

A sorozatlövő

2. rész

Az előző részben megismerkedhettünk az MCI-gyújtásrendszer felépítésével, röviden működésével, jellemzőivel. Most nézzük meg a „henger belsejéből” szemlélve a rétegezett keverék gyújtásának buktatóit, a gyulladáskimaradások karakterisztikáit, és azt, hogy hogyan alakulnak egyéb motorikus jellemzők a rétegezett keverékű üzem során, mindvégig a hagyományos egyszikrás és a Delphi multiszikrás összehasonlításán keresztül.

A rétegezett keverék gyújtásának sajátosságai

A tüzelőanyag-sugár-vezetéses égési folyamatok megvalósítása rétegezett keverékű üzemben nagyon magas követelményeket támaszt a gyújtórendszerrel szemben.

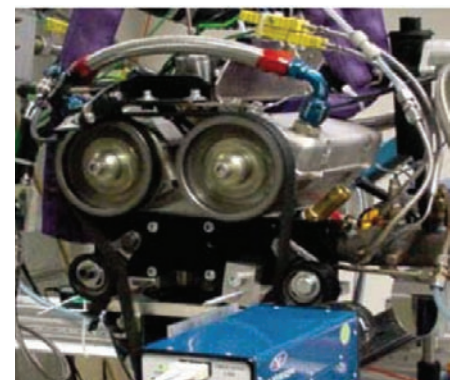
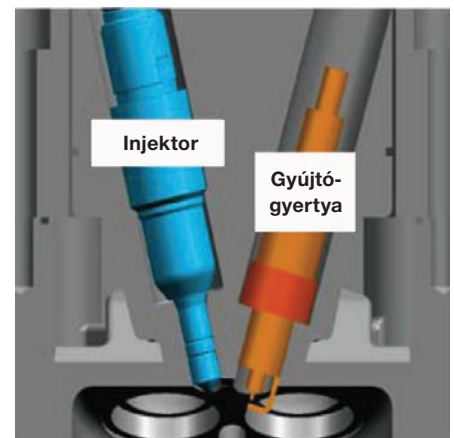
A gyújtás alkalmával a gyújtógyertya közelében található keverék légviszonya és sebessége széles határok között változik. Ehhez hozzájárulnak még további befolyásoló tényezők, mint a tüzelőanyag-porlasztási sugárkép, a befecskendezőporlasztó mérettűréseinek különbözőségei, valamint a töltetcsere által indukált ciklikus lengések. Az már ismert törvényszerűség, hogy az áttörési feszültség a gázűrűség, valamint a gáznyomás és az elektródátávolság függvényében folyamatosan változik. Mivel az MCI-rendszer üzemelése során az egymást követő gyújtóívек a gyújtási fel-sőholtponthoz közelebb, és ezzel együtt nagyobb hengernyomások mellett képződnek, ezért nagyobb feszültséggel történik az áttörés (átütés), mint az egyszer gyújtó rendszereknél. Továbbá a rövid keverék-képzési idők miatt elkerülhetetlen az, hogy a gyertyaelektrodák közelében a keverékben lévő tüzelőanyag-nak a nagy része folyadékfázisú legyen, illetve a tüzelőanyag-gal benedvesített elektrodák még további áttörési feszültség növekményt igényelnek. Ehhez tartozik még egy járulékos és egyben nehezítő körülmény, nevezetesen, hogy a tüzelőanyagcseppek a plazmacsatornát az áttörés után lehűtik. A töltetcsere alatt generált áramlások és turbulenciák mellett maga a befecskendezési sugár is egy járulékos áramlási struktúrát hoz létre, amely a szikra kialakítására következményekkel lehet. Azért, hogy egy lehetőleg biztos gyulladást lehessen elérni, meg kell valósítani egyrészt egy elegendő hosszú

Égésfolyamat	Sugárvezetéses
Injektorpozíció	középen, 0° döntött
Gyújtógyertya-pozíció	excenteresen a forgattyús tengely tengelyvonalához, 28° döntött
Dugattyú	kismértékű, középen elhelyezett mélyedés
Sűrítési viszony	11,7
Injektor	kifelé nyitó, mágnesstekercs-működtetésű
Gyújtógyertya	NGK T20023L
Tüzelőanyag	Shell V Power

