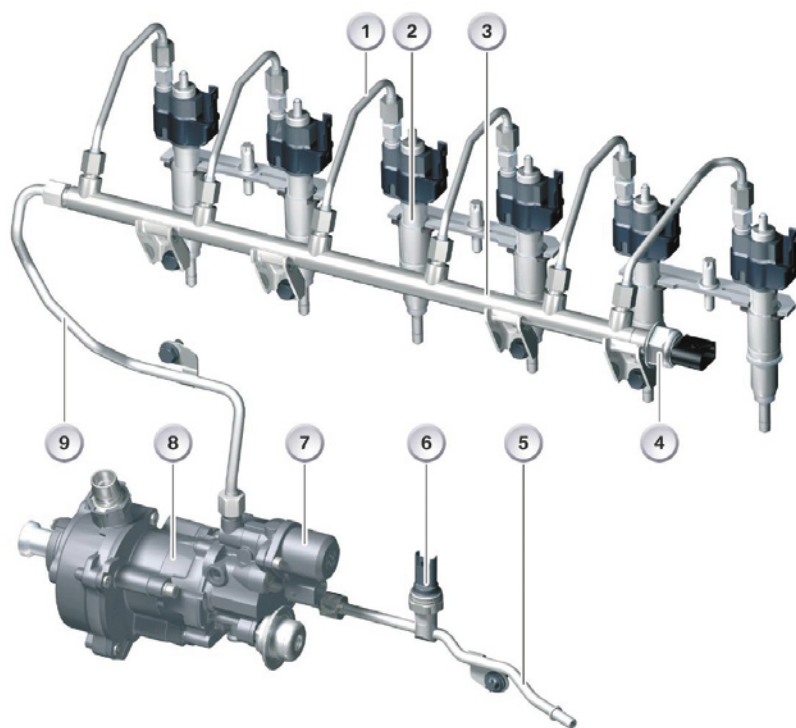
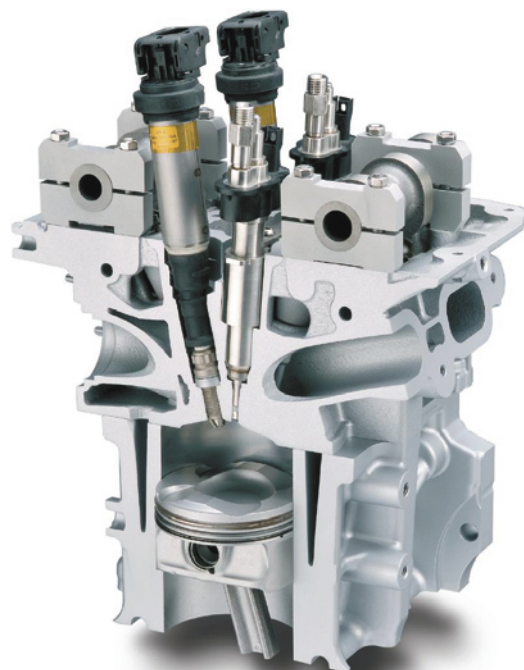


# BMW HPI-benzinbefecskendezés

## A 2. generáció: sugárvezérelt réteges keverékképzés

A benzinbefecskendezés története a célok és követelmények, valamint a lehetőségek és a gazdaságos megvalósítás fejlődési spirálban halad előre. Hajtóerőt a jobb motorikus jellemzők, ebben kiemelten a járművezetői szempontból fontos motorviselkedési tulajdonságok, a környezetvédelem és a fogyasztáscsökkentés ma szoros társa, a CO<sub>2</sub>-csökkentés együttese adja. A „szorítások” kényszerítő hatása és a sorozatgyártásra már érett új technikai megoldások teremtették meg a közvetlen benzinbefecskendezés generációváltó új eljárását és technikáját.



