemuutoksia tapahtuu säännöllisesti normaalin ajon aikana; mutta merkittävä lasku jännitteessä voi tapahtua moottorinkäynnistyksen aikana, jolloin akun jännite voi laskea merkittävästi. Alhainen jännite nostaa silloin merkittävästi vaadittua latausaikaa; mutta nykyaikaisissa sähköisesti ohjatuissa sytytysjärjestelmissä, latausaikaa säädelään jännitenousujen ja -laskujen kompensoimiseksi.

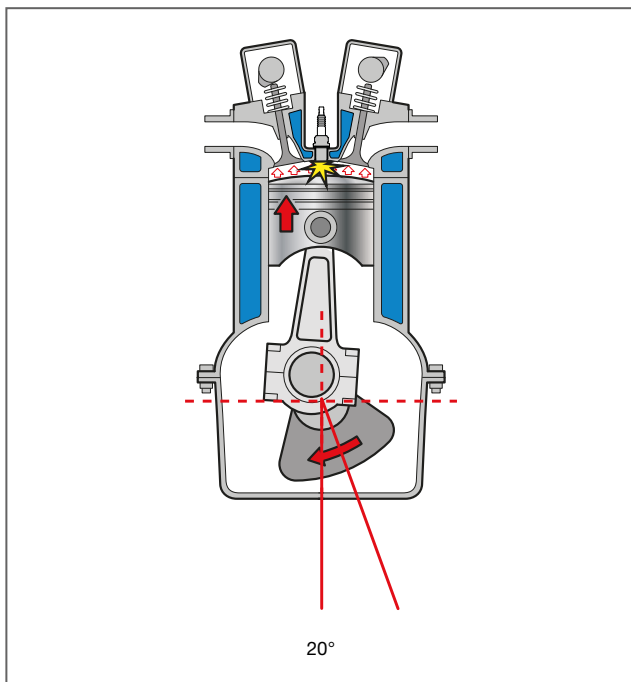
Kuva 3.7 osoittaa nykyaikaisen sytytysjärjestelmän eri akkujännitteissä ja kierrosnopeuksissa tarvittavan tyypillisen latausajan (millisekunneissa).



Kuva 3.7 Nykyaikaisen sytytysjärjestelmän tarjoama latausaika riippuu akkujännitteestä ja kierrosnopeudesta.

#### 3.5. Sytytyksen ajoitus: kipinän luominen oikeaan aikaan

'Sytytysajoitus'-termiä käytetään ilmaisemaan, milloin sytytystulpalla syntyy kipinä. Sytytysajoitukseen yleensä viitataan kampaikselin kiertokulmana ennen kuin mäntä saavuttaa yläkuolonkulman (YKK) puristustahdin aikana. Esimerkkinä, Kuvassa 3.8 oleva piirustus osoittaa kampaikselin ja männän asennon, jos sytytysajoitus tapahtuu 20° ennen YKK:ta.



Kuva 3.8 Sytytysajoitus, joka tapahtuu 20° ennen yläkuoloa (TDC tai YKK)

#### Sytytysviiveen, palamisreaktion ja paineen nousun huomioiminen ajassa

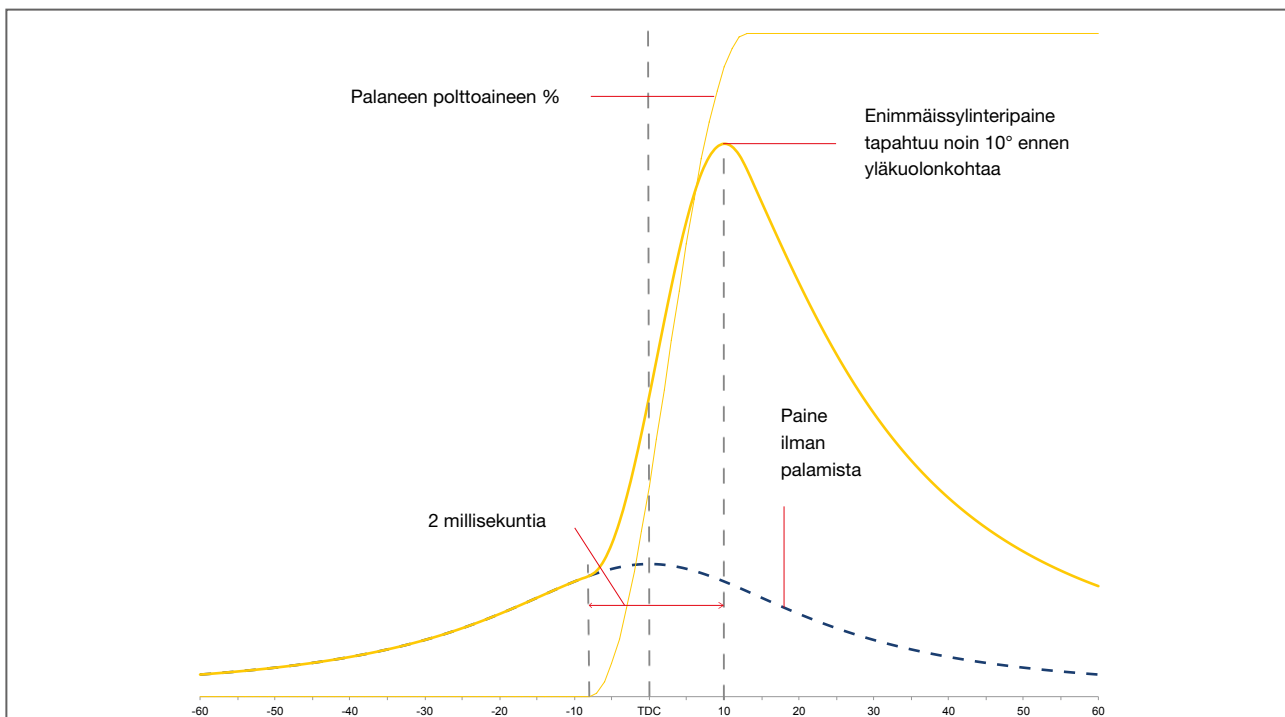
Moottori yleensä vapauttaa enimmäistehon, kun sylinterin enimmäispaine tapahtuu suunnilleen 10° YKK:n jälkeen (kun mäntä on juuri alkanut liikkumaan alaspäin sylinterissä). Sytytysajoitus on kuitenkin asetettava ennen kuin enimmäispainetta tarvitaan, koska kipinän muodostumisen ja enimmäissynteripaineen saavuttamisen välillä on viiveitä.

Ensimmäinen viive johtuu 'sytytysviiveestä', joka on erittäin lyhyt hetki kipinän muodostumisen ja ilma-/polttoaineseoksen palamisreaktion alun välillä. Ensimmäisen palamisreaktion aikana luodun liekin leviäminen muuhun seokseen, joka sitten palaa ja tuottaa lämpöä kaasujen laajentamiseen, vie kuitenkin aikaa.

Kipinän muodostumisen ja enimmäissynteripaineen saavuttamisen välillä olevat viiveet voivat kestää noin 2 millisekuntia. Kipinä tulee siis antaa noin 2 millisekuntia ennen kuin enimmäispaine tarvitaan.

**Tarkka aika kipinän syntymisestä enimmäissynteripaineen saavuttamiseen riippuu moottorin käyttöolosuhteista ja moottorimallista. Palamistehokkuus on yleensä parempi keskitasoisilla kierrosnopeuksilla, joka vähentää kokonaisviivettä, mutta muutokset moottorin kuormituksessa ja ilma-/polttoaineseossuhteissa sekä pakokaasun takaisinkierätyksen käyttö voivat myös vaikuttaa viiveaikoihin.**

Kuvassa 3.9 näkyy esimerkki, jossa enimmäissynteripaine saavutetaan 10° ennen YKK:ta; mutta sytytysviiveen ja liekin leviämisen viiveiden vuoksi, kipinä annetaan 2 millisekuntia aikaisemmin. Kampaikseli pyörii 1 500 RPM:n kierrosnopeudella, joten kampaikseli pyörii 18° asteeseen 2 millisekunnissa. Sytytysajoitus (kipinä) asetetaan näin ollen 8° asteeseen ennen YKK:ta.

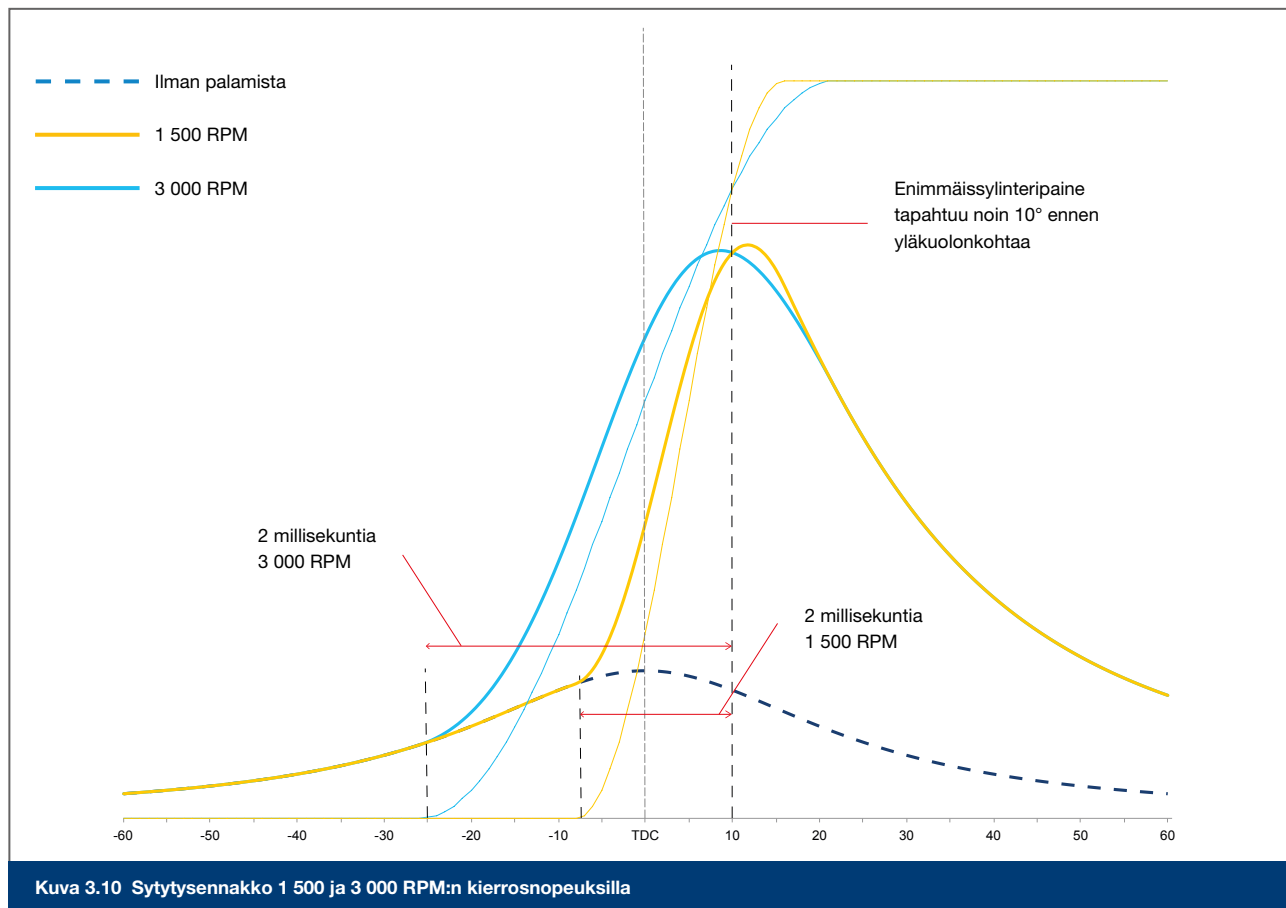


Kuva 3.9 Sytytysajoituksen asettaminen noin 2 millisekuntia ennen kuin enimmäissynteripaine tarvitaan

### Sytytysajoituksen aikaistaminen nopeuttamalla kierrosnopeutta

Jos kierrosnopeutta nostetaan 1 500 RPM:stä 3 000 RPM:ään (Kuva 3.10), oletuksena että viiveaika pysyy muuttumattomana 2 millisekunnissa, kampiakseli pyörii nyt 36° asteeseen 2 millisekunnissa (verrattuna 18° asteeseen 1 500 RPM:n kierrosnopeudessa). Näin ollen, jotta enimmäissynteripaine saavutetaan 10° YKK:n jälkeen, sytytysajoitus on aikaistettava 26° asteeseen ennen YKK:ta (verrattuna 8° asteeseen 1 500 RPM:n kierrosnopeudessa).

**Teoriassa, sytytysajoitus aikaistettaisiin suoraan verrannollisesti kierrosnopeuteen koko kierrosnopeusvälillä. Koska moottori- ja palamistehokkuudet kuitenkin muuttuvat kierrosnopeuksien muutoksilla, sytytysajoituksen aikaistus saavuttaa yleisesti huippunsa useimmissa massatuotannossa valmistetuissa automoottoreissa noin 3 000 - 4 000 RPM:n kierrosnopeuksilla.**



## DENSO:n korostus

### DENSO -sytytystulpat: sytytysviiveen epäjohtonmukaisuuden vähentäminen

Sytytysviiveen aika voi olla epäjohtonmukainen ja se voi vaihdella eri palamiskierroksilla. Nämä epäjohtonmukaisuudet lyhentävät tai pidentävät kokonaispalamisprosessia, joka aikaistaa tai myöhentää tarkkaa aikaa, jolloin enimmäissynteripaine saavutetaan.

Moottorivalmistajien on siis annettava virhemarginaali sytytysajoituslaskelmille,

jotta voidaan varmistaa, ettei sytytysajoitus tai palaminen tapahdu liian aikaisin.

DENSO Spark Plug -teknologioihin kuuluu ohuilla elektrodeilla varustettujen sytytystulppien käyttö (patentoitu 0,4 mm halkaisija), jotka auttavat vähentämään sytytysviiveen epäjohtonmukaisuuksia; tämän ansiosta moottorivalmistajat voivat pienentää sytytysajoituksen virhemarginaaleja niin, että sytytysajoitus voi olla optimaalista säätöä lähempänä. Tämä vuorostaan parantaa moottori- ja palamistehokkuutta.

#### **Sytytysajoitus riippuvainen moottorin kuormituksesta**

Vaikka optimaalinen sytytysajoitus on ensisijaisesti riippuvainen kierrosnopeudesta, ajoitusta muuttaa myös moottorin kuormitusmuutokset.

Kun moottori toimii kevyissä kuormitusolosuhteissa, joka tarkoittaa, että kaasuläppä on vain osittain auki, pienempi ilmassa siirtyä sylinteriin; näin ollen, sylinteripaineet ovat alemmat kuin täyskuormitusolosuhteissa. Lisäksi, vanhemmissa moottoreissa sekä joissain nykyaikaisissa moottoreissa, ilma-/polttoaineseosuhde voi olla laihempi (ilmaan on sekoitettu vähemmän bensiiniä) taloudellisuuden ja päästöväriä parantamiseksi. Alempien sylinteripaineiden ja laihojen seosten palaminen kestää kauemmin, jonka vuoksi sytytysajoitusta on aikaistettava entisestään, jotta palamiselle olisi enemmän aikaa ja jotta voidaan varmistaa, että enimmäissylinteripaine silti saavutetaan noin 10° YKK:n jälkeen.

**Kevyiden kuormitusolosuhteiden aikana, EGR-järjestelmä (pakokaasun takaisinkierrätysjärjestelmä) voi käännä merkittäviä määriä reagoimatonta pakokaasua sylinteriin palamislämpötilojen ja haitallisten päästöjen vähentämiseksi. EGR-järjestelmän käyttö (katso kohta 5.5) hidastaa palamisprosessia, joka taas vaatii sytytysajoituksen aikaistamista.**

#### **Muita sytytysajoituksen vaikuttavia toimintaolosuhteita**

Vanhemmissa ajoneuvoissa, joissa on mekaaniset sytytysjärjestelmät (katso kohta 4.1), optimaalinen ajoitus yleensä riippui ainoastaan kierrosnopeudesta ja kuormituksesta. Nykyaikaiset sähköisesti ohjatut sytytysjärjestelmät (jotka yleensä muodostavat osan moottorinhallintajärjestelmästä) kuitenkin säätävät sytytysajoitusta monien moottorin toimintaolosuhteiden perusteella, joihin kuuluu: kierrosnopeus, moottorin kuormitus, jäähdytysaineen lämpötila, ilman lämpötila, ilma-/polttoaineseosuhde, kaasuläpän avonaisuus, polttoaineen laatu ja EGR-arvo.

Useat eri tunnistimet havaitsevat vaihtelevat toimintaolosuhteet ja lähettävät toimintatietoa sähköisten signaalien avulla moottorin hallintatietokoneelle. Tietokone valvoo signaaleja ja antaa optimoidun sytytysajoituksen, tunnistimien antamien tietojen perusteella.

#### **Nakutuksen tunnistus**

Monissa nykyaikaisissa moottoreissa on myös 'nakutusanturina' tunnettu lisäanturi, tai jokin muu nakutustunnistuslaite. Moottorin toimintaolosuhteissa voi tapahtua pieniä muutoksia, jotka eivät ole heti muiden antureiden havaittavissa; mutta jos nakutusanturi tunnistaa hetkellistä tai pitkittynyttä nakutusta, se välittää tästä tietoja moottorin ohjausjärjestelmälle (ECU). Ohjausjärjestelmä voi sitten hieman myöhentää sytytysajoitusta, kunnes nakutusta ei enää ilmene.

Sellaisissa moottoreissa, joihin ei oltu asennettu kaikkia nykyaikaisia antureita, sytytystietokone ohjelmoitiin esimääritetyllä sytytyskartalla, joka saattoi kattaa ainoastaan kierrosnopeuden ja kuormituksen. Jotta sytytysajoitus ei kuitenkaan ole yliaikaistettu tai -myöhäistetty kriittisten toimintaolosuhteiden aikana, virhemarginaali sisällytettiin esimääritettyyn ajoituskarttaan, joka esimerkiksi saattaisi myöhästyttää sytytysajoitusta estääkseen nakutusta.

#### **Aikaistetun tai myöhästytytyn ajoituksen vaikutukset**

Useimpien moottoreiden ja käyttöolosuhteiden kohdalla, sytytysajoitus tapahtuu alhaisissa kierrosnopeuksissa muutama aste ennen yläkuolokohtaa ja noin 30° tai enemmän ennen yläkuolokohtaa korkeammissa kierrosnopeuksissa. Vanhemmissa moottoreissa, jotka olivat yleisesti tehottomampia ja joissa oli vähemmän tehokkaita palokammioita, ajoitus saattoi usein tapahtua jopa 45° ennen yläkuolokohtaa.

**Joissakin moottorimalleissa ja joissakin toimintaolosuhteissa (jotka olivat yleensä päästöihin liittyviä), sytytysajoitus saattoi olla aivan yläkuolokohdan jälkeen.**

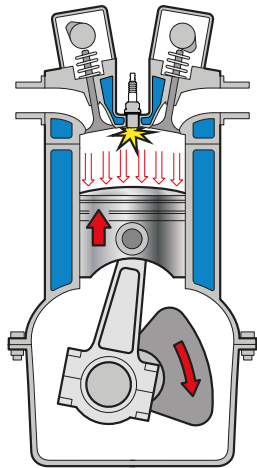
**(1) Optimaalinen sytytysajoitus.** Optimaalinen sytytysajoitus on tärkeää tehokkaan palamisen kannalta, joka mahdollistaa moottorin hyvän suorituskyvyn, taloudellisuuden ja puhtaammat päästöt.

**(2) Aikaistettu tai aikainen sytytysajoitus.** Jos ilma-/polttoaineseos syttyy liian aikaisin, sylinterin paine sekä lämpötila kohoaa liian aikaisin. Paine ja lämpötila voi kohota liian korkealle ja aiheuttaa nakutusta, erityisesti jos merkittävä osa paineen kohoamisesta tapahtuu silloin, kun mäntä on vielä liikkumassa ylös sylinterissä puristustahdin aikana (Kuva 3.11).

**(3) Myöhästetty tai myöhäinen sytytysajoitus.** Jos sytytys tapahtuu liian myöhään, palamisen aiheuttama paineen kohoaminen tapahtuu liian myöhään. Mäntä on siinä vaiheessa jo siirtynyt sylinterissä alemmaksi kuin normaalikäytössä, jolloin paineen nousuvoima, joka työntää mäntää alas sylinterissä, vähentyy ja tehoa muodostuu vähemmän (Kuva 3.12).

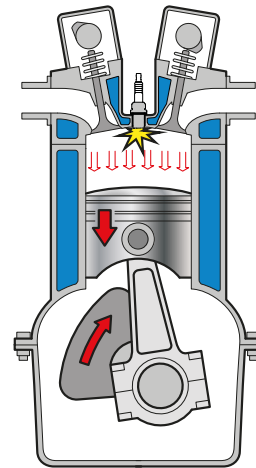
Kuva 3.13 näyttää vertauksena aikaisen, myöhäisen ja optimaalisen sytytysajoituksen vaikutukset.





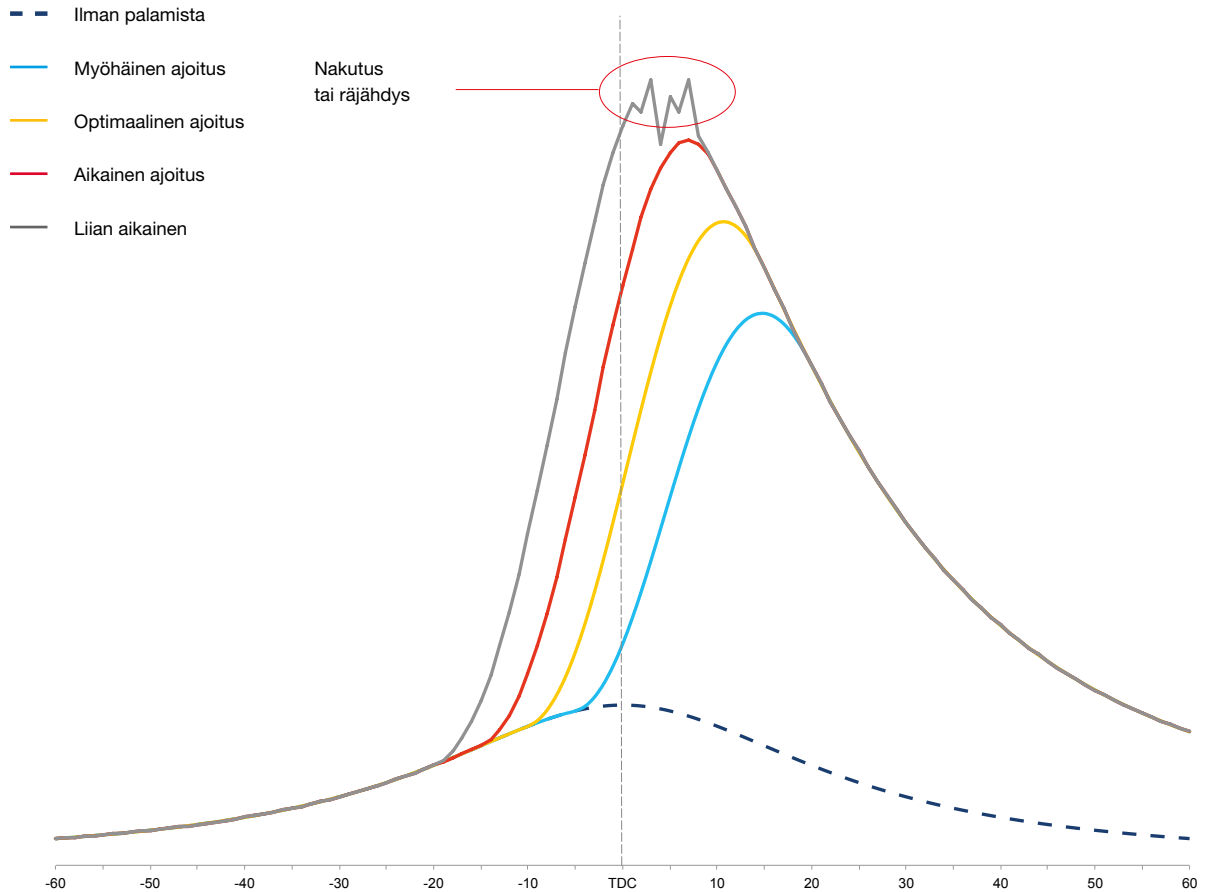
Jos kipinä muodostuu liian aikaisin (sytytysennakko), sylinteripaine nousee liian aikaisin, kun mäntä on vielä nousemassa puristustahdin aikana. Aikainen sylinteripaineen nousu voi aiheuttaa nakutusta.

Kuva 3.11 Aikainen sytytysennakko



Jos kipinä tapahtuu liian myöhään (myöhäinen sytytysajoitus), paineen nousu tapahtuu myös liian myöhään. Mäntä on voinut jo siirtyä sylinterissä alas seuraavassa tahdissa; ja palamisen aiheuttamalla paineen nousulla on paljon heikompi vaikutus työntäessä mäntää sylinterissä alas.

Kuva 3.12 Myöhäinen sytytysennakko



Kuva 3.13 Vertaus aikaisen, myöhäisen ja optimaalisen sytytsajoituksen vaikutuksista

# 4. MEKAANISET JA SÄHKÖISET SYTYTYSJÄRJESTELMÄT

## 4.1. Tavanomainen mekaaninen sytytysjärjestelmä

### Ensiöpiirin mekaaninen kytkentä

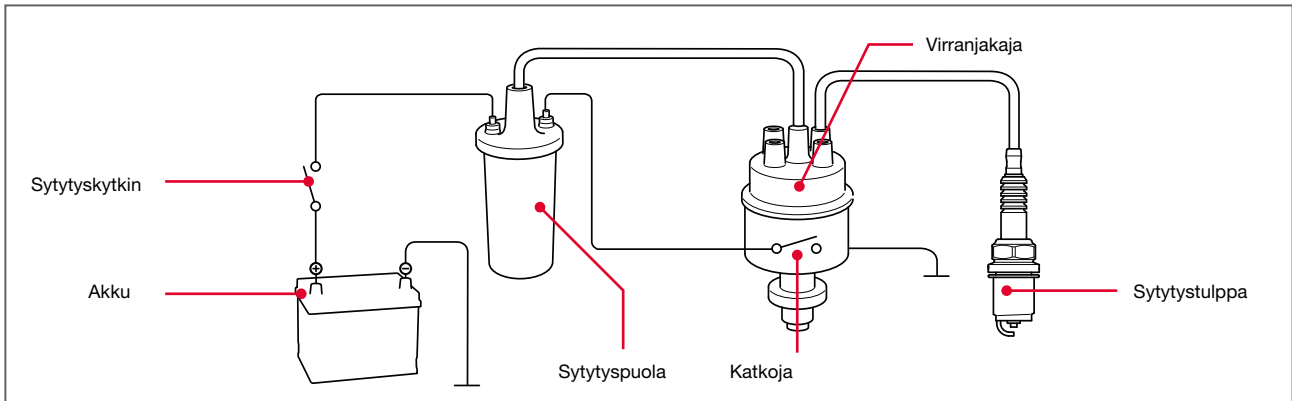
Kuva 4.1 näyttää Kettering-sytytysjärjestelmän periaatteisiin perustuvan mekaanisen sytytysjärjestelmän pääkomponentit.

Akku antaa 12 voltin sähkövirran sytytyspuolalle sytytyskytkimen kautta. Sähkövirta virtaa puolan ensiökäämin läpi maadoitukseen 'katkoja'-kytkimen kautta.

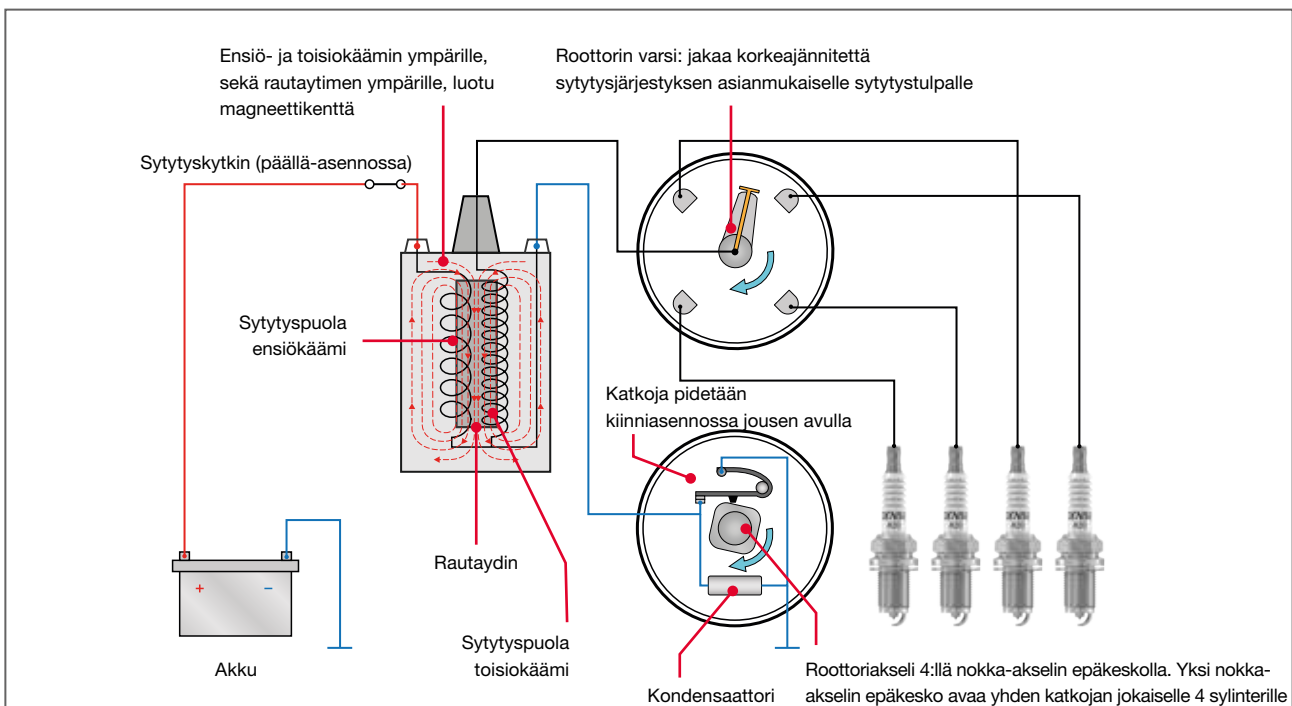
Kuvassa 4.2 näkyy mekaanisesti toimivan järjestelmän ensimmäinen toimintovaihe.

Akku antaa 12 voltin sähkövirran sytytyspuolalle sytytyskytkimen kautta. Sähkövirta virtaa puolan ensiökäämin läpi maadoitukseen 'katkoja'-kytkimen kautta.

### Toiminnon ensimmäinen vaihe: puolan latausaika



Kuva 4.1 Mekaanisen sytytysjärjestelmän pääkomponentit



Kuva 4.2 Tavanomaisen mekaanisen sytytysjärjestelmän toiminta. Vaihe 1 latausaika luo magneettikentän

4.1. Tavanomainen mekaaninen sytytysjärjestelmä	16
4.2. Varhaiset sähköiset sytytysjärjestelmät	20
4.3. Nykyaikaiset sähköiset sytytysjärjestelmät	21

Jousi, joka muodostaa osan katkojakokoonpanosta pitää kytkimen kiinniasennossa, jolloin sähkövirta pääsee virtaamaan puolan ensiökäämin läpi. Sähkövirta luo magneettikentän ensiö- ja toisiokäämien ympärille.

**Käytännöllisyyden vuoksi, Kuvassa 4.2 näytetään sytytyspuolan toisiokäämi ensiökäämin vieressä, mutta todellisuudessa sekä ensiö- että toisiokäämi ovat käämitty rautaytimen ympärille.**

#### Toiminnan toinen vaihe: korkeajännitteen purkautuminen

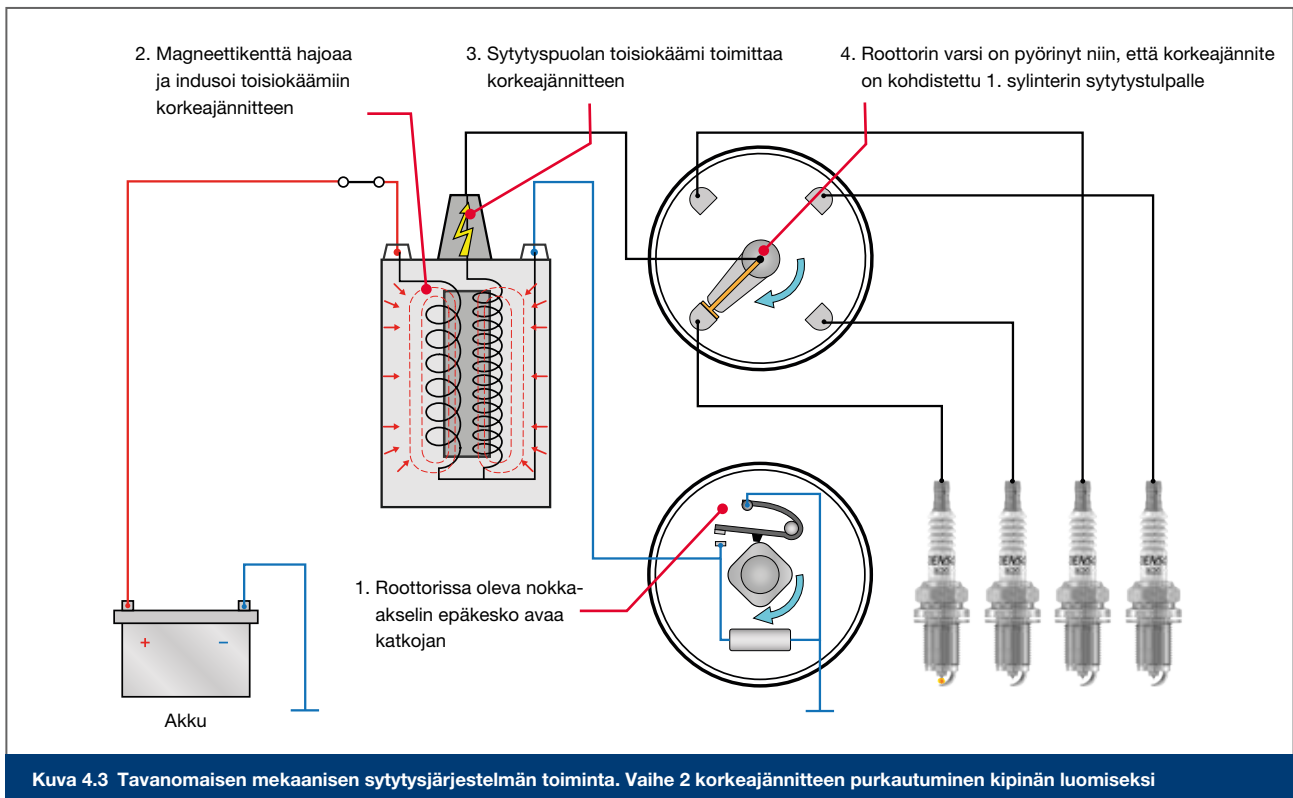
Virranjakajan rungossa olevaan roottoriakseliin on kiinnitetty sarja nokka-akselin epäkeskoja (yksi jokaiselle sylinterille) (Kuva 4.3). Roottoriakseli on kytketty nokka-akseliin, joka pyörii puolet hitaammalla kierrosnopeudella. Pyörivät nokka-akselin epäkeskot pakottavat katkojan aukeamaan asianmukaisella hetkellä, jolloin sähkövirta puolan ensiökäämin läpi katkeaa välittömästi. Tällöin, ensiö- ja toisiokäämien ympärillä oleva magneettikenttä romahtaa erittäin nopeasti, ja indusoi korkeajännitteen toisiokäämissä.

Korkeajännite siirtyy sitten virranjakajan kannessa sijaitsevaan roottorin varteen eristettyä johdinta pitkin. Koska roottorin varsi pyörii myös roottoriakselilla, se pystyy ohjaamaan korkeajännitettä sarjassa virranjakajan kannessa oleviin neljään liittimeen. Korkeajännite siirtyy sitten eristettyjä johtimia pitkin sytytystulpille.

#### Ensiöpiirissä oleva kondensaattori

Kun katkoja aukeaa, hajoava magneettikenttä voi indusoida noin 150 - 200 voltin sähkövirran ensiökäämille. Virta pyrkii hyppäämään avoimen katkojan yli ja luomaan sähkökaaren, joka nopeasti kuluttaisi kytkimen liitinpinnat. Mutta tämä indusoitu virta ylläpitäisi myös ensiö- ja toisiokäämin ympärillä olevaa magneettikenttää, joka estäisi magneettikentän nopeaa hajoamista, mikä vuorostaan estäisi korkeajännitteen indusoinnin toisiokäämissä.

Tämän vuoksi, kondensaattori liitetään ensiöpiiriin, jotta indusoitu jännite tehokkaasti absorboituu ja säilyy kondensaattorissa. Kun katkoja sulkeutuu (mahdollistaakseen taas sähkövirran ensiökäämin läpi), kondensaattori voi purkaa säilötty sähköenergia takaisin ensiöpiiriin, joka auttaa luomaan seuraavan magneettikentän.



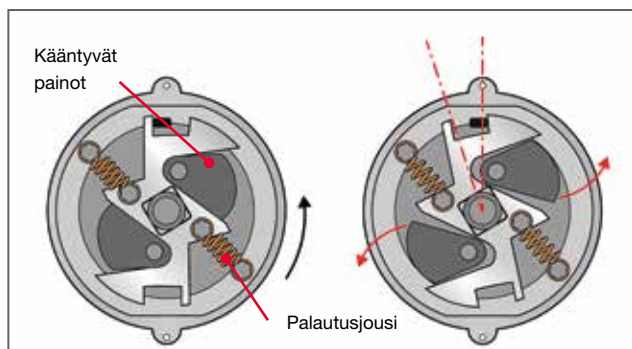
Kuva 4.3 Tavanomaisen mekaanisen sytytysjärjestelmän toiminta. Vaihe 2 korkeajännitteen purkautuminen kipinän luomiseksi

## 4. MEKAANISET JA SÄHKÖISET SYTYTYSJÄRJESTELMÄT

### Sytytysajoituksen aikaistus- / myöhästysmekanismit

Luvussa 3 selitettiin, että sytytysajoituksen on muututtava kierrosnopeuden ja kuormituksen muutosten mukaan.