Próbamotor

Lökettérfogat [cm ³]	499
Furat [mm]/Löket [mm]	86 / 86
Hajtórúd-hossz [mm]	143
Szelepek száma	4
Szelepszámszög [°] SZSZ/KSZ	23 / 23
Szívószelep nyit	34° FHP előtt
Szívószelep zár	54° AHP után
Kipufogószelep nyit	74° AHP előtt
Kipufogószelep zár	14° FHP után

ívégéstartamot (több szikra segítségével), másrészt nagyfokú ellenálló képességet a szikraelfújás ellen, ami a már említett áramlási viszonyok miatt keletkezhet. Az egyszikrás gyújtás ezeket a követelményeket nem minden tekintetben tudja kielégíteni. Egy szükséges újragyújtási helyzetben, egy részben „kiürített” transzformátor a szikra elfújása után csak korlátozott képességekkel rendelkezik az ismételt gyújtáshoz. Ezzel szemben az itt leírt MCI-rendszernek a biztos újragyújtás rendszerkövetelménye. Az utántöltési idő alatt - legkisebb utántöltési idő kb. 100 µs - az előzőleg megsza-



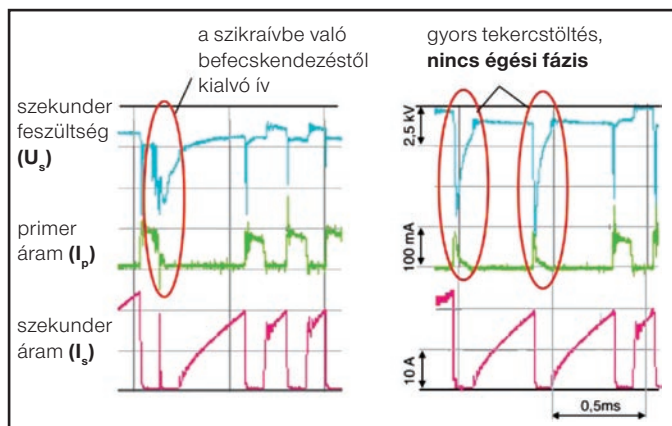
1. ábra

kadó szikra plazmacsatornája csak alig hűl le, miközben a forró gázmaradékok az ún. Entrainment-áramlás miatt a gyertyától eltávolodnak. Ez a forró csatorna azonban a következő átütés számára egy kis ohmikus ellenállású utat jelent.

Vizsgálati eredmények egy rétegezett keverékkel üzemelő egyhengerrű motoron elvégzett vizsgálatokról

A próbamotor

A vizsgálatokhoz, fejlesztésekhez egyhengerű próbamotor szolgál. Az égéstér-geo-



2. ábra

metriát a Delphi fejlesztőintézetében készítették. Keverékképzésre szintén a Delphi által fejlesztett kifelé nyitó, tekercsműködtetésű befecskendezőporlasztót használnak. Az 1. ábrán soroltuk fel a jelentősebb égéstér- és motoradatokat. A felső képen az injektor és a gyújtógyertya helyzete, az alsó képen a próbamotor látható. A motorvizsgáló próbapad teljesen automatizált, és egy komplett kipufogógáz-mérő berendezéssel is felszerelt.

Motorikus eredmények

A motort rétegezett keverékű üzemben és homogén motorüzemben egyszerű (egyszeri) befecskendezéssel, egy 50 mbar-os fojtással, és külső kipufogógáz-visszavezetés nélkül üzemeltették. Az indikálás és a kapcsolódó középértékképzés 750 ciklus adataiból kerül ki. A vizsgálatokat elvégezték rétegezett keverékű üzemben és homogén motorüzemben, egyszeres és MCI-gyújtással is. Az üzemelő motor két rögzített paramétere a fordulatszám $n = 1500 \text{ min}^{-1}$, és az indikált középnyomás $p_{mi} = 3,5 \text{ bar}$. Homogén keverékű üzemben mindkét gyújtórendszer alkalmasnak bizonyult, a homogén szegényfutáshatár lényegében változatlan.