1. ábra: 1 – nyomócső, 2 – piezo injektor, 3 – központi nyomástároló cső (rail), 4 – nagynyomás-érzékelő, 5 – tápvezeték a tüzelőanyag-tartály elektromos tápszivattyútól, 6 – kisnyomásjeladó, 7 – mennyiség szabályzó szelep, 8 – nagynyomású szivattyú, 9 – nagynyomású tápvezeték

A közvetlen benzinbefecskendezés új generációjával, a dízel CR-befecskendezéssel rokonságot mutató nagynyomású, hengertengellyel közel azonos közép-vonalú befecskendezés műszaki megoldásával lapunk olvasói már cikkeinkből korábban megismerkedhettek. Legutóbb például az Autótechnika 2006/5. számában elemeztük „Sugárvezérelt közvetlen benzinbefecskendezés” című cikkünkben, a Mercedes CGI-technika bemutatásán keresztül. (A cikk az Autótechnika szakcikkadatbázisból letölthető: <http://www.autotechnika.hu/12em/tartalom/>). Aki szeretné a problémakört áttekinteni, megérteni, kérjük, feltétlenül olvassa el ezt is, mert sok alapismeretet itt nem ismétlünk meg.

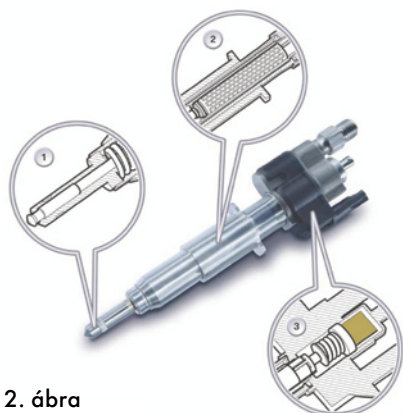
Jelen cikkünkben a BMW műszaki megoldását ismertetjük. A benzinbefecskendezés a HPI-nevet viseli: High Precision Injection, magyarul nagy pontosságú befecskendezés.

A HPI rendszer felépítését az 1. ábra mutatja. A befecskendezési rendszer maximális tápnyomása vagy más néven az ún. központi nyomás – dízeles kifejezéssel a rail-nyomás – a motor fordulatszámával és a motor terhelésével 50 és 200 bar között változik. Az előszállító villamos tápszivattyú nyomása 5 bar.

Motortípus	N43	N53
Hengerszám és elrendezés	szívó, soros, 4	szívó, soros, 6
Furat/löket [mm] /arány	84/90/0,933	85/88/0,966
Lökettérfogat [cm <sup>3</sup> ]	1995	2996
Kompresszióviszony	12:1	
Hengertengely-távolság [mm]	91	
Szelepek száma (k+sz)/átmérő [mm]	2 db Ø29 / 2 db Ø32,4	
Tüzelőanyag	RON 98-91	
Motortömeg [kg] (DIN 70020-GZ)	136	163
Névleges teljesítmény	125 kW/6700 min <sup>-1</sup>	200 kW/6700 min <sup>-1</sup>
Maximális fordulatszám	7000 min <sup>-1</sup>	
Maximális nyomaték	210 Nm/4250 min <sup>-1</sup>	320 Nm/2750–3000 min <sup>-1</sup>
Kipufogógáz-megfelelőség	EU4/ULEV2	
Emissziótechnika	2 motorközeli redox katalizátor + 1 NO <sub>x</sub> tároló/redukciós katalizátor, redox katalizátorok előtt 1-1 db lineáris (szélessávú) λ-szonda, redox katalizátorok után 1-1 db bináris (ugrás) λ-szonda, tároló kat. előtt 1 db hőmérő, tároló katalizátor után 1 db NO <sub>x</sub> -szonda	2 motorközeli redox katalizátor + 2 NO <sub>x</sub> tároló/redukciós katalizátor, redox katalizátorok előtt 1-1 db lineáris (szélessávú) λ-szonda, redox katalizátorok után 1-1 db bináris (ugrás) λ-szonda, tároló kat. előtt 1 db. Hőmérő (2. bank), tároló katalizátor után 1 db NO <sub>x</sub> -szonda (a közös elvezető kipufogócsőben)
Vezérlés	szívó- és kipufogótengely VANOS, állítási tartomány 45 °ft, görgős szelephimba	
Szívórendszer	2-fokozatú szívócső	3-fokozatú, rezonancia szívócsőrendszer
Hengerállvány	alumínium hengertömb öntöttvas hengerhüvelybetéttel	magnézium hengertömb, alumínium hengerbetéttel, Alusil futófelülettel
Hűtés	elektromos hajtású szivattyú, szabályozott üzemű termosztát	
Motorirányítás/égés/gyújtás	MSD80/BMW DI2 spray-guided (sugárirányítású)/hengerenkénti gyújtórendszer	
Keverékösszetétel-tartomány (λ-tartomány)	0,9 - 2,5	