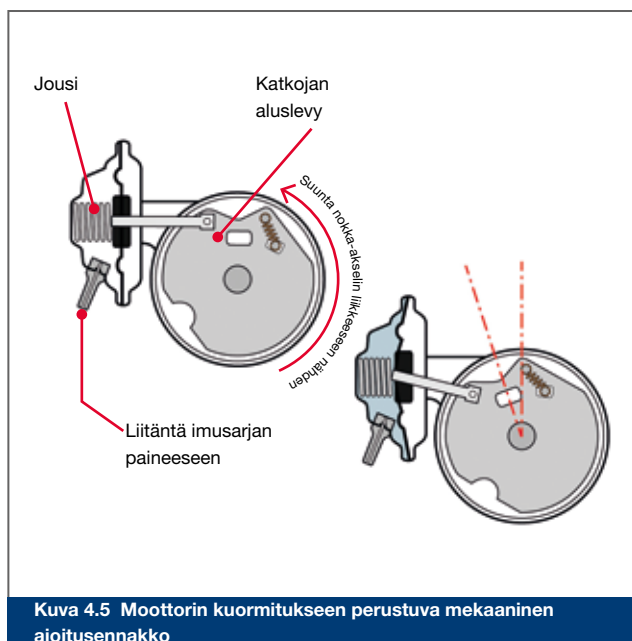
Mekaanisissa sytytysjärjestelmissä, ajoituksen aikaistaminen kierrosnopeuden noustessa onnistui käyttämällä kääntyviä painoja ja jousia (Kuva 4.4). Painot asennetaan levyille, joka kiinnitetään roottoriakselin kokoonpanoon; näin ollen, painot ja levy pyörivät akselin mukana. Kun kierrosnopeus nopeutuu, keskipakovoiman vaikutukset siirtävät painoja ulospäin pienten jousien jännitystä vasten. Painojen liike aikaistaa nokka-akselin epäkeskojen pyörimistä roottoriakselilla, joka saa katkojan myös aukeamaan aikaisemmin ja näin aikaistaa sytytysajoitusta.



Kuva 4.4 Nopeuteen perustuva mekaaninen ajoitusennakkomekanismi

Toista mekanismia käytetään muuttamaan sytytysajoitusta moottorin kuormitusmuutosten mukaan (Kuva 4.5). Katkoja on asennettu pohjalevyyn, joka pystyy hiukan pyörimään kellonsuuntaisesti sekä kellonvastaisesti. Pohjalevy kytketään sitten kalvoanturiin, joka vastaanottaa imusarjapainetta letkun kautta.

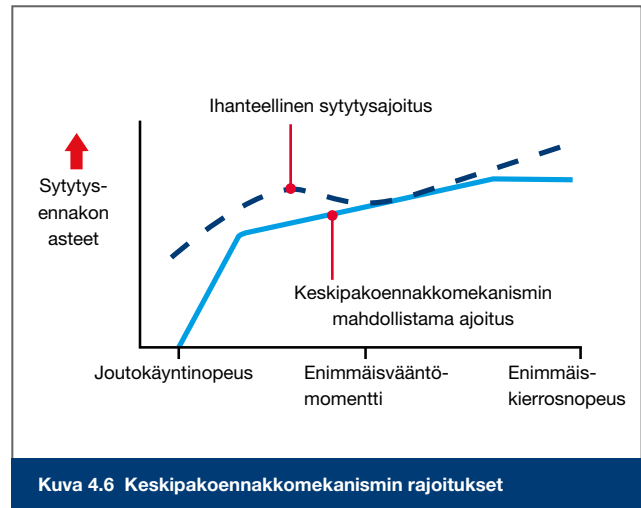
Kun imusarjapaine muuttuu moottorin kuormituksen muuttuessa, kalvo liikkuu ja saa aluslevyn sekä katkojan hiukan pyörimään. Aluslevyn ja katkojan pyöriminen muuttaa sytytysajoitusta moottorin kuormituksen muuttuessa.



Kuva 4.5 Moottorin kuormituksen perustuva mekaaninen ajoitusennakko

### Mekaanisten ajoitusjärjestelmien rajoitukset

Sytytysajoituksen tarkkuus mekaanisissa sytytysjärjestelmissä on rajoitettu laitteiston kyvykkyyksiin. Hienoviritykset, säädöt ja komponenttivaihdot olivat usein tarpeen rutiinomaisten huoltoaikataulun osana. Rajoitusten esimerkkinä, Kuvassa 4.6 näytetään tyyppinen kierrosnopeuteen liittyvä ajoituksen aikaistuskaavio mekaaniselle sytytysjärjestelmälle verrattuna ihanteelliseen ajoitusvaatimukseen.



Kuva 4.6 Keskipakoennakkomekanismin rajoitukset

Progressiivisten männän palautusjousien käytön vuoksi (Kuva 4.4), keskipakojärjestelmän antama sytytysennakko nousee kahdessa lineaarisessa vaiheessa. Ihanteellinen ajoitusennakko kuitenkin muuttuu edetessä epälineaarisesti. Varmistaakseen, että ajoitus ei ole koskaan yliaikaistettu, keskipakojajoitus on säädettävä niin, että sytytysajoitus on aina hieman myöhennetty ihanteellisesta arvosta.

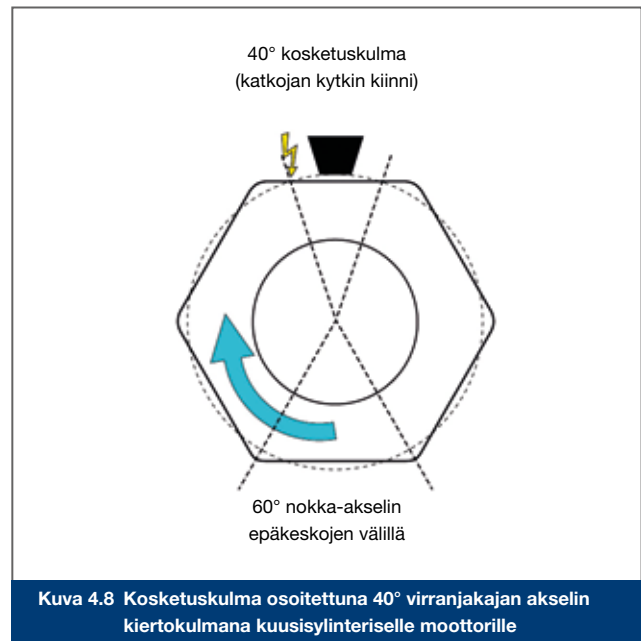
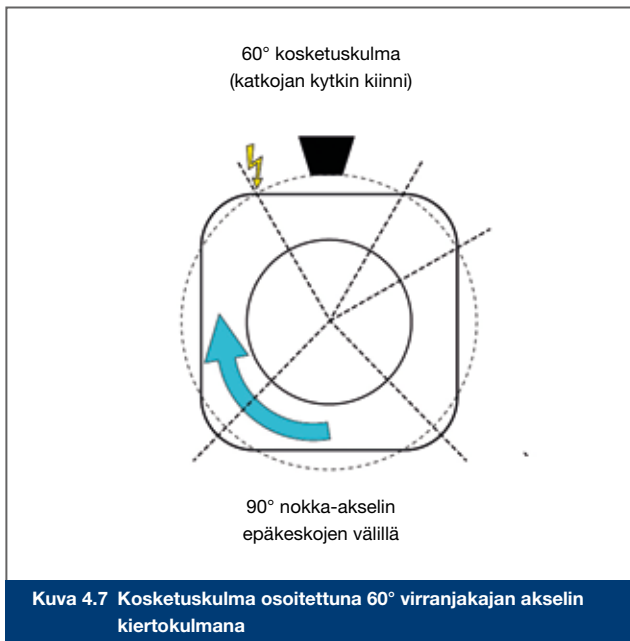
### Latausaika / kosketuskulma

Mekaanisessa sytytysjärjestelmässä, latausaika alkaa, kun pyörivät nokka-akselin epäkeskot antavat katkojan sulkeutua niin että sähkövirta virtaa puolan ensiökäämiin läpi. Latausaika päättyy, kun yksi nokka-akselin epäkeskoista pakottaa katkojan aukeamaan uudelleen, ja näin katkaisee sähkövirran ensiökäämiin. Latausaika voidaan siis määrittellä nokka-akselin epäkeskojen kiertokulmana, kun katkoja on suljetussa asennossa.

Kuvassa 4.7 näky 4 nokka-akselin epäkeskoa (nelisyylinteriselle moottorille), joka tarkoittaa, että vastakkaisten nokka-akselien epäkeskojen samojen pisteiden välillä on 90°. Esimerkissä olevien nokka-akselin epäkeskojen muoto pitää katkojan kiinni 60° kierroksesta. Näin ollen, kosketuskulma on 60 jakoastetta, kun katkoja on kiinni ja sähkövirta virtaa puolan ensiökäämiin läpi.

Jos, esimerkiksi kampiakseli pyörii 1 000 RPM:n kierrosnopeudella, virranjakajan pyörijä (joka pyörii puolella kierrosnopeudella) pyörii 500 RPM:n kierrosnopeudella. Tässä nopeudessa, kestää 20 millisekuntia ennen kuin virranjakajan akseli pyörii 60° asteen kosketuskulmaan, mutta koska sytytyspuola tarvitsee vain noin 4 millisekuntia latausaikaa, magneettikentällä on enemmän kuin tarpeeksi latausaikaa muodostua käämissä.





Kun moottori pyörii 5 000 RPM:n kierrosnopeudella, sama 60° virranjakajan akselin kiertokulma kestää vain 4 millisekuntia, joka on juuri oikea aika varata puola enimmäisvahvuisella magneettikentällä. Jos moottori pyörisi nopeammin, sytytyspuolan täyteen varaamiseen ei olisi riittävästi aikaa, joka johtaisi alennettuun energiaan magneettikentässä ja sytytystulpille toimitettaisiin alhaisempi jännite.

Latausajan lyhentämisen ongelma, kun kierrosnopeus nousee, on merkittävämpi moottoreissa, joissa on useampi sylinteri. Esimerkiksi, kuusisylinterisessä moottorissa on 6 nokka-akselin epäkeskoa, joissa on vain 60° astetta jokaisen epäkeskon välillä (Kuva 4.8) ja vain 40° kosketuskulmana. Tuloksena on se, että 5 000 RPM:n kierrosnopeudella, 40° asteen kosketuskulma kestää vain 2,6 millisekuntia. Jos puola tarvitsee 4 millisekuntia täyteen varautumiseen, latausaika on aivan liian lyhyt, ja tuloksena on alhainen jännite, joka voi johtaa sytytyskatkoksiin.

Mekaanisissa sytytysjärjestelmissä käytettiin erilaisia ratkaisuja latausajan vähentämiseen liittyvässä ongelmassa. Yksi ratkaisu oli käyttää tehokkaampaa sytytyspuolaa. Toinen ääri ratkaisu, jota käytettiin 8 tai 12 sylinterin korkeakierrosmoottoreissa, oli asentaa kaksi erillistä jakajaa, joilla oli kummallakin omat sytytyspuolat. Näin ollen, moottoreilla oli tosi asiassa kaksi erillistä sytytysjärjestelmää, jotka toimittivat korkeajännitteet puolelle moottorin sylintereiden sytytystulpille.

## DENSON KOROSTE

### Mekaaninen järjestelmä auttaa meitä ymmärtämään nykyisten digitaalisten sytytysjärjestelmien kehityksen.

Yksi tärkeä osa sytytysjärjestelmää, jota ei ole koskaan korvattu, eikä todennäköisesti koskaan korvatakaan, on sytytystulppa.

On äärimmäisen tärkeää, että sytytystulppa tarjoaa korkeaa suorituskykyä sekä tarkasti ajoitetun sytytyksen. DENSO ymmärtää, että korkea laatu on välttämätön näiden moottorivalmistajien vaatimusten täyttämiseksi. DENSO saavuttaa tämän yhdistämällä parhaat ja testatut laatu järjestelmät useiden vuosien kokemuksella.

## 4.2. Varhaiset sähköiset sytytysjärjestelmät

### Sähkökytkentä ensiökäämin sähköpiirille

Sähköisten sytytysjärjestelmien ensimmäiset sukupolvet olivat itse asiassa mekaanisten järjestelmien kehityskulkua. Kuvassa 4.8 näkyy pääkomponentit varhaisen sukupolven sähköjärjestelmässä, jossa säilytettiin mekaaniset aikaistus- ja myöhästysmekanismit sekä täysin mekaanisissa järjestelmissä käytetty roottorin varsi. Yksi sähköjärjestelmien suurin muutos oli elektroniikan käyttö ensiökäämin sähkövirran päälle ja pois päältä kytkemiseen mekaanisen katkojakäytön sijaan, joka oli epätarkka ja vaati säännöllistä huoltoa.

Transistori toimii ensiöpiirin sähköisenä kytkimenä, ja se muodostaa osan suhteellisen yksinkertaista vahvistinta, johon usein viitataan 'sytytysmoduulina' tai 'sytyttimenä'. Sytyttimet vastasivat laukaisu- tai ajoitussignaaliin, jonka virranjakajakotelossa yleisesti sijaitseva ajoitusanturi tai signaaligeneraattori antoi.

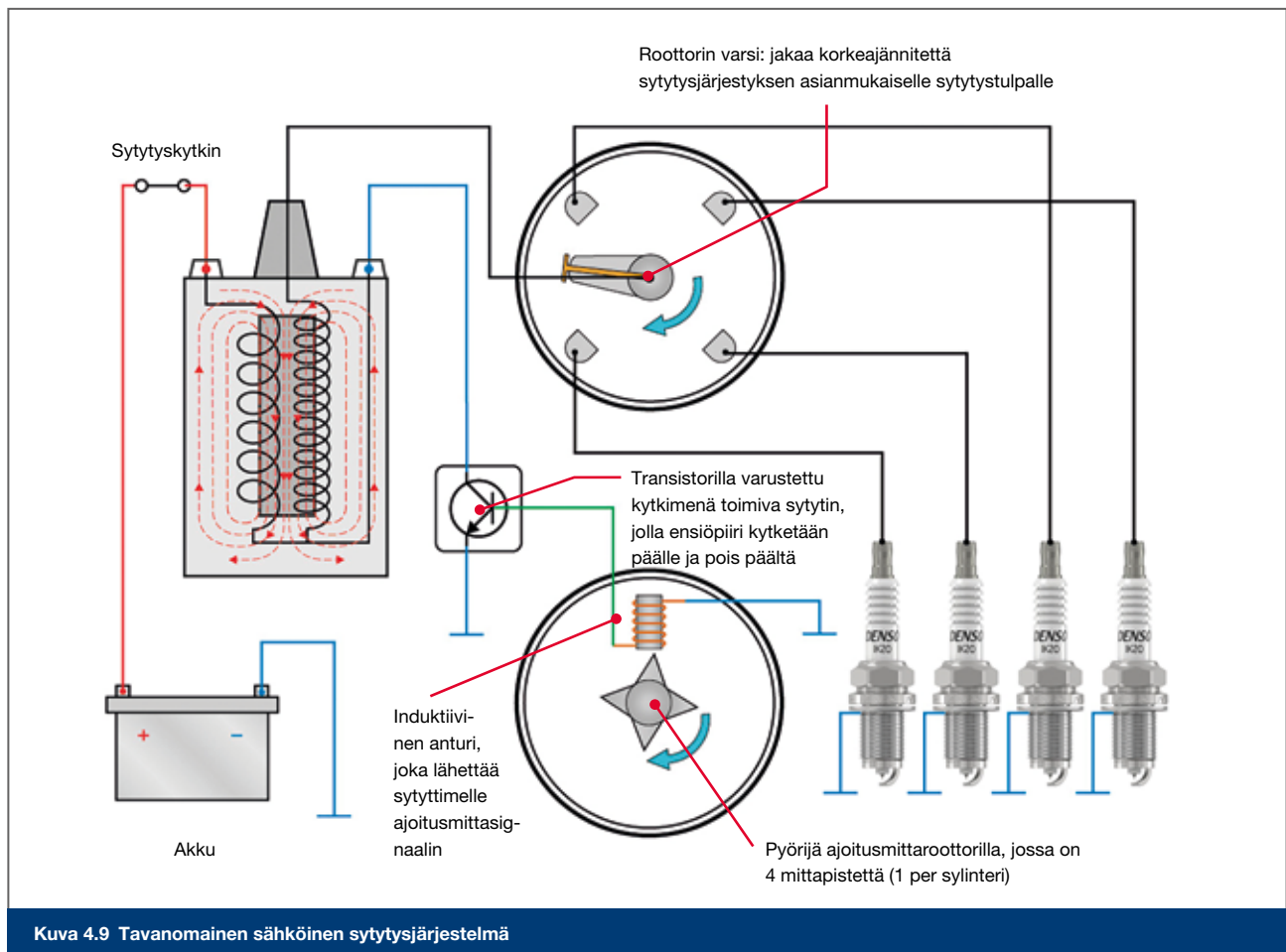
Ajoitusantureita oli kahta päätyyppiä, jotka tunnetaan induktiivisina antureina ja hall-antureina. Esimerkissä näytetään induktiivinen anturi, joka käytti virranjakajan pyörijässä sijaitsevia mittapisteitä (yksi per sylinteri). Kun roottori kääntyi, mittapisteeet siirtyivät pysyvän magneetin ympärille käämityn pienen käämin ohii. Jokaisen mittapisteen siirryessä magneetin ja käämin ohii, magneettikenttä muuttui tai vaihteli, joka indusoi pienen sähkövirran tai sähköpulssein käämiin. Sähköpulsset antoivat ajoitusmittasignaalin sytyttimelle, joka katkaisi sähkövirran sytytyspuolan ensiökäämille.

### Jatkuva latausaika ja jatkuva energia

Vaikka varhaisista järjestelmistä oli useita muunnelmia, useimpien muunnosten kohdalla, sytytin ohjasi myös, milloin sähkövirta ensiökäämille kytkettiin päälle sekä milloin se kytkettiin pois päältä. Itse asiassa, sytytin ohjasi, kuinka pitkään sähkövirta virtasi ensiökäämin läpi. Tätä aikaa kutsutaan latausajaksi.

Toisin kuin mekaanisissa sytytysjärjestelmissä, joissa latausaika pienenee kierrosnopeuden kasvaessa, sähköjärjestelmien latausaikaa ylläpidetään suhteellisen jatkuvana aikana kierrosnopeudesta huolimatta. Lisäksi, jotta korkeatehoisia, korkeammilla ensiökäämin sähkövirroilla toimivia sytytyspuolia pystyi käyttämään, sytyttimissä oli myös sähköinen virtarajoitin. Virtarajoittimet päästävät aluksi korkean sähkövirran läpäisemään ensiökäämin, mutta kun sähkövirta saavuttaa määritetyn enimmäistason, sähkövirta rajoitetaan piirin ylikuumenemisen estämiseksi.

Suhteellisen jatkuvan latausajan käyttö, yhdessä virtarajoituksen kanssa, antaa sytytyspuolassa olevan magneettikentän energian olla lähes jatkuva huolimatta kierrosnopeudesta ja huolimatta akkujännitteen normaaleista muutoksista. Näihin sähköisiin sytytysjärjestelmiin viitattiin sen vuoksi 'jatkuvan energian' sytytysjärjestelminä.



### 4.3. Nykyaikaiset sähköiset sytytysjärjestelmät

#### Sähköinen ajoituksen säätö

Vaikka varhaiset sytytysjärjestelmät mahdollistivat sähköisen latausajan säädön sekä luotettavan ensiökäämin sähkövirran sähköisen kytkemisen, ne silti käyttivät mekaanisia ajoituksen aikaistus- ja myöhästysmekanismeja. Nämä mekaaniset ajoitusjärjestelmät eivät pystyneet antamaan optimaalista sytytysajoitusta kaikissa kierrosnopeuksissa ja kuormituksissa (katso kohta 4.1). Yhä tiukentuvien päästö määräysten vuoksi, tarkempaa ja luotettavampaa sytytysajoitusta tarvittiin. Tämä johti sähköisen ajoitusohjauksen esittelyyn, joka pystyi johdonmukaisesti antamaan optimaalista sytytysajoitusta laajemmalla toimintaolosuhdeavallilla.

#### Moottorinhallinta: integraatio muihin moottorijärjestelmiin

Sähköiset sytytysjärjestelmät kehittyivät progressiivisesti 1980- ja 1990-luvulla lisäominaisuuksilla ja -kykenevyyksillä. Edistyneimmät sähköiset sytytysjärjestelmät käyttivät sivistyneitä tietokoneita tai moottorinohjausyksiköitä (ECUja), mutta sytytys-, polttoaineen ruiskutus-, päästö- ja muut moottorin järjestelmät toimivat edelleen erillisinä järjestelminä. Koska kaikki nämä erilliset järjestelmät olivat tosi asiassa tietokoneen ohjaita ja vaativat samaa tai vastaavaa tietoa moottoritoiminnasta, eri järjestelmät pian integroitiin yhdeksi moottorinohjausjärjestelmäksi, joka käytti yhtä tietokonetta tai moottorinohjausyksikköä kaikkien järjestelmätoimintojen ohjaukseen.

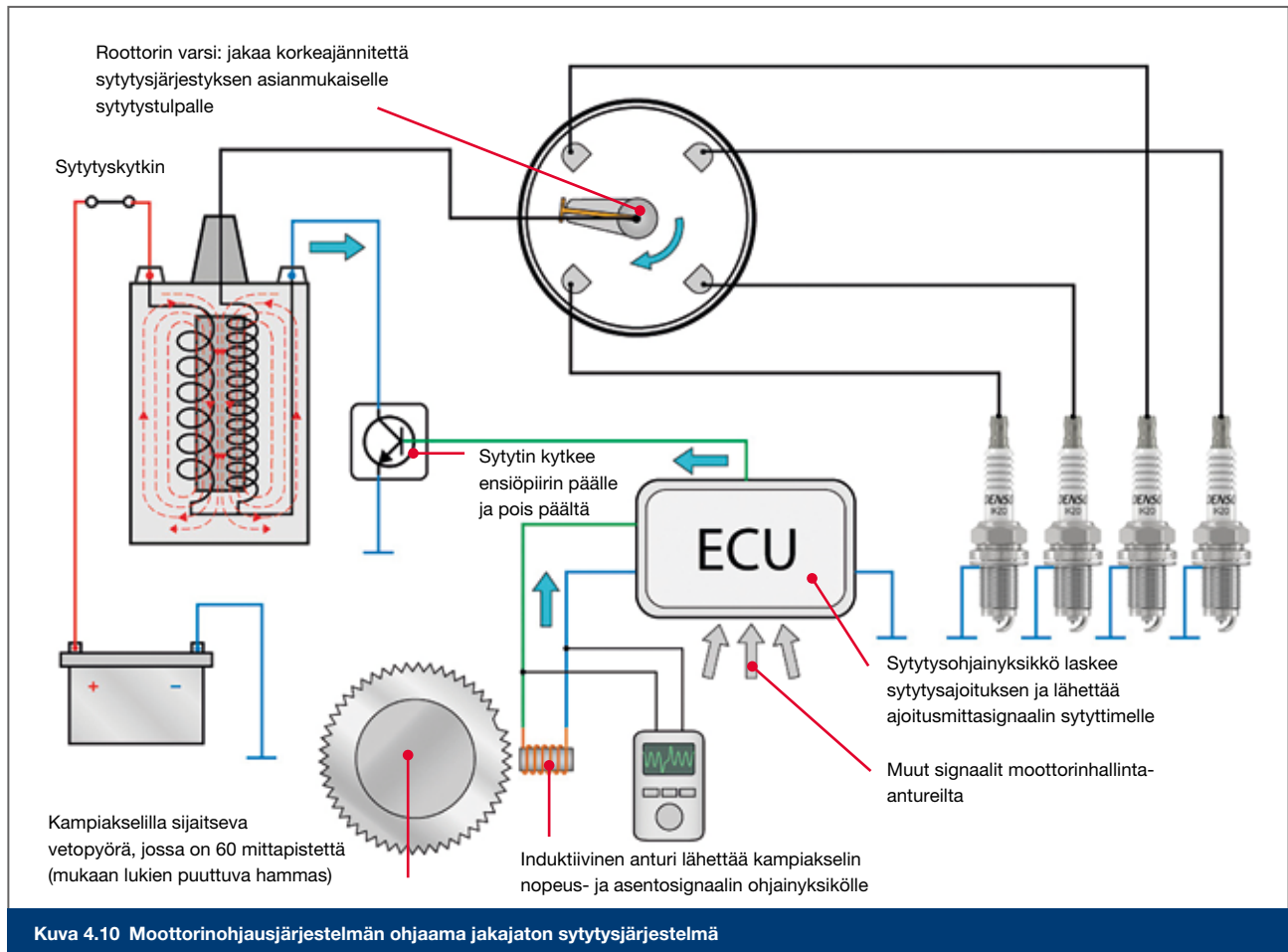
Moottorinohjausyksikkö mahdollistaa erilaisten antureiden ylimääräisen tai tarkemman moottoritoimintaan liittyvän tiedon käytön (Kuva 4.10). Antureita käytetään havaitsemaan moottoritoiminnan

olosuhteet, kuten kampiakselin nopeus ja asento, nokka-akselin asento, ilman virta, kaasuläpän asento ja jäähdytysaineen lämpötila. Antureista saatava tieto välitetään moottorinohjausyksikölle, joka laskee ohjelmoidun sytytyskartan perusteella optimaalisen sytytysajoituksen. Moottorinohjausyksikkö välittää sitten ajoitussignaalin sytyttimelle, joka kytkee ensiökäämin sähkövirran päälle ja pois päältä. Huomaa, että monissa sytytysjärjestelmissä, sytytin on integroitu neena moottorinohjausyksikköön.

#### Ajoitusmitta ja kierrosnopeusanturit

Sytytysjärjestelmän esimerkki Kuvassa 4.10 näyttää induktiivisen anturin, joka sijaitsee kampiakselin vieressä. Esimerkissä, kampiakseliin kiinnitettyssä vetolevyssä on 60 mittapistettä, jotka kukin edustavat 6° astetta kampiakselin kiertokulmasta. Kun kampiakseli ja levy pyörivät, jokainen mittapiste siirtyy induktiivisen anturin ohi, indusoiden pienen sähköpulssein anturikotelossa olevaan käämiin. Mittapulsien sarja siirtyy sytytysohjainyksikölle, jolla on sitten tieto kampiakselin nopeudesta ja asennosta. Vetolevystä puuttuva hammas antaa ainutlaatuisen pulssin (kuten näkyy Kuvan 4.10 oskilloskoopissa), joka antaa kampiakseliasennon päämitan ilmaisemalla kampiakselin tarkan asennon (se yleensä ilmaisee 1. sylinterin YKK:n). Käyttämällä anturilta saatavaa tietoa, ohjainyksikkö pystyy laskemaan kampiakselin tarkan kulma-asennon ja näin antamaan erittäin tarkan sytytysajoituksen.

Eri sytytysjärjestelmät käyttivät vetolevyjä, jotka muodostivat osan moottorin vakipyörää tai vauhtipyörää. Levyissä voi olla vähimmillään 2 tai jopa 360 mittapistettä.



Kuva 4.10 Moottorinohjausjärjestelmän ohjaama jakajaton sytytysjärjestelmä

## 4. MEKAANISET JA SÄHKÖISET SYTYTYSJÄRJESTELMÄT

### Useat sytytyspuolat / jakajaton sytytys

Toimme aikaisemmin esille, että eräs yksittäisen sytytyspuolan käytön haitoista on se, että korkeissa kierrosnopeuksissa, saatavilla on lyhyempi latausaika varata sytytyspuolassa oleva magneettikenttä enimmäisvahvuuteensa. Tämä ongelma on erityisen totta suurten pyörimisnopeuksien moottoreille sekä moottoreille, joissa on 6 tai useampi sylinteri. Latausajasta on kuitenkin tullut entistä oleellisempaa, koska nykyaikaisilta sytytyspuolilta vaaditaan korkeampia jännitteitä kuin ennen käynnistävyden ja palamisen tehokkuuden parantamiseksi.

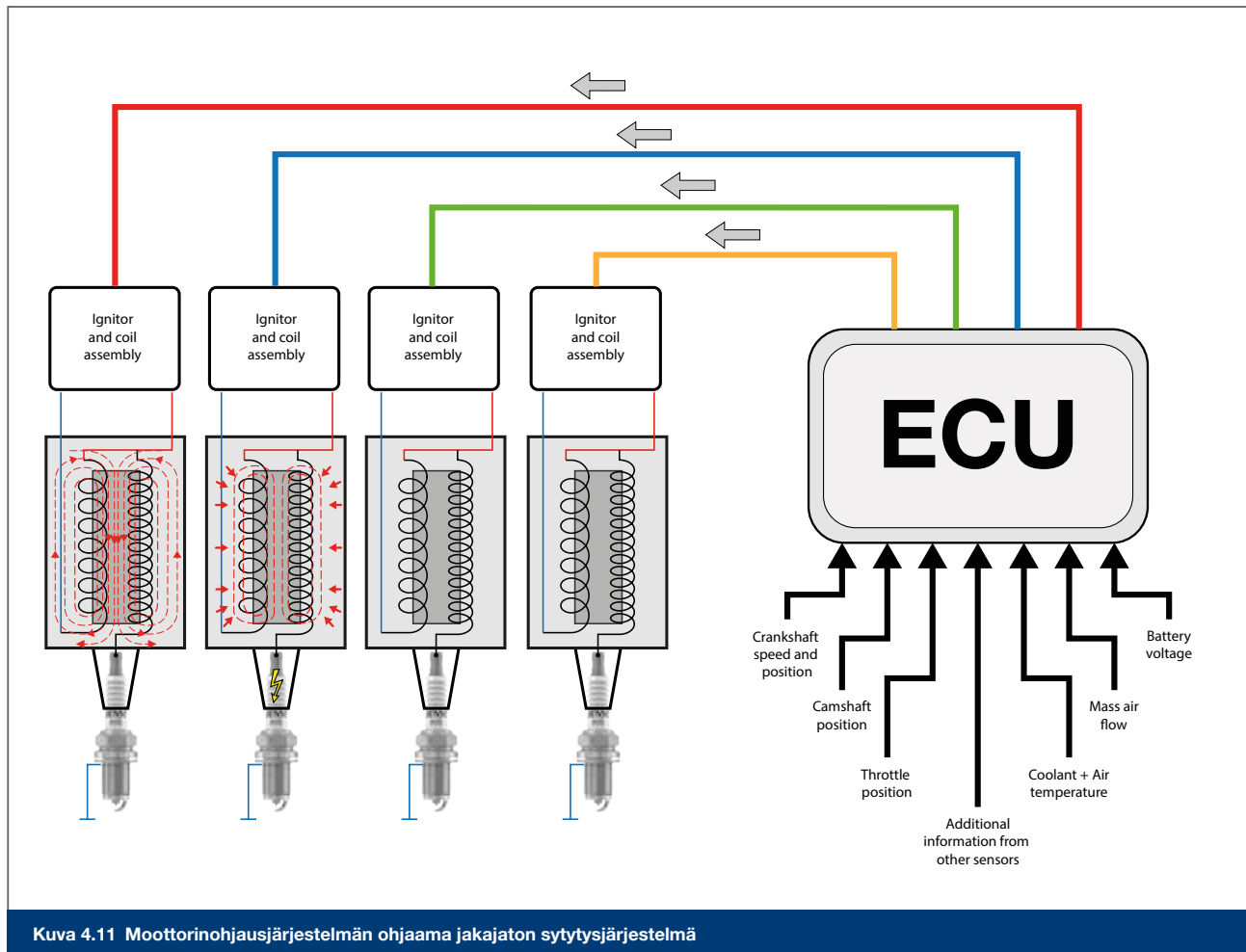
Ilmeinen ratkaisu on käyttää yksittäistä sytytyspuolaa jokaiselle sytytystulpalle (kuten Kuvassa 4.11 näkyy), joka tarkoittaa, että jokaista sytytyspuolaa on ladattava vain kerran yhden moottorikierron aikana. Vertauskuvana, yhdellä sytytyspuolalla varustetussa 12-sylinterisessä moottorissa, sytytyspuola on ladattava jopa 12 kertaa kahden kampaakselikierron välein. Kun erillistä sytytyspuolaa käytetään jokaiselle sytytystulpalle, jokainen sytytyspuola tarvitsee myös erillisen sytyttimen. Erilliset sytyttimet voivat olla integroituneena moottorinohjauksyksikköön tai ne voivat olla siitä erillään. Sytytyspuolia käytetään kuitenkin (kuten DENSON 'tikku'-sytytyspuolat) nykyisin niin, että sytytin sijaitsee puolakotelossa.

Erillisten sytytyspuolien käytön toinen etu on, että roottorin vartta ja virranjakajan kantta ei enää tarvita. Tämä poistaa sähkökaarituksen, joka voi tapahtua virranjakajan liittimissä, vähentäen tarvittavia huoltoja ja parantaen luotettavuutta.

Jotkut jakajattomat sytytysjärjestelmät yhdistivät silti sytytyspuolat sytytystulppiin eristetyillä sytytystulppajohtimilla; mutta useimmissa nykyaikaisissa moottorinohjauksjärjestelmissä, sytytyspuolat ovat asennettuina suoraan sytytystulppiin, joka poistaa sytytystulppajohtimien tarpeen.

Nykyaikaisten teknologioiden avulla, tietokoneista on tullut tehokkaampia. Yksi tietokone pystyy tekemään työn, joka ennen vaati useampaa tietokonetta. Tämä pätee myös moottorinohjauksyksiköiden kohdalla. Nykyään, useimmissa ajoneuvoissa on vain yksi moottorinohjauksyksikkö, joka ohjaa koko moottorin toimintaa, mukaan lukien sytytysjärjestelmää, polttoaineen ruiskutusta, pakokaasun takaisinkierätystä ja paljon muuta. Moottorinohjauksyksikkö saa tietoa useilta eri antureilta (myös saatavilla DENSO:ta).

**Kyky ohjata yksittäisiä sytytyspuolia antaa ohjainyksikön sammuttaa minkä tahansa yksittäisen sytytyspuolan toiminnan (ja vastaavan polttoaineruiskun), jos sylinterissä tapahtuu sytytyskatkos. Kun sytytyskatkoksia tapahtuu, haitallisten päästöjen määrä nousee, mutta palamaton tai osittain palanut polttoaine sekä ylimääräinen happi siirtyvät katalyyttimuuntimen läpi. Katalyyttimuuntimesta tulee tehoton, mutta pitkäaikainen altistuminen ylimääräiselle hapelle ja palamattomalle polttoaineelle (joka voi itse asiassa sytyä katalyyttimuuntimessa) voi aiheuttaa vahinkoa.**



Kuva 4.11 Moottorinohjauksjärjestelmän ohjaama jakajaton sytytysjärjestelmä



## DENSON KOROSTUS

### Sytytyspuolat

Johtavan sytytystulppavalmistajan lisäksi, DENSO on pitkäaikainen johtaja sytytysteknologiassa, tehden tiivistä yhteistyötä ajoneuvovalmistajien kanssa ympäri maailman. Kehitimme autoalan ensimmäisen, pienen, tikkumuotoisen sytytyspuolan. DENSO toimi myös edelläkävijänä pienessä tilassa toimivien ja suorituskykyä parantavien mikrokokoisten ajuripiirien ja vinottaisten induktiivisten käämitysten valmistuksessa. Nämä muotoiluläpimurrot, ja muut, löytyvät DENSON jälkimarkkinnoille tarjottavista sytytyspuolista, varmistaen luotettavaa, tehokasta sytytyksen suorituskykyä joka matkalla.

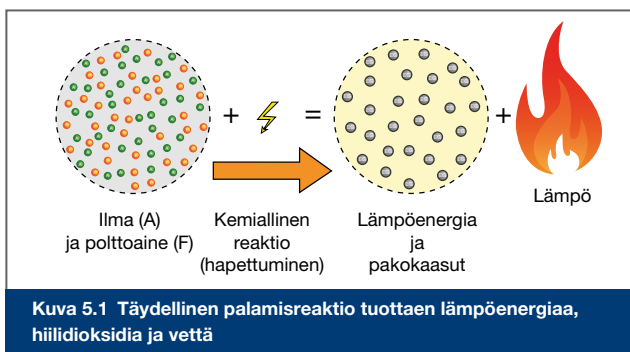


# 5. PALAMISPROSESSI YKSITYISKOHTAISESTI

## 5.1. Polttoaineen ja hapen palaminen

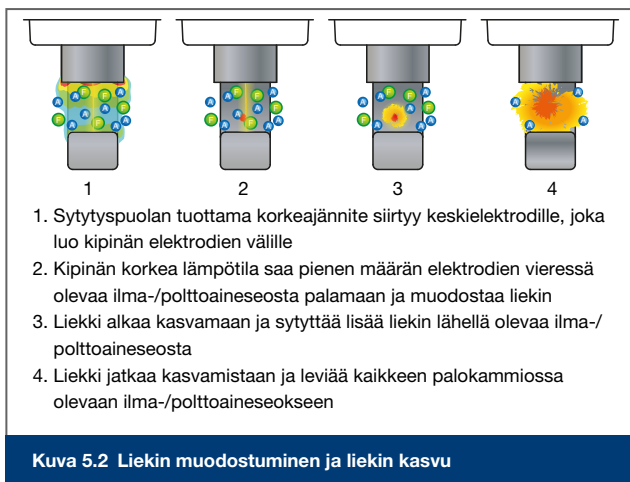
### Energian talteenotto kemiallisista reaktioista

Palaminen on prosessi, jonka aikana kemiallisia reaktiota tapahtuu polttoaineen ja hapen välillä; tätä prosessia kutsutaan hapettumiseksi. Reaktiot saavat polttoaineesta olevan energian vapautumaan lämpöenergiana. Polttomoottorissa, polttoaine sekoittuu ilmaan, jossa on tarvittava happi. Ilman ja polttoaineen seoksen kemiallisten reaktioiden aloittamiseksi tarvitaan korkean lämpötilan lähde. Palamisen aikana tuotettu suuri lämpöenergian määrä käytetään laajentamaan sylinterissä olevat kaasut.