Karakterisztikus jelek gyulladáskimaradások esetén

A 2. ábrán két gyulladáskimaradási mechanizmus látható. A bal oldali oszcillogramokon az figyelhető meg, hogy a tüzelőanyag-sugár akkor éri el a gyújtógyertyát, amikor már ívfenntartás van. A nagy tüzelőanyag folyadékfázis részarány miatt a szekunder feszültség az ívfenntartás érdekében megnő, és azután a transzformátor gyorsan „kiürül”. Kb. 150 μs után a szekunder áram nullára csökken, a szikra ki-

alszik. A jobb oldali képen a várt áttörés nem jön létre, a szekunder feszültség egy teljes terheléses kilengés első félperiódusához hasonló görbefulat mutat. A gyújtási energia a szekunder kör ohmikus ellenállásain hővé alakul. Mivel a befecskendezés már a gyújtás előtt megtörtént, a rendelkezésre álló maximális áttörési feszültség a tüzelőanyag által benedvesített elektróda miatti többletfeszültség-igényt már nem érte el. Mindkét esetben egy, egyszer gyújtórendszer felmondaná a szolgálatot. Egy idővezérelt MFZ a „váratlanul” a gyújtótrafóban maradó kis energia miatt a szükséges energiát már nem tudná létrehozni. Az áramvezérelt multiszikrás rendszer az előzőekkel szemben megnöveli az esélyét

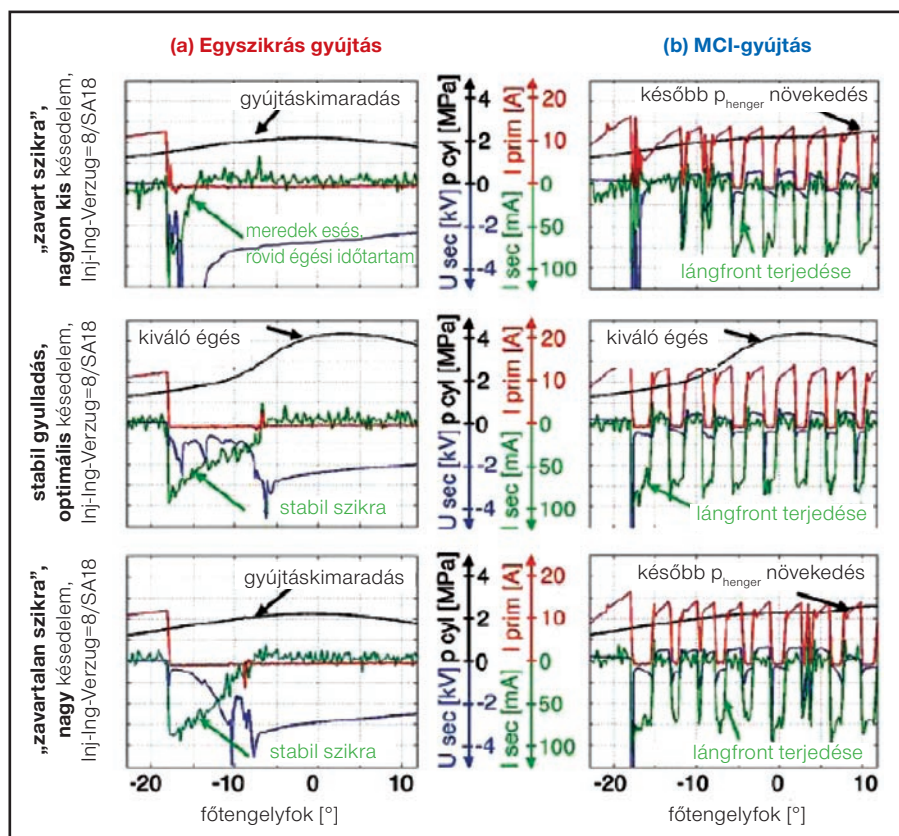
egy sikeres gyulladásnak azáltal, hogy az ismételt gyújtás előtt az „üres” transzformátor primer tekercsét a definiált primeráram-küszöb fölé tölti föl.