### A piezoinjektor

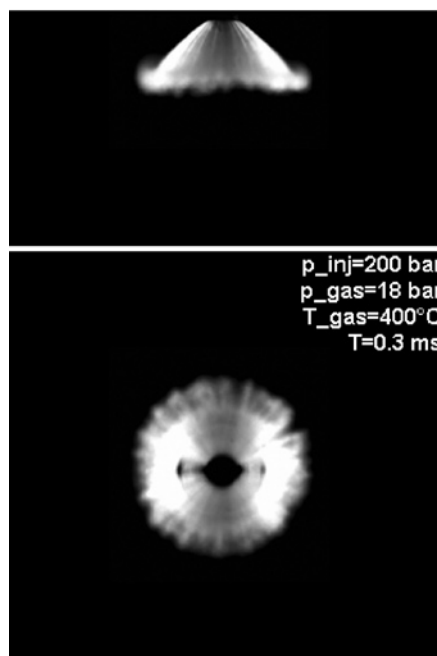
A rendszer lelkét adó injektort a Siemens VDO gyártja. A Mercedes-Bosch és a BMW-SiemensVDO injektorainak a kialakítása, mint azt korábbi cikkünk képei mutatják, szinte kísértetiesen hasonlítanak egymáshoz, fejlesztési együttműködésükről azonban semmit sem tudunk.



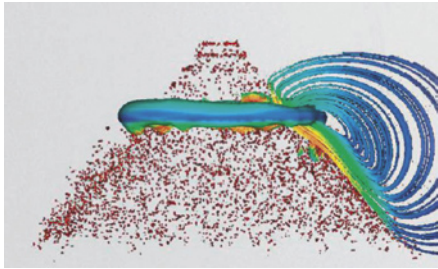
2. ábra

Az injektor felépítését a 2. ábrán tanulmányozhatjuk. A befecskendezőporlasztó tűjét közvetlenül a piezo beavatkozó (2) mozdítja el. A nyitásnál a tű előremozdul (1). A piezoműködtetés révén rendkívül gyors a tű emelése, és egy cikluson belül többszöri nyitás, a BMW-nél háromszori is lehetséges. A tű emelése is változtatható. A hőmérséklet-kompenzátor (3) az injektorház és a piezo oszlop közötti hőtágulási különbséget hivatott kiegyenlíteni, hogy a tűnyitás mértéke hőmérsékletfüggetlen legyen.

Az injektor külső, teflon tömítőgyűrűje ismételen nem használható fel. Az új tömítőgyűrűvel szerelt injektort lehetőleg gyorsan szereljük be a motorba, mert a tömítés megdagadhat. Itt említjük meg, hogy a gyújtóegység – mely a HPI-injektor közvetlen szomszédságában van – benzinnel nem érintkezhet, mert a szilikon tömítésének ellenállása tüzelőanyaggal érintkezve nagyon lecsökken. Injektorszerelés előtt szereljük ki a gyújtóegységet! Ha a gyújtóegységet benzin érte, ki kell cserélni!