Bensiinimoottorissa, lämpö muodostuu puristustahdin aikana, mutta tämä lämpö ei riitä sytyttämään ilma-/polttoaineseosta. Tästä syystä, sytytystulppaa käytetään antamaan tarkasti ajoitettu kuuma kipinä (jopa 10 000°C tai enemmän), joka nostaa polttoaineen lämpötilan 'syttymislämpötilansa' yläpuolelle.

**Puristuksen tuottamaa lämpöä voi käyttää yksinään polttoaineen sytyttämiseen, jonka tavoin dieselmoottori toimii. Dieselmoottorissa käytettävät korkeammat puristussuhteet luovat korkeammat sylinteripaineet ja lämpötilat; ja ruiskuttamalla dieselpolttoainetta lämmitettyyn paineilmaan oikealla hetkellä, on mahdollista saavuttaa polttoaineen tarkasti ajoitettu sytytys ja palamisreaktio.**

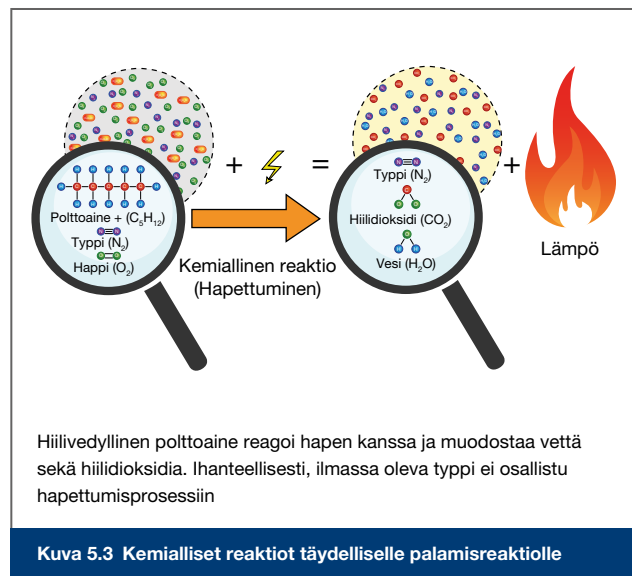


Bensiinimoottorissa, kipinä sytyttää vain pienen määrän ilma-/polttoaineseosta, joka altistuu suoraan kipinälle; mutta tämä paikannettu palamisreaktio luo liekin, jonka ytimen lämpötila on n. 3 000°C. Liekki kasvaa riippumattomaksi liekiksi ja leviää puristetussa seoksessa, kunnes, ihanteellisesti, palamisreaktio on kuluttanut kaiken polttoaineen ja hapen (katso kohta 5.3, joka käsittelee heikkoa palamisreaktiota).

### Kemialliset reaktiot ja ihanteellinen ilma-/polttoaineseosuhde palamisreaktiolle

Bensiini on hiilivedylinen polttoaine (HC), jossa on vetyatomeja (H) ja hiiliatomeja (C). Happimolekyyleissa on kaksi happiatomia ( $O_2$ ), ja palamisreaktion aikana, kun hapettuminen tapahtuu, vety ja happi reagoivat muodostaakseen  $H_2O$ :ta (vettä), ja hiili sekä happi reagoivat muodostaakseen  $CO_2$  (hiilidioksidia). Nämä palamisreaktion aikana tapahtuvat kemialliset reaktiot tuottavat suuren määrän lämpöä. Suorittaakseen täydellisen polttoaineen ja hapen palamisreaktion sekä tuottaakseen enimmäismäärän lämpöenergiaa, polttoaineen on voitava sekoittua ja reagoita täsmälleen oikean happimäärän kanssa.

Palamisreaktion aikana kuluttu happi saadaan ilmakehästä, joka sisältää noin 21% happea ( $O_2$ ) ja noin 78% typpeä ( $N_2$ ), sekä 1%



muita kaasuja. Polttoaine on tasaisesti sekoitettava ilman kanssa oikeassa suhteessa, jotta ilma-/polttoaineseosuhde olisi myös oikein. Oikea ilma-/polttoaineseosuhde saadaan, kun ilman paino on 14,7 kertaa suurempi kuin polttoaineen paino (esim. 14,7 grammaa ilmaa 1 polttoainegrammaa kohti).

**Polttoaineen tasaista sekoittumista ja leviämistä ilmassa kutsutaan 'homogeeniseksi', ja ilman sekä polttoaineen ihanteellista seossuhdetta kutsutaan 'stoikiometriseksi suhteeksi'.**



5.1. Polttoaineen ja hapen palaminen	24
5.2. Hyvän palamisreaktion saavuttaminen	26
5.3. Heikon palamisen syyt ja ongelmat	27
5.4. Palamisen aikana muodostuvat saasteet ja haitalliset päästöt	29
5.5. Päästöjen vähentäminen ja polttoainetaloudellisuuden parantaminen	30

### Stoikiometrinen ja lambda

Autoilumaailmassa käytetään nykyisin lambda-termiä yleisesti stoikiometrisen sijaan. Lambda-arvo mitataan mittaamalla happipitoisuus; happimittarit valvovat pakokaasun happipitoisuutta, joka pääasiassa riippuu ilma-/polttoaineseossuhteesta. Anturit, jotka tunnetaan myös O<sub>2</sub>-tai lambda-antureina (myös saatavilla DENSO:ta), antavat sähkösignaaleja moottorinhallinnan ohjausyksikölle, jonka avulla ohjausyksikkö pystyy tarvittaessa säätämään ilma-/polttoaineseossuhdetta.

- (1) Ilma-/polttoaineseossuhdetta, joka on stoikiometrinen, kutsutaan lambda 1:ksi.
- (2) Laihan ilma-/polttoaineseossuhteen, joka tuottaa ylimääräistä happea, lambda-arvo on yli 1.
- (3) Rikkaan seoksen, jossa on hapenpuute, lambda-arvo on alle 1.

Teoriassa, moottorin lambda-arvo tulee aina olla 1 (stoikiometrinen ilma-/polttoaineseosuhde), mutta jopa täydellisissä olosuhteissa, polttoaineen täydellinen sekoittuminen ja tasainen jakauma ilmaan on erittäin vaikea saavuttaa. Tästä syystä, pieniä säätöjä tehdään jatkuvasti varmistaakseen oikean ilma-/polttoaineseossuhteen.

**Nykyaikaiset ajoneuvot käyttävät pakojärjestelmään asennettuja katalyyttimuuntimia vähentääkseen joitakin palamisen aikana syntyneitä haitallisia päästöjä. Katalyyttimuuntimet käyttävät kemiallisia reaktioita, joilla haitalliset saasteet muutetaan vähemmän haitalliseksi aineiksi (katso kohta 5.5).**

### Ilma-/polttoaineseosuhde tai lambda-väli

Kuvassa 5.4 oleva kaavio näyttää nykyaikaisissa bensiinimoottoreissa tyypillisesti käytettyjä ilma-/polttoaineseosuhdetta sekä niitä vastaavat lambda-arvot.

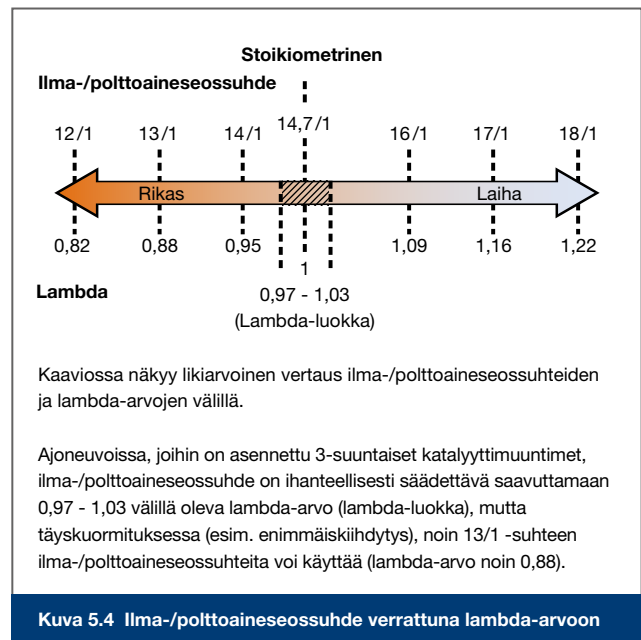
Kaavioon on merkitty suhteellisen pienet välit ilma-/polttoaineseosuhdeten laihoille ja rikkaille rajoille, jotka antavat tarvittavat happimäärät tehokkaalle palamisreaktiolle ja tehokkaalle katalyyttimuunnintoinnalle. Kun ilma-/polttoaineseosuhdet ja happipitoisuudet ovat vaaditussa välissä, lambda-arvot ovat välillä lambda 1,03 (laiha tai ylimääräistä happea) ja lambda 0,97 (rikas tai ylimääräistä polttoainetta), jota kutsutaan lambda-luokaksi.

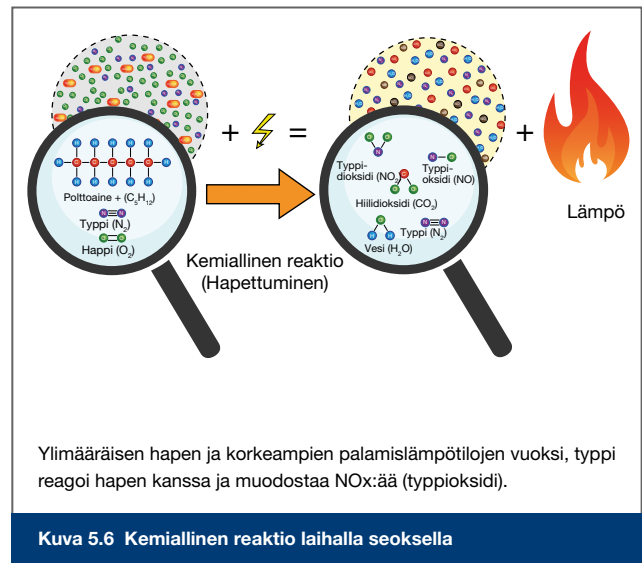
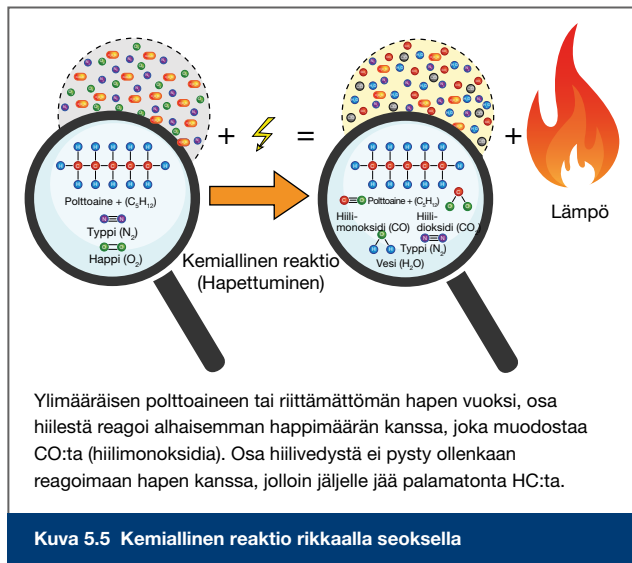
Happiantureiden (lambda-anturit) käyttö pakokaasussa olevan hapen valvomiseen antaa moottorinhallinnan ohjausyksikön säätää ilma-/polttoaineseosuhdetta sekä happipitoisuuksia lambda-luokassa, mutta tietyissä ajo-olosuhteissa (selitetty tarkemmin seuraavissa osioissa) lambda-luokan ulkopuolinen ilma-/polttoaineseosuhde tai happipitoisuus on annettava hetkellisesti.

### Rikkaat seokset tuottavat epätäydellisen palamisen

Jos seos on liian rikas, polttoainetta on liikaa happeen sekoitettavaksi. Polttoaineessa oleva vety pystyy yleensä silti reagoimaan tarvittavan hapen kanssa muodostaakseen H<sub>2</sub>O:ta (vettä), mutta osa hiilestä ei pysty täysin reagoimaan oikean happimäärän kanssa. Tosi asiassa, tämä johtaa epätäydelliseen palamisreaktioon, jossa osa hiilestä on vain osittain palanut; kemiallinen reaktio tuottaa silloin hiilimonoksidia (CO) eikä vähemmän saastuttavaa hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>). Lisäksi, osa polttoaineesta ei välttämättä pysty ollenkaan reagoimaan hapen kanssa, joka tarkoittaa, että tämä polttoaine jää kokonaan palamatta ja siirtyy pakojärjestelmään palamattomana hiilivetyä (HC).

Rikkaan seoksen palamisreaktion pakokaasut sisältävät näin ollen hiilimonoksidia (CO) ja palamatonta polttoainetta (HC). Sekä CO:ta että HC:ta pidetään saasteina, jotka vaikuttavat ilmakehään ja terveyteemme haitallisesti (löydät lisätietoja saasteista kohdassa 5.4).





Rikasta ilma-/polttoaineseossuhdetta käytetään usein korkeampaa tehoa varten polttoainetehokkuuden hinnalla. Noin 10% enemmän polttoainetta (lambda 0,9) voidaan käyttää varmistamaan, että riittävästi polttoainetta on saatavilla kaikelle saatavilla olevalle hapelle, jonka tuloksena teho paranee n. 2-3 prosentilla.

Yksi rikkaiden seosten etu on, että nestemäinen polttoaine jäädyttää palamislämpötilaa. Korkean kuormituksen toimintaolosuhteiden aikana, palamispaineet ja lämpötilat nousevat, joka voi johtaa esisytytykseen ja nakutukseen. Jos rikasta seosta käytetään, ylimääräisen polttoaineen imeyttämä lisälämpö auttaa alentamaan palamislämpötiloja. Tämä vuorostaan, vähentää esisytytyksen ja nakutuksen riskiä, ja näin ollen palamisprosessi tuottaa turvallisesti korkeampaa tehoa.

**Rikasta seosta tarvitaan myös yleensä kylmäkäynnistyksen aikana ja heti sen jälkeen. Polttoaineen matalat lämpötilat sekä kylmät sylinteri- ja palamispinnot voivat estää polttoainetta muuttamasta kaasuksi ja sekoittumasta ilman ja hapen kanssa. Tämän vuoksi lisäpolttoainetta tarvitaan varmistamaan, että palamisreaktio voi tapahtua.**

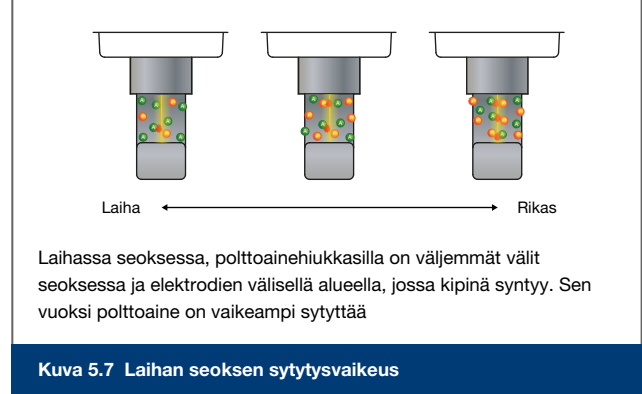
**Laihat seokset tuottavat epätäydellisen palamisreaktion**  
Laihassa seoksessa on ylimääräistä happea, jonka avulla kaikki polttoaine reagoi hapen kanssa. Ylimääräinen happi vähentää CO:n ja HC:n muodostumista sekä niiden päästöjä. Pienempi määrä polttoainetta ei absorboi yhtä paljon lämpöä kuin rikas seos, joten palamislämpötilat ovat paljon korkeampia.

Korkeammat lämpötilat saavat ilmassa olevan typen reagoimaan ylimääräisen hapen kanssa, joka muodostaa typpioksideja (NO<sub>x</sub>). Typpioksidit ovat saasteita, jotka ovat terveydellemme ja ympäristölle haitallisia.

### 5.2. Hyvän palamisreaktion saavuttaminen

#### Moottori- ja palokammionmallit

Nykykaikaisten moottorimallien prioriteetti on palamisprosessi. Moottorin on tuotettava vaadittava teho sekä matalat päästöt ja sillä on oltava hyvä polttoainetaloudellisuus, joka oli ennen vaikeasti saavutettavissa. Nykykaikaiset moottorit hyötyvät sähköisesti ohjatuista järjestelmistä, kuten sytytys- ja polttoainejärjestelmistä, joiden avulla toimintojen, kuten sytytysajotus ja polttoaineen ruiskutus, ovat tarkemmin ohjattavissa ja näin parantavat palamistehokkuutta. Tämä vuorostaan mahdollistaa enimmäisenergian saavuttamisen palamisreaktion aikana käyttämällä pientä määrää polttoainetta mahdollisimman alhaisilla saastetuotoilla.



Laihassa seoksessa, polttoainehiukkasilla on väljemmät välit ilmatilavuudessa, joka tarkoittaa, että harvempi polttoainehiukkanen altistuu sytytystulpan kipinälle. Väljemmillä väleillä olevat polttoainehiukkaset hankaloittavat ilma/polttoaineseoksen syttymistä; liekin leviäminen on myös hankalampaa laihassa seoksessa. Äärimmäisen laihat seokset voivat tästä syystä aiheuttaa heikkoa syttymistä ja palamista, jotka johtavat sytytyskatkosiin. Sytytyskatkokset vuorostaan muodostavat korkeampia määriä palamattomia hiilivetyjä (HC).

**Jotkut moottorit ovat suunniteltuja toimimaan kevyissä kuormitusolosuhteissa laihilla seoksilla, joka auttaa parantamaan polttoainetaloudellisuutta. Laihojen seosten sytytys- ja palamisvaikeuksien vuoksi, korkeamman suorituskyvyn sytytysjärjestelmiä ja sytytystulppia käytetään muodostamaan vahvempi ja pitempiaikainen kipinä. (Katso kohdat 5.5 ja 7.6).**

Moottorisuunnittelussa on kuitenkin monia muita asioita (sekä sähköisiä että mekaanisia), jotka voivat vaikuttaa palamisprosessiin:

- > **Sytytystulppa.** Sytytystulpat johtavat korkeajännitteen elektrodilleen muodostaakseen kuuman kipinän ilma-/polttoaineseoksen sytyttämiseksi. Sytytystulpan on ylläpidettävä oikea lämpötila, estääkseen liikaantumisen tai esisytytyksen. Lisätietoa sytytystulppavaatimuksista löytyy luvusta 6.
- > **Sytytysjärjestelmä.** Sytytysjärjestelmien on annettava vaadittu jännite ja sähköenergia sytytystulppalle oikeaan aikaan, saavuttaakseen johdonmukaisen ilma-/polttoaineseoksen sytytyksen.

- > **Ilma-/polttoaineseosuhde.** Seosuhteen on oltava oikea, jotta mahdollisimman paljon polttoaineesta syttyy täydellisesti ja tehokkaasti.
- > **Ruiskutusajoitus.** Nykyaikaisissa moottoreissa (joissa on portti- tai suoraruiskutus), oikea ruiskutusajoitus auttaa parantamaan ilman ja polttoaineen homogeenistä sekoittumista.
- > **Palokammion muoto.** Palokammion muoto voi auttaa luomaan turbulenssia imutahdin, puristuksen ja palamisen aikana. Turbulenssi auttaa ilmaa ja polttoainetta sekoittumaan tehokkaammin ja liekki leviää koko palokammioon.
- > **Moottorin käyttölämpötila.** Palokammion pintojen (ja sylinteriseinien) on ylläpidettävä riittävää lämpötilaa, estääkseen viileitä pintoja tukahduttamasta palamisreaktion liekkiä, mutta pinnat eivät saa olla niin kuumia, että ne aiheuttaisivat esisytytyksen.

> **Vaihteleva venttiiliajoitus ja nosto.** Muuttamalla venttiiliajoitusta ja venttiilinnostinta joissakin järjestelmissä, sylinterin täyttöä ilmalla ja pakokaasujen poistoa voidaan parantaa laajalla kierrosnopeus- ja kuormitusvälillä.

> **Pakokaasun takaisinkierrätys (EGR).** Matalien kuormitusten aikana, raikas ilma sekoittuu pakokaasun kanssa, joka syötetään takaisin palokammioon. Pakokaasu ei osallistu palamisreaktioon, joten palamislämpötila laskee ja NOx-päästöt vähenevät (katso kohta 5.5).

> **Turbohaatus (ja mekaaninen ahtaus).** Nostaa sylinteriin syötettävää ilmamassan määrää, ja näin nostaa sylinteripainetta-/lämpötilaa, joka nostaa moottorin vääntömomenttia ja tehoa (katso kohta 5.5).

### 5.3. Heikon palamisen syyt ja ongelmat

Moottorin suunnittelulla on tietysti suora vaikutus palamisreaktion tehokkuuteen. Optimaalisen palamistehokkuuden saavuttaminen tarkoittaa usein näiden rajojen lähellä toimimisen. Näiden rajojen ylittäminen voi johtaa heikkoon palamiseen. Nykyaikaiset moottorit hyötyvät polttoaineruiskutuksen, sytytyksen ja muiden moottoriin liittyvien järjestelmien sähköisestä ohjauksesta, joilla merkittävästi alennetaan heikon palamisen riskiä verrattuna moottoreiden varhaisempiin sukupolviin.

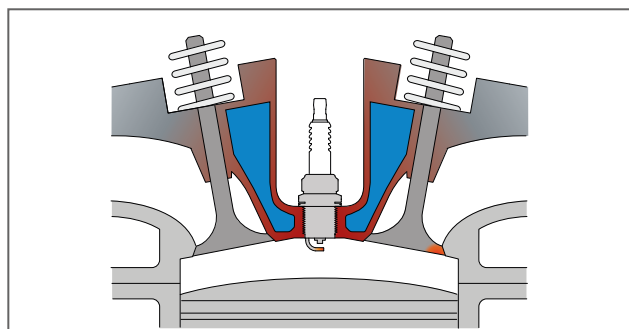
#### Esisytytys ja nakutus

Esisytytys ja nakutus ovat itse asiassa eri oireita, joita voi syntyä palamisprosessin lukuisten vikojen seurauksena.

Esisytytys viittaa siihen, että palokammiossa oleva kuuma kohta voi sytyttää ilma-/polttoaineseoksen ennen kuin sytytystulppa antaa oikein ajoitetun kipinän (Kuva 5.8). Sillä on sama vaikutus kuin liian aikaisella sytytysajoituksella (katso kohta 3.5). Polttoaineen aikainen palaminen aiheuttaa aikaista painetta ja saa sylinterin lämpötilan nousemaan, joka voi lopulta johtaa vaurioitavampaan räjähdykseen.

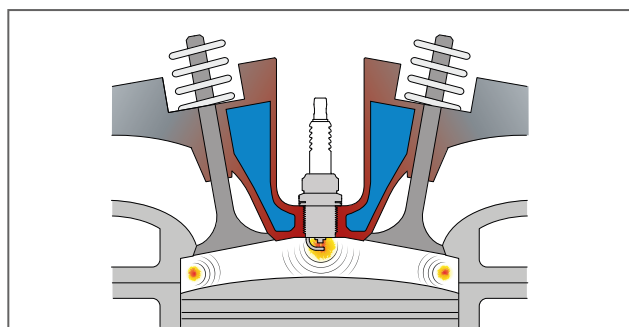
Räjähdyksellä tarkoitetaan sitä, että korkea paine sytyttää pienet ilma-/polttoaineseoksen taskut, kun palamisreaktio on alkanut (Kuva 5.9). Normaalin palamisreaktion aikana, kun liekki kasvaa progressiivisesti ja leviää palokammion läpi, paine ja lämpötila muissa kammion osissa nousevat. Räjähdyksen aikana, paine ja lämpötila niissä osissa, joihin liekki ei ole vielä levinnyt, kasvavat liian korkeiksi. Ilma-/polttoaineseoksen taskut räjähtävät liekkiin nähden itsenäisesti. Näiden pienten seostaskujen räjähdys voi aiheuttaa nopeita paineaaltoja, jotka aiheuttavat huomattavaa nakutusta tai tinnitystä.

Pitkäaikainen räjähdys voi aiheuttaa vakavaa moottorivaurioitumista, kuten mäntien tai jopa pakoventtiilien sulamista.



Esisytymisen voi aiheuttaa kuumat alueet, kuten hiilen kertyminen sytytystulppalle, tai jos venttiilit muuttuvat niin kuumiksi, että ne sytyttävät ilma-/polttoaineseoksen ennen kipinän muodostumista

Kuva 5.8 Esisytytys



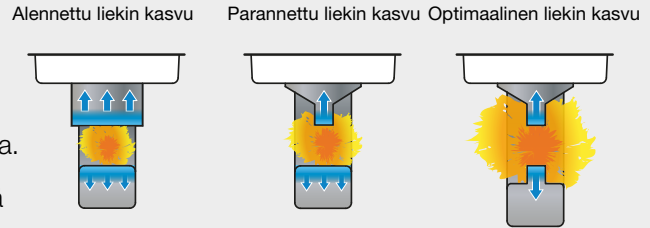
Esisytytyksen aiheuttama paineaalto johtaa räjähdykseen

Kuva 5.9 Nakutus

## DENSON KOROSTUS

### Elektrodin muoto

Suuremmat elektrodit estävät liekin kasvua enemmän, kun taas pienemmät elektrodit parantavat 3D -kasvua, kuten patentoitu 0,4 mm keskielektrodi ja patentoitu Twin Tip -teknologia. Tämä on DENSON tapa parantaa sytytystä; käyttämällä pienempiä elektrodeja ja parannettua suorituskykyä.



#### Viat, jotka aiheuttavat heikkoa palamista

On olemassa monia moottoriin liittyviä vikoja, jotka voivat aiheuttaa heikkoa palamista; alla oleva lista korostaa ainoastaan yleisimmät ongelmat, jotka ovat useimmiten suhteellisen helposti tunnistettavissa ja korjattavissa.

> **Sytytystulpat.** Sytytystulppavikoja ilmenee sekä nykyaikaisissa että vanhemmissa moottoreissa. Löydät osiosta 10.3 yksityiskohtaisen vianmääritysoppaan, jolla tunnistat sytytystulppaan liittyvät vikat. Oikean sytytystulpan käyttö on äärimmäisen tärkeää.

**Oikean sytytystulpan voi helposti tunnistaa DENSON verkkokatalogista osoitteessa [denso-am.eu/e-catalogue](http://denso-am.eu/e-catalogue).**

> **Sytytysajotus.** Vaikka nykyaikaisten ajoneuvojen sytytysjärjestelmien sähköisen ohjauksen ei pitäisi antaa sytytysajotuksen erota ohjelmoidusta arvosta, moottorinhallintajärjestelmässä oleva vika voi johtaa virheelliseen ajoitukseen. Vanhempien ajoneuvojen kohdalla, erityisesti mekaanisilla ja vanhemmilla sähköisillä sytytysjärjestelmillä varustettujen ajoneuvojen kohdalla, komponenttien kuluminen ja sytytysajotuksen virheellinen säätö vaikuttavat kuitenkin huomattavasti palamistehokkuuteen ja moottorin suorituskykyyn.

> **Rikas seos.** Vaikka hieman rikkaampi seos voi auttaa tuottamaan hyvää moottorin tehoa ja vääntöä, rikas seos ei pysty polttamaan kaikkea polttoainetta seoksen alhaisten happiarvojen vuoksi. Palamisprosessi on vähemmän tehokas ja tuloksena on huonompi polttoainekulutus (katso kohta 5.1).

Seuraavat tekijät yleisesti aiheuttavat nykyaikaisissa ajoneuvoissa rikkaat seokset:

- > Vuotavat polttoaineruiskut
- > Korkeat polttoainepaineet
- > Tukkeutuneet tai rajoittuneet ilmasuodattimet
- > Vialliset happianturit (lamda-anturit)

> **Laiha seos.** Erittäin laihassa seoksessa, polttoainehiukkaset asettautuvat väljästi ilman tilavuudessa, joka tarkoittaa, että kipinä on hankala sytyttää seosta. Palamisliekin on myös vaikea kasvaa ja levitä laihassa ilma/polttoaineseoksessa. Vaikeudet sytyttämisessä ja seoksen palamisen ylläpitämisessä voi siten johtaa sytytyskatkoksiin.

Seuraavat tekijät yleisesti aiheuttavat nykyaikaisissa ajoneuvoissa laihat seokset:

- > Ilmavuodot imujärjestelmässä
- > Matala polttoainepaine
- > Likaiset tai tukkeutuneet ruiskut
- > Vialliset happianturit (lamda-anturit)

> **Pakokaasun takaisinkierätyksen vikat.** Pakokaasun takaisinkierätys (EGR) kierrättää osan pakokaasusta takaisin imujärjestelmään, vähentääkseen joitakin haitallisia päästöjä. Tästä syystä on erittäin tärkeää, että takaisinkierätetyn pakokaasun määrä on tarkoin valvottua.

EGR-järjestelmässä oleva vika voi vähentää takaisinkierätettävän pakokaasun määrää, joka vuorostaan voi johtaa kohonneisiin palamislämpötiloihin, jotka voivat aiheuttaa esisytyksen tai jopa räjähdysen. Jos vika kuitenkin päästää liian suuren määrän pakokaasua takaisinkierätettäväksi, se rajoittaa raikasta ilmaa ja happea siirtymästä palokammioon ja näin aiheuttaa heikkoa palamista sekä sytytyskatkoksia.

> **Moottori- ja palokammion lämpötila.** Moottorin jäähditysneustekato tai jäähditysjärjestelmävika voi aiheuttaa moottorin ja palokammion lämpötilan nousua. Palamislämpötilat kohoavat, joka voi johtaa esisytytykseen tai räjähdyskseen.

Jos jäähditysjärjestelmävika estää moottoria saavuttamasta normaalia käyttölämpötilaa, sylinterin seinämät ja palokammion pinnat ovat kylmempiä. Tämä voi tukahduttaa palamisliekin ennen kuin palaminen on kuluttanut kaikkea ilma-/polttoaineseosta. Kylmänä käyvä moottori voi siis johtaa heikkoon polttoainetehokkuuteen.

## 5.4. Palamisen aikana muodostuvat saasteet ja haitalliset päästöt

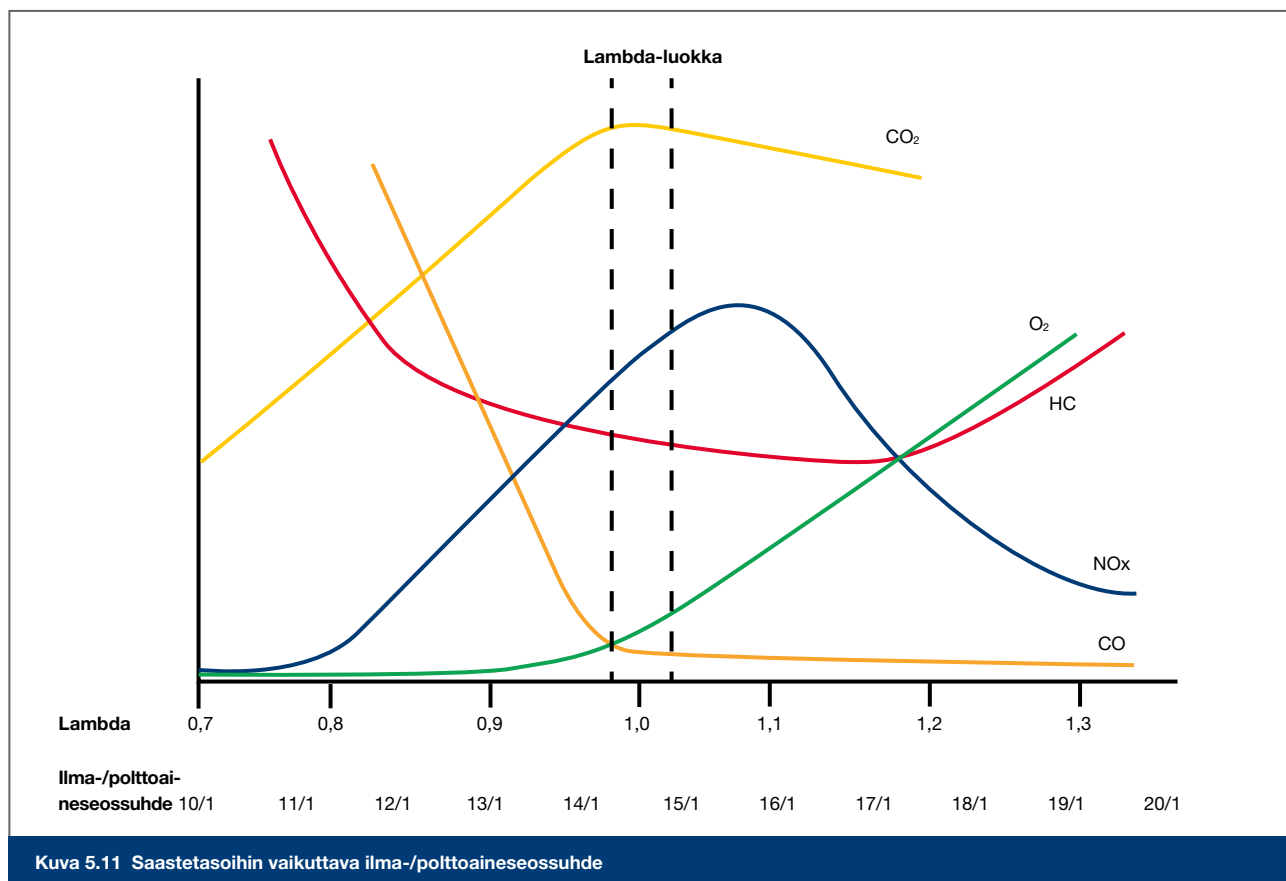
1960-luvulta lähtien, päästömääräykset ovat progressiivisesti muuttuneet tiukemmiksi, joka on pakottanut parannuksien tekoa moottorisuunnittelussa sekä merkittäviä parannuksia ja muutoksia sytytys- ja polttoainejärjestelmissä. Päästömääräykset kohdistuvat edelleen useisiin eri saasteisiin; ja vaikka joitakin saasteita, kuten rikki- ja lyijypohjaisia saasteita, on merkittävästi vähennetty tai eliminoitu, saasteita muodostuu edelleen moottorin palamisprosessin aikana. Merkittävimmät huolta aiheuttavat saasteet ovat esiteltyinä kohdan 5.10 taulukossa.

### Ilma-/polttoaineseossuhde ja sen vaikutus merkittävimpiin saasteisiin

Kuvassa 5.11 oleva kaavio osoittaa merkittävimmät saasteet ja happipitoisuuden pakokaasussa. Se kuvainnollistaa, miten jopa pienet muutokset ilma-/polttoaineseossuhteessa voivat huomattavasti alentaa tai nostaa saastetasoja. Kun ilma/polttoaineseossuhdetta ohjataan lambda-luokan rajoissa, eri saasteiden välillä saavutetaan kohtuullinen kompromissi; mutta lisämenetelmiä vaaditaan alentaakseen saastepäästöjä entisestään.

Saaste	Symboli	Vaikutukset	Syyt
Hiilimonoksidi	CO	Osittain palanut polttoaine, joka voi siirtyä verenkiertoon ja korvata hapen, ja samalla rajoittaa veren kykyä kierrättää happea kehon ympäri	Rikas seos, heikko sytytys (kipinä- tai sytytysjärjestelmävika), heikko palaminen, virheellinen sytytysajoitus
Hiilivedyt	HC	Palamaton polttoaine on karsinogeeninen (aiheuttaa syöpää) ja vaikuttaa kehon solukasvuun. Voi reagoida muiden saasteaineiden kanssa ja muodostaa otsonia	Rikas seos, heikko sytytys (kipinä- tai sytytysjärjestelmävika), heikko palaminen, virheellinen sytytysajoitus
Typpioksidit	NO <sub>x</sub> (Typpioksidi-NO ja Dityppioksidi-NO <sub>2</sub> )	Voi ärsyttää silmiä ja keuhkoja, ja voi aiheuttaa hengitystieongelmia. Edesauttaa savusumua ja haposadetta, lisäksi edesauttaa maaston otsonin muodostumista	Muodostuu laihojen seosten korkealämpöisen palamisen aikana, jossa ilmassa oleva typpi reagoi hapen kanssa
Hiilidioksidi	CO <sub>2</sub>	Tämän luettelon vähiten haitallinen saasteaine. CO <sub>2</sub> :n kertyminen ilmakehään vangitsee lämpöä ja edesauttaa ilmaston lämpenemistä	Polttoaineen ja hapen täydellisen palamisreaktion tuote

Kuva 5.10 Merkittävimmät saasteaineet



Kuva 5.11 Saastetasoihin vaikuttava ilma-/polttoaineseossuhde

## 5.5. Päästöjen vähentäminen ja polttoainetaloudellisuuden parantaminen

Parantamalla moottorimalleja ja palamisprosessia, merkittäviä saastevähennyksiä on saavutettu.

Kun moottoriajoneuvojen säädöksistä tulee entistä tiukempia, jotkut tulevat keskittymään parantamaan pakokaasun jälkikäsitelyjärjestelmiä. Uusia teknologioita on kuitenkin kehitettävä haitallisten päästöjen estämiseksi tai vähentämiseksi. Osa näistä teknologioista on kuvailtu alla.

### Katalyyttimuuntimet ja lambda-anturit CO-, HC- ja NOx-tasojen vähentämiseksi

3-suuntaiset katalyyttimuuntimet esiteltiin 1980-luvulla ja niitä asennetaan nykyään kaikkiin massatuotannossa valmistettuihin bensiinikäyttöisiin ajoneuvoihin. Nämä 3-suuntaiset katalyyttimuuntimet tarjoavat pakokaasun jälkikäsitelyä palamisen aikana muodostuvien CO-, HC- ja NOx-saasteiden vähentämiseksi (Kuva 5.12).

Autojen katalyyttimuuntimissa käytetään katalyyttinä jalometalleja, kuten palladiumia, rodiumia tai platinaa, kemiallisten reaktioiden edistämiseen, mutta ne eivät osallistu itse reaktioon. Katalyyttimuunnin vaatii lämpöä toimiakseen tehokkaasti.

Käsiteltäessä CO:ta ja HC:ta (osittain palanut ja palamaton polttoaine), kemialliset reaktiot jatkavat tehokkaasti niitä reaktioita, jotka eivät päässeet loppuun moottorin polttoprosessin aikana. Muuntimessa, hiilimonoksidi (CO) sekä palamattomat hiilivedyt (HC) reagoivat hapen kanssa samalla tavalla kuin palamisprosessin aikana tapahtuvissa hapetusreaktioissa. Hieman laihaa ilma-/polttoaineseossuhdetta annetaan, varmistaakseen, että happea on saatavilla reaktioille, jotka sitten tehokkaasti muuttavat CO:n ja HC:n CO<sub>2</sub>:ksi (hiilidioksidi) ja H<sub>2</sub>O:ksi (vesi).