A gyulladáskimaradások fajtái rétegezett keverékkel történő üzemelés során

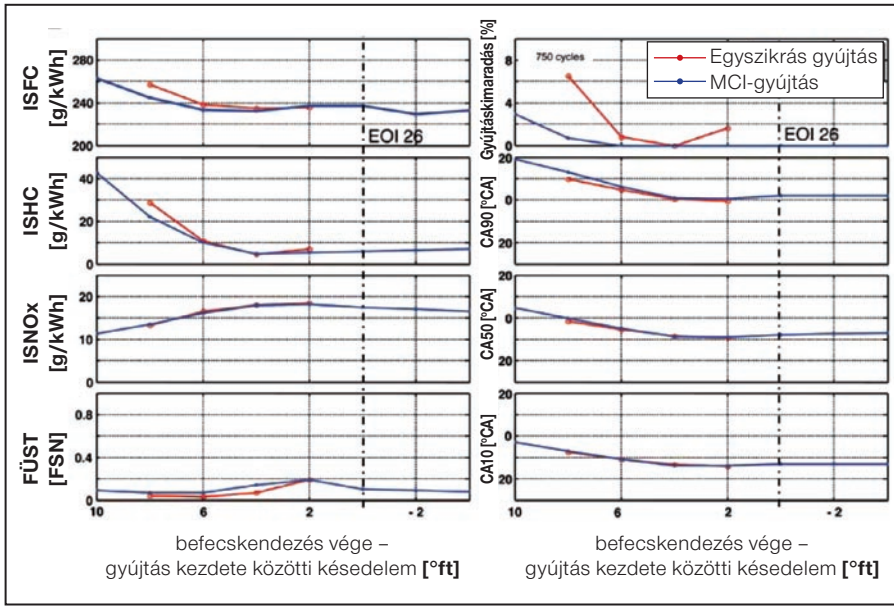
A 3. ábrán szintén több diagram látható, egyenként gyújtásoszcillogramokat és hengernyomás-lefutást mutatnak, a főtengely szögelfordulásának függvényében. A bal oldali oszlopban az egyszeres, a jobb oldali oszlopban az MCI többszörös gyújtással történő üzemelés során felvett jelek láthatóak. Azért, hogy a hengernyomás a gyújtófeszültség szempontjából ne befolyásolja a különböző méréseket, a gyújtás időpontját (egyszeresnél azt az egyet, a többszörösénél az elsőt) konstans értéken, 18 °ft-kal a felső holtpont előtt tartják, ezt a képeken az SA18 (Spark Advance) rövidítés jelzi.

A befecskendezés időpontját három lépésben változtatják, de a befecskendezés végét jelölik (End of Injection, EOI):

1. 18 °ft FHP előtt (EOI 18), ekkor a befecskendezés vége és a gyújtás időpontja közötti késedelem $0 \text{ (Inj.-Ign.-Verzug} = 0)$,