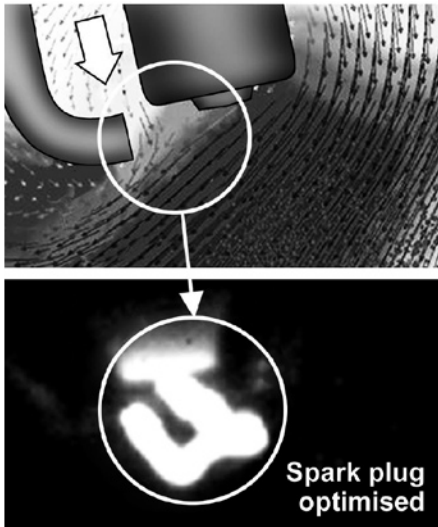
3. ábra



4. ábra

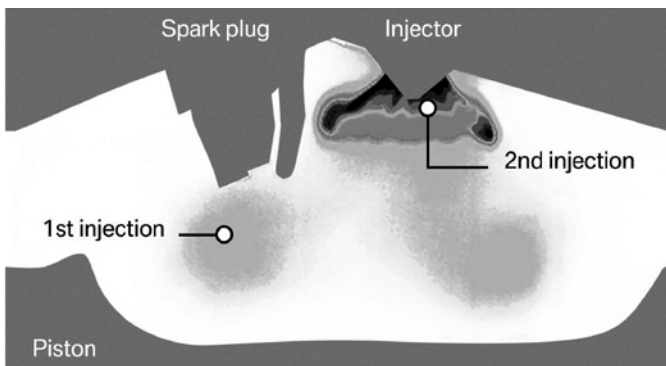
## A HPI-rendszer lényege

A HPI-rendszer lényegét két dolog adja. Egyrészt az, hogy a dózis, a befecskendezési adag és időzítése a korábbi megoldásoknál nagyobb pontossággal és reprodukálhatósággal állítható be. Gondoljuk, hogy innen kaphatta a rend-

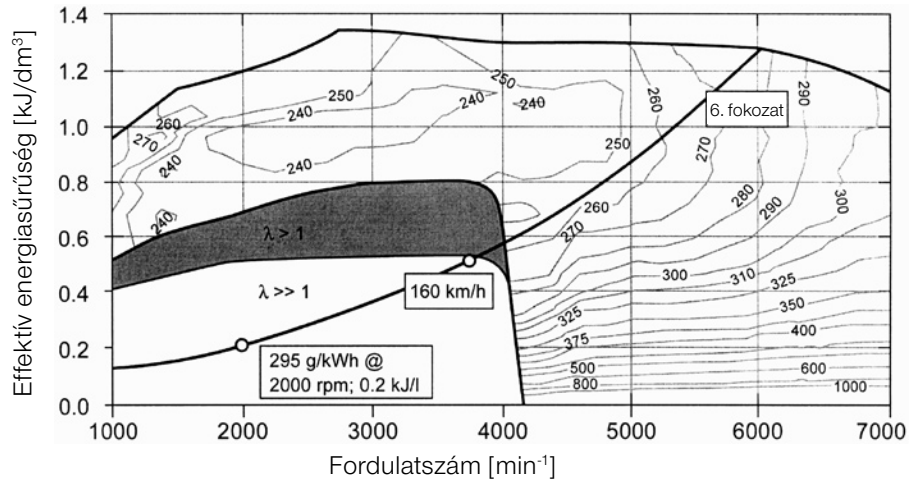


5. ábra

szer a nevét. A HPI-rendszerrel a homogén keveréket a szívóütemben, esetleg a szívó és sűrítési ütemben történő befecskendezéssel hozzák létre. A szikra ezt



6. ábra



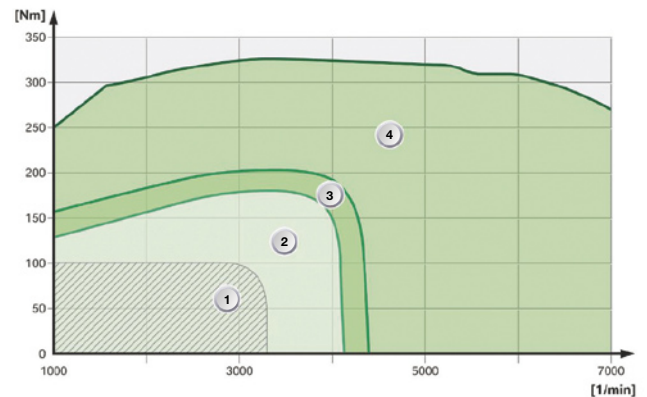
7. ábra

a homogén,  $\lambda=1$  légviszonytényezőjű keveréket gyújtja meg. A közvetlen befecskendezés technikai megoldásának a HPI-rendszer egy - elődökkel ugyan rendelkező, de mégis - új geometriai elrendezése, műszaki konstrukciója, a benzines injektor piezoműködtetésben pedig mindenképpen az első. A HPI-vel létrehozott homogénkeverékű üzemben a teljesítményszabályozás fojtószeleppel történik.

A HPI-bevezetést azonban más tényezők indokolták: a benzinmotor részterhelési fogyasztásának, ezzel velejáróan a szén-dioxid kibocsátásának a csökkentése. Mindezt oly módon, hogy a motorjellemzőkben, a motor dinamikus tulajdonságaiban ne kelljen kompromisszumot kötni, sőt azok is javíthatóak legyenek. Ez sikerült!