Palamisreaktion aikana muodostuneiden typpioksidien (NOx) vähentäminen vaatii erilaisen kemiallisen reaktion, joka tehokkaasti erottaa hapen (O<sub>2</sub>) tuestä (N). Reaktio (tunnetaan pelkistymisenä) vaatii hieman rikkaampaa seosta, jossa on alempi happipitoisuus, jolloin happi pystyy erottautumaan tuestä; erotettua happea voi sitten käyttää reagoimaan pakokaasussa jäljellä olevan CO:n ja HC:n kanssa, joka vuorostaan tuottaa CO<sub>2</sub>:ta.

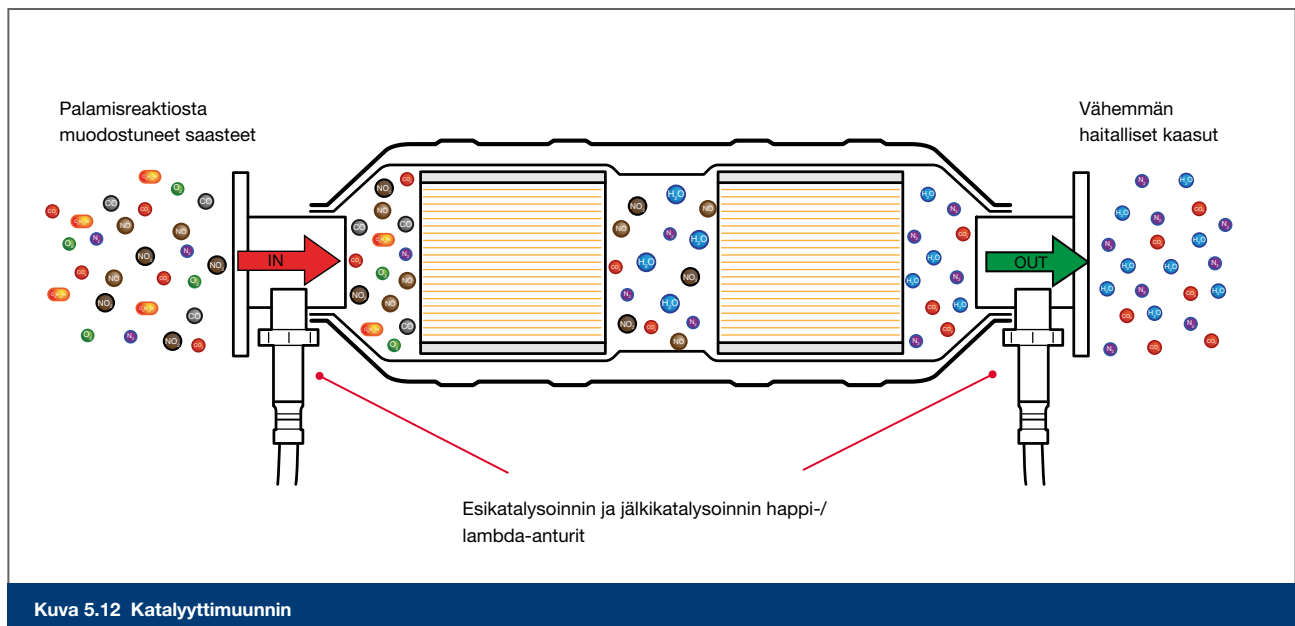
Koska yksi kemiallinen reaktio vaatii lisähappea ja toinen reaktio vaatii alemmaa happipitoisuutta, moottorinhallinnan ohjausyksikkö säätelee ilma-/polttoaineseossuhteita lambda-luokan rikkaiden ja laihojen rajojen välillä. Pakokaasun happipitoisuus vaihtelee n. 0,97 -lambda-arvon ja 1,03 -lambda-arvon välillä, jolloin katalyyttimuunnin voi edistää kahta eri kemiallista reaktiota.

Jotta moottorinohjausyksikkö voi tarkasti säädellä ilma-/polttoaineseossuhdetta ja antaa vaadittu määrä happea, katalyyttia edeltävä lambda-anturi antaa moottorinohjausyksikölle sähkösignaalin, joka ilmaisee pakokaasun happipitoisuuden muuntimen ylävirrassa (Kuva 5.12). Ohjainyksikkö säätelee ilma-/polttoaineseossuhdetta anturilta saatavan signaalin perusteella. Tämä jatkuva happipitoisuuden valvonta- ja säätöprosessi tunnetaan suljetun kierron ohjauksena. Toinen katalyytin jälkeen oleva lambda-anturi valvoo happipitoisuutta muuntimen alavirrassa varmistaakseen, että happi on käytetty kemiallisten reaktioiden aikana. Tätä toista anturia kutsutaan diagnostiikka-anturiksi.

### Pienentäminen ja turboahtaminen

Jo tunnistettujen saasteiden vähentämisen lisäksi, viime aikoina on asetettu entistä enemmän painotusta fossiilipolttoaineiden polttamisen aiheuttaman CO<sub>2</sub>:n (hiilidioksidi) tuoton vähentämiseen. 2000-luvun puolesta välistä lähtien, tämä on johtanut moottoreiden pienennyksen kehityssuuntaan. Pienempien moottoreiden rakentaminen säästää painossa, joka auttaa alentamaan tehovaatimuksia sekä alentamaan polttoainenkulutusta. Mutta, ylläpitääkseen ajoneuvon odotettua suorituskykyä, pienempien moottoreiden on silti tuotettava riittävästi tehoa ja vääntömomenttia, jotka ovat lähellä niiden suurempia versioita, joka vaatii moottorin korkeampaa nimenomaista tehoa.

Nimenomainen teho on enimmäisteho jaettuna moottorin iskutilavuudella (moottorin kapasiteetti); eräs tehokas tapa nostaa nimenomaista tehoa on turboahtaamalla. Turboahtajien käyttöä kohtaan on kasvava kehityssuunta, jossa sylinterin läpi kulkevaa ilmamassaa nostetaan (pakotettu induktio). Suurempi ilmamassa nostaa palamislämpötiloja ja -paineita, joka johtaa korkeampaan tehoon ja vääntömomenttiin.



Kuva 5.12 Katalyyttimuunnin



### Heikot seokset ja suoraruiskutus

Toinen ominaisuus, joka auttaa vähentämään polttoaineenkulutusta ja vähentämään CO<sub>2</sub> -päästöjä, on käyttää moottoria laihemmilla seoksilla matalien moottorin kuormitusolosuhteiden aikana. Käyttämällä laihempia seoksia, varmistetaan että polttoaine käytetään palamisreaktioon eikä se mene hukkaan siirtymällä pakojärjestelmään.

Yksi tapa, joka mahdollistaa laihan palamisen on suoraruiskutuksen käyttö, jossa imuportteihin ruiskutetun bensiinin sijaan, se ruiskutetaan suoraan palokammioon (Kuva 5.13).

Matalien kuormitusolosuhteiden aikana, polttoaine ruiskutetaan puristustahdin aikana; polttoaine sekoittuu sitten pieneen määrään sylinterissä olevaan kokonaisilmamäärään. Vaikka vain pieni määrä seoksesta syttyy, palamisprosessi tuottaa silti riittävästi lämpöä, jolla jäljellä olevat kaasut laajenevat ja tuottavat riittävästi tehoa matalille kuormitusolosuhteille. Tämä sytytysperiaate, jossa vain pieni määrä seosta sytytetään, tunnetaan myös 'stratifioituneen varauksen' palamisena.

Korkeammissa kuormitusolosuhteissa, polttoaine ruiskutetaan imutahdin aikana, jolloin polttoaine pääsee sekoittumaan kaiken sylinterissä olevan ilman kanssa (homogeeninen seos) ja näin antaa normaalin ilma-/polttoaineseossuhteen kanssa tapahtuvan palamisreaktion tuottaa enemmän tehoa.

**Stratifioituneen varauksen palamisen aikana, laiha seos aiheuttaa korkeat palamislämpötilat. Korkeiden lämpötilojen ja ylimääräisen hapen yhdistelmä tuottaa korkeita NO<sub>x</sub> -pitoisuuksia, joita vähennetään käyttämällä korkeampia pakokaasun takaisinkierätyksen prosenttiosamääriä.**

### Pakokaasun takaisinkierätyksen (EGR) NO<sub>x</sub> -pitoisuuksien alentamiseksi

Pakokaasun takaisinkierätystä (EGR) käytetään estämään NO<sub>x</sub>:n muodostumista palamisreaktion aikana. NO<sub>x</sub> -pitoisuudet nousevat huomattavasti, kun happea on enemmän (laiha seos) ja palamislämpötilat ovat yli 1 600°C astetta.

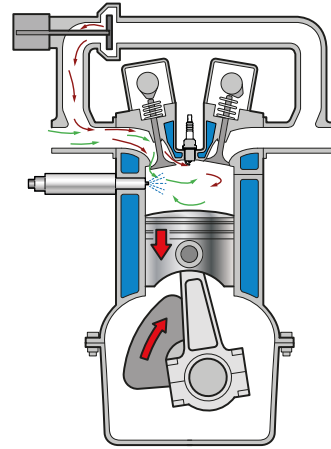
Kierrättämällä määrätty määrä pakokaasua takaisin moottorin imujärjestelmään, jossa se sekoittuu raikkaan imuilman kanssa (Kuva 5.14), reagoimattomat (ei-palavat) pakokaasut korvaavat osan sylinterissä olevasta ilmasta ja hapesta. Vaikka takaisinkierätetty pakokaasu on kuumaa, se on viileämpää kuin palamislämpötila, jonka avulla pakokaasu voi absorboida lämpöä palamisprosessilta. Alennetut palamislämpötilat alentavat NO<sub>x</sub>:n muodostumista; ja vähentävät myös esisytytyksen ja räjähdysriskiä.

**Täyden kuormituskäytön aikana, suurin mahdollinen määrä raikasta ilmaa tarvitaan korkealle teholle. Näin ollen, EGR-järjestelmää ei yleensä käytetä täyden kuormituskäytön aikana.**

**Moottorinhallinnan ohjausyksikkö säätelee EGR-venttiilin avautumista (myös saatavilla DENSOna) niin, että n. 5% - 15% pakokaasusta voidaan syöttää takaisin imujärjestelmään riippuen toimintaolosuhteista.**

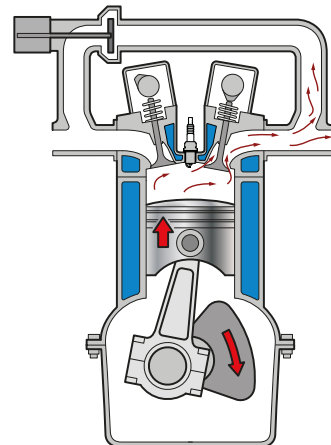
**Nämä teknologiat on kehitetty vähentämään päästöjä, parantamaan tehokkuutta sekä polttoaineentaloudellisuutta.**

Niitä on parannettu entisestään. Uudet kehityssuunnat ja niiden vaikutukset sytytysjärjestelmään on kuvailtu kohdassa 7.6.

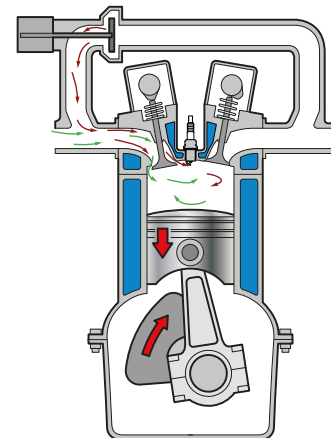


Polttoaine ruiskutetaan palokammioon imutahdin aikana, mutta monissa suoraruiskutusjärjestelmissä, polttoaine voidaan myös ruiskuttaa puristustahdin aikana matalissa kuormitusolosuhteissa.

Kuva 5.13 Polttoaineen suoraruiskutus



Pakotahdin aikana, osa pakokaasusta pääsee siirtymään EGR-venttiilille



Imutahdin aikana, EGR-venttiili antaa kalibroidun määrän pakokaasua sekoittua imuilman kanssa.

Kuva 5.14 Pakokaasun takaisinkierätyksen (EGR)

# 6. SYTYTYSTULPAT

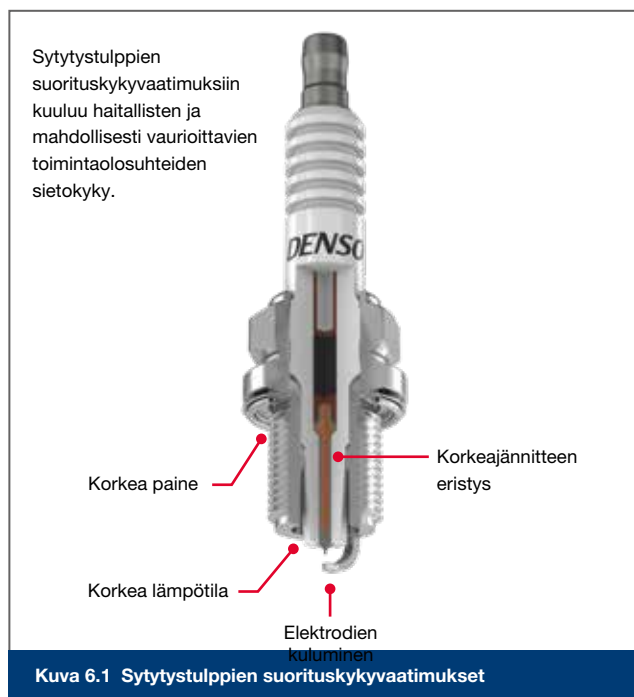
## 6.1. Ratkaisu palamiselle

Sytytystulpat ovat tärkeä komponentti tehokkaan sytytys- ja palamisprosessin luomisessa. Vaikka sytytystulpan tarkoituksena on antaa kipinä, joka käynnistää ilma-/polttoaineseoksen palamisen, sytytystulpan muotoilulla on tärkeä vaikutus palamisprosessiin palamisreaktion alkuvaiheissa.

Sytytystulpan muotoilussa on useita elementtejä, jotka vaikuttavat siihen, miten sytytystulppa sytyttää ilma-/polttoaineseoksen; mutta kipinän on pystyttävä sytyttämään seoksen useissa eri käyttöolosuhteissa, joihin kuuluvat lämpötila-, paine-, ilma-/polttoaineseossuhde-, kierrosnopeus- ja moottorin kuormitusvaihtelut.

## 6.2. Suorituskykyvaatimukset

Kipinän muodostamisen lisäksi, sytytystulppien on täytettävä lukuisia suorituskykyvaatimuksia. Tärkeimmät vaatimukset ovat lueteltuina alla (Kuva 6.1).



**Korkeiden lämpötilojen ja jatkuvien lämpötilamuutosten sietokyky**  
Palokammiossa olevien sytytystulppien pinnat altistuvat jatkuvasti noin 3 000°C asteen lämpötiloille ilma-/polttoaineseoksen palamisen aikana. Imutahdin aikana, sytytystulppaan kohdistuu kuitenkin äkillinen matalalämpöisen raikkaan imuilman jäähdytys. Tämä äkillinen lämpeneminen ja jäähdytys toistuu jokaisella nelitahtijaksolla, kun moottori on käynnissä. Lämmön sietokyvyn lisäksi, sytytystulpan on myös johdatettava tarpeeksi lämpöä ehkäistäkseen kuumia kohtia sytytystulpassa, jotka saattaisivat aiheuttaa esisytymisen.

### Merkittävien painemuutosten sietokyky

Imutahdin aikana, paine on alle 1 bar, mutta työtahdin aikana paine voi olla yli 50 baria. Tämän vuoksi, sytytystulppalla on oltava mekaanista lujuutta ja kestävyyttä, jotta se kestää merkittävät paineet ja painemuutokset.

### Korkeajännitteen eristys

Ympäristössä, jossa lämpötila ja paine muuttuu merkittävästi ja jatkuvasti, sytytystulpat on rakennettava erinomaisella korkeajännitteiden eristyksellä, jossa nykyaikaisten sytytysjärjestelmien jännitteet voivat kohota jopa 40kV:hen.

### Ylläpitää ilmatiivistä tiivistystä vaikeissa ympäristöissä

Sytytystulppien on ylläpidettävä ilmatiivistä tiivistystä kotelon ja eristeen välillä äärimmäisten lämpötila- ja painevaihtelujen sekä korkeajännitteen olosuhteissa. Tämän vuoksi, korkealaatuisia tiivisteitä käytetään eristeen ja kotelon välillä estääkseen kuumia, korkeapaineisia kaasuja siirtymästä sytytystulppakokoonpanon läpi ja vaurioittamasta eri sytytystulppakomponentteja.

### Vähentää palamisen aiheuttamaa likaantumista

Kovissa käyttöolosuhteissa, ilma-/polttoaineseoksen palaminen voi aiheuttaa sytytystulppakotelon ja elektrodien likaantumisen ja saastumisen. Tästä syystä, sytytystulppien on pystyttävä vähentämään elektrodien likaantumista, ja niissä on oltava itsepuhdistavat ominaisuudet, jossa lämpö polttaa pois hiilijäämät.

Elektrodien lähellä olevan eristeosion tulee ihanteellisesti saavuttaa itsepuhdistuksen lämpötila (noin 500°C); joten on toivottavaa, että sytytystulpan lämpötila kohoaa nopeasti myös silloin kun palamislämpötilat ovat suhteellisen matalat (kuten matalan kuormituksen ajo-olosuhteiden aikana). Jotkut sytytystulpat ovat suunniteltu lisäominaisuuksin, jotka vähentävät likaantumista tai parantavat itsepuhdistusta (katso kohta 6.6).

### Vähentää elektrodin kulumista

Sytytystulpan elektrodit altistuvat korkeille lämpötiloille sekä nopeille lämpötilamuutoksille; mutta elektrodien on jatkuvasti suoritettava niiden päätehtävänsä, eli antaa kuumia kipinä, joka muodostuu, kun korkeajännitteet siirtyvät elektrodilta toiseen.

Elektrodien on tästä syystä kestävä hyvin kulutusta ja eroosiota, joka aiheutuu kipinäprosessista ja siitä johtuvista korkeista lämpötiloista (katso kohta 7.2).

6.1. Palamisreaktion pääkohdat	32
6.2. Suorituskykyvaatimukset	32
6.3. Sytytystulpan rakenne	33
6.4. Sähkökipinä ja vaadittu kipinäjännite	35
6.5. Sytytystulpan jännitteeseen vaikuttavat toimintaolosuhteet	36
6.6. Lämpöväli	39
6.7. Liekin muodostumiseen ja kasvuun vaikuttava liekin tukahduttaminen	41

## DENSON KOROSTUS

DENSO valmistaa sytytystulppavalikoimaa elektrodeilla, jotka valmistetaan jalometalleilla. Tämä auttaa merkittävästi vähentämään elektrodien kulumista.

Soveltamalla edistyksellisiä teknologioita, kuten DENSO Twin Tip -teknologiaa, tuloksena on parempi suorituskyky pidemmällä aikavälillä. Pitkäikäiset DENSO Iridium -sytytystulpat tarjoavat jopa 180 000 kilometrin käyttöiät.

### 6.3. Sytytystulpan rakenne

#### Sytytystulpan pääosat

Sytytystulppien on pystyttävä toimimaan vaikeissa olosuhteissa ja vastatakseen suorituskykyvaatimuksiinsa, niiden rakenne muodostuu kolmesta pääosasta:

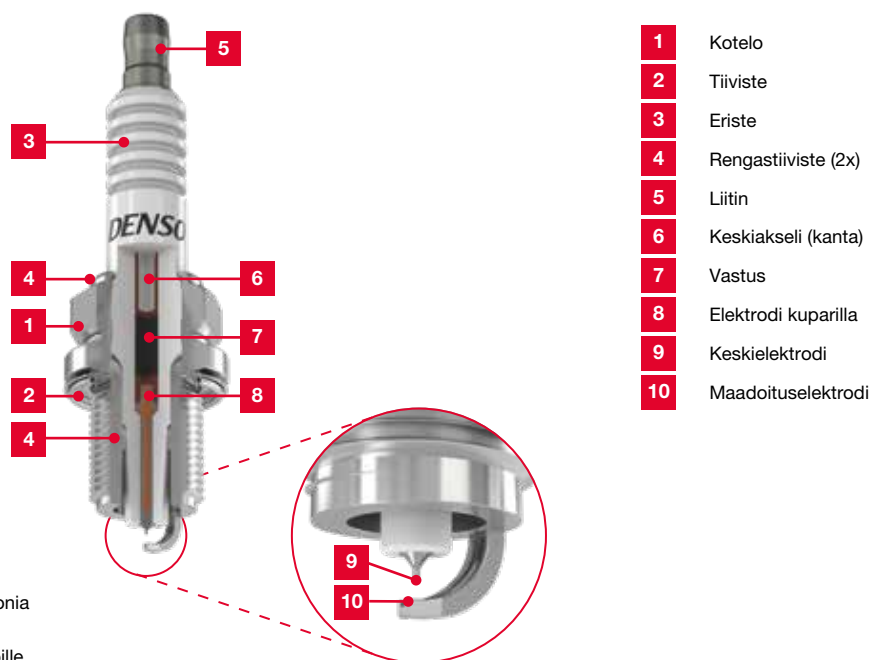
- (1) Kotelo
- (2) Eriste
- (3) Elektrodit

Nämä pääosat koostuvat yksittäisistä sytytystulppakomponenteista, jotka valmistetaan tarkoin valituista materiaaleista. Kaaviossa (Kuva 6.2) näytetään DENSO Iridium Power -sytytystulpan pääosat ja komponentit.

#### Kotelo

Kotelo (kohde 1) muodostuu ulkokuoresta, joka ympäröi ja tukee eristettä, sekä kiinnittää sytytystulppakokoonpanon moottoriin. Rengasaluslevy tai tiiviste (kohde 2) luo eristävän tiivisteiden sytytystulppakotelon ja moottorin välille estääkseen kaasuja karkaamasta puristuksen ja palamisen aikana.

Maadoituselektrodi (kohde 10) on kiinnitettyä kotelon kiertaiseen alaosaan ja antaa sähkövirran virrata moottorin läpi takaisin akulle.



Tiivisteet ja eriste suojaavat monia sytytystulpan komponentteja altistumasta korkeille lämpötiloille, paineille ja jännitteille

Kuva 6.2 Sytytystulpan rakenne

### Eriste

Keraaminen eriste (kohde 3) antaa sähköeristystä liittimen, keskiakselin ja keskielektrodin sekä kotelon välille.

Kun kipinäjännitteet joissakin nykyaikaisissa sytytysjärjestelmissä ylittää 40kV, eristeellä on oltava vaaditut eristysominaisuudet, ja paksuus saa olla vain muutama millimetri.

DENSO käyttää keraamista materiaalia, jossa on korkeapitoista alumiinioksidia, tarjoamaan ylivoimaisia lämpöä kestäviä ominaisuuksia, mekaanista vahvuutta ja erinomaista sähköeristystä.

Rengastiivisteet (kohde 4) istuvat tiukasti paikoillaan ja luovat ilmatiiviin tiivisteiden kotelon ja eristeen välille.

### Liitin

Korkeajännite toimitetaan liittimen (kohde 5) kautta joko suoraan sytytyspuolan pohjaliitännästä tai käyttämällä sytytystulppajohdinta, joka kytkee tulppaliittimen puolaan. Erilaisia liitinmalleja valmistetaan, jonka ansiosta melkein mikä tahansa korkeajännitteinen sytytystulppajohdin tai sytytyspuola voidaan kytkä sytytystulpan liittimeen.

### DENSO tarjoaa 4 eri liittintyyppiä:

1. **Kierre** (ilman liittinmutteria, käytössä moottoripyörissä ja vanhemmissa autoissa)
2. **Liitinmutteri** (kierre mutterilla, joka on helppo ruuvata auki)
3. **Puristemutteri** (kierre puristemutterilla, joka antaa paremman liitoksen mutterin ja kierteen välille. Mutterin voi irrottaa, mutta se on vaikeampaa)
4. **Kiinteä** (Kiinteä liitin autokäyttökohteisiin, ei voi irrottaa)

### Keskiakseli/kanta

Teräksinen keskiakseli (kohde 2) yhdistyy liittimeen ja keskielektrodiin, ja antaa korkeajännitteen virrata liittimestä keskielektrodiin.

### Vastus

Vastus (kohde 7), jota kutsutaan myös vaimentimeksi, vähentää kipinän huippuvirtaa. Ilman vastusta, huippuvirta muodostaa sähkömagneettisten kenttien purskeita tai radiotaajuuksien häiriöitä, jotka voivat häiritä autossa olevia sähkölaitteita. DENSO -sytytystulppien vastukset valmistetaan erityisestä lasi- ja kuparijauheseoksesta.

### Keskielektrodi

Keskielektrodi (kohde 9) valmistetaan materiaaleista, kuten nikkeliseoksista, jotka kestävät korkeita lämpötiloja. Näiden materiaalien on oltava erittäin kovia ja kestäviä, minimoidakseen kipinäerosion aiheuttamaa kulumaa. Elektrodin keskiosa (kohde 8) sisältää usein kupariytimen, jolla parannetaan lämmönjohtavuutta.

Suorituskyvyn ja kestävyuden parantamiseksi, keskielektrodit voidaan valmistaa elektrodikärjellä, joka on valmistettu jalometalleista, jotka ovat vielä vahvempia kuin perinteiset elektrodimateriaalit. Nämä kovempaa kulutusta kestävät materiaalit toimivat korkeammassa lämpötiloissa vähemmällä kulutuksella. Näiden kovempien materiaalien toinen merkittävä hyöty on, että ne mahdollistavat ohuempien elektrodien käyttöä, jonka tuloksena sytytyksen suorituskyky on parempi.

### DENSO-sytytystulpissa on useita ainutlaatuisia patentoituja materiaaleja:

1. Vakio Ø 2,5 mm nikkeliseos.
2. Uusi ja ainutlaatuinen Ø 1.5 mm nikkeliseos (käytetään Nickel TT\* -sytytystulpissa), joka vähentää kipinäkulutusta jopa 40% verrattuna vakionikkeliin.
3. Platina on jalometalli, joka kestää erittäin korkeita lämpötiloja, Ø 1,1 mm elektrodeilla.
4. Korkeapitoista iridiumseosta, joka kestää korkeimpia lämpötiloja ja on kovin sytytystulpissa koskaan käytetty materiaali. Iridiumkärjet, joiden halkaisijat ovat Ø 0,4 mm\*, 0,55 mm tai 0,7 mm, ovat laserhitsattuja keskielektrodiin.

**Pienet elektrodit alentavat vaadittua sähkövirtaa, varmistavat luotettavan kipinän sekä vähentävät tukahduttamista ja parantavat sytytyksen suorituskykyä.**

### Maadoituselektrodi

Maadoituselektrodi (kohde 10) altistuu palokammiossa äärimmäisille lämpötilamuutoksille. Useimmissa maadoituselektrodeissa käytetään nikkelikromiseosta, mutta platinaa voidaan lisätä maadoituselektrodiin elektrodin käyttöä pidentämiseksi. Joissakin sytytystulpissa on kupariytimen maadoituselektrodi, joka parantaa lämmönjohtavuutta.

### DENSO käyttää maadoituselektrodissa joitakin erityistoimia parantaakseen sytytyksen suorituskykyä:

1. Patentoitu U-ura\* kasvattaa reunaosuutta, jolloin kipinät syntyvät helpommin ja liekki kasvaa nopeammin.
2. Kartioleikattu maadoituselektrodi, joka on muotoiltu vähentämään tukahduttamisvaikutusta ja parantamaan liekin kasvua.
3. Neulamalli, jossa on joko Ø 1,5 mm ulkoneva nikkelielektrodi\* (Nickel TT) tai Ø 0,7 mm hitsattu platinaelektrodi (SIP ja Iridium TT).

**Kuten keskielektrodin kohdalla, pienemmät neulamalliset maadoituselektrodit alentavat tarvittavaa jännitettä, varmistavat luotettavan kipinän, vähentävät tukahduttamisvaikutusta ja parantavat sytytyksen suorituskykyä.**

\*Patentoitu DENSO-teknologia

## 6.4. Sähkökipinä ja vaadittava kipinäjännite

Sytytystulpan elektrodien välisen välin yli luotu kipinä antaa ilma-/ polttoaineseoksen sytytykselle tarvittavan energian ja lämpötilan juuri oikeaan aikaan; mutta jos kipinä luo riittämätöntä lämpöä, tämä voi aiheuttaa sytytyskatkoksia.

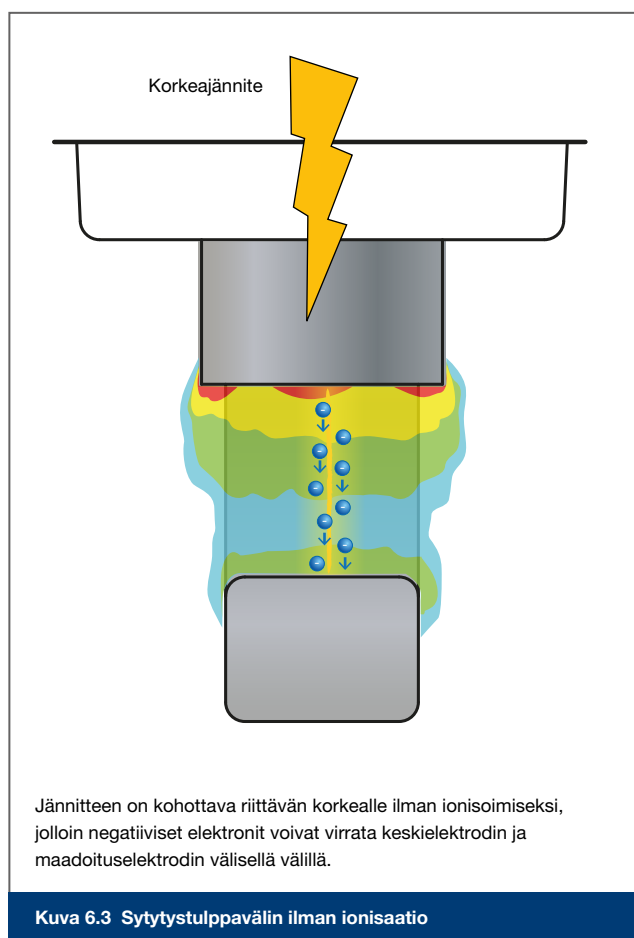
Kuten luvussa 3 selitettiin, magneettikentän muodossa olevaa energiaa käytetään indusoimaan korkeajännitettä sytytyspuolan toisiokäämissä. Korkeajännite toimitetaan sytytystulpalle, joka luo sähkökipinän elektrodien välille. Kipinä sytyttää ilma-/polttoaineseoksen, joka sijaitsee suoraan sytytystulppavälissä. Tärkeää huomioitavaa on, että sähkökipinän voi ainoastaan luoda, jos riittävästi sähköenergiaa on saatavilla muodostaakseen ionisoitu, sähköä johdettava kanava tai tie normaalisti eristävän ilma-/polttoaineseoksen läpi.

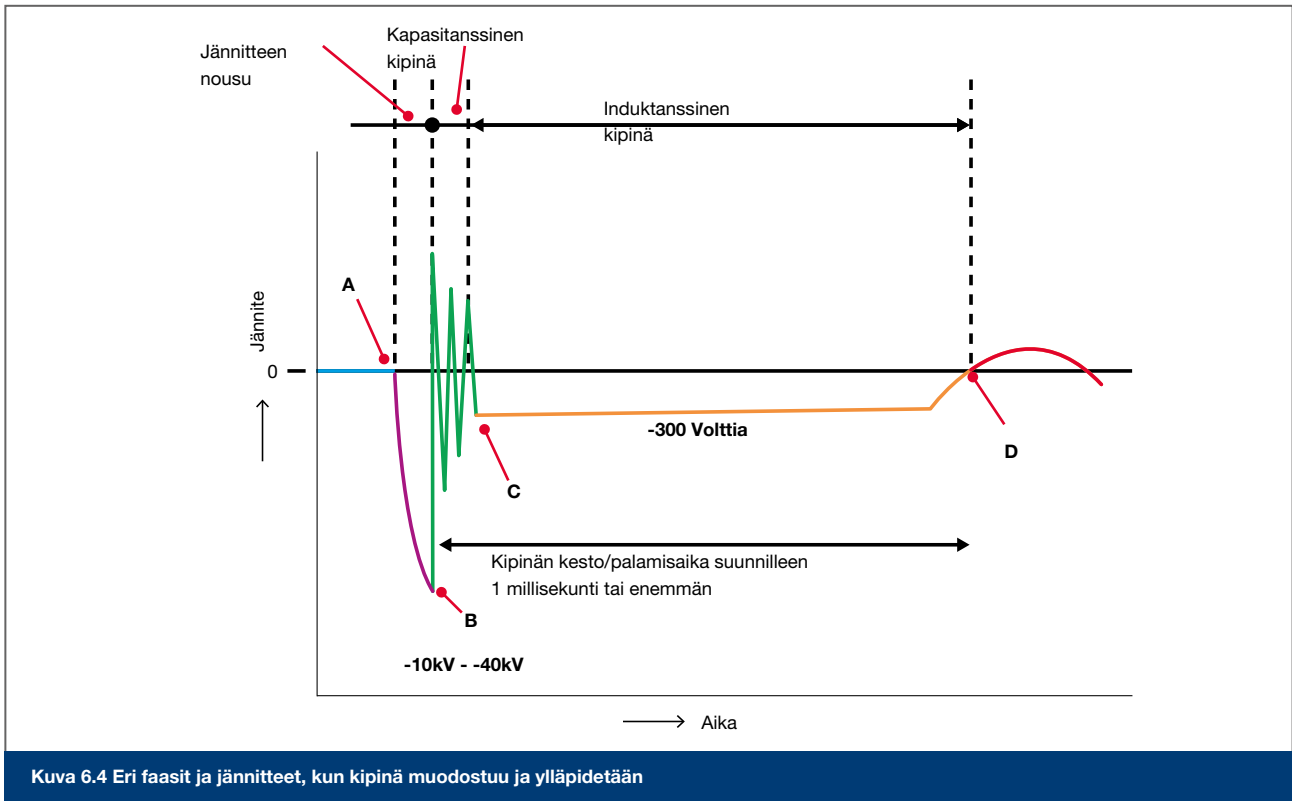
**Ionisaatio on monimutkainen prosessi, jossa aine saadaan muuttamaan sen sähköisiä ominaisuuksia. Ilma on yksi monista aineista, joka on luontainen sähköneristäjä, koska atomit ovat sähköisesti neutraaleja, ja ne eivät muodosta sähkövirralle reittiä. Käyttämällä kuitenkin riittävää jännitettä, sähköenergia pakottaa atomeissa olevat negatiivisesti varautuneet hiukkaset (elektronit) siirtymään atomien välillä. Sähköisesti neutraalit atomit muutetaan sähköisesti varautuneiksi atomeiksi, joita kutsutaan 'ioneiksi'; tästä syystä, tätä muunnosprosessia kutsutaan 'ionisaatioksi' (Kuva 6.3).**

Ilman ionisaatioon tarvittavan energian tarjoamiseksi, tarvitaan korkeajännite, joka on tyypillisesti 10kV - 40 kV, ja joissain moottorikäyttökohteissa tarve voi olla jopa 45kV. Ilman ionisaatio luo sähköenergiaa johdattavan polun, joka muodostaa korkealämpöisen kipinän elektrodivälin välille ilma-/polttoaineseoksen sytyttämiseksi.

Itse kipinä voi saavuttaa yli 10 000°C asteen lämpötilat; purkautumisen kesto voi kuitenkin olla vain 1 millisekunti. Tämän lyhyen purkautumisen aikana, kipinän rakenne on erikoisen monimuotoinen ja koostuu eri faaseista sekä eri jännitetasoista, jotka näkyvät Kuvassa 6.4.

**Sähkövirta (myös sytytystulppavälissä) on negatiivisesti varautuneiden elektronien virta. Elektronivirta on helpompi luoda kuumemmasta pinnalta. Kipinä luodaan pakottamalla elektronit virtaamaan kuumemmasta keskielektrodista viileämpään maadoituselektrodiin, joka tarkoittaa, että sytytysjärjestelmä luo negatiivisen jännitteen kipinän. Jännitevaatimus, joka on välillä 10kV - 40kV, on näin ollen negatiivinen jännite. Tämän vuoksi jännitteet Kuvan 6.4 kohdissa 'b' ja 'c' ovat negatiivisia.**





Kuva 6.4 Eri faasit ja jännitteet, kun kipinä muodostuu ja ylläpidetään

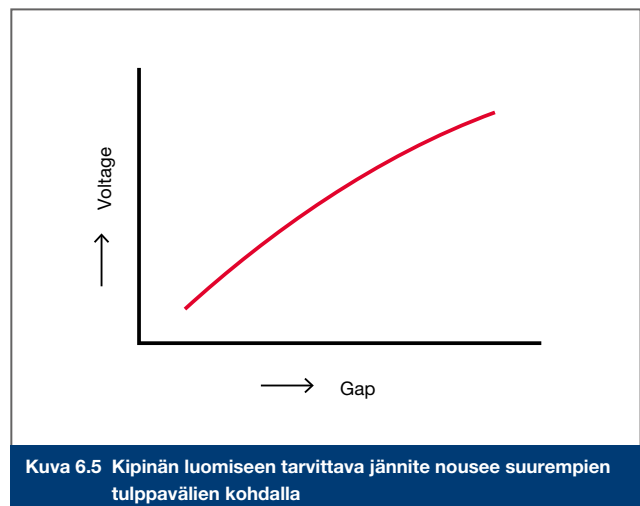
1. Kun sytytyspuolan ensiökäämiin annettava jännite katkaistaan ('a'-piste), kohoava (negatiivinen) korkeajännite indusoidaan toisiokäämiin, joka kulkee sytytystulppalle.
2. 'B'-pisteessä, jännite kohoaa 10kV - 40kV -tasolle tai korkeammalle ja synnyttää kipinän elektrodien välille, jolloin ilma ionisoituu.
3. Purkautumisen alussa, 'b'- ja 'c'-pisteiden välissä, kipinä muodostuu aluksi toisiopiiriin säilytyllä sähköenergialla. Tässä osiossa, joka tunnetaan kapasitanssina kipinä, sähkövirta on suuri mutta kesto on lyhyt.
4. Kun kipinä on muodostunut, kipinän pitempikestoisen faasin poistuu 'c'- ja 'd'-pisteiden välistä noin 300V -purkujännitteellä. Tämä kipinän osa (jota kutsutaan induktanssiseksi kipinäksi) muodostuu puolassa olevasta sähkömagneettisesta energiasta, jossa sähkövirta pienenee vaiheittain sitä mukaan, kun säilyttä energia virtaa pois. Kipinä jatkuu noin 1 millisekunnin ajan 'd'-pisteeseen, kunnes energiaa ei ole riittävästi kipinän ylläpitämiseksi ja purkautuminen loppuu.