3. ábra

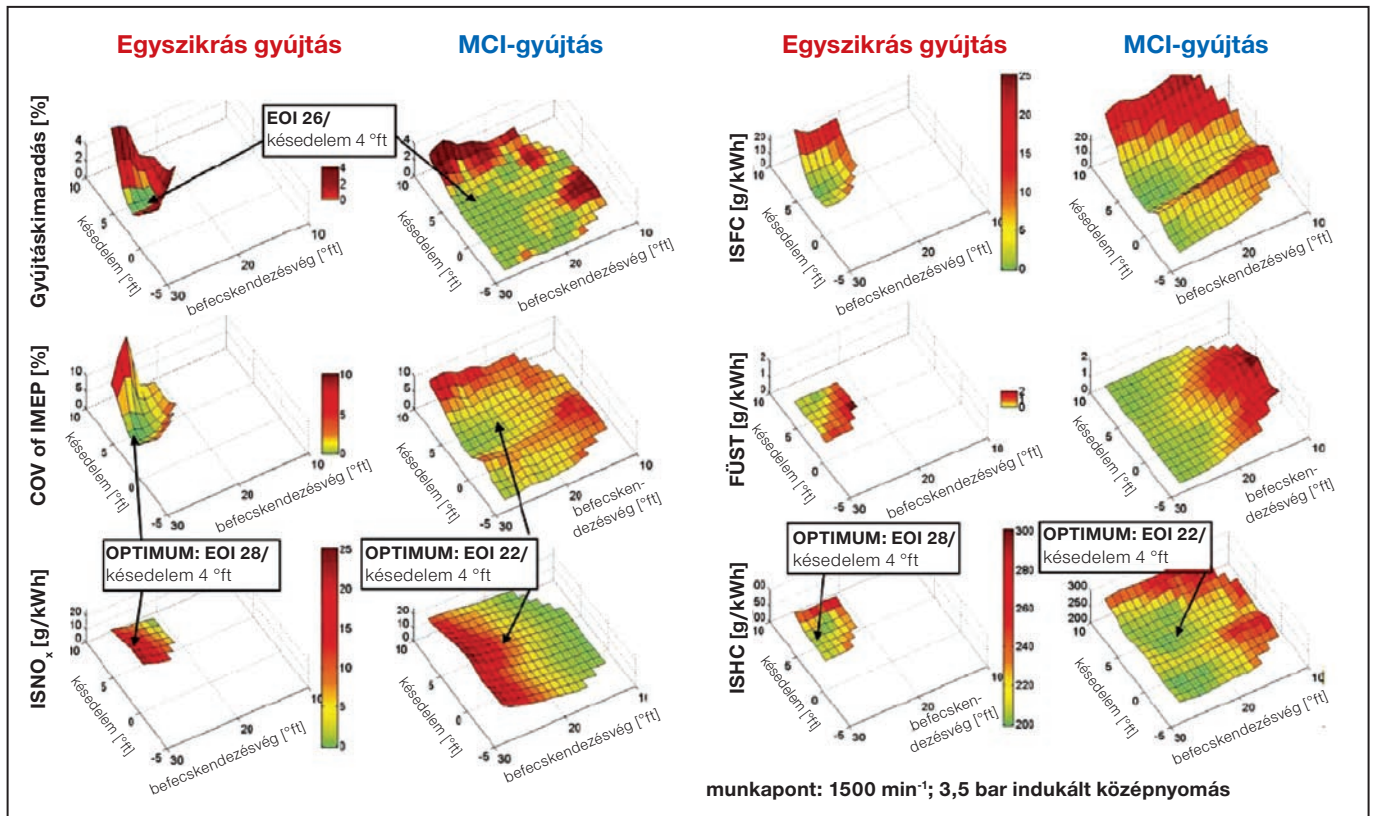


4. ábra

- 2. 22 °ft FHP előtt (EOI 22) (referenciaérték), ekkor a késedelem 4 °ft,
 - 3. 26 °ft FHP előtt (EOI 26), Inj.-Ign.-Verzug = 8 °ft.
- Az ábrákhoz továbbra is két rögzített üzemi paraméterérték tartozik, motorfordulatszám

1500 min⁻¹, indukált középnyomás 3,5 bar. A középső sorban található két diagram mutatja a két gyújtásmód számára az optimális beállítást, amellyel egy stabil gyulladás és ehhez kapcsolódó égés érhető el. A felső képsor egy „zavart” szikráról felvett

jeleket mutatja. Zavart, azért, mert a befecskendezés és a gyújtás között nincs késedelem, a mozgó tüzelőanyag-sugár a már fennálló ívet éri el. Ez a fent említett módon a transzformátor gyors energialeadását követeli, és így az ív kialakításához vezet. Ezt a jelenséget, tehát amikor a fennálló ív befecskendeznek be és a keverék túlzott dús-sága miatt nincs gyulladás, röviden dús-gyulladáskimaradásnak nevezzük. Egyszer történtő gyújtás esetében semmiféle orvoslati lehetőség nincs, ezzel szemben az MCI több követőszikra segítségével, egy nyújtott, de a nyomáslefutásról felismerhetően biztos gyulladást hoz létre. Az alsó sorban található diagramok az előzővel szemben egy „zavartalan” szikráról felvett jeleket mutatják. Zavartalan, mert a befecskendezés és a gyújtás között viszonylag nagy a távolság. Egy szikra nem tud biztos gyulladást indítani, mert a gyújtás időpontjában az áramlások miatt a gyújtóív környezetében a keverék erősen elszegényedett. A nagy ciklusos lengések következtében sztochasztikusan ún. szegény-gyulladáskimaradások keletkezhetnek. A Delphi rendszere ekkor is lehetővé tesz egy elnyújtott, de biztos gyulladást.



5. ábra

További motorikus jellemzők rétegezett keverékekkel történő üzem során

E vizsgálat alkalmával, aminek ez eredményeit a 4. ábrán lehet látni, a befecskendezésvéget rögzítették (EOI 26) 26 °ft-kal FHP előtt és a gyújtásidőpontokat változtatták. A mérési eredmények a következők szerint alakultak: azokban az üzemiállapotokban, amelyekben mind a két gyújtásmód (egyszeres, többszörös) gyulladáskimaradás nélkül dolgozik, nincs különbség a tüzelőanyag-fogyasztás (ISFC), a kipufogógáz-kibocsátás (ISHC, ISNO_x, Smoke) és az adott forgattyús tengely szöghelyzetnél elégett tüzelőanyag-hányad között (CA 10 / 50 / 90 : °ft 10 / 50 / 90% elégett tüzelőanyag-hányad). Ahogyan a jobb felső grafikonon látni lehet, a gyulladáskimaradás-mentes tartomány az MCI-rendszerénél az egyszeres gyújtással szemben jelentősen nagyobb. Ennek oka egyrészt, amikor a befecskendezés és a gyújtás időpontja között a keverékképzésre nem áll rendelkezésre elegendő idő, a nem elégséges mértékben felépített lokálisan dús, kevés oxigéntartalommal rendelkező keveréktartományok jönnek létre, amelyek egyáltalán nem, vagy tökéletlenül égnek. Természetesen a dús-gyulladáskimaradás veszélyét a már említett módon az MCI-rendszer lecsökkenti. Nagyon késő gyújtásnál, az elszegényedett keverékfelhő miatt, amely az elektródákat közvetlenül körbeveszi, kis valószínűséggel lehet egy szikra segítségével biztos gyulladást létrehozni. Nagyobb valószínűséggel találkozunk gyulladóképes keverékekkel a hosszabb égéstartamú, szélesen kiterített vagy kivezetett gyújtószikrák. Abban a tartományban, ahol kisebb a gyulladáskimaradási ráta, következőképpen redukálódik a HC-emisszió és a tüzelőanyag-fogyasztás is (ISFC-, ISHC-függvények). A gyulladáskimaradási

diagramon megfigyelhető még, hogy a hagyományos gyújtásnál a legkisebb gyulladáskimaradási ráta elérése érdekében a gyújtási időpontnak a befecskendezésvég után 2 °ft-kal kell megjelennie, a többszíkrásnál a tetszőlegesen beállítható szikratartam miatt tetszőleges időpontot választhatnak ki, mielőtt még a sugár a gyertyát eléri. Mihelyt a gyulladási feltételek a gyertyaelektrodák között megfelelnek, akkor kezd a keverék biztosan égni.