## 6.5. Sytytystulpan jännitteeseen vaikuttavat toimintaolosuhteet

Kohdassa 6.4 on selitetty, että sytytyspuolan antama jännite kohoaa, kunnes se pystyy ionisoimaan tulppavälissä olevan ilman. Kaksi tarvittavaan jännitteeseen vaikuttavat päätekijää ovat sytytystulppavälän koko sekä elektrodin muoto ja koko; mutta erilaiset käyttöolosuhteet vaikuttavat myös tarvittavaan jännitteeseen. Joihinkin näistä olosuhteista voidaan vaikuttaa sytytystulpan muotoilulla, kun taas toisiin ei voida vaikuttaa. Jos tarvittavaa jännitettä voidaan laskea, se tarkoittaa vähemmän räsistä sytytyspuolalle, ja tätäkin tärkeämpänä, alhaisempaa sytytyskatkojen riskiä.

### Sytytystulpan väli

Kipinän synnyttämiseen tarvittava jännite kasvaa suhteessa suurempaan sytytystulppavälisiin (Kuva 6.5). Suurempi väli tarkoittaa, että ionisoitavaa ilmaa on enemmän, ja tämä vaatii korkeampaa jännitettä.



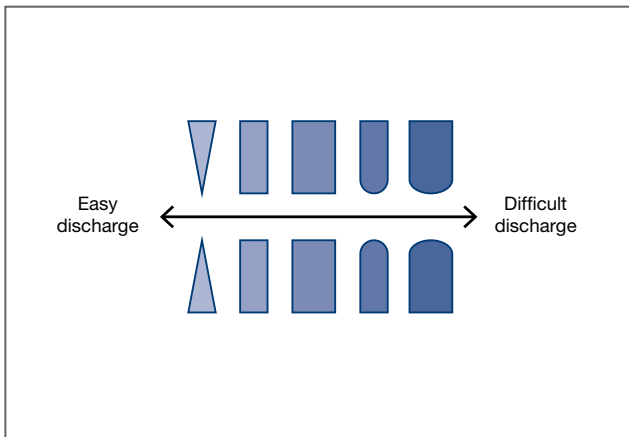


### Elektrodin muoto ja koko

Sytytystulppavälissä olevan ilman ionisaatio on helpompaa, kun ionisaatio on keskitetympää. Elektrodimuotoilussa on kaksi päätekijää, jotka auttavat keskittämään ionisaation, ja ne ovat elektrodin muoto ja koko.

Suurin tekijä on elektrodin muoto (Kuva 6.6), jossa sähköenergian purkautuminen terävästä reunasta muodostaa keskitetymmän ilman ionisaation. Kun elektrodit kuluvat, reunoista tulee pyöreämpiä, joka nostaa tarvittavaa jännitettä.

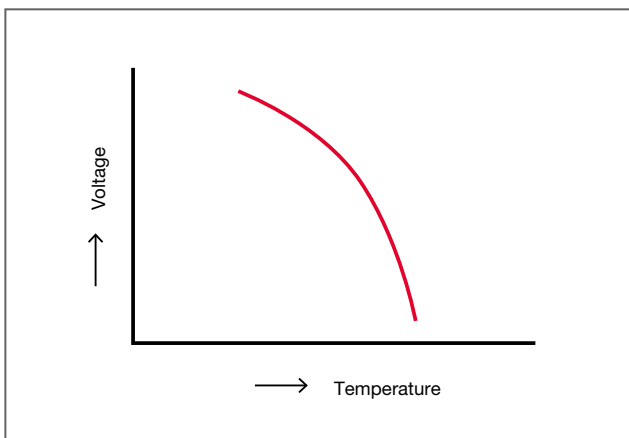
Pienemmillä elektrodeilla on pienempi pinta-ala, joka vuorostaan mahdollistaa ilman ionisaation keskittämisen, ja näin alentaa tarvittavaa jännitettä.



Kuva 6.6 Elektrodimuodot helpottavat tai vaikeuttavat sähköistä purkautumista

### Elektrodin lämpötila

Kipinän luomiseen tarvittava jännite pienenee sitä mukaan, kun elektrodin lämpötila kohoaa (Kuva 6.7). Koska elektrodin lämpötila kohoaa suhteessa kierrosnopeuteen, tarvittava jännite laskee.

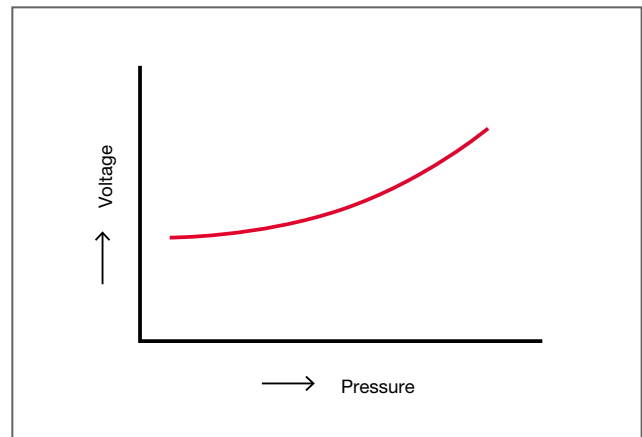


Kuva 6.7 Kipinän luomiseen tarvittava jännite nousee kohonneen elektrodilämpötilan kohdalla

### Puristusaine

Kipinän synnyttämiseen tarvittava jännite kasvaa suhteessa puristusaineeseen (Kuva 6.8). Korkeammassa paineessa, sytytystulppavälissä on enemmän ionisoitavia ilma-/ polttoainemolekyylejä, joka johtaa korkeampaan tarvittavaan jännitteeseen ionisaation saavuttamiseksi.

Korkeammassa moottorin kuormituksissa, palokammioon siirtyä enemmän ilma-/polttoaineseosta, joka johtaa korkeampaan paineeseen ja korkeampaan jännitetarpeeseen.



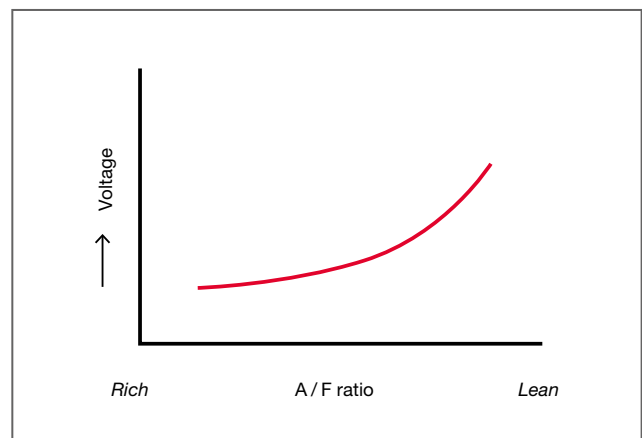
Kuva 6.8 Kipinän luomiseen tarvittava jännite on korkeampi korkeammalla puristusaineella

Korkeat puristusasteet ja turboahtajat, joista on tulossa entistä yleisimpiä nykyaikaisissa moottoreissa, nostavat myös puristusainetta, joka taas vaatii korkeampaa jännitettä ionisaatiota varten.

### Ilma-/polttoaineseossuhde

Polttoaine, erityisesti nestemuodossaan, on helpompi ionisoida kuin ilma. Rikkaammat ilma-/polttoaineseossuhteet ionisoituvat siis helpommin ja vaativat matalampia jännitteitä kuin laihat ilma-/polttoaineseossuhteet.

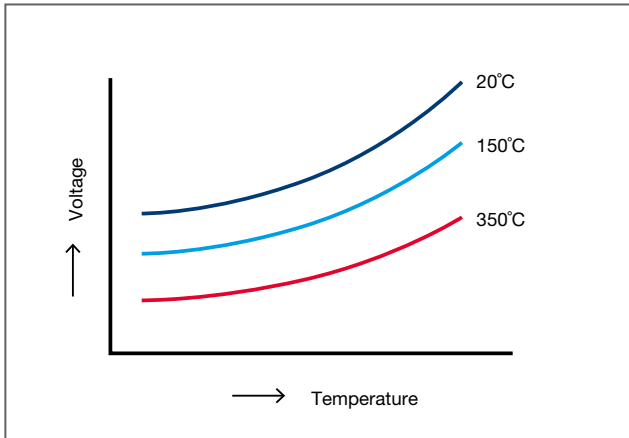
Jotkut moottorit ovat suunniteltuja toimimaan laioilla seoksilla matalan kuormituksen käyttöolosuhteissa; tästä syystä, sytytysjärjestelmän on pystyttävä antamaan korkeampi tarvittava jännite.



Kuva 6.9 Kipinän luomiseen tarvittava jännite on korkeampi laihemmille ilma-/polttoaineseossuhteilla

### Ilma-/polttoaineseoksen lämpötila

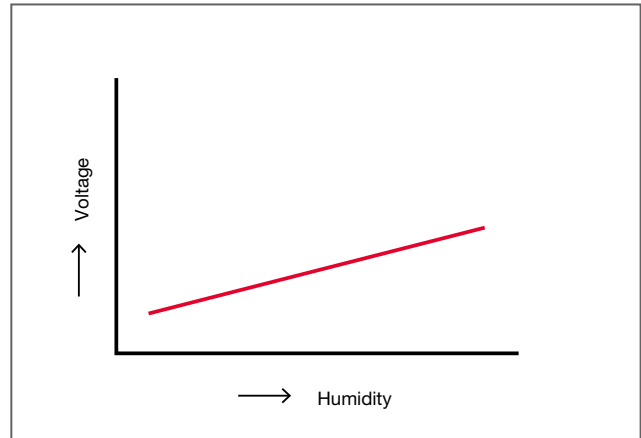
Kipinän luomiseen tarvittava jännite pienenee sitä mukaan, kun ilma-/ polttoaineseoksen lämpötila kohoaa (Kuva 6.10). Korkeammissa lämpötiloissa, ilmamolekyyleistä tulee värähtelevämpiä ja tekevät ionisaatiosta helpompaa ja alentavat tarvittavaa jännitettä.



Kuva 6.10 Kipinän luomiseen tarvittava jännite laskee, kun ilma-/ polttoaineseoksen lämpötila kohoaa

### Ilmankosteus

Kun kosteustaso nousee, elektrodilämpötila laskee, jonka vuoksi vaadittu ionisaatiojännite kohoaa jälleen (Kuva 6.11).



Kuva 6.11 Kipinän luomiseen tarvittava jännite on korkeampi korkeammalla kosteustasolla

## DENSON KOROSTUS

### DENSO-ratkaisu

Yhä korkeampien kipinän muodostamiseen tarvittavien jännitteiden ongelmien ylitsepääsemiseksi, DENSO valmistaa pienillä elektrodeilla valmistettujen sytytystulppien valikoimaa, jotka valmistetaan jalometalleilla, kuten iridiumilla.

Osa DENSO Iridium -sytytystulpista valmistetaan pienillä keskielektrodeilla, kuten patentoitu 0,4 mm Iridium, kun taas SIP -sytytystulppavalikoimassa on myös pienempi maadoituselektrodi.

Pienemmät elektrodit alentavat tarvittavaa jännitettä, ja iridium antaa korkeita lämpötiloja kestävä ja vaikeasti kuluva pinnan elektrodeille.

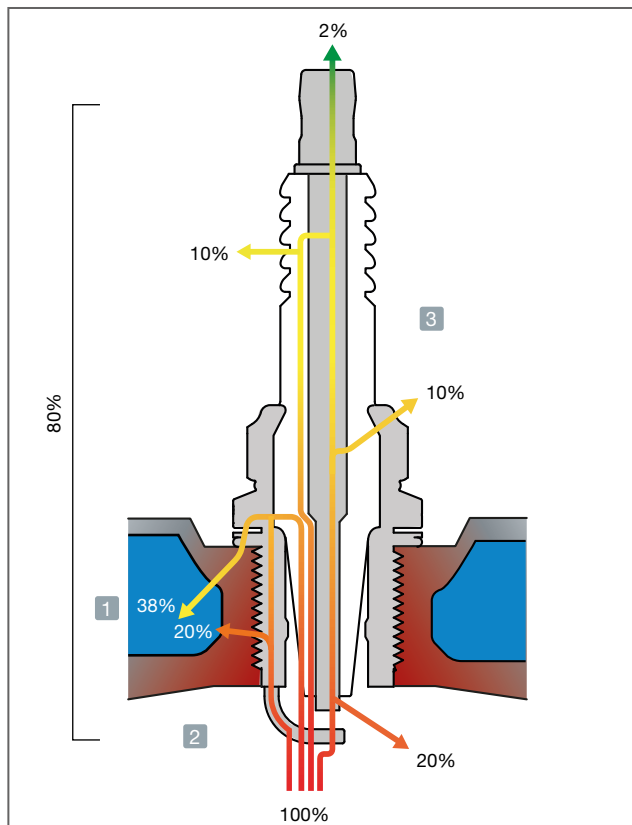
DENSO:n sytytystulppavalikoima mahdollistaa useisiin ajoneuvoihin asennettujen vakiosytytystulppien päivittämistä, joka vähentää tarvittavaa sytytysjännitettä ja antaa sytytysjärjestelmälle helpomman käyttöiän ja jopa parantaa moottorin suorituskykyä.

DENSO SIP  
-sytytystulppa



## 6.6. Lämpöväli

Sytytystulppa altistuu merkittäville palamisprosessin aiheuttamiin lämpö määrille sekä elektrodien välillä olevan kipinän synnyttämälle lämmölle. Näin ollen, on tärkeää, että riittävästi lämpöä voidaan hajauttaa, jotta sytytystulppa jäähtyy kohtuulliseen käyttölämpötilaan. Riittämätön jäähtyminen tarkoittaa, että sytytystulppa muuttuu liian kuumaksi ja aiheuttaa esisytymistä. Liiallinen jäähtyminen estää sytytystulppaa saavuttamasta vaadittua lämpötilaa, jolla se polttaa palamisreaktion kertymät, joka voi johtaa sytytystulpan likaantumiseen. Taso, jolla sytytystulppa hajauttaa lämpöä, tai jäädyttää itseään, kutsutaan sen 'lämpöväliksi'.



Kuva 6.12 Lämmön hajauttaminen sytytystulppasta

### Lämmön hajauttaminen, tai jäädyttäminen

Kuvassa 6.12 oleva piirustus osoittaa, miten sytytystulpan absorboima lämpö hajautetaan enimmäkseen moottorin jäähdytysnesteeseen (1). Loput lämmöstä hajautetaan raikkaaseen imuilma-/polttoaineseokseen (2) sekä sytytystulpan kotelon sekä eristeen läpi ympäröivään ilmaan (3).

### Oikean lämpövälän valitseminen

On olemassa lämpötilarajoja, joissa sytytystulpat voivat toimia luotettavasti ja tehokkaasti. Sytytystulppa toimii ainoastaan kunnolla, kun sen keskielektrodin lämpötila on 500°C - 950°C asteen välillä.

### Itsepuhdistuksen lämpötila

Joidenkin käyttöolosuhteiden aikana, kuten kylmäkäynnistyksen aikana, epätäydellinen palaminen voi muodostaa pieniä hiilihiukkasia, jotka voivat kertyä sytytystulpan eristekärkeen. Kun oikeanlainen sytytystulppa on asennettu, keskielektrodin tulee saavuttaa yli n. 500°C asteen lämpötilan, joka polttaa kertymät pois, ja uusia kertymiä ei muodostu eristeeseen. Tätä alemmaa lämpötilarajaa kutsutaan 'itsepuhdistuksen lämpötilaksi'.

Jos elektrodin lämpötila pysyy itsepuhdistuksen lämpötilan alapuolella, hiilikertymien muodostuminen voi luoda sähköreitit eristeen ja tulpan kotelon välille. Tämä rajoittaa tai estää kipinän syntymistä elektrodien välille.

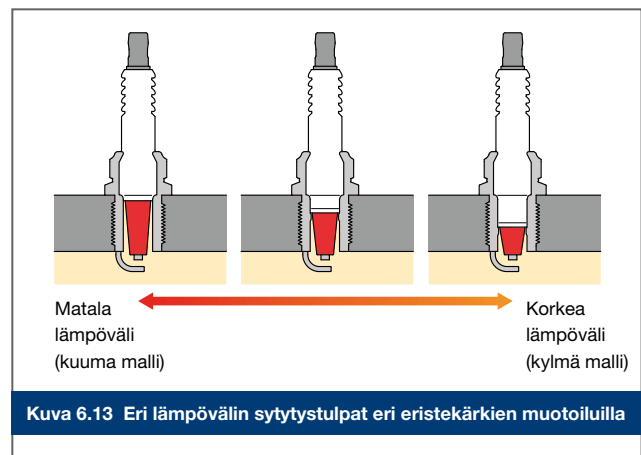
### Esisytymisen lämpötila

Kun keskielektrodi saavuttaa 950°C asteen tai korkeamman lämpötilan, elektrodista tulee niin kuuma, että se voi aiheuttaa esisytymisen (katso kohta 5.2).

### Matalan ja korkean lämpövälän sytytystulpat

Matala tai korkea lämpöväli -termit viittaavat käyttöolosuhteisiin eikä varsinaisen tulpan lämpötilaan. Matalan lämpövälän tulppa on vähäistä lämmön hajauttamista, ja sitä voidaan tästä syystä kutsua 'kuumaksi tulppaksi', joka sopii paremmin matalan lämpötilan käyttöolosuhteisiin. Korkean lämpövälän tulppa on korkeampaa lämmön hajauttamista, ja sitä voidaan tästä syystä kutsua 'kylmäksi tulppaksi', joka sopii korkeamman lämpötilan käyttöolosuhteisiin.

Kuvan 6.13 esimerkit osoittavat eristekärjen eri pituuksia, joita käytetään kolmen eri lämpövälän sytytystulppien valmistuksessa.



Kuva 6.13 Eri lämpövälän sytytystulpat eri eristekärkien muotoiluilla

### Matalan lämpövälän (kuuma) sytytystulppa

Matalan lämpövälän sytytystulppilla on pitkä eristekärkiosio. Pitkä kärki tarjoaa pitkän tien, jota pitkin lämpö voi siirtyä tai hajaantua tulpan kotelolle ja näin alentaa lämmön hajautumista sekä saa keskielektrodin lämpötilan nousemaan helposti. Moottoreissa, joissa palamisen muodostama lämpö on yleisesti matalaa, matalan lämpövälän tulppa lämpenee silti ja saavuttaa itsepuhdistuksen lämpötilan nopeasti estäen hiilikertymisen muodostumisen eristeeseen.

### Korkean lämpövälän (kylmä) sytytystulppa

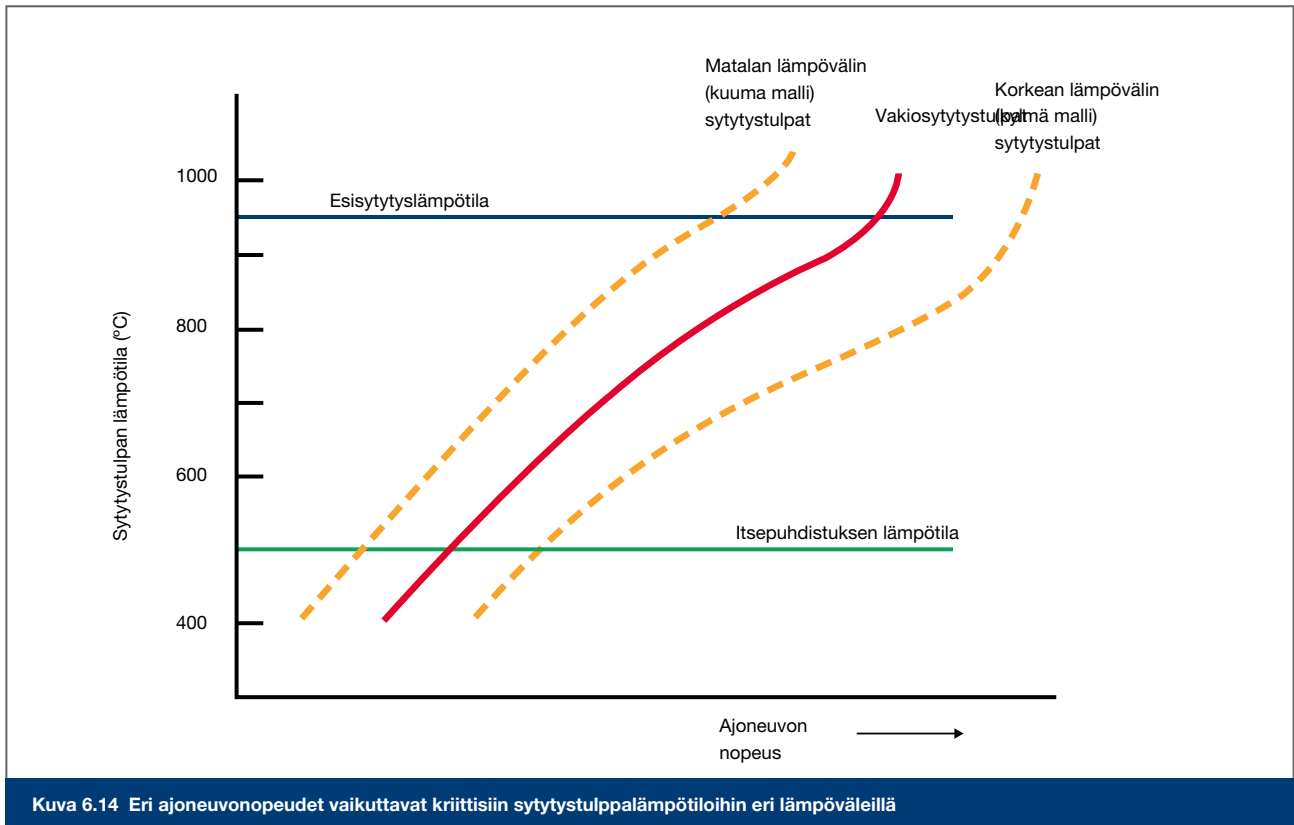
Verrattuna matalan lämpövälän sytytystulppiin, korkean lämpövälän sytytystulppilla on lyhyt eristekärkiosio. Lyhyempi kärki tarjoaa lyhyemmän lämpöpolun, joka hajauttaa lämpöä nopeammin. Keskielektrodin lämpötila ei nouse niin helposti. Mutta, koska korkean lämpövälän tulppia asennetaan moottoreihin, joissa palamisen tuottama lämpö on yleisesti korkeampi, palamisen aiheuttama lämpö saa eristeen silti saavuttamaan itsepuhdistuksen lämpötilan.

**Korkean lämpövälän sytytystulpat ovat suunniteltuja käytettäviksi korkeanopeuksisten, korkean suorituskyvyn moottoreissa. Kun moottoria muokataan tarjoamaan korkeampaa tehoa ja parannettua suorituskykyä, korkeamman lämpövälän (kylmempää) tulppaa voidaan tarvita, jotta johdonmukaisemmin korkeampia palamislämpötiloja voidaan käsitellä (katso kohta 9.6).**

### Muut lämpövälin vaatimuksiin vaikuttavat tekijät

Sytytystulpan lämpöväliin vaikuttaa suoraan palokammion lämpötilat; eli tapa, jolla ajoneuvoa ajetaan sekä ajoneuvon paino ja koko vaikuttavat moottorin kuormitukseen, ja näin ollen myös palamislämpötiloihin.

Kuvassa 6.14 olevat kaaviot osoittavat ajoneuvon nopeuden ja kriittisten lämpötilojen (itsepuhdistuksen ja esisytytyksen lämpötilat) yhteydet matalan ja korkean lämpövälin sytytystulppiin.



Kuva 6.14 Eri ajoneuvonopeudet vaikuttavat kriittisiin sytytystulppälämpötiloihin eri lämpöväleillä

## 6.7. Liekin muodostumiseen ja kasvuun vaikuttava liekin tukahduttaminen

### Liekin muodostuminen ja kasvu

Kun kipinä muodostuu sytytystulpan elektrodeilla, kipinän korkealämpötila synnyttää pienen palavan ilma-/polttoaineseoksen liekkiytimen (katso kohta 5.1). Liekin ytimen lämpö (noin 3 000°C) sytyttää ilma-/polttoaineseoksen seuraavan kerroksen.

Liekki kasvaa aluksi sytytystulpan elektrodien välisellä välillä, ja sitten laajenee sytytystulpan välistä ja jatkaa itsenäisenä liekinä koko palokammion läpi.

Liekin edusta tulee ihanteellisesti kasvamaan johdonmukaiseen ja tasaiseen tahtiin, jotta kaikki ilma-/polttoaineseoksesta palaa progressiivisesti ja nopeasti. Liekin tasainen kasvu riippuu palokammion muodosta, turbulenssista ja palokammiossa olevasta ilma-/polttoaineseoksesta.

On kuitenkin mahdotonta luoda täysin tasaista liekin kasvua, koska on mahdotonta luoda palokammion täydellistä muotoa, jossa olisi silti kaikki venttiilit, sytytystulppa ja, valinnan mukaan, myös eriste. Liekin kasvua voi osittain keskeyttää tai rajoittaa, ja liekin voi jopa sammuttaa hajauttaessa lämpöä liekistä kylmään pintaan.

**Turbulenssi auttaa altistamaan koko seoksen liekin edustalle, joka auttaa polttamaan kaiken palokammiossa olevan ilma-/polttoaineseoksen.**

### Liekin tukahduttaminen ja elektrodin lämpötila

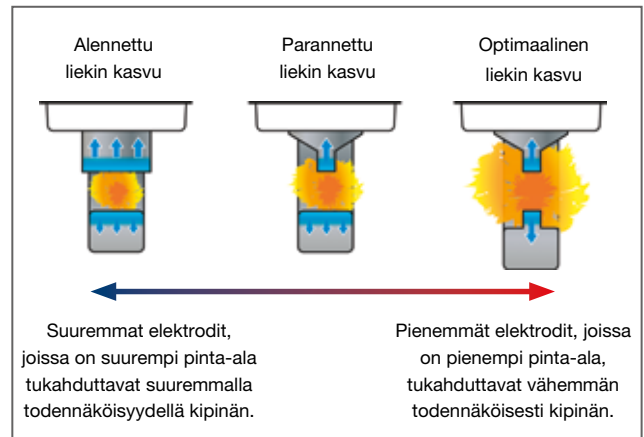
Ennen kuin liekki on itsenäinen, kun liekin ydin aluksi luodaan, se on erittäin lähellä elektrodeja, joilla on matalampi lämpötila kuin liekillä; tämä matalampi lämpötila siirtää lämpöä pois liekin ytimestä. Jäähdyttävä vaikutus voi itse asiassa sammuttaa liekin, joka tunnetaan 'tukahduttamisena'.

Koska kylmät elektrodit absorboivat enemmän lämpöenergiaa liekistä kuin kuumat elektrodit, sytytystulpan ja elektrodien muotoilu on annettava elektrodien ylläpitää riittävää lämpöä vähentääkseen tukahduttamista.

Tukahduttamista voidaan vähentää sytytystulpan muotoilulla; elektrodin muodolla ja sytytystulpan välillä on merkittävä vaikutus liekin tukahduttamiselle.

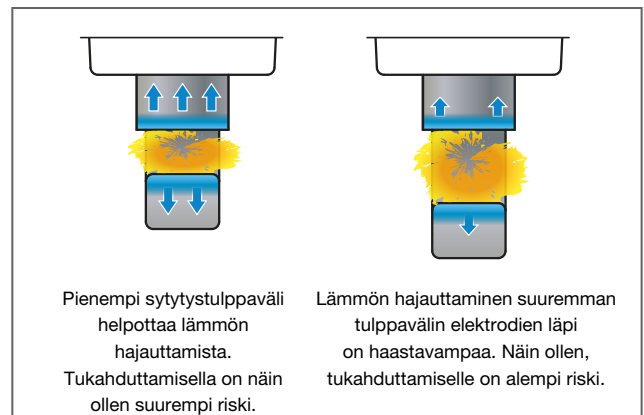
**Liekin tukahduttaminen voi myös tapahtua, kun kasvava liekkiedusta on lähellä palokammion seiniä. Jos moottori on kylmä (kuten kylmäkäynnistyksen jäljiltä), sylinterissä olevat matalalämpöiset pinnat voivat (osittain) tukahduttaa liekin (katso kohta 5.3).**

**Elektrodin muoto.** Kuvassa 6.15 näytetyt esimerkit kuvastavat, miten suurempi elektrodi siirtää enemmän lämpöenergiaa liekin ytimestä suuremman massan ja suuremman pinta-alan vuoksi. Kun pienempää keskielektrodiä käytetään, jossa on pienempi massa ja pienempi pinta-ala, se siirtää vähemmän lämpöä liekin ytimestä ja näin alentaa liekin tukahduttamisen mahdollisuutta. Pienempi maadoituselektrodi vähentää myös liekin tukahduttamisen mahdollisuutta.



**Koko 6.15 Eri kokoisten elektrodien muodostama tukahduttamisvaikutus**

**Sytytystulpan väli.** Pienen elektrodivälän kohdalla (Kuva 6.16), elektrodit ovat lähellä liekin ydintä, jolloin lämpö pystyy helposti siirtymään liekistä elektrodeihin; näin ollen, tukahduttamisvaikutus on suurempi. Suuremmalla sytytystulppavälillä on enemmän tilaa, joka vähentää liekin muodostumisessa tapahtuvaa häiriötä.



**Kuva 6.16 Pienten ja suurten tulppaväliden tukahduttamisen riski**

## DENSON KOROSTUS

DENSO valmistaa valikoiman sytytystulppia, joissa on erilaisia elektrodimuotoja ja -kokoja, jotka auttavat vähentämään tukahduttamisvaikutuksia erilaisissa moottorikäyttökohteissa. Nämä sytytystulpan eri muotoilut ovat esitettyinä luvussa 7.

# 7. DENSO -TEKNOLOGIAT: SYTYTYSTULPPIEN SUORITUSKYVYN PARANTAMINEN

## 7.1. DENSO-kehitys

DENSOlla on pitkä historia sytytystulppien valmistuksessa, jotkut kehityskohteista ovat ainutlaatuisia DENSOlle, kun taas toiset ovat melkein yleismaailmallisesti käytössä sytytystulppamarkkinoilla.

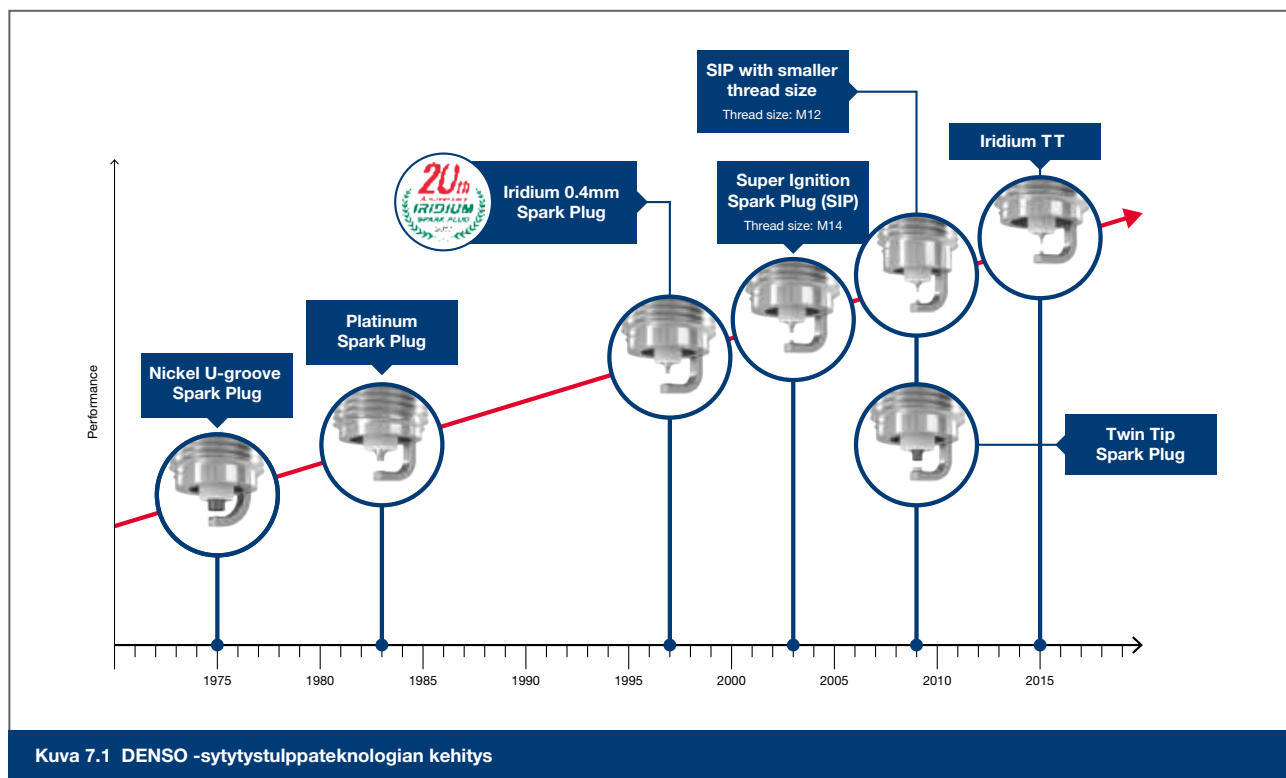
Vuonna 1960, DENSO alkoi valmistamaan kupariytimellä olevia sytytystulppia kaksi- ja nelipyöräisille ajoneuvoille. Parannettua suorituskykyä varten, U-urallinen maadoituselektrodi patentoitiin vuonna 1972 ja lanseerattiin vuonna 1975. Pidentääkseen sytytystulppien käyttöikää, kaksoisplatinasytytystulpat lanseerattiin vuonna 1983. Vuonna 1997, DENSO lanseerasi Iridium Power -sytytystulpan, joka on varustettu maailman pienimmällä iridiumelektrodilla.

Super Ignition (SIP) -tulpan kehitys nähdään yhtenä tärkeimpänä läpimurtona kohti parempaa syttyvyyttä.

SIP-teknologia johti Nickel TT:n (2009) ja Iridium TT:n (2015) kehitykseen, jotka suunniteltiin erityisesti jälkimarkkinoille.

Pienempien moottoreiden kasvava kehityskulku on johtanut sytytystulppien kehitykseen, joissa on pidempi mutta kapeampi lanka, kuten 12 millimetrinen. Ohuempilankaiset sytytystulpat antavat lisätilaa moottorin jäädytysainereiteille sekä suuremmille imu- ja pakoventtiileille.

Näiden pienempien sytytystulppien, kuten DENSO:n valmistamien sytytystulppien, on pystyttävä tarjoamaan samanlaista tai parempaa kipinäsuorituskykyä verrattuna perinteisiin sytytystulppakokoihin; mutta paljon pienemmällä sytytystulppakotelolla.



## DENSON KOROSTUS

### Nolla puutetta

DENSO on toiminut esimerkkinä sytytystulppateknologialle vuodesta 1959. Kaikki sytytystulppavaliikoimat kehitetään sisäisesti, ja valmistetaan omilla IATF 16949 -sertifioituilla tehtailla maailmanlaajuisesti - ja standardinamme on 'nolla puutetta'. Tarjoamme myös samaa erinomaista laatua sekä alkuperäislaitevalmistajille että jälkimarkkinoille, varmistaen optimaalisen moottorisuorituskyvyn joka kerta.



7.1. DENSO-kehitys	42
7.2. Elektrodimateriaalit	43
7.3. Keskimateriaalit	44
7.4. Maadoituselektrodi	45
7.5. Muita DENSO-sytytystulpissa käytettyjä teknologioita	47
7.6. Tulevaisuuden kehityssuunnat	48

## 7.2. Elektrodimateriaalit

Sytytystulpan elektrodien asemoiminen palokammioon altistaa ne äärimmäisille lämpötiloille ja paineelle sekä toistuville ja nopeille lämpötila- ja painemuutoksille. Jopa näissä karuissa toimintaolosuhteissa, elektrodien on kuitenkin jatkettava luotettavan ja korkean energian kipinän antamista miljoonien palamiskierrosten ja useiden tuhansien ajokilometrien ajan (jopa 180 000 km joidenkin sytytystulppamallien kohdalla).

Kuvassa 7.2 oleva taulukko korostaa joidenkin eri materiaalien eri laatuja: jossa nikkeliä (usein nikkeli-seokset), platinaa ja iridiumia käytetään laajasti DENSON sytytystulppien elektrodien valmistuksessa.

Vaikka taulukon mukaan, platinalla on korkein hapettumisen sietokyky kolmen tärkeimmän elektrodimateriaalin kesken, iridium tarjoaa parhaan kokonaissuorituskyvyn korkean sulamispisteensä ja korkean vahvuutensa ja kovuutensa vuoksi.

	Iridium (Ir)	Platina (Pt)	Nikkeli (Ni)	Kulta (Au)	Hopea (Ag)
Sulamispiste (°C)	2454	1769	1453	1063	960
Vahvuus (kgf/mm <sup>2</sup> )	112	14	68	13	13
Sähkövastus ( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ )	5,3	10,6	6,8	2,3	1,6
Kovuus (HV ; 20°C)	240	40	160	25	26
Hapettumisen sietokyky	+	++	+	++	++

Kuva 7.2 DENSO -sytytystulppateknologian kehitys

### Sulamispiste

Palamisen ja sähköisen purkautumisen aikana kohdattujen korkeiden lämpötilojen ja lämmön vuoksi, elektrodeissa käytetyillä materiaaleilla on oltava korkea sulamispiste, jotta elektrodin materiaali ei sula.

### Vahvuus

Vahvemmat materiaalit mahdollistavat vakaan suorituskyvyn kipinälle ja parantavat pitkäaikaista kestävyyttä, erityisesti kun niitä käytetään korkean kuormituksen ajo-olosuhteissa, jotka nostavat sytytystulpan elektrodeihin kohdistuvaa fyysistä kuormitusta.

### Hapettumisen sietokyky

Hapettumisen sietokyky, erityisesti korkeissa lämpötiloissa, on kriittistä, jotta elektrodien kulumista voidaan vähentää.

**Iridiumilla ei ole erinomaista hapettumisen sietokykyä, mutta sekoittamalla iridium pieneen määrään rodiumia, voidaan luoda seos, jolla on samanlainen hapettumisen sietokyky kuin platinalla.**

### Sähkövastus

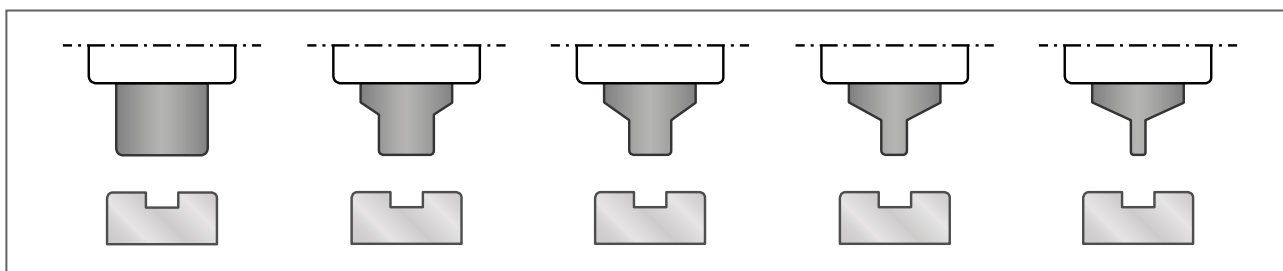
Metalleilla on yleisesti erittäin matala sähkövastus, joka ei vaikuta heikkenevästi kipinää luovaan sähkövirtaan tai jännitteeseen. Sytytystulpan käyttöä aikana, elektrodimateriaalien on kuitenkin ylläpidettävä erittäin matalaa sähkövastustaan, jopa silloin kun elektrodit altistuvat karuille toimintaolosuhteille.

### 7.3. Keskimateriaalit

Polttomootoreiden jatkuva kehitys, erityisesti parannetun tehon, alennetun polttoainekulutuksen ja alennettujen päästöjen osalta, johtaa korkeampiin palamislämpötiloihin ja sylinteripaineisiin, sekä kokonaisparannuksiin palamisreaktion tehokkuudessa. Tukeakseen näitä moottorikehityksiä, DENSO -sytytystulpat ovat myös kehittyneet mahdollistamaan kipinöiden toimituksen, joissa on korkeampi energiamäärä.

Keskielektrodin parannettuihin malleihin kuuluu pienemmät halkaisijat (Kuva 7.3), jossa kestävämpien materiaalien käyttö on mahdollistunut. Nämä materiaalit mahdollistavat alempien jännitteiden käytön tarjotakseen samanlaisia tai suurempia energiatasoja.

Pienemmillä keskielektrodeilla (ja maadoituselektrodeilla), liekin tukahduttamisriski on pienempi sytytyksen ja palamisreaktion aikana; mutta pienemmät elektrodit vähentävät myös lämmönsiirtoa liekin luota, joka vähentää liekin tukahduttamista.



Kuva 7.3 Esimerkkejä erityyppisistä ja erikokoisista keskielektrodeista

#### Nikkelikeskielektrodi

DENSO-sytytystulppia on valmistettu usean vuoden ajan nikkelivalmisteisilla keskielektrodeilla, joiden leveys on yleensä 2,5 mm (Kuva 7.4) Vakiot nikkelielektrodit ovat erittäin luotettavia ja edullisia, ja niitä käytetään vielä nykyäänkin.

#### Platinakeskielektrodi

Platinaa käytetään keskielektrodeissa korkeiden lämpötilojen sietokykyänsä ansiosta. Platinakärki hitsataan elektrodiin, ja sen korkean lämpötilan sietokyvyn ansiosta, elektrodikärjen halkaisija voidaan pienentää 1,1 millimetriin (Kuva 7.5), ja se silti tarjoaa pidempää käyttöikää kuin nikkelisytytystulpat. Platinakeskielektrodit olivat erittäin suosittuja 80- ja 90-luvulla niiden erinomaisen suorituskyvyn vuoksi, mutta sen jälkeen ylivoimaiset iridiumkeskielektrodit ovat korvanneet ne.



Kuva 7.4 Nikkelivalmisteinen keskielektrodi – 2,5 mm halkaisija



Kuva 7.5 Platinavalmisteinen keskielektrodi – 1,1 mm halkaisija

## DENSON KOROSTUS

DENSO - Iridium -sytytystulpilla on markkinoiden korkein iridiumpitoisuus, jossa iridiumia on noin 90% ja rodiumia 10%. Muut sytytystulppavalmistajat usein markkinoivat sytytystulppiensa olevan valmistettuja 'iridiumista', mutta tosi asiassa ne ovat valmistettuja seoksesta, joka koostuu pääasiassa platinasta sekä vain pienestä määrästä iridiumia. Tämä seos ei mahdollista samoja pieniä elektrodeja, ja voi johtaa lyhyempään käyttöikään.

#### Iridium-keskielektrodi

DENSON iridiumkeskielektrodeissa on iridiumseos, joka on markkinoiden korkeimmanlaatuinen iridium. DENSON patentoitujen valmistusteknologioiden ansiosta, yritys pystyy valmistamaan elektrodeja, joiden halkaisijat ovat jopa 0,7 mm, 0,55mm ja jopa ainutlaatuisia elektrodeja patentoidulla 0,4 mm:n halkaisijalla (Kuva 7.6).

Iridium on kovin ja korkeimpia lämpötiloja kestävä sytytystulppissa koskaan käytetty materiaali, mutta puhtaalla iridiumilla ei ole riittävää korkean lämpötilan hapettumisen sietokykyä sytytystulppien elektrodeille. Tästä syystä, DENSO on kehittänyt iridiumseoksen, joka sisältää rodiumia hapettumisen sietokyvyn parantamiseksi. Tämä uusi seos on DENSON patentoitu materiaali.

Iridium on erittäin kova materiaali. Menneisyydessä, sintraus oli ainoa saatavilla oleva valmistusprosessi iridiumille. Tämän tyyppinen valmistus oli kallista, ja asetti rajoituksia muotoon sekä mittoihin, joka tarkoitti, ettei sitä voitu käyttää sytytystulppien valmistuksessa. DENSO on kuitenkin kehittänyt uuden jalometallitekniikan, jonka avulla iridiumia voi muotoilla ja käyttää sulassa muodossaan, mahdollistaen iridiumkeskielektrodien valmistuksen. Iridiumelektrodi kiinnitetään patentoidulla 360° laserhitsausprosessilla.

Näiden uusien teknologioiden avulla, DENSO oli ensimmäinen iridiumelektrodeilla varustettujen sytytystulppien valmistaja.

**Sen korkean sulamispisteen ja erinomaisen syöpymisen sietokyvyn vuoksi, iridiumia käytetään laajasti sellaisilla aloilla, joissa on käytössä huippuluokan tekniikka, kuten avaruus- ja lääkealalla, sekä koroissa.**



Kuva 7.6 Iridiumkeskielektrodi – 0,4 mm halkaisija

## 7.4. Maadoituselektrodi

Maadoituselektrodi työntyy esille palokammiossa, ja tämän vuoksi sen on kestävä korkeita lämpötiloja ja äärimmäisiä lämpötilavaihteluita. Maadoituselektrodilla on myös tärkeä vaikutus kipinän suorituskykyyn sekä palamisreaktioon, ja näin ollen moottorin kokonaissuorituskykyyn. Kuten keskielektrodin kohdalla, maadoituselektrodin materiaali on merkittävä sytytystulpan pitkän käyttöiän takaamiseksi; näin ollen, DENSO on myös kehittänyt useita teknologioita, joita käytetään maadoituselektrodille.

#### U-ura

DENSO U-ura -elektrodi (Kuva 7.7) lisää maadoituselektrodiin reunat, jotka vähentävät tarvittavaa jännitettä. Se antaa myös lisätilaa kipinän lähellä olevalle suuremmalle ilma-/polttoaineseoksen tilavuudelle, joka auttaa jopa laihojen seosten sytytyksessä. Sytytysenergia on suurempi, joka vähentää hiiliikaantumista, ja sulavampi kiihdytyksen suorituskyky saavutetaan.

#### Kartioleikkaus

Kartioleikatussa maadoituselektrodissa (Kuva 7.8), elektrodin kärkikoko on pienennetty, joka vähentää tukahduttamisvaikutusta sekä parantaa syttyvyyttä.



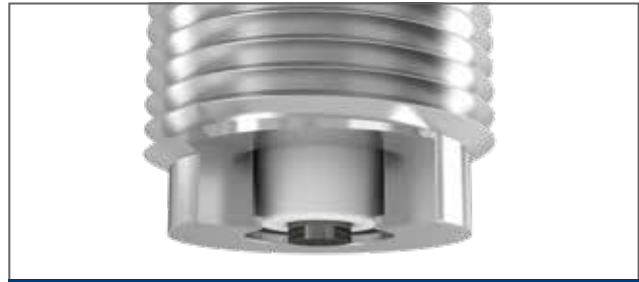
Kuva 7.7 U-ura maadoituselektrodi



Kuva 7.8 Kartioleikattu maadoituselektrodi

### Pintapurkauminen kiertomäntämoottoreille

Pintapurkaussytytystulppia (Kuva 7.9) käytetään pääsääntöisesti kiertomäntämoottoreissa, joissa perinteiset maadoituselektrodit eivät sovi palokammion malliin. Kipinä tapahtuu keskielektrodin ja maadoituselektrodin sisäreunan välillä.



Kuva 7.9 Pintapurkautuva maadoituselektrodi

### Sivuelektrodit

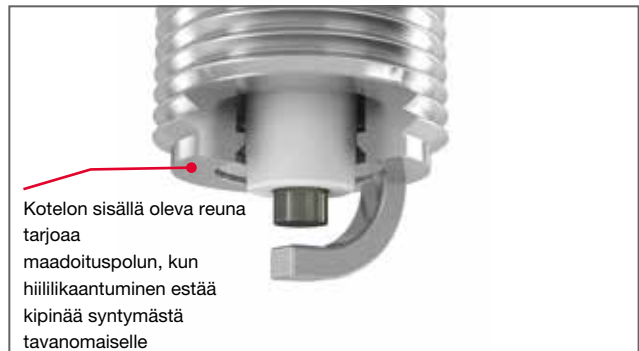
Tämä sytytystulppamuotoilu (Kuva 7.10) tarjoaa optimaalista suorituskykyä käytettäessä suoraruiskumoottoreiden kanssa, joissa ilma-/polttoaineseos voi sytytystulpan läheisyydessä olla aika rikasta, joka vuorostaan johtaa sytytystulpan hiillilikaantumiseen. Normaalin toiminnan aikana, kipinä luodaan pääelektrodin ja maadoituselektrodin välillä; mutta likaantuessa, kipinä siirtyy sivuelektrodeihin ja polttaa hiilen pois (katso Kuva 10.3).



Kuva 7.10 Sivuelektrodit

### Puolipintasytytystulppa

Puolipintapurkauminen sytytystulpan käyttö parantaa syttyvyyttä ja likaantumisen sietokykyä (Kuva 7.11). Kotelon sisäpuolella oleva reuna toimii samalla tavalla kuin sivuelektrodit. Kun hiilikertymä estää kipinän syntymistä normaalille maadoituselektrodille, tämä reuna antaa vaihtoehtoisen maadoitusreitit. Tämä vaihtoehtoinen maadoitusreitti antaa kipinän polttaa pois hiillilikaantumisen ja antaa kipinän jälleen siirtyä maahan normaalin maadoituselektrodin kautta.



Kotelon sisällä oleva reuna tarjoaa maadoituspolun, kun hiillilikaantuminen estää kipinää syntymästä tavanomaiselle maadoituselektrodille

Kuva 7.11 Puolipintainen väli

### Monimaadoituselektrodi

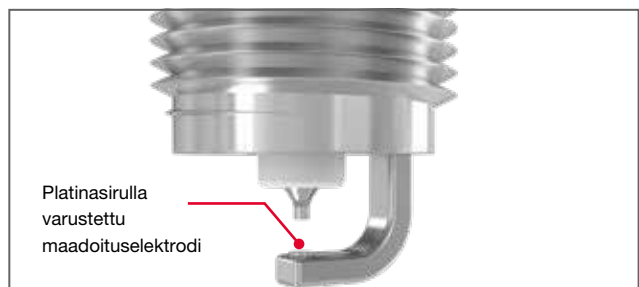
Nikkelitulppien kohdalla, käyttöikä voi helposti pidentää lisäämällä ylimääräisiä maadoituselektrodeja. Tämän tyyppinen DENSO -sytytystulppa on saatavilla kaksinkertaisilla tai kolminkertaisilla maadoituselektrodeilla, joita pidetään kustannustehokkaana ratkaisuna sytytystulpan käyttöiän pidentämiselle (Kuva 7.12). Monimaadoituselektrodit eivät kuitenkaan ole hyödyllisiä palamisreaktion suorituskyvylle. Platinasirun käyttö maadoituselektrodissa on tästä syystä pidemmälle käyttöiälle suositeltavampi ratkaisu.



Kuva 7.12 Monimaadoituselektrodit

### Platinasirulla varustettu maadoituselektrodi

Platinalla on korkea syöpymisen sietokyky ja kestää äkillisiä lämpötilamuutoksia. Se nostaa sytytystulpan käyttöikää korvaamalla sitä suorituskykyyn. Platinasirulla varustetut maadoituselektrodit yhdistetään aina platina- tai iridiumkeskielektrodiin.



Platinasirulla varustettu maadoituselektrodi

Kuva 7.13 Platinasirulla varustettu maadoituselektrodi

### Super Ignition Plug (SIP)

DENSON julkaisemana vuonna 2003, tämän vallankumouksellisen iridiumsytytystulpan maadoituselektrodissa on käytössä DENSON oma platinateknologia ja se on neulamallinen 0,7 - 1,0 mm halkaisijalla. Tämä pienen halkaisijan maadoituselektrodi antaa vertaamattoman vähennyksen tukahduttamistoiminnoissa sekä rajoittamattoman liekin kasvun. Tämä pienen halkaisijan maadoituselektrodi yhdistetään aina iridiumkeskielektrodiin (Kuva 7.14).



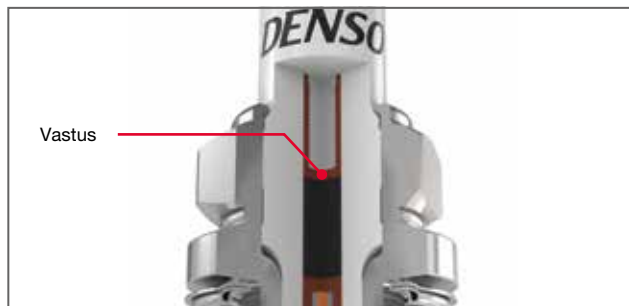
Kuva 7.14 Super Ignition -sytytystulppa

## 7.5. Muita DENSO-sytytystulpissa käytettyjä teknologioita

### Vastustulppa

Lisäämällä 5k $\Omega$  -vastuksen liittimen ja keskielektrodin välille, olemme luoneet tulpan, joka tuottaa vähemmän sähkömagneettista häiriötä sytytyksen aikana. Koska ajoneuvoissa on yhä enemmän sähkölaitteita, kaikkiin uusiin autoihin on nykyään asennettu vastustulpat vakiona (Kuva 7.15).

Vastus ei vaikuta jännitteeseen, ja vähentää ainoastaan huippusähkövirtaa vähentäen samalla sähkömagneettista häiriötä vaikuttamatta kipinän suorituskykyyn.



Kuva 7.15 Vastustulppa

### Pidentetty tai ulkoneva sytytystulppa

Pidentämällä elektrodeja (Kuva 7.16), kipinä asemoituu lähemmäksi palokammion keskiosaa. Kipinän keskeisestä asemasta voi olla hyötyä sellaisten moottoreiden kohdalla, joissa on vaikea syttyvyys, kuten matalatehoiset ja matalapuristusmoottorit, jotka toimivat yleensä alemmissa palamislämpötiloissa. Koska polku elektrodilta kotelolle on paljon pidempi, tämän tyyppinen sytytystulppa on ainoastaan saatavilla matalilla lämpöväleillä.



Kuva 7.16 Pidentetyt tai ulkonevat elektrodit

### Kosketussuoja

Pidentetty kosketussuoja mahdollistaa kipinän asennon pidentämisen (Kuva 7.17). Kuten ulkonevissa sytytystulpissa, tämä tulppa ulottuu syvemmälle palokammioon; mutta suojaamalla kosketussuojaa, se kestää korkeampia lämpötiloja ja tehoja paremmin. Kosketussuojatut sytytystulpat ovat saatavilla korkeammilla lämpöväleillä kuin pidentetyt tai ulkonevat sytytystulpat.



Kuva 7.17 Kosketussuoja

### Kartioistukkatulpat

Kartioistukkatulpat ovat yksinomaan ei-japanilaisille ajoneuvoille, joissa sytytystulppa ei käytä tiivistettä (Kuva 7.18). Se on suurimmaksi osaksi mieltymyskäyttöön, käyttäkö moottorinvalmistaja kartioistukkasytytystulppia vai tiivisteellä varustettuja sytytystulppia.



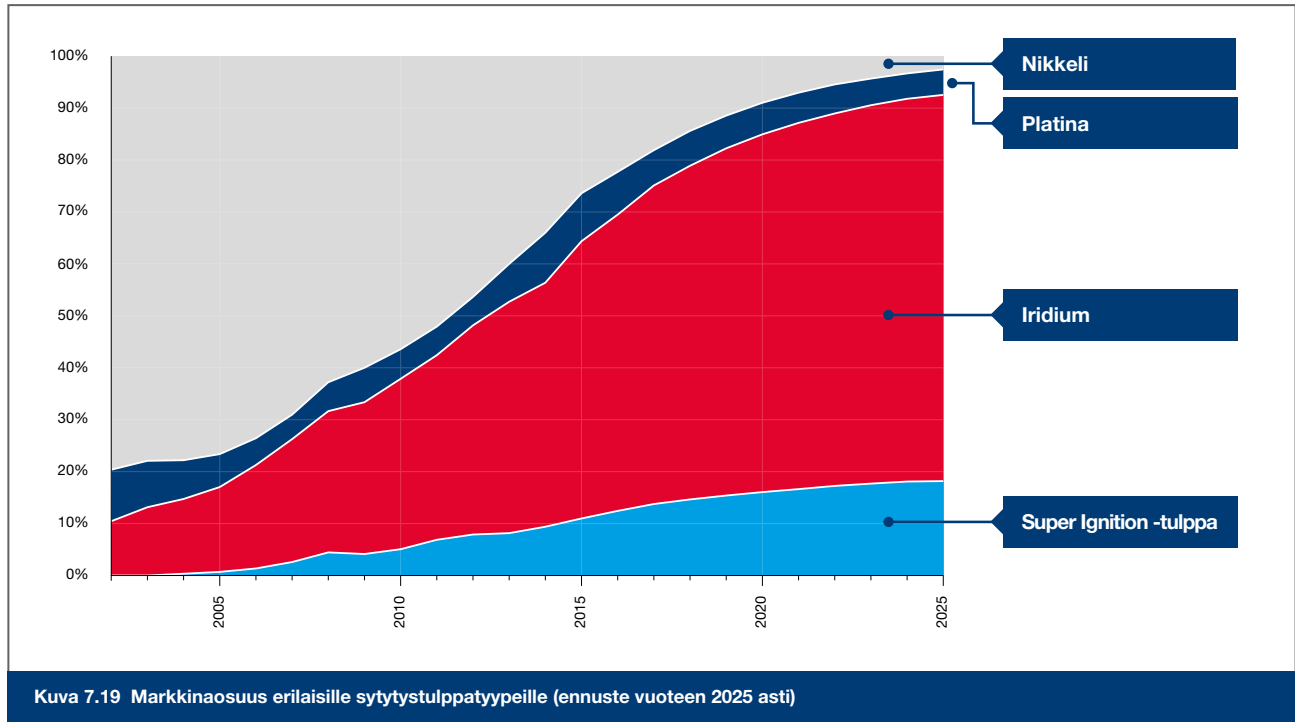
Kuva 7.18 Kartioistukkasytytystulpat

## 7.6. Tulevaisuuden kehityssuunnat

### Yleiskatsaus

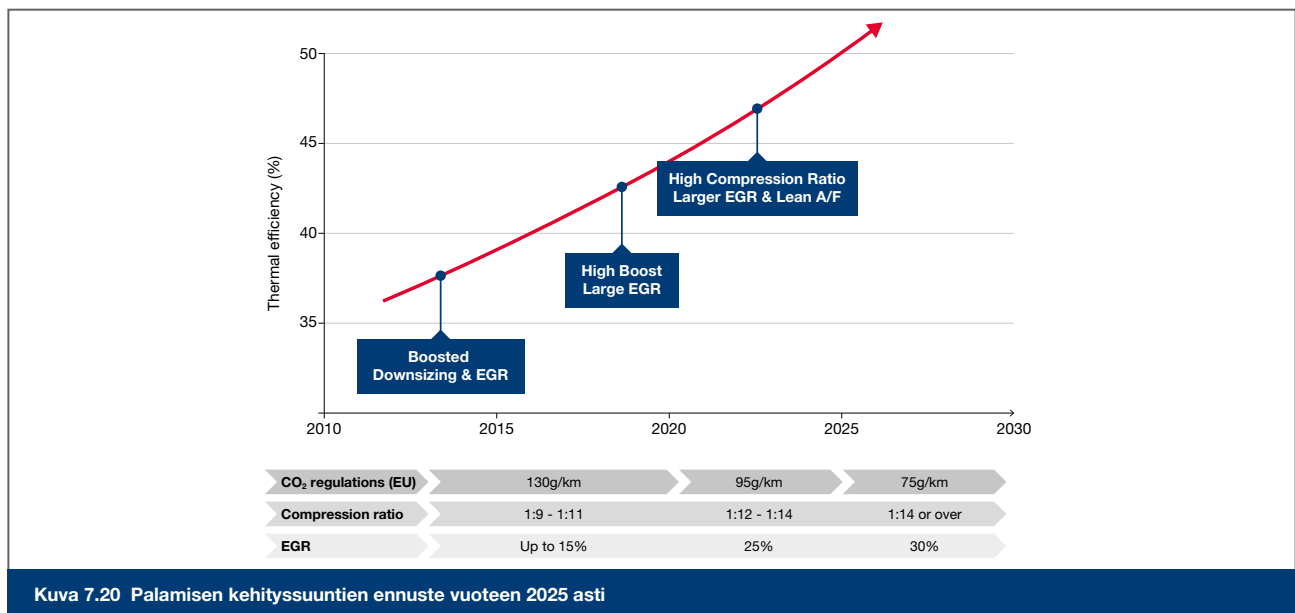
Tällä hetkellä, yli 75% kaikista uusista rekisteröidyistä bensiinijoneuvoista käyttävät iridiumsytytystulppia (Kuva 7.19). Odotamme tämän määrän nousevan entisestään, kun päästösäädökset tiukentuvat.

Kuvassa 7.20 näkyy karkea ennuste moottorin palamiseen liittyvistä kehityssuunnista, jotka ottavat huomioon EU CO<sub>2</sub> -päästösäädökset, puristussuhteet ja EGR-arvot vuoteen 2025 asti.



Täyttääkseen entistä tiukemmat CO<sub>2</sub> -tavoitteet, autovalmistajat ovat löytäneet tapoja, joilla parantaa polttomoottorin tehokkuutta. Bensiinimoottoreissa, tämä onnistuu käyttämällä useita eri teknologioita, kuten moottorin pienentäminen, korkea pakokaasun takaisinkierrätys (EGR) sekä laihat seokset. Vaikka näistä kehittyvistä teknologioista on kirjoitettu osiossa 5.5, on syytä lyhyesti korostaa, miten ne vaikuttavat sytytystulpan muotoiluun, kuten sytytystulppien kyky kestää korkeampia jännitteitä, jotka ovat yli 45kV.

Johtavana autoalan teknologioiden kehittäjänä ja keksijänä, DENSO pysyttelee polttomoottorimuotoillun eturintamalla varmistaakseen, että sen tuotteet tukevat kohoavan moottoritehokkuuden, tehon ja alempien päästöjen kysyntää.



### Pientäminen

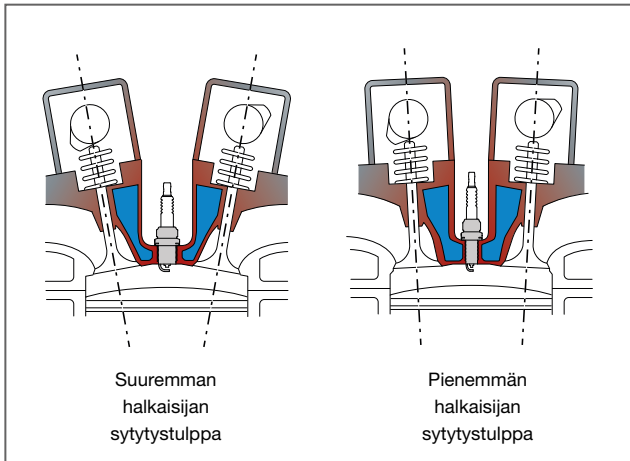
Valmistajat ovat jo jonkin aikaa kehilleet pienempiä moottoreita, joissa on suhteellisen pieni moottorin iskutilavuus, mutta tämä on yhdistettävä korkeisiin tehoihin, jotka usein saavutetaan turboahtauksella.

Pienennettyyn moottoriin liittyy joitakin ainutlaatuisia haasteita, kuten pakkaaminen (Kuva 7.21). Pienempään sylinterin kanteen on silti asennettava 4 suurta venttiiliä kunnollista hengittämistä varten, sekä sytytystulppa ja usein polttoaineruisku, mutta siinä on silti oltava jäähdystynestekanavat, jotta kaikki saadaan pidettyä toivotussa lämpötilassa. Yksi pakkaamisen parannusratkaisuista on käyttää kapeita sytytystulppia, joissa on pitkät langat. Niitä on jo jonkin aikaa onnistuneesti käytetty moottoripyörämoottoreissa, mutta nyt niitä käytetään myös autoissa.

Pientäminen ja korkea teho liikkuvat käsi kädessä sylinterin korkeiden paineiden kanssa, joko korotetuille turboahtaajan paineille tai korkeammilla puristusasteilla. Korkeammat paineet tekevät kuitenkin ilman ionisoimista ja kipinän synnyttämisestä hankalampaa (löydät lisätietoa ionisaatiosta kohdassa 6.4).

Tämä ongelma ratkaistaan korkeammilla kipinäjännitteillä, ja on odotettavissa, että tarvittava jännite nousee jopa yli 45 kV:hen.

### Korkea pakokaasun takaisinkierrätys (EGR)



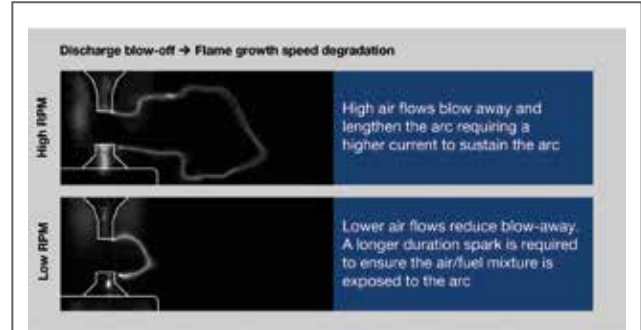
Kuva 7.21 Ohuempi sytytystulppa pidemmällä langoilla vie vähemmän tilaa sylinterin kannessa

Korotetut puristusasteet ja palamislämpötilat nostavat räjähdysen tai nakutuksen riskiä. Moottorin nakutus voidaan ehkäistä nostamalla EGR-arvoa, joka auttaa alentamaan palamislämpötiloja; mutta se myös korottaa kaasujen virtausta palokammiossa, joka johtaa ilman ja polttoaineen parempaan sekoittumiseen.

Tällä parannetulla virtauksella, erityisesti korkeammissa kierrosnopeuksissa, on taipumus puhaltaa kipinää pois elektrodeilta. Tämä muodostaa venytetyn tai pidemmän kaaren, joka altistuu suuremmalle määrälle ilma-/polttoaineseosta ja auttaa parantamaan sytytyskykyä (Kuva 7.22). Estääkseen täydellistä poispuhaltamista, sytytyspuolalta vaaditaan korkeampaa sähkövirtaa, jotta kaarta saadaan ylläpidettyä.

Alemmilla kaasuvirtauksilla, jotka voivat tapahtua alemmilla kierrosnopeuksilla, ilma-, polttoaine- ja pakokaasuseoksesta voi kuitenkin tulla vaikeammin sytyvä. Tämän ongelman ylitsepääsemiseksi, kipinän on kestettävä pidempään, jotta ilma-/polttoaineseokselle altistuminen pidentyy ja näin parantaa jälleen sytytyskykyä.

Sytytyspuolan on tästä syystä pystyttävä toimittamaan korkeampaa energiaa sytytystulpalle, joko ylläpitääkseen fyysisesti pidempää kaarta ja ylläpitääkseen kaarta pidemmän aikaa.



Kuva 7.22 Palamisen ilmavirta vaikuttaa kipinän poispuhaltamiseen

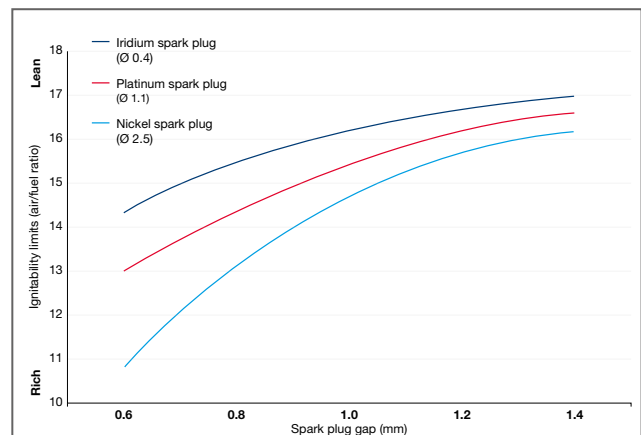
Energian mittayksikkö on joule (J); sytytyspuolan tuottama energia on yleensä välillä 30 - 80 mJ (millijoule, 1 mJ = 1 tuhannesosa J). Tarvittavien korkeampien jännitteiden, korkeampien sähkövirtojen ja pitempiaikaisten kipinöiden tarjoamiseksi, voidaan kuitenkin odottaa, että saatavilla oleva puolaenergia kohoaa yli 200 mJ:een.

### Laiha ilma-/polttoaineseosuhde

Vaikka laihojen seosten tuloksena ovat korkeammat palamislämpötilat, se voi itse asiassa parantaa moottorin tehokkuutta. Laihat seokset nostavat myös NOx-päästöjä, jotka vaativat pakokaasun jälkikäsitelyä. Kuten korkeiden EGR-arvojen kohdalla, laihat seokset vaativat myös tehokkaamman sytytyskipinän. Kun ilma-/polttoaineseossuhteiden odotetaan saavuttavan lambda 2 (ilma-/polttoaineseosuhde noin 30:1) tai korkeamman arvon, sytytystulppakehitystyö tulee jatkumaan, varmistaakseen, että paras mahdollinen kipinä on saatavilla jopa haastavissa käyttöolosuhteissa.

Kuvassa 7.23 näkyy ilma-/polttoaineseoksen sytytyskyky, kun nikkeli-, platina- ja iridiumsytytystulppia käytetään eri sytytystulppaväleillä.

Iridiumsytytystulpat tarjoavat parhaan suorituskyvyn, ja taatakseen kunnollisen sytytyskyvyn, ohuista iridiumkantaisista elektrodeista (kuten ne, joita DENSO jo valmistaa) tulee jonain päivänä vakiotulppia.



Laihempiä seoksia on vaikeampi sytyttää. Tämä ratkaistaan käyttämällä suurempia välejä tai pienempiä elektrodeja

Kuva 7.23 Eri sytytystulppatyyppien sytytyskyky



# 8. DENSO -VALIKOIMA

## 8.1. Direct Fit

Johtavat moottori- ja ajoneuvovalmistajat valitsevat DENSO -sytytystulpat niiden luotettavuuden ja suorituskyvyn vuoksi. DENSO Direct Fit -sytytystulppia löytyy sekä huippuajoneuvoista että korkean tilavuuden ajoneuvoista. DENSO Direct Fit -sytytystulpat ovat aivan samat sytytystulpat kuin alkuperäiset, tai ne ovat DENSON vastaava vaihtoehto.

Direct Fit -valikoimaan kuuluu: nikkeli-, platina-, iridium- ja SiP -sytytystulpat ja ne ovat saatavilla yleisiin auto- ja moottoripyöräalan käyttökohteisiin, sekä merellä ja maataloudessa käytettäviin moottoreihin ja pieniin moottoreihin.

### Nickel

DENSON Nickel -sytytystulpat ovat varustettuja patentoidulla U-ura -maadoituselektrodilla, joka parantaa sytytyksen suorituskykyä (Kuva 8.1). U-ura -teknologian keksi DENSO, ja 1970-luvulla, sitä pidettiin sytytystulppien parhaana saatavilla olevana parannuksena. Autovalmistajat, jotka työskentelevät DENSON kanssa alkuperäissytytystulppia varten, ottivat välittömästi käyttöön U-Groove -teknologian ajoneuvoportfoliossaan.

DENSON lämpöväliteknologia nikkelsytytystulpille kattaa laajemman lämpövälin kuin muut valmistajat, joka mahdollistaa pienemmän osanumeromäärän yhtenäisen valikoiman sekä pienemmän varaston.

DENSO edelleen käyttää U-ura -teknologiaa useimmissa yhdellä maadoituselektrodilla varustetuissa sytytystulppissa.

DENSON Nickel -sytytystulppia löytyy vuoden 2005 Toyota Aygo-Citroën C1-Peugeot 107 triosta, jossa on 1.0-litrainen 1KR-FE -moottori, sekä monista muista korkean tilavuuden ajoneuvoista.



Kaikki saatavilla olevat DENSO -osanumerot löytyvät osoitteesta:

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

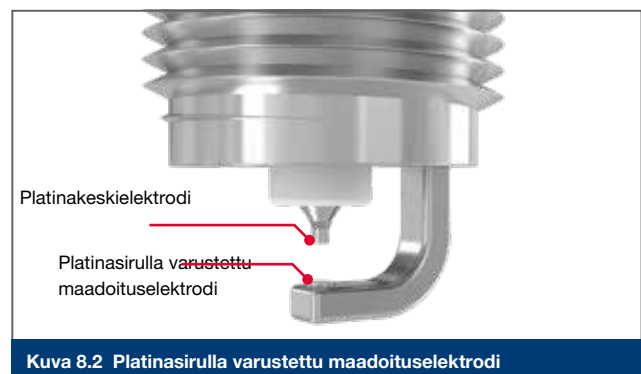
### Platinum

Platinasytytystulpista tuli suosittuja 1980-luvulla tarjotessaan parempaa sytytystulpan ja moottorin suorituskykyä. Päästöjen alentamisen kasvava kysyntä johti siihen, että nikkeliteknologia korvattiin korkeampien teknisten tietojen sytytystulpalla.

Pitkäikäisissä platinasytytystulppissa on sekä platinaytiminen maadoituselektrodi sekä platinasiru maadoituselektrodissa (katso Kuva 8.2).

DENSO on viime aikoina siirtänyt huomionsa platinasytytystulppien kehittämisestä ylivoimaisiin iridiumsytytystulppiin. Platinaa käytetään kuitenkin edelleen useimmissa nykyaikaisten sytytystulppien maadoituselektrodeissa sen syöpmisen sietokyvyn vuoksi.

DENSO Platinum -sytytystulppia löytyy vuoden 2010 Lexus LFA -superautosta, jossa on V10-moottori.



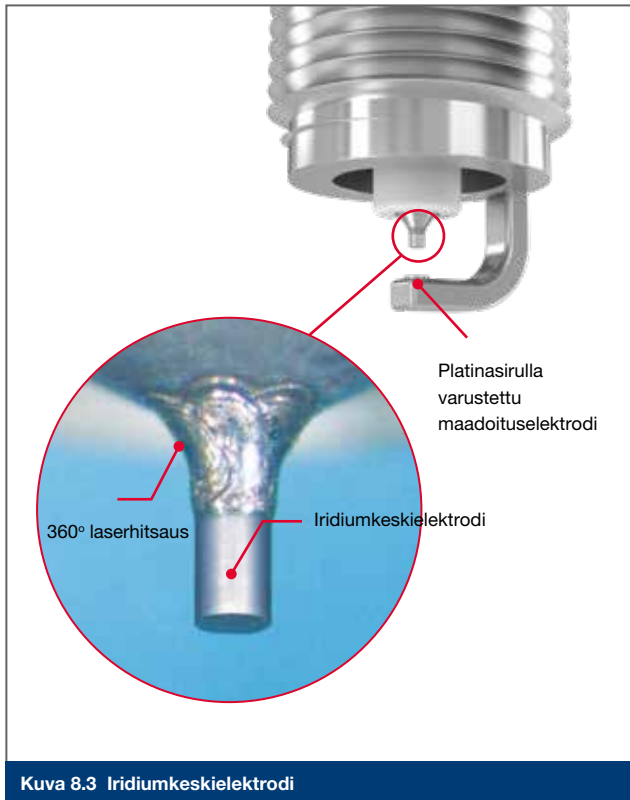
8.1. Direct Fit	50
8.2. Twin Tip	52
8.3. Iridium Power	53
8.4. Iridium Racing	54

### Iridium

Iridiumsytytystulppavalmistuksen edelläkävijänä, DENSO on patentoinut kapeimman saatavilla olevan keskielektrodin, jonka halkaisija on 0,4 mm, sekä sen kiinnitystavan 360° laserhitsauksella (Kuva 8.3).

Iridiumsytytystulppa on paitsi luotettavampi, mutta myös tarkempi. Se sytyttää ilma-/polttoaineseoksen tarkalleen moottorin hallintajärjestelmän määrittämällä hetkellä.

Yhdistettynä maadoituselektrodissa olevaan platinasiruun (katso Kuva 8.3), iridiumsytytystulpat voivat kestää eliniän, jonka tuloksena ovat alemmat huoltokulut.