Az 5. ábrán látható jellegzőkőn a lényeges motorkimeneti adatokat ábrázolják a hagyományos és a Delphi gyújtás-összehasonlításán keresztül. A függvények koordináta-rendszerében a jobbra mutató vízszintes tengelyeken a befecskendezésvég (End of Ignition, EOI) °ft segítségével, a balra mutató vízszintes tengelyeken a befecskendezésvég és a gyújtás időpontja közötti távolság szintén °ft-ben van feltüntetve. A függőleges tengelyeken pedig a különböző motorjellemzők láthatóak. A hagyományos gyújtás gyulladáskimaradás-mentes üzemet csak kis befecskendezés és gyújtástartományban teszi lehetővé. Ennek relatív korai fekvése miatt pl. az NO_x-emisszió nagy értéken van, míg a mellette lévő MCI-hez tartozó jellegzőn megfigyelhető, hogy későbbi befecskendezési időpontokkal kisebb NO_x-kibocsátás érhető el. A befecskendezésvéget és a gyújtásidőpontot is eltolhatják késői irányba, és ezzel a csökkentett csúcshőmérsékletek miatt jelentősen kisebb NO_x-emisszió valószínűsíthető meg. Ehhez kapcsolódik még, hogy amellettt hogy a sztöchiometrikus üzemhez viszonyítva majdnem 20%-kal kisebb fogyasztás adódik, egy további fogyasztási előny, hogy a DeNO_x katalizátort ritkábban kell regenerálni. A továbbiakban nem kiemelve egyetlen függvényt sem, hanem összességében összehasonlítva az egyszeres és a multiszíkrás

gyújtás alkalmazásával elért eredményeket az mondható még, hogy a jelentősen szélesebb, az MCI által létrehozható kedvező tartományok megnövelik az egész rendszer robusztusságát, pl. az öregedési hatás vagy komponensméret-szórások ellen az égésszabályozás megőrzésével, a gyulladáskimaradás elkerülésével.

Összefoglalás

Az előzőekben vázolt áramvezérelt, gyorsan utántöltő, többszörösen gyújtó MCI-rendszer legfontosabb előnye, hogy egy jelentősen hosszabb, hatásosabb gyújtószikrát (szikrasorozat) bocsát rendelkezésre. Létrehoz az égéstérbe kiterített vagy kivezetett gyújtóívet. A transzformátor kivezetéseinek visszacsatolásával elkerüli az ismeretlen és elégtelen gyújtótranszformátor-töltöttség állapotokat, és gyulladáskimaradások esetén több követő, teljes gyújtási energiával rendelkező szikrát alkalmaznak. Az MCI-rendszer használatával elérhető motorikus eredmények lehetővé teszik a motor egész rendszerének költségoptimalizálását, amely különösen érvényes a kipufogógáz-utókezelő rendszerre, a hidegindítási üzemre és a komponensek toleranciakövetelményeinek csökkentésére. A most ábrázolt koncepcióra jelenleg egy robusztus, az ionáram-technológiára épülő égésfelismerést fejlesztenek. Ez az eljárás a néhány már ismert, ionáramot is felhasználó gyújtóberendezések hátrányait kiküszöböli, és égésszabályozásra is használják majd.

SZABADOS GYÖRGY

Forrás:

[1] Bedarfsgerechte Mehrfachzündung für kritische Entfaltungsbereitungen MTZ 07-08 / 2008

Rövidítés	Angol kifejezés	Magyar megfelelő
ISFC [g/kWh]	Indicated Specific Fuel Consumption	Indikált fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás
ISHC [g/kWh]	Indicated Specific Hydrogen-Carbon	Indikált fajlagos szénhidrogén tömegemisszió
ISNO _x [g/kWh]	Indicated Specific Nitrogen-Oxid	Indikált fajlagos nitrogén-oxid tömegemisszió
FSN	Filtered Smoke Number	Füst „BOSCH-szám”
COV of IMEP [%]	Coefficient of Variation Indicated Mean Effective Pressure	Indikált középnyomás-ingadozási tényező
EOI [°ft]	End of Injection	Befecskendezés vége
Inj-Ing Verzug [°ft]		Befecskendezés vége és a gyújtás kezdete közötti intervallum
SA [°ft]	Spark Advance	Előgyújtás
MCI	Multi Charge Ignition	(Áramszabályzott) többszörös gyújtás