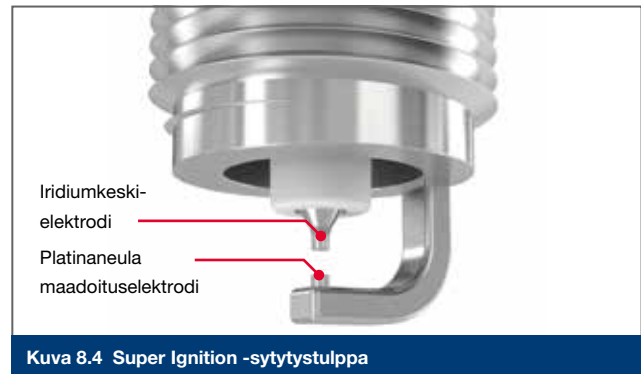
DENSO OEM Iridium -sytytystulppia löytyy vuoden 2015 Volvo XC60 3.0 T6 AWD hybridistä, sekä monista muista Volvo-moottoreista. Jälkemarkkinat tarjosivat sittemmin Iridium TT -tulppia muille uusille Volvo-moottoreille, tarjoten parasta suorituskykyä ja valmistettuna samoilla tuotantolinjoilla.

### Super Ignition

Super ignition -teknologia esiteltiin huippusytytystulppana, jolla vähentää huippuajoneuvojen pakokaasupäästöjä. Tällä hetkellä, se on paras saatavilla oleva sytytystulppateknologia. Siinä käytetään iridiumkeskielektrodiä ja ainutlaatuista neulamallista platinamaadoituselektrodiä. Keskielektrodin halkaisija on joko 0,55 mm tai 0,7 mm. Maadoituselektrodi on platinaneula, jonka halkaisija on 0,7 mm tai 1,0 mm.

Ainutlaatuinen neulamallinen platinamaadoituselektrodi tekee muutakin kuin vain tarjoaa erinomaisen käyttöiän. Se vähentää myös tarvittavaa jännitettä ja antaa enemmän tilaa liekin kasvulle, ja samalla poistaa miltei kokonaisuudessaan tukahduttamisvaikutuksen.

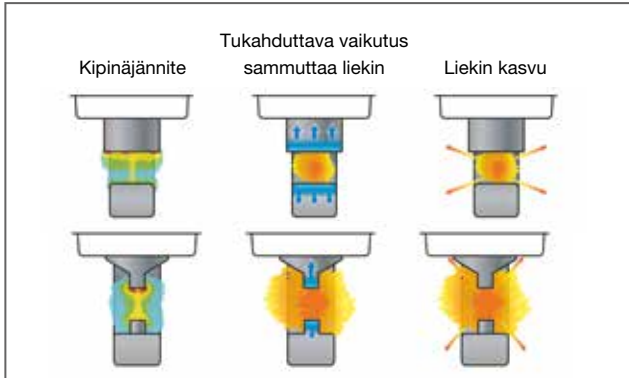
DENSO:n Super Ignition -sytytystulppia (FXE20HR11) löytyy vuoden 2007 Nissan Qashqai:sta, sekä monista muista huippuluokan ajoneuvoista. Näihin käyttökohteisiin on myös Iridium TT -vaihtoehto, joka vastaa tämän moottorin vaatimuksia, ja siihen kuuluu patentoitu 0,4 mm keskielektrodi.



## 8.2. Twin Tip

Edellisissä luvuissa on selitetty, että melkein kaikkien sytytystulppien suorituskykykriteerien kohdalla (poikkeuksena sytytystulpan käyttöikä), pienemmät sytytystulppaelektrodit tarjoavat parasta suorituskykyä.

Pienemmillä elektrodeilla on tiivistetyn sähkökentän, joka vähentää vaadittua jännitettä. Pienempi pinta-ala ja massa vähentävät tukahduttamisvaikutusta ja mahdollistavat rajoittamattoman liekin kasvun.



Kuva 8.5 Pienen elektrodin edut

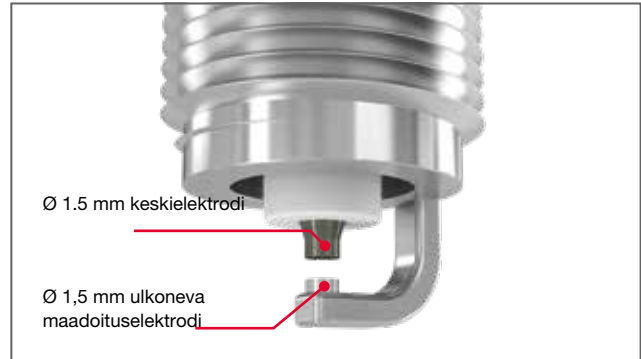
Jos elektrodin kokoa yksinkertaisesti pienennettäisiin, tämä normaalisti heikentäisi sytytystulpan käyttöikää. DENSO on kehittänyt ainutlaatuiset materiaalit, jotka mahdollistavat pienemmät elektrodit ja samalla varmistavat, ettei tämä vaikuta käyttöikään.

Kapeilla keski- ja maadoituselektrodeilla varustettujen Super Ignition (SIP) -sytytystulppien saavuttaman kokemuksen ja menestyksen seurauksena, DENSO on kehittänyt kahdenlaisia Twin Tip -sytytystulppia, jotka käyttävät pieniä elektrodeja vähentämättä sytytystulpan käyttöikää; itse asiassa, käyttöikä on usein pidempi. Näitä sytytystulppia voi käyttää alkuperäisten sytytystulppien vaihtoehtona, tai jopa päivityksenä. DENSON korkean suorituskyvyn Twin Tip -sytytystulppavalikoima mahdollistaa pienen osanumerovalikoiman, joka kattaa useimmat ajoneuvot.

### Nickel TT

Nikkeli on suhteellisen edullinen materiaali, jota käytetään sytytystulppaelektrodeissa; vaaditun pitkän käyttöiän vuoksi, keskielektrodin halkaisija on kuitenkin yleensä 2,5 mm. Jos pienempää maadoituselektrodiä toivotaan, lisäksi on yleensä hitsattava maadoituselektrodiin, joka nostaisi merkittävästi valmistuskuluja ja vähentäisi sytytystulpan käyttöikää.

DENSO Nickel TT (Kuva 8.6) käyttää ainutlaatuista patentoitua seosta, joka sisältää nikkeliä, silikonia, yttriumia ja titaania (Ni-Si-Y-Ti). Yhdisteessä on samanlaiset ominaisuudet kuin nikkelillä, mutta sillä on 80% parempi hapettumisen sietokyky ja 40% parempi kipinän aiheuttaman kulutuksen sietokyky.



Kuva 8.6 DENSO Nickel TT -sytytystulppa

Käyttämällä tätä erikoisseosta, ohuempia 1,5 millimetrin halkaisijalla varustettuja elektrodeja voidaan käyttää, joissa on sama käyttöikä kuin perinteisillä 2,5 millimetrin halkaisijalla varustetuilla vakionikkelielektrodeilla. Lisäksi, uusi seos mahdollistaa sen, että pienet maadoituselektrodit painetaan materiaalista erittäin kalliiden valmistusprosessien käytön sijaan. Uusi nikkeliseos ei ole yhtä kallis kuin jalometallit, kuten platina ja iridium, joten se tarjoaa hyvää arvoa loppukäyttäjälle.

Nickel TT -sytytystulppissa on kaksi 1,5 millimetrin halkaisijalla varustettua elektrodia, ja ne pystyvät tarjoamaan vastaavanlaista suorituskykyä kuin platinasytytystulppa, vakionikkelisytytystulpan hintaan.

Pienten elektrodien, ja tuloksena olevan vakionikkelisytytystulppia paremman suorituskyvyn ansiosta, Nickel TT -sytytystulppa voi korvata monet muut samanmuotoiset sytytystulpat, ja samalla voi parantaa moottorin tehokkuutta. Soveltamalla edistyksellisiä teknologioita, monien eri sytytystulppien tekniset tiedot voidaan liittää paljon pienemmällä osanumerovalikoimalla.

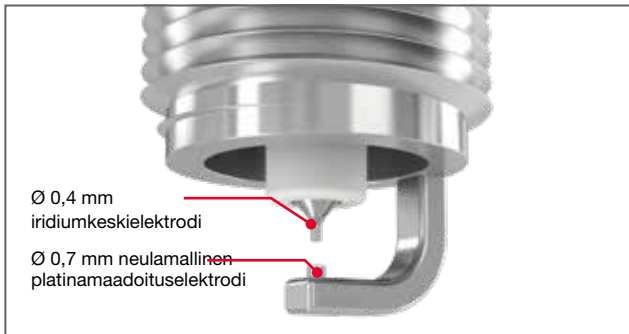
Nickel TT -sytytystulppissa käytetty Ni-Si-Y-Ti -seos ja ulkoneva maadoituselektrodi ovat DENSON patentoimia.

### Iridium TT

Yhdistämällä Nickel TT:n peruskäsite ja Super Ignition -sytytystulppa, DENSO kehitti sytytystulppateknologiaan entisestään ja valmisti Iridium TT -tulpan, josta tuli Iridium -sytytystulppien vertauspiste. SIP-teknologia yhdistettynä 0,4 mm iridiumkeskielektrodiin saa aikaan ainutlaatuisen sytytystulpan, joka suoriutuu paremmin kuin kaikki muut markkinoilla olevat teknologiat.

Uusi Iridium TT -sytytystulppa (Kuva 8.6) yhdistää SIP-teknologian DENSON patentoituun 0,4 mm halkaisijan iridiumkeskielektrodiin ja 0,7 mm halkaisijan neulamalliseen platinamaadoituselektrodiin. Iridium TT on markkinoiden parhaiten suoriutuva sytytystulppa, jolla on myös erittäin pitkä käyttöikä. Samanaikaisesti, Iridium TT:n suorituskyky vähentää myös pakokaasupäästöjä ja polttoaineenkulutusta.



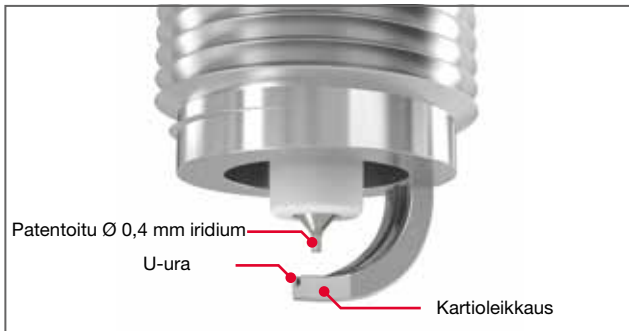


Kuva 8.7 DENSO Iridium TT -sytytystulppa

Keskielektrodi, jonka halkaisija on 0,4 mm, valmistetaan patentoidulla iridiumseoksella, jossa on markkinoiden korkein iridiumpitoisuus ja erittäin korkea sulamispiste. Nämä ominaisuudet ovat mahdollistaneet Iridium TT -keskielektrodin pienentämisen, joka on edesauttanut alentamaan vaadittu jännite ja parantamaan sytytyksen suorituskykyä (löydät kohdasta 7.3 lisätietoa iridiumkeskielektrodeista).

### 8.3. Iridium Power

Kun Iridium TT on paras saatavilla oleva ratkaisu autoille, Iridium Power on paras ratkaisu moottoripyörille. Iridium Power käyttää samaa ohutta 0,4 mm halkaisijalla varustettua iridiumkeskielektrodiä (Kuva 8.7), ja suoriutuu paremmin kuin melkein kaikki muut markkinoilla olevat sytytystulpat. Se kykenee toimimaan korkeissa kierrosnopeuksissa, ja näin ollen tekee Iridium Powerista täydellisen sytytystulpan moottoripyörille ja korkean suorituskyvyn viritetyille autoille.



Kuva 8.8 DENSO Iridium Power -sytytystulppa

Iridium Power -sytytystulppia on saatavilla laajassa lämpövalikoimassa, joka tekee tästä sytytystulppavalikoimasta sopivan useille eri käyttökohteille.

Ylivoimaisen suorituskyvynsä ansiosta, Iridium TT -sytytystulppa pystyy korvaamaan monenlaiset sytytystulpat. Tämä mahdollistaa yhtenäisemmän valikoiman, joka kattaa melkein jokaisen ajoneuvon. Iridium TT -valikoimaan kuuluu tällä hetkellä 19 osanumeroa, tarjoten korkean suorituskyvyn vaihtoehdon melkein kaikille nikkeli-, platina-, iridium- ja SIP-sytytystulpile.

Iridium Power -sytytystulpat sopivat ihanteellisesti korkeatehoisiin ja korkeanopeuksiin moottoreihin, kuten moottoripyörissä käytettäviin moottoreihin, mutta myös korkean suorituskyvyn autoissa, moottorikelkoissa ja vesiskoottereissa.

#### Erittäin ohut 0,4 mm halkaisijan iridiumelektrodi

Käyttämällä patentoitua 0,4 mm halkaisijan iridiumseoksesta valmistettua keskielektrodiä, vaadittua jännitettä on laskettu ja sytytyksen suorituskykyä on parannettu.

#### U-ura ja kartioleikattu maadoituselektrodi

Iridium Power -maadoituselektrodeja voidaan valmistaa U-uralla, joka on leikattu maadoituselektrodin sisäpintaan. U-ura antaa liekin muodostumiselle suuremman tilavuuden, ja lisäreunat laskevat vaadittua jännitettä vielä entisestään. Tämä teknologia mahdollistaa erinomaisen sytytyksen suorituskyvyn suurentamatta kipinäväliä.

Maadoituselektrodin kärki on muotoiltu kartionmuotoiseksi, joka vähentää liekille altistuvaa aluetta. Kartiomuotoisella maadoituselektrodilla on myös alempi massa, joka vähentää tärinän aiheuttamaa kuormitusta ja vähentää elektrodin lämpökuormitusta; sytytystulppa pystyy näin ollen kestävämpään kovempaan kuormituksen ajo-olosuhteita.

**Kaikissa Iridium Power -sytytystulppissa ei ole U-uraa ja/tai kartioleikkausta.**

**IRIDIUM POWER®**

### 8.4. Iridium Racing

Kuskit ja kilpa-ajokoukkuet luottavat Iridium Racing -sytytystulppiin niiden luotettavuuden, kestävyys ja suorituskyvyn vuoksi.

Iridium Racing -sytytystulpat (Kuva 8.9) ovat nimenomaan suunniteltuja vastaamaan korkean suorituskyvyn kilpamoottoreiden asettamiin erittäin vaativiin olosuhteisiin ja haastaviin kilpaolosuhteisiin.

Täydellä kaasulla kilpa-ajaminen, korkeissa kierrosnopeuksissa, tuottaa johdonmukaisesti korkeita palamislämpötiloja ja paineita; joten DENSO Iridium Racing -sytytystulppien muotoilu keskittyy tuottamaan korkealaatuisen kipinän, joka kestää näitä äärimmäisiä käyttöolosuhteita.

Monissa kilpa-ajon kategorioissa, polttoaineenkulutus ja laiholla seoksilla käyminen eivät ole ensisijaisia harkinta-aiheita; tuottaakseen tehoa, rikkaampia ilma-/polttoaineseoksia käytetään, jotka lisäävät hiilikertymien muodostumista sytytystulppalle, erityisesti ajoittaisien kevyempien kuormitusolosuhteiden aikana. Näin ollen, Iridium Racing -sytytystulppien on pystyttävä nopeasti polttamaan hiilikertymät pois, estääkseen hiililiikaantumisen.

Lisäksi, useimmissa tiekäytössä olevissa sytytystulppissa, käytettävät elektrodit ulkonevat palokammioon; mutta korkeiden puristussuhteiden kilpamoottoreiden tuottamat korkeammat paineet ja lämpötilat voivat vahingoittaa ulkonevia elektrodeja. Näin ollen, Iridium Racing -sytytystulpat käyttävät elektrodeja, jotka ovat tasoissa sytytystulppakotelon pohjan kanssa.

**Koska Iridium Racing -sytytystulpat ovat suunniteltuja yksinomaan haastavissa kilpaolosuhteissa käytettäviksi, ne eivät ole suunniteltuja toimimaan tehokkaasti normaaleissa, hitaissa tai kevytkuormaisissa ajo-olosuhteissa. Jopa kevyesti viritellyt moottorit ja moottorit, joita käytetään satunnaisiin ratapäiviin, eivät välttämättä tuota vaadittuja lämpötiloja, paineita ja muita olosuhteita, joiden avulla Iridium Racing -sytytystulpat toimisivat tehokkaasti. Vähemmän vaativille moottoreille ja ajovaatimuksille (kuten tiekäyttöiset autot ja ratapäiväkäyttö), Iridium Power -sytytystulpat tarjoavat parhaan ratkaisun.**

Elektrodit, jotka ulkonevat palokammioon, yleensä tarjoavat parempaa sytytyskykyä ja suorituskykyä. Korkean suorituskyvyn kilpamoottoreissa löytyvien korkeiden puristussuhteiden paineiden ja lämpötilojen vuoksi, ulkonevalla elektrodilla varustetulle sytytystulppalle on vähemmän tarvetta. Lisäksi, altistuessaan korkeille palamislämpötiloille, pitkä maadoituselektrodi ei hajauttaisi riittävästi lämpöä ja se muuttuisi liian kuumaksi. Mitä enemmän moottorille on suoritettu suorituskyvyn viritelyä, sitä vähemmän tarvetta on ulkonevalle elektrodille.

**Fernando Alonso Hybridi Toyota Gazoo -kilpa-autossa, 24. Le Mans -kilpailun vuoden 2018 voittaja**



#### **Erittäin ohut 0,4 mm halkaisijan iridiumelektrodi**

Patentoidulla erittäin ohuella 0,4 mm halkaisijan iridiumelektrodilla, Iridium Racing -tulpat saavuttavat erinomaisen sytytyksen suorituskyvyn.

#### **0,8 mm täysplatinamaadoituselektrodi**

Verrattuna perinteisissä sytytystulppissa käytettyyn nikkeliseokseen, platinan korkea sulamispiste vähentää ongelmia, kuten maadoituselektrodin sulamisen ja kulumisen. Platinakärki on hitsattu elektrodiin ja väli on muodostettu taivuttamalla elektrodi, joka vähentää valmistusprosessien aiheuttamia jäämärasituksia, ja näin ollen parantaa kestävyttä ja luotettavuutta.

#### **Eriste kilpa-ajoon**

Käyttämällä ainutlaatuisia kilpakäyttöön tarkoitettua eristettä, eristeen vahvuus on noin 20% parempi.

#### **Kipinän puhdistustasku**

Koska hiililiikaantuminen ja -kertymät voivat heikentää sytytystulpan tehokkuutta, keskielektrodin ja eristeen välillä olevan kärjen ympärille on avattu pieni tasku. Tämä tasku antaa sähköisen purkautumisen polttaa hiili- ja muut kertymät pois, ja näin ollen ylläpitää sytytystulpan suorituskykyä.

#### **Silikonipinnoitus**

Kilpailun alussa, hiililiikaantumisen aiheuttama käynnistyksen epäonnistuminen voi olla hengenvaarallista. Tilanteen välttämiseksi, eriste on pinnoitettu vettähylykivillä silikonilla, joka eristää eristeen kosteudelta ja hiileltä.

#### **Kotelon päätyuurre**

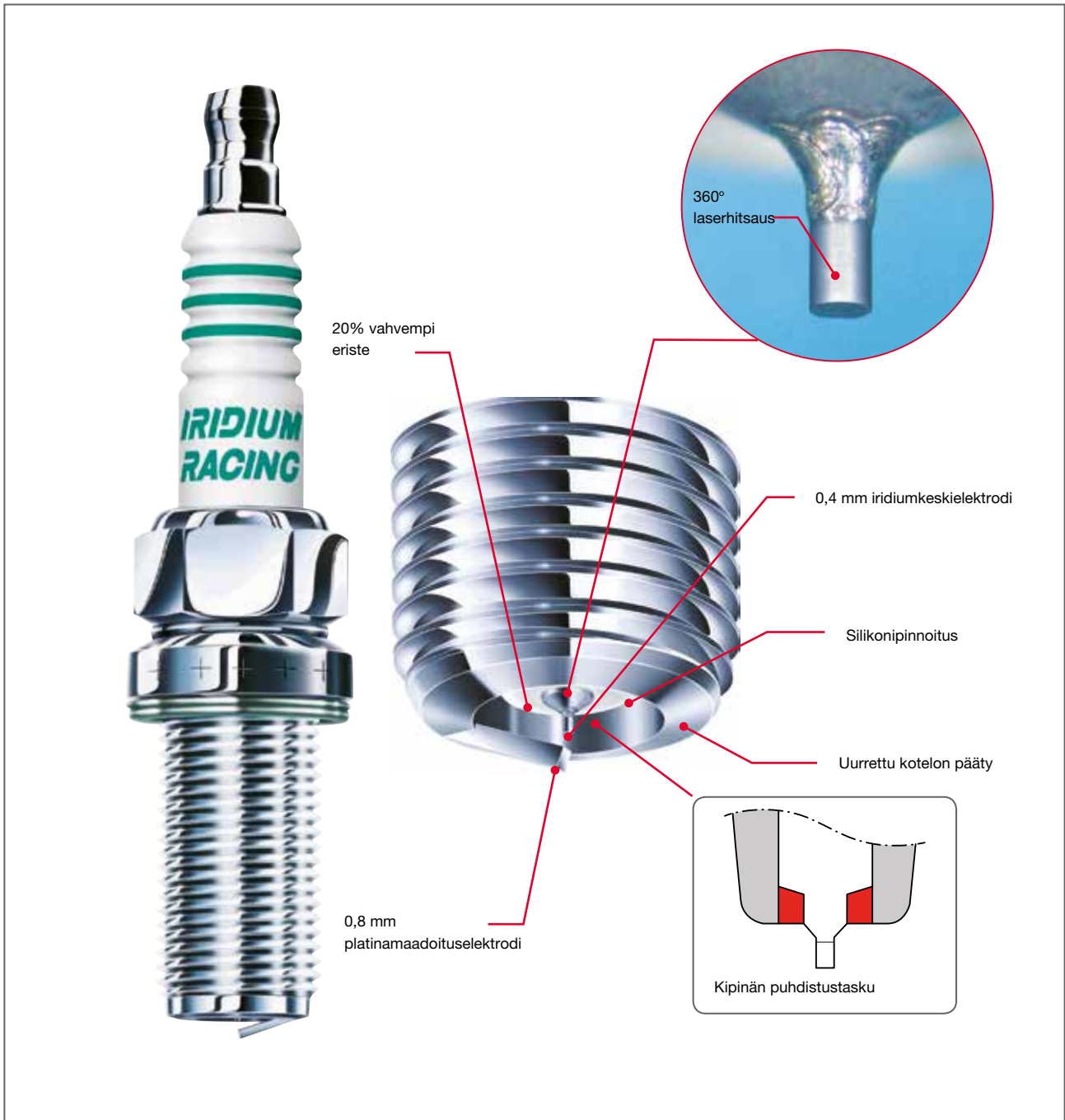
Kotelon päätyuurre on suurennettu, jotta äärimmäisten palamisolosuhteiden sietokyky parantuisi. Rikkaiden ilma-/polttoaineseosten kaasut ohjataan pois eristeen luota, joka estää hiililiikaantumisen.

## **IRIDIUM RACING®**

**DENSO Kobelco SARD RC F, 2016 Super GT 500 -mestari**







Kuva 8.9 DENSO Iridium Racing -sytytystulppa

Polestar Cyan Racing, WTCC -maailmanmestari 2017



Subaru BRZ Super GT -sarjassa



# 9. PÄIVITÄ SYTYTYSTULPPASI

## 9.1. Miksi päivittäisit sytytystulppasi?

On olemassa monia syitä päivittää vakiosytytystulppa korkeamman suorituskyvyn sytytystulppaan, joka tarjoaa parannettua sytytys suorituskykyä. Saatat hakea kilpa-ajoon mahdollisimman paljon moottoritehoa, saatat yksinkertaisesti haluta parantaa polttoainetaloudellisuutta normaaleille arkiajoille, tai haluat ehkä ratkaista vaikeasti käynnistyvän tai tyhjäkäyvän moottorin. Mitä ikinä syitä sinulla on päivittämiseen, DENSO -sytytystulppavaliokoma tarjoaa sopivan päivityksen melkein kaikkiin ajoneuvoihin.

DENSO -verkkokatalogissa on lueteltu useimpien ajoneuvojen, mukaan lukien moottoripyörien, vakio- ja virityssytytystulpat. Verkkokatalogi löytyy osoitteesta: [denso-am.eu/e-catalogue](https://denso-am.eu/e-catalogue)

### Virityksen tärkeimmät edut

Tärkeimmät saavutettavat hyödyt sytytystulppien virityksestä ovat lueteltuina seuraavissa osioissa; mutta moottorin tehon ja vääntömomentin parantumisen lisäksi, huomattavia parannuksia löytyy moottorin sulavuudesta, käynnistyksestä, kylmäkäynnistä ja polttoaineenkulutuksessa yhdessä alempien päästöjen tarjoamien hyötyjen kanssa. Lisäksi, korkeampien teknisten tietojen sytytystulppaan vaihtaminen voi auttaa ehkäisemään satunnaiset tai jopa jatkuvat sytytyskatkot joutokäyntinopeudessa tai kuormituksen alla.

Parantamalla sellaiset ajoneuvot, jotka käyttävät vakiotasoisilla teknisillä tiedoilla varustettuja nikkelsytytystulppia, iridiumtulppiin tarjoaa parempaa sytytyksen suorituskykyä, joka yleensä saavutetaan alhaisimmilla jännitteillä. Alempi alkuun vaadittu jännite rasittaa sytytyspuolaa vähemmän ja puolaan jää enemmän energiaa, jonka avulla sytytysjärjestelmä toimii paremmin haastavammissa käyttöolosuhteissa, kuten täyden kuormituksen kiihdytyksessä.

### LPG/CNG

Sellaisten ajoneuvojen kohdalla, jotka ovat muunnettu toimimaan LPG- tai CNG-kaasulla, parannukset voivat olla vielä huomattavammat korkeampaa sytytysjännitettä tarvitsevien kaasupolttoaineiden kohonneiden sytytysvaikeuksia vuoksi (katso kohta 9.5). LPG:n/CNG:n palamislämpötilat vaihtelevat myös paljon enemmän kuin bensiinimoottoreilla, joka edistää jopa 30% alemmaa huoltoväliä. Päivittämällä nikkelsytytystulpat pidempi-ikäisiin iridiumsytytystulppiin, joissa on parempi sytytyksen suorituskyky, moottorin suorituskyky paranee ja sytytystulppien vaihtovälit pitenevät.

### Nykyaikaisen sytytystulppateknologian hyödyt

Yksi tärkeä huomiotava tekijä on sytytystulppateknologian parantuminen viime vuosina. Moniin uudempiin ajoneuvoihin on asennettu vakiona iridiumsytytystulpat, jotka ovat tehokkaammat verrattuna aikaisempiin sytytystulppamalleihin. Vaikka samoilla teknisillä tiedoilla olevia vaihtosytytystulppia saattaa olla saatavilla, nykyaikaisempi, korkeammilla teknisillä tiedoilla varustettu sytytystulppa (kuten DENSO Iridium TT) on syytä asentaa, joka parantaa sytytystä ja moottorin suorituskykyä.

**Päivittämisen hyöty riippuu vahvasti sytytystulpan vakiotyyppiin. Päivittäessä nikkelistä iridiumsytytystulppaan, huomattava ero on mitattavissa. Jos kuitenkin päivität iridiumtulpasta SIP-sytytystulppaan (kuten Denso Iridium TT), ero on pienempi.**



Löydät parhaan iridiumsytytystulpan LPG- tai CNG-käyttöön Denso -verkkokatalogista.

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

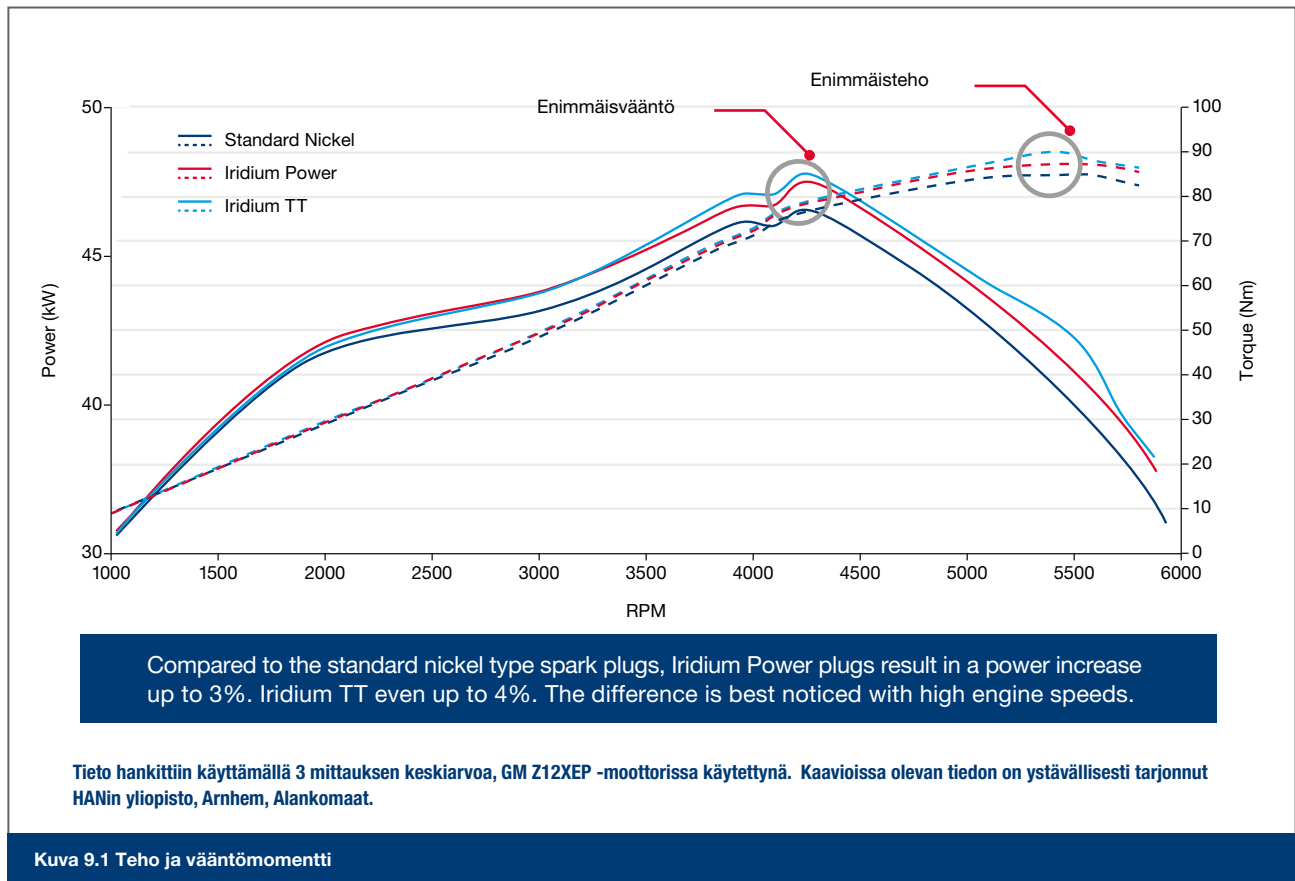


9.1. Miksi päivittäisit sytytystulppasi?	56
9.2. Teho	57
9.3. Polttoainetaloudellisuus ja päästöt	58
9.4. Moitteeton joutokäynti, sytytyskatkokset ja käynnistys	59
9.5. LPG/CNG -muunnetut autot	60
9.6. Virittäminen ja kilpa-ajo	61

## 9.2. Teho

Nikkelisytytystulppien päivittäminen iridiumisytytystulppiin voi tarjota merkittävästi parempaa moottorin tehoa ja vääntömomenttia. Kuvassa 9.1 olevat kaaviot osoittavat Iridium Power - ja Iridium TT -sytytystulppien mahdollistamat parannukset verrattuna vakiotyyppisiin nikkelisytytystulppiin. Iridium Power -sytytystulppien käytön tuloksena oli jopa 3% korkeampi teho, ja Iridium TT -tulppien käyttö osoitti jopa 4% korkeampaa tehoa, jonka erityisesti huomaa korkeammissa kierrosnopeuksissa.

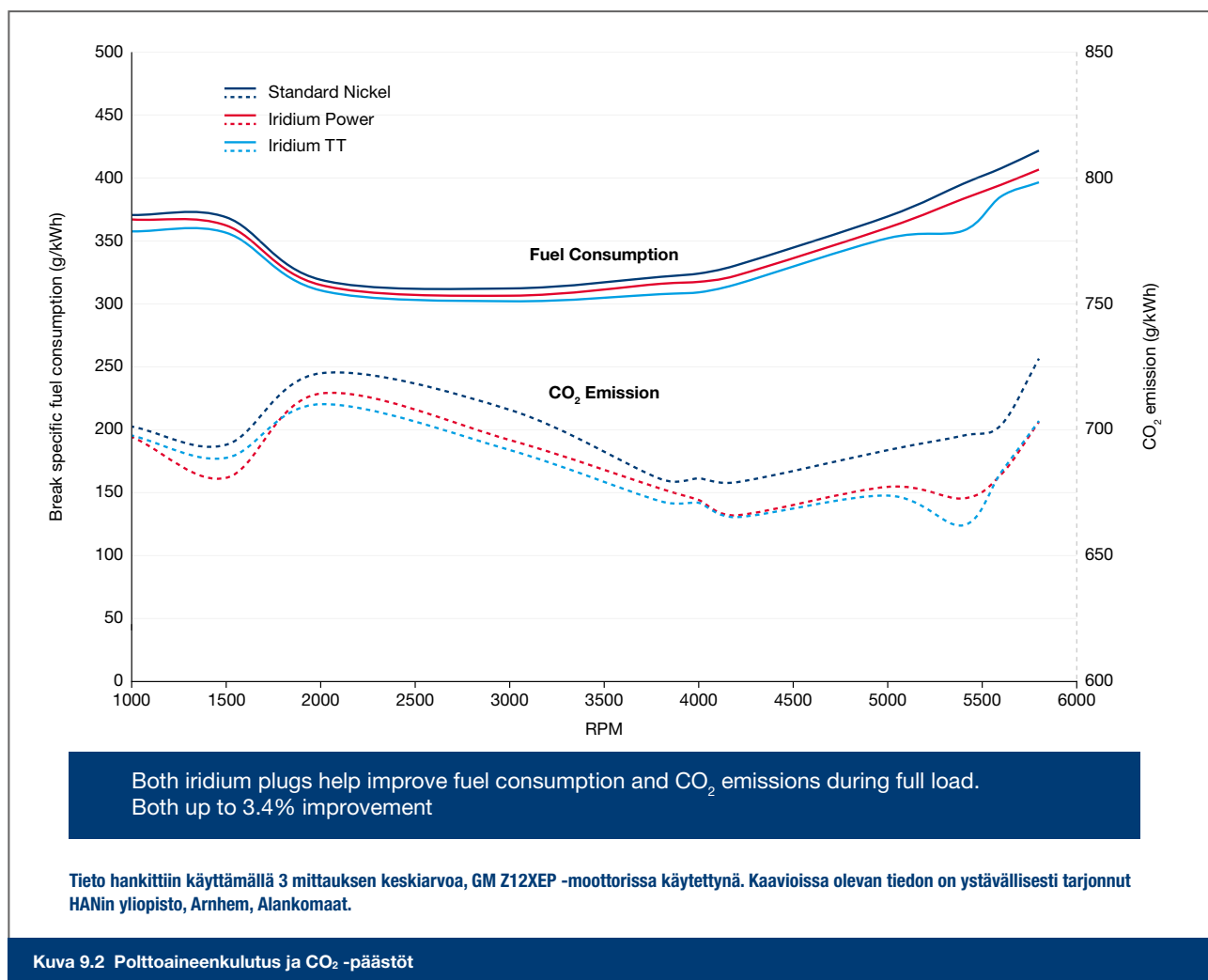
DENSO Iridium -sytytystulpat käyttävät ohuempia elektrodeja, jossa Iridium TT -tulpissa on 0,7 mm halkaisijan maadoituselektrodit ja keskielektrodit ovat tätäkin pienempiä 0,4 mm halkaisijalla. Nämä ohuemmat elektrodit peittävät liekkiä vähemmän ja niissä on huomattavasti alempi tukahduttamisvaikutus verrattuna suurempiin nikkelielektrodeihin. Liekki pystyy kasvamaan nopeammin alemmalla tukahduttamisriskillä, tosi asiassa polttaen enemmän polttoaineesta ja tarjoten tehokkaamman palamisreaktion, joka tuottaa enemmän tehoa.



### 9.3. Polttoainetaloudellisuus ja päästöt

Päivittämällä nikkelisytytystulpat iridiumsytytystulppiin voi johtaa tehokkaampaan polttoainekäyttöön kiihdytys- ja kuormitusolosuhteissa. Kuvassa 9.2 olevat kaaviot taas vertaavat Iridium Power - ja Iridium TT -sytytystulppia vakiomallisiin nikkelisytytystulppiin. Kaavioissa näkyy parantunut polttoaineenkulutus, joka saavutettiin samaan moottorin tuottamaan energiamäärään (kWh). Auto kiihtyy nopeammin samalla polttoainemäärällä, jolloin kaasutinta voi hellittää hieman aikaisemmin ja näin polttoainetta säästyy.

Alemman polttoainekulutuksen, joka vaaditaan samaan ajoneuvon suorituskykyyn, tuloksena ovat alemmat CO<sub>2</sub> -päästöt. Koska polttoaine palaa tehokkaammin palamisreaktion aikana moottorissa eikä pakojärjestelmässä, myös muiden haitallisten päästöjen määrä vähenee.



## 9.4. Moitteeton joutokäynti, sytytyskatkokset ja käynnistys

### Joutokäyntinopeuden ongelmat

Polttomootorit ovat suunniteltuja toimittamaan tehoa; moottorit voivat kuitenkin käyttää paljon aikaa joutokäyntiin ja eivät välttämättä toimita renkaisiin tehoa. Jotta polttoainetaloudellisuus ja päästöt pysyisivät matalana joutokäynnin aikana, joutokäyntinopeus on asetettu matalaan kierrosnopeuteen; mutta joutokäynnin aikana, palokammiossa on erittäin vähän ilmaa ja polttoainetta, ja ilman turbulenssi on myös matala. Pienen ilma-/polttoaineseoksen määrä sekä matala turbulenssi tekevät yhdessä seoksen sytyttämiseksi hankalaa, joka usein aiheuttaa sytytyskatkoja. Tämän tuloksena on vaikeasti joutokäyvä moottori.

**Jotkut moottorivalmistajat sallivat jopa 30% sytytyskatkoarvon (erityisesti 4:n tai useamman sylinterin kohdalla) joutokäynnin aikana, jos se sallii alemman joutokäyntinopeuden. Alemmat joutokäyntinopeudet mahdollistavat alemmat päästöt kuin nopeampi joutokäynti ilman sytytyskatkoja.**

Päivittämällä korkeamman suorituskyvyn sytytystulppaan, kuten Iridium TT -tulppaan, pienempien elektrodien mahdollistama parempi sytyvyys vähentää sytytyskatkosten mahdollisuutta, joka vuorostaan auttaa moottoria käymään sulavammin joutokäynnin aikana. Kun sytytyskatkoja on vähemmän ja moottori käy sulavammin, vähemmän polttoainetta menee hukkaan pakojärjestelmään, joka tarkoittaa, että vähemmän palamatonta polttoainetta siirtyy pakojärjestelmään, jolloin hiilivety- ja hiilimonoksidipäästöt vähenevät. Sulavammin käyvä moottori antaa myös joutokäyntinopeuden olla alempi, joka vähentää entisestään polttoainekulutusta ja säästöjä.

**Parannetussa joutokäynnissä on havaittavissa suuria eroja moottoreissa, joissa on 1, 2 tai 3 sylinteriä, erityisesti moottoripyörissä, joissa on V2 -järjestelmä.**

### Käynnistysongelmat

Samoja ongelmia, joita voi syntyä joutokäynnin aikana, voivat myös esiintyä moottorin käynnistyksessä erittäin matalien käynnistys-/kiertonopeuksien vuoksi. Käynnistyksen aikana palokammiossa on vielä vähemmän ilma-/polttoaineseosta, kaikki pinnat ovat vielä erittäin kylmät ja ilmavirta on erittäin matala rajallisella turbulenssilla, joka tekee sytyksestä myös vaikeampaa. Lisäongelman aiheuttaa kuitenkin se, että akun jännite putoaa pyöryksen aikana, joka voi alentaa sytytyspuolan kykyä tuottaa vaadittua sytytysjännitettä ja -energiaa. Tämä ongelma on huomattavampi vanhemmissa sytytysjärjestelmämalleissa, jotka eivät pysty pidentämään latausaikaa alemman akkujännitteen kompensoimiseksi. Jopa nykyaikaisissa sytytysjärjestelmissä, jos moottori on hidas käynnistymään ja jatkaa akkujännitteen alentamista, tai jos akkujännite on jo matala ennen käynnistystä, sytytysjärjestelmällä on heikompi kyky synnyttää hyvä kipinä.

Käynnistymistä voi parantaa asentamalla päivitetty sytytystulppa, kuten DENSO Iridium -sytytystulpat, jotka vaativat vähemmän jännitettä ja tarjoavat parempaa sytytyksen suorituskykyä.

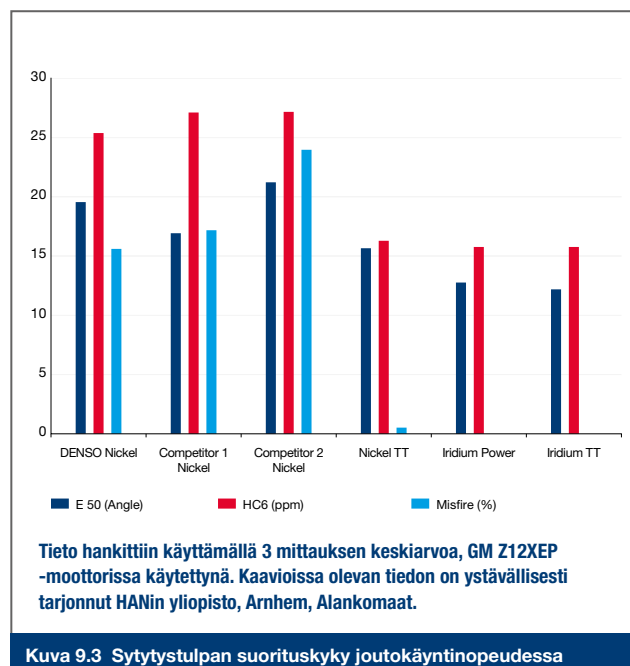
Joissakin alemman lämpövälän Iridium Power -sytytystulppissa on vakiona 1,1 mm väli. Joidenkin moottoripyörien kohdalla (erityisesti vanhemmat moottoripyörät), sytytysjärjestelmät eivät välttämättä pysty antamaan riittävästi jännitettä kipinän aikaansaamiseksi niin isolla välillä (erityisesti käynnistyksen yhteydessä). Näissä poikkeustilanteissa, väliä voi pienentää 0,8 millimetriin; ole erityisen varovainen muuttaessasi iridiumelektrodeilla varustettujen sytytystulppien välejä, käytä aina asianmukaisia erikoistyökaluja, jotta vältät ohuen keskielektrodin vahingoittamista.

**Parempi sytytyksen suorituskyky joutokäyntinopeudessa** Kuva 9.3 näyttää testitulokset joutokäyntinopeudessa verrattuna DENSO: n sekä kahden sen kilpailijan valmistamia nikkelsytytystulppia, sekä vertailu DENSO Nickel TT -, Iridium Power - ja Iridium TT -sytytystulppiin.

Tulokset alTulokset osoittavat YKK:n jälkeisen kulman, kun 50% polttoaineesta on poltettu (E50 -kulma). Yhden kilpailijan sytytystulpan kohdalla, 50% polttoaineen poltosta tapahtuu yli 20° astetta YKK:n jälkeen, joka tarkoittaa, että mäntä on jo siirtynyt huomattavan matkan alaspäin sylinterissä. Palamisreaktion aiheuttamat kaasujen laajennus ja paineen nousu eivät näin ollen luo enimmäisvaikutusta männälle.

DENSO Iridium TT -sytytystulpan kohdalla kuitenkin, 50% polttoaineen poltosta saavutetaan noin 12° astetta YKK:n jälkeen, joka tarkoittaa, että mäntä on lähempänä YKK:ta ja paineen nousulla on suurempi vaikutus työntäessä mäntää alas sylinterissä. Tosi asiassa, Iridium TT -sytytystulpan käyttö auttaa käyttämään palamisreaktion tehokkaammin, ja parantaa joutokäynnin sulavuutta sekä tarjoaa parempaa käynnistettävyyttä.

Taulukot osoittavat myös, että vähemmän hiilivety-päästöjä (HC) muodostuu palamisen aikana (HC6), kun DENSO Nickel TT -tulppaa käytetään; mutta HC-pitoisuudet alenevat entisestään, kun DENSO Iridium -sytytystulppia käytetään. Tämä HC-päästöjen alentaminen saavutetaan pääasiassa sytytyskatkosprosenttimäärän alentamisella (sytytyskatkos %), joka laskee kilpailijan sytytystulpan melkein 25%:sta melkein nolnaan käyttäessä DENSO Nickel TT -sytytystulppia. Mutta kun Iridium Power - tai Iridium TT -sytytystulppia käytetään, sytytyskatkoja ei ole ollenkaan.



**Kuva 9.3 Sytytystulpan suorituskyky joutokäyntinopeudessa**

## 9.5. LPG/CNG -muunnellut autot

Nestekaasun (LPG) ja kompressoitun maakaasun (CNG) ilma/polttoaineseoksen sytyttäminen on vielä vaikeampaa kuin bensiinillä toimivat moottorit. Vaikeus johtuu siitä, että LPG ja CNG ruiskutetaan kaasuna, kun taas bensiini ruiskutetaan nestemuodossa. Kaasut vaativat korkeampaa ionisointijännitettä kuin nesteet muodostaakseen kipinän. Kaasu vie myös enemmän tilaa kuin neste, joten palokammiossa on vähemmän tilaa raikkaalle ilmalle; tämä vähentää elektrodien ympärillä olevaa ilma/polttoaine -molekyylimäärää. Tuloksena on suurempi sytytyskatkojen mahdollisuus.

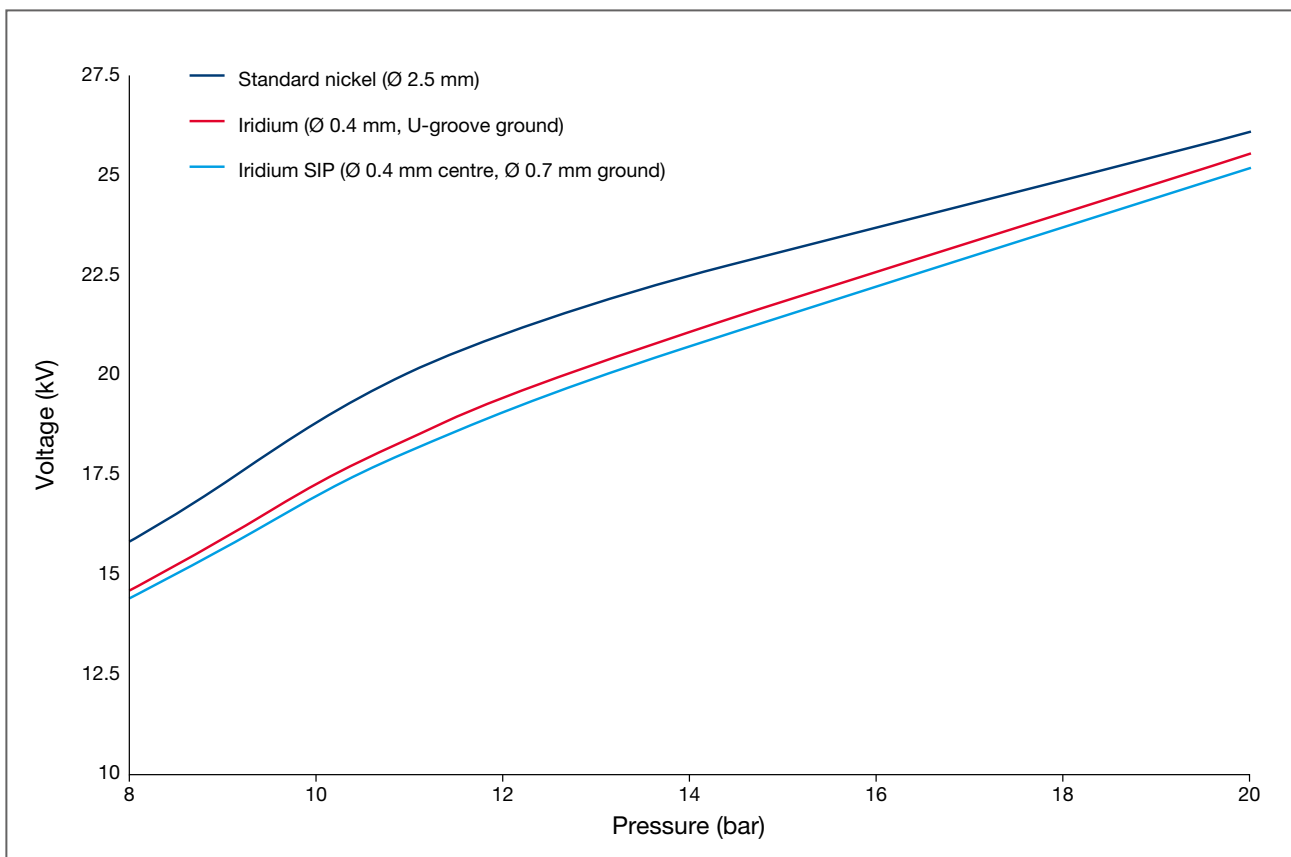
Korkeampi jännitevaatimus LPG:n/CNG:n sytyttämiseen asettaa sytytyspuolan ja sytytystulpan korkeamman kuormituksen alle. Näin ollen, sytytystulppaksi valitaan usein sellainen, jossa on pienempi väli, jännitevaatimuksen alentamiseksi, mutta pienempi väli vähentää siten myös käynnistyssuoritusta. Vaihtoehtoinen tapa alentaa puolien ja sytytystulppien kuormitusta on käyttää sytytystulppia, joissa on ohuet elektrodit, kuten DENSO-valikoiman iridiumsytytystulppia, jotka vaativat alhaisia jännitteitä ja näin mahdollistavat suuremmat välit.

**Joissain käyttökohteissa, kuten turboahdetuissa moottoreissa, väli on mahdollisesti vähennettävä 0,8 millimetriin.**

LPG ja CNG palavat korkeammassa lämpötilassa kuin bensiini, jonka vuoksi elektrodilämpötilassa tapahtuu suurempia muutoksia eri moottoritahtien aikana. Nämä suuremmat lämpötilavaihtelut vähentävät sytytystulpan käyttöikää noin 20-30%; päivittämällä sytytystulpat pitkäikäisiin iridiumsytytystulppiin, sytytystulppien elinikää voi parantaa ja näin vähentää kokonaiskuluja.

Löydät parhaan iridiumsytytystulpan LPG- tai CNG-käyttökohteeseesi DENSO -verkkokatalogista.

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



Kuva 9.4 Vaadittu jännite sytytystulppatyypeittäin

## 9.6. Virittäminen ja kilpa-ajo

Kun moottori viritetään tuottamaan parhaan mahdollisen tehon, tarvitsit sytytystulpan, joka vastaa moottorin suorituskykyä (katso kohdat 8.3 ja 8.4). Valitessa oikeaa sytytystulppaa, muutama asia on otettava huomioon.

Aluksi on tarkistettava, että sytytystulpan mitat sopivat sylinterikanteen, ja useimmiten moottorin alkuperäistä sytytystulppaa voi käyttää mallina.

### Sytytystulpan tyyppi

Päivitetty sytytystulpat, kuten DENSO Iridium Power, ovat hyviä yleissuorittajia. Ne parantavat sytyttävyyttä ja antavat luotettavia tuloksia kaikissa käyttökohteissa. Useimmiten, DENSO Iridium Power -sytytystulppa on ihanteellinen sytytystulppa, varsinkin kun auto tai moottoripyörä on tiekäytössä tai viedään satunnaisesti radalle.

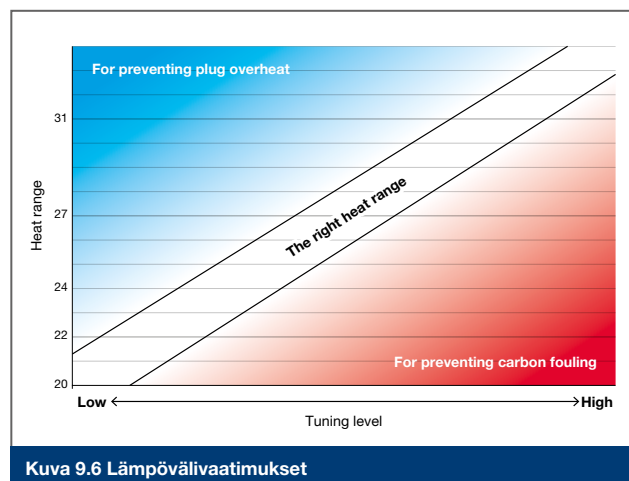
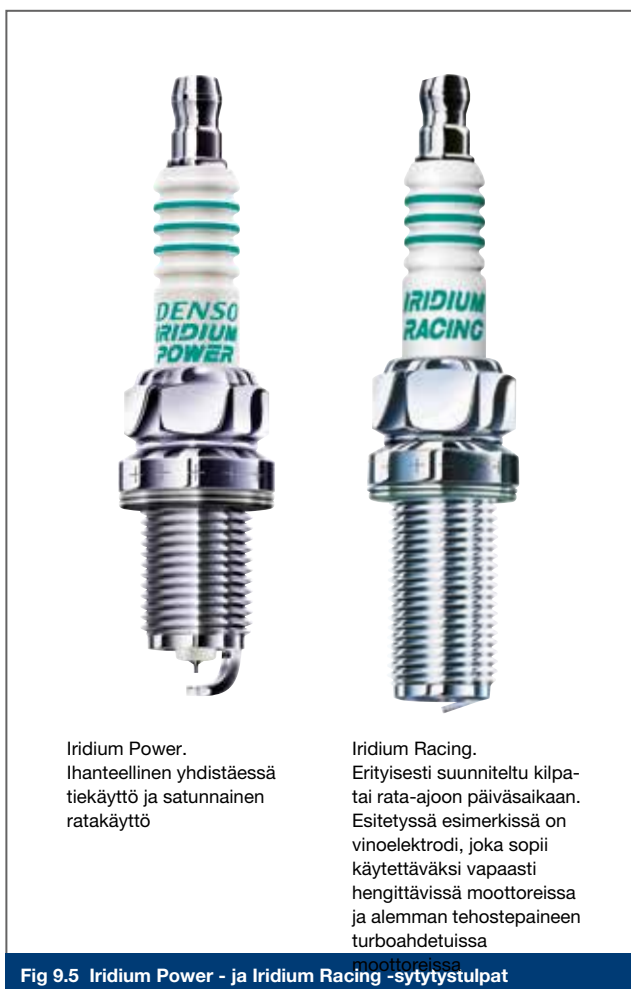
Kun moottori on korkeasti viritetty ja säädetty ainoastaan ratakäyttöön, erityiset kilpa-ajotulpat, kuten DENSO Racing -sytytystulpat, voivat olla parempi ratkaisu. Kilpa-ajotulpat valmistetaan entistä kestävämmistä materiaaleista, kestäen moottorin sisällä olevia korkeapaineuippuja. Niissä on iridiumkeskielektrodit ja platinamaadoituselektrodit, jotka tarjoavat markkinoiden luotettavimman sytytyksen.

Kaksi erityyppistä Iridium Racing -sytytystulppaa on saatavilla: viisto ja litteä (Kuva 9.5). Viistomallissa on viisto maadoituselektrodi, joka on tarkoitettu vapaasti hengittäville moottoreille sekä turboahdetuille moottoreille, joiden ahtopaine on jopa 1,3 baria (19 psi).

Litteämallinen kilpa-ajotulppa, jossa on litteä maadoituselektrodi, on suunniteltu käytettäväksi vielä korkeammassa ahtopaineissa ja moottoreissa, joissa on ilokaasujärjestelmä.

### Lämpöväli

Korkeampitehoinen moottori tarkoittaa myös korkeampia lämpötiloja palokammiossa. Tästä johtuen, sytytystulpan lämpöväli on valittava sen mukaisesti, koska korkeampitehoiset moottorit vaativat korkeampaa lämpöväliä (Kuva 9.6). Mutta tapa, jolla ajoneuvoa ajetaan, on myös tärkeä, koska tieautoissa olevat moottorit eivät saavuta samanlaisia lämpötiloja kuin radoilla käytettävät ajoneuvot; näin ollen, tiekäytössä oleva moottori saattaa vaatia alemmaa lämpöväliä. Joissain tapauksissa, hieman alhaisempi lämpöväli voi olla tarpeen talvella parantamaan kylmäkäynnistymistä.



Jos tarvitset apua oikean sytytystulpan valitsemisessa tietyllä ajoneuvolla, DENSO-insinöörit auttavat mielellään. Löydät verkkosivuilta lisätietoa: [denso-am.eu/products/automotive-aftermarket/ignition/spark-plugs](https://denso-am.eu/products/automotive-aftermarket/ignition/spark-plugs)

Tai ota yhteyttä DENSO-insinööreihin käyttäen seuraavaa sähköpostiosoitetta: [marketing@denso.nl](mailto:marketing@denso.nl)



# 10. UKK, ASENNUS JA VIANMÄÄRITYS

## 10.1. UKK

### Miten valitsen oikean sytytystulpan?

Useita tekijöitä on otettava huomioon, kuten mitat, ulkonemat ja lämpöväli. Helpoin tapa tunnistaa oikea sytytystulppa on selata DENSO:n verkkokatalogia (Kuva 10.1 ja 10.2). Löydät verkkokatalogista oikeat DENSO-osat valmistaja- ja mallitietojen tai ristiviitteiden perusteella.

### Mitä sytytystulppaa tulee käyttää nestekaasun (LPG) kanssa?

LPG- ja CNG-moottorit vaativat sytytystulpalta korkeampaa suorituskykyä kuin bensiinimoottorit. TT-valikoima tarjoaa päivityksen, joka täyttää LPG/CNG -vaatimukset. Löydät lisätietoa luvusta 9, kohdasta 9.4.



Löydät parhaan sytytystulpan autollesi DENSO -verkkokatalogista (Kuva 10.1 ja 10.2):

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

### Tuleeko minun säätää elektrodiväliä?

DENSO-sytytystulpat valmistetaan esimääritellyllä välillä. Nikkelitulppien kohdalla, erityisesti moottoripyörille, väliä on mahdollisesti säädettävä. Käytä aina erityistä sytytystulppien säätötyökalua väliä säätäessäsi. Älä muuta Platinum-, Iridium- tai Twin Tip -sytytystulppien väliä, koska ohuet elektrodit voivat vaurioitua.

### Mitä on esisyttyminen?

Esisyttyminen, tai itsesytyminen, tapahtuu kun ilma-/polttoaineseos syttyy ennen ajoitetun kipinän muodostumista. Tämä voi johtua palokammiossa olevasta kuumasta pinnasta. Seuraavat asiat voivat myös aiheuttaa esisyttyämisen:

- (1) Ylikuumentunut sytytystulpan kärki (väärä lämpöväli valittuna).
- (2) Pakoventtiili, jos se ole jäähtynyt riittävästi.
- (3) Hiilikertymät, jotka hohtavat edellisestä palamiskierrosta.

Löydät lisätietoa esisyttymisestä kohdassa 5.3.

### Mitä on moottorin nakutus (räjähdys)?

Moottorin nakutus johtuu usein esisyttymisestä. Progressiivisen palamisen sijaan, ilma/polttoaineseos räjähtää hallitsemattomasti. Moottorin nakutus voi lopullisesti vaurioittaa sytytystulppaa ja voi aiheuttaa vakavia moottorivaurioita.

Löydät lisätietoa moottorin nakutuksesta kohdassa 5.3.

The screenshot shows the DENSO e-catalogue interface. It features a navigation bar with 'DENSO' logo and links for PRODUCTS, SERVICES, E-CATALOGUE, WHERE TO BUY, NEWS & EVENTS, ABOUT US, and SITEMAP. There is a search bar and a language selector set to 'UK'. 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 a 'Find your vehicle' section with dropdowns for make, model, and year; and 'FIND YOUR PRODUCT' with an 'Enter an article number' search box and a 'Search by product' section with dropdowns for Spark Plugs, TOYOTA, AYGO (05-), 1.0 (KGB10\_), and 2009. A small image of a car is shown on the right.

Kuva 10.1 DENSO verkkokatalogi ajoneuvovalikoima

### 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

Kuva 10.2 DENSO verkkokatalogi hakutulokset sytytystulppavaihtoehdoille

**Kuinka usein minun on vaihdettava sytytystulppani?**

Yleisesti, ajoneuvonvalmistaja ilmoittaa vaihtovälin. DENSO-sytytystulpat noudattavat samaa aikaväliä. Päivittäessä sytytystulppia, aikaväli voi muuttua.

LPG:llä tai CNG:llä ajaminen vähentää sytytystulpan käyttöikää 25-30%:lla. Sytytystulpan kunto suositellaan säännöllisesti tarkastettavaksi ja se tulee vaihtaa, kun sytytystulppa likaantuu.

**Pitääkö minun lisätä rasvaa sytytystulpan kierteeseen?**

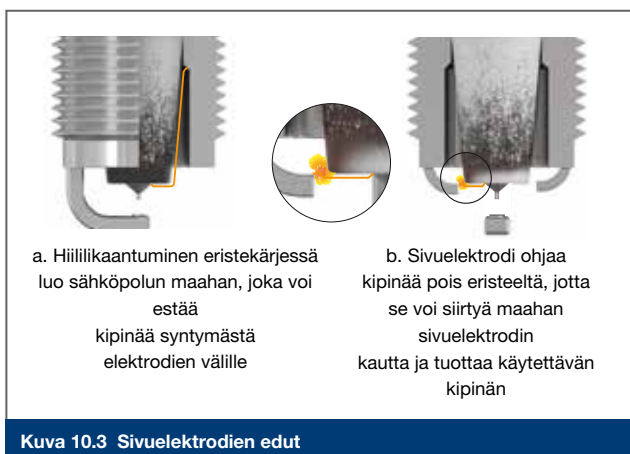
Jos kierrerasvaa levitetään kierteele, sytytystulppa saatetaan kiristää liian tiukalle, kun suositeltavaa vääntömomenttia sovelletaan; tämä voi vaurioittaa sytytystulppaa. Sen seurauksena, tärinä voi saada tulpan löystymään. Tästä syystä, DENSO ei suosittele kierrerasvan käyttöä.

Pientä rasvamäärää tarvitaan ainoastaan harvoissa poikkeustapauksissa (kuten jotkut LPG-toimiset trukit). Näissä tapauksissa, sytytystulppa toimitetaan esivoideltuna (katso kohta 10.2).

**Mitä eroa on sivuelektrodien ja monimaadoituselektrodien välillä?**

Suoraruiskumoottoreissa, ilma-/polttoaineseos sytytystulpan lähellä voi olla paikallisesti erittäin rikasta, joka voi johtaa keraamisen eristeen hiililiikaantumiseen. Hiili voi muodostaa vaihtoehdoisen tien, jota pitkin sähköenergia liikkuu eristettä pitkin tulppakoteloon (Kuva 10.3a) ja aiheuttaa sytytyskatkoja.

Lisäämällä sivuelektrodit (Kuva 10.3b), kipinä ohjataan eristeeltä sivuelektrodiin estäen sytytyskatkot. Kun palaminen alkaa sivuelektrodien lähellä, muodostunut lämpö polttaa hiililiikaantumisen pois. Seuraavan kierron aikana, eriste on puhdas ja kipinä muodostuu keskielektrodin ja päämaadoituselektrodin välille.



Kuva 10.3 Sivuelektrodien edut

**Kuinka paljon voin odottaa suorituskyvyn parantuvan, kun päivitän sytytystulppani?**

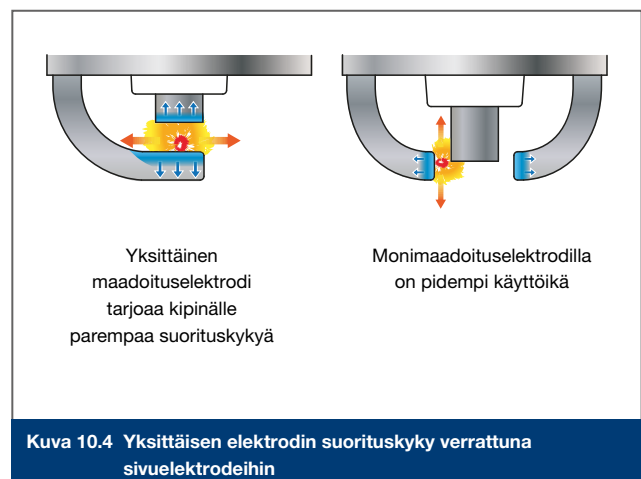
Päivittäessä sytytystulpat Iridium TT- tai Iridium Power -sytytystulppiin, jopa 5%:n moottoritehoparannukset on mitattu. Tämä kuitenkin riippuu moottorista. Nykyaikaisiin moottoreihin on usein jo asennettu korkean suorituskyvyn sytytystulpat, joten ero ei ole niin suuri. Tärkeimpiin suorituskykyparannuksiin kuuluvat yleisesti parempi käynnistyminen ja sulavammin käyvä moottori. Löydät luvusta 9 lisätietoa sytytystulppasi päivittämisestä.

**Voinko korvata monimaadoitteen sytytystulpan yksimaadoitteisella sytytystulppalla?**

Jotkut moottori- ja ajoneuvovalmistajat suosivat monimaadoituselektrodeja, koska niissä on pidempi käyttöikä kuin lisämaadoituselektrodeilla (Kuva 10.4). Se on erittäin kustannustehokas ratkaisu, jolla pidennät sytytystulpan vaihtoväliä ilman jalometallien käyttöä.

Monimaadoitteiset sytytystulpat ovat optimoituja pitkälle käyttöiälle eikä suorituskyvyllä. Monimaadoituselektrodilla varustetun sytytystulpan korvaaminen yksimaadoituselektrodilla varustetulla sytytystulppalla parantaa suorituskykyä, kunhan otat huomioon yksimaadoituselektrodin sytytystulpan lyhyemmän käyttöiän.

Jos päivität monimaadoituselektrodin sytytystulpan pitkäikäisellä iridiumsytytystulppalla, kuten DENSO Iridium TT -sytytystulppalla, käyttöikä on vielä pidempi kuin monimaadoituselektrodin sytytystulppalla. Tuloksena on myös parannettu suorituskyky.



Kuva 10.4 Yksittäisen elektrodin suorituskyky verrattuna sivuelektrodeihin



## 10.2. Sytytystulppien oikeaoppinen asennus

### Vanhojen sytytystulppien irrottaminen

Sellaisissa sytytysjärjestelmissä, joissa sytytystulppajohtimet ovat kytketty sytytystulppiin, johtimet tulee ihanteellisesti irrottaa tulpasta vetämällä eristepäädystä, joka peittää sytytystulpan päädyn eikä vetämällä tulpan johtimen ohuemmasta osiosta. Joissain tapauksissa, jos sytytystulppa on syvällä sylinterikannessa, tulppa-avain voi olla tarpeellinen. Tarkista myös tulppajohtojen kunto halkeamien, vaurioiden ja liian varalta, jotka voivat aiheuttaa korkeajännitteen vuotamisen sytytystulpasta, ja vaihda johdot, jos ne eivät ole hyvässä kunnossa.

Jos sytytyspuolat ovat aivan sytytystulpassa kiinni, luethan mahdolliset ajoneuvon sovellettavat erilliset puolan poisto-ohjeet.

Ennen kuin irrotat vanhan sytytystulpan, varmista, että öljy, hiekka ja muu lika sytytystulpan ulkopuolella poistetaan, jotta se ei pääse moottorin sisään, kun sytytystulppa on irrotettu. Poista vanha sytytystulppa tulppa-avaimella tai hylsillä, jossa on sytytystulppalle sopiva kuusiokolokoko.

### Asennus, kiristuksen vääntömomentti tai kulma

Useimmat nykyaikaisille moottoreille tarkoitetut sytytystulpat toimitetaan esisäädetyillä väleillä; jos tulppaväli kuitenkin vaatii säätöä, käytä tarkoituksenmukaista tulppavälin säätötyökalua. Ole erityisen varovainen säätäessäsi platina- tai iridiumsytytystulppia; elektrodit vahingoittuvat helposti.

Varmista, että uusi sytytystulppa on oikein kohdistettu kierteisen tulppareian kanssa, ja kiristä käsin kunnes se istuu paikoillaan.

Käytä mielellään momenttiavainta ja sopivankokoista hylsyä kiristäaksesi sytytystulppa suositeltuun vääntömomenttiin (Kuvassa 10.5 olevan vääntömomenttitaulukon mukaisesti). Jos momenttiavainta ei ole saatavilla, käytä suositeltua kiristyskulmaa.

On erittäin tärkeää käyttää oikeaa vääntömomenttia asentaessa sytytystulppia. Käyttäessä väärää vääntömomenttia, vuotoja voi aiheutua, jotka johtavat palokammion painekatoon erityisesti puristus- ja työtahtien aikana. Jos liikaa vääntömomenttia käytetään, kotelointi venyy, joka voi vaikuttaa lämmön hajauttamiseen tai sytytystulpan sisäiseen mekaaniseen kuormitukseen ja voi jopa aiheuttaa keraamisen eristeen hajoamisen. Vaurioitunut tai hajonnut eriste voi johtaa kipinävuotoon, tai se voi vaikuttaa sytytystulpan lämpöominaisuuksiin, joka voi aiheuttaa ylikuumenemistä, esisytytystä ja joissain tapauksissa moottorivaurioita.

Kytke sytytyspuolat tai tulppajohtot uudelleen kiinni, varmistaen että ne istuvat kunnolla sytytystulpan liittimessä.

**DENSO ei suosittele minkään kierrerasvan käyttöä. Jos kierrerasvaa käytetään kierteillä, suositeltuun vääntömomenttiin kiristäminen voi johtaa ylikiristämiseen ja aiheuttaa tiivisteen vuotoa. Voitelu on tarpeen ainoastaan poikkeustapauksissa, jolloin DENSO-sytytystulppa on pakkauksesta otettuna esivoiteltu ja valmis käytettäväksi.**

**Sytytystulpan takuu mitätöityy, kun virheellistä vääntömomenttia käytetään.**

Kierrekoko	Käyttötyypit	Suositeltu vääntömomentti	Suositeltu kulma	
			Uusi tulppa	Käytetty tulppa
M8	Kaikki tyypit	8 – 10 Nm	1 kierros	1/12 kierrosta
M10	Muut kuin alla näytetyt tyypit	10 – 15 Nm	1/3 kierrosta	1/12 kierrosta
M10	UFE, IUH, VUH, VNH -tyypit	10 – 15 Nm	2/3 kierrosta	1/12 kierrosta
M10	Ruostumaton tiivistetyyppi (päädyllä "S")	10 – 15 Nm	3/4 kierrosta	1/12 kierrosta
M12	Kaikki tyypit	15 – 20 Nm	1/3 kierrosta	1/12 kierrosta
M14	Kaikki muut kuin alla näytetyt tyypit	20 – 30 Nm	1/2 kierrosta	1/12 kierrosta
M14	Ruostumaton tiivistetyyppi (pääty, jossa "S" tai "G")	20 – 30 Nm	2/3 kierrosta	1/12 kierrosta
M14	Kartioistukka kaikki tyypit	20 – 30 Nm	1/16 kierrosta	1/16 kierrosta
M18	Kaikki tyypit	30 – 40 Nm	1/4 kierrosta	1/12 kierrosta

Kuva 10.5 Sytytystulpan vääntömomentti ja kulmat



### VAROITUS kielletty käyttö



> Älä koskaan käytä DENSO-sytytystulppia ilma-alusten moottoreissa, mukaan lukien lentokoneissa, helikoptereissa, liitokoneissa tai droneissa. Myymässä olevat DENSO-sytytystulpat eivät ole suunniteltuja tai valmistettuja millekään ilma-alukselle: niiden käyttö voi johtaa lento-onnettomuuksiin tai muihin onnettomuuksiin moottorin vioittumisen vuoksi.

> Älä koskaan käytä tässä katalogissa lueteltuja DENSO-sytytystulppia generaattoreissa tai kaasutoimisissa lämpöpumpuilmastointijärjestelmissä. Myymämme DENSO-sytytystulpat eivät ole suunniteltuja tai valmistettuja kyseiseen käyttöön. Kyseinen käyttö voi johtaa onnettomuuksiin, mukaan lukien tehon tai lämmön muodostumisen loppumiseen. Saatavilla on erillinen katalogi DENSO-sytytystulppille, jotka ovat nimenomaisesti suunniteltuja generaattoreille (kaasumoottoreille). Ota yhteyttä DENSO-edustajaasi saadaksesi lisätietoja.

> Älä koskaan käytä DENSO-sytytystulppia kaasupolttimen sytytykseen. Myymämme DENSO-sytytystulpat eivät ole suunniteltuja tai valmistettuja kyseiseen käyttöön. Kyseinen käyttö voi johtaa sytytyksen vioittumiseen tai ylikuumenemisen aiheuttamiin laitevaurioihin.

## 10.3. Vianmääritys

On olemassa useita sytytykseen liittyviä oireita, jotka voivat alkujaan vaikuttaa olevan sytytystulppaan liittyviä vikoja; nämä oireet voivat kuitenkin olla muiden sytytystulppatoimintaan vaikuttavien ajoneuvojärjestelmävikojen tai muiden ongelmien aiheuttamia.

Kun ongelma ilmenee, varmista, että käytössä olevat sytytystulpat ovat oikeantyyppiset moottorille, ja että sytytystulppien suositeltua käyttöikää ei ole ylitetty. Tarkista elektrodien kunto ja tarkista, ettei eristeessä ole halkeamia tai vaurioita.

Seuraava luettelo korostaa joitakin helpommin tunnistettavia käynnistykseen liittyviä ongelmia, joita voi havaita tarkastelemalla elektrodia, eristekärkeä ja tulpan kotelointia, johon usein viitataan sytytystulpan ”lukemisella”.

### Normaali toiminta

**Ulkoasu:** Vaaleanharmaat tai ruskehtavat jäämät sekä vähäistä elektrodieroosiota.

### Hiiliikaantuminen

**Ulkoasu:** Eristeessä ja elektrodissa kuivaa, pehmeän mustaa hiiltä.

**Tulokset:** Heikko käynnistyminen, sytytyskatkoksia erityisesti kiihdyttäessä tai korkeiden kuormitusten aikana.

**Mahdolliset syyt:** Ylikkaat ilma-/polttoaineseokset, huonot sytytysjohdot, tulpan lämpöväli liian kylmä. Vanhemmissa ajoneuvoissa tai ajoneuvoissa, joissa on säädettävät kaasuttimet ja sytytyksen väliset ajoitukset, oireet voivat johtua viivästyneestä/myöhäisestä sytytysajoituksesta ja kaasutinvioloista, kuten viallisesta kylmäkäynnistys-/rikastinjärjestelmästä.

### Lyijylikaantuminen

**Ulkoasu:** Keltaiset tai ruskehtavat tuhkamaiset jäämät tai kiiltopinta eristeessä.

**Tulokset:** Sytytyskatkokset äkillisissä kiihdytys- tai kuormitusilanteissa, mutta ei haittavaikutuksia normaaleissa käyttöolosuhteissa.

**Mahdolliset syyt:** Korkeapitoisen lyijyllisen bensiinin käyttö.

### Ylikuumeneminen

**Ulkoasu:** Erittäin valkoinen eriste, jossa pieniä mustia jäämiä sekä elektrodin enneaikainen eroosio tai sulaminen.

**Tulokset:** Tehokato erityisesti nopeissa nopeuksissa / kovan kuormituksen alla.

**Mahdolliset syyt:** Tulppa ei ole riittävän kireällä, moottori ei jäähydy riittävästi, tulpan lämpöväli liian kuuma, vakava räjähdys. Vanhemmissa ajoneuvoissa tai ajoneuvoissa, joissa on säädettävä sytytyksen välinen ajoitus, sytytysajoitus saattaa olla liian aikainen.

### Esisytytys

**Ulkoasu:** Sulanut tai palanut keski- ja/tai maadoituselektrodi, rakkuloitunut.