A HPI-rendszer igazi lényege az, hogy lehetővé teszi a réteges keverék képzésének új eljárását, ezzel bevezetve új generációját. A megoldás áttörést hoz, mert vele, összevetve a korábbi, fal/levegő terelésű eljárásokkal, lényegesen nagyobb motorüzemi tartományban lehet biztonságosan ezt az üzemmódot létrehozni.

A réteges keverékképzés sarokpontja az, hogy a gyertyaelektrodák között - a gyújtás pillanatában - legyen jelen a biztonságosan meggyújtható,  $\lambda=1$  légviszonytényezőjű keverék „felhő”. A címkép HPI hengerfej, illetve égéstér metszetén jól látható a gyújtógyertya és a befecskendező porlasztó egymáshoz vett helyzete. Ez az elrende-

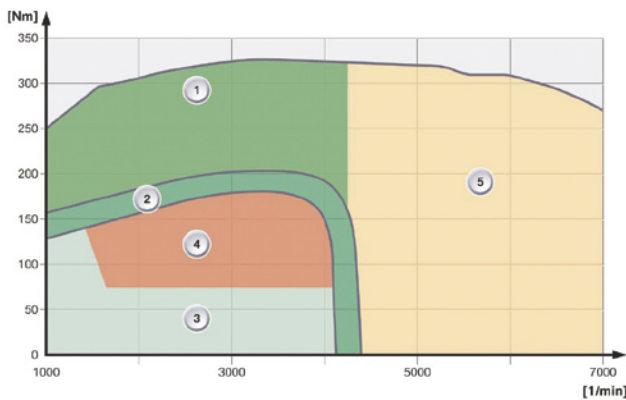


8. ábra

zési mód teszi lehetővé a sugárvezérelt réteges keverékképzést. A szívással befolyásolt, tervezett belső töltetmozgás, az ún. tangenciális és/vagy bukfcencező áramlás itt csekély. A befecskendezett tüzelőanyag-sugárkúp (3. ábra) égéstéri levegőbe hatoló frontja gőzfázisú körgyűrűt képez, mely a sugárpalástól visszagördül (4. ábra). A BMW ezt a körgyűrűvet - népszerűsítő műszaki leírásaiban - farsangi fánknak nevezi. A „fánkban” a keverék összetétele  $\lambda=1$  szoros környezetében van. A gyertya gyújtóvele ebben a keverékben húz át, a közeg vezetőképességének megfelelően vargabetűt téve - az eljárásnak ez is tervezett eleme (5. ábra). Az első befecskendezést követi a második (6. ábra), ami már részben a korábban kialakult tűzfészkekbe hatol be. A többszöri befecskendezéssel érik el



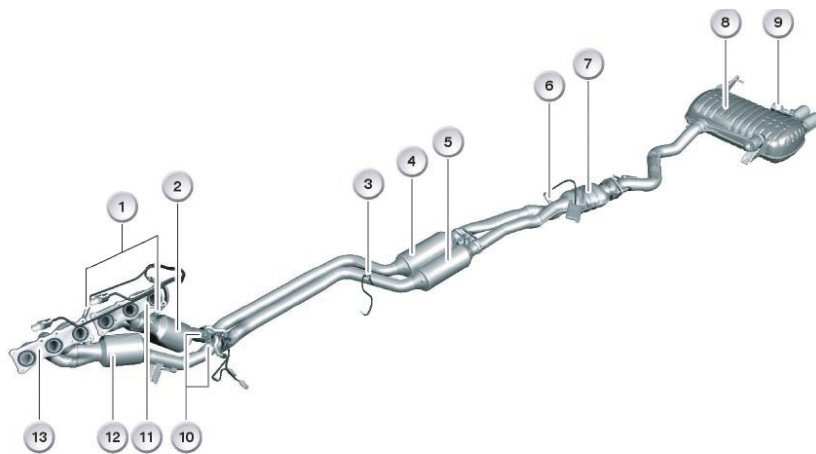
A piezoinjektor jellemzői:	
Átfolyási tömegáram-viszony (az üzemi tartományban):	> 50 szeres
Állandósult max. tömegáram:	> 35 g/s
Minimális dinamikus tömegáram:	< 2 mg/löket
Rendszernyomás:	5-20 MPa
Cseppátmérő (SMD - Surface Mean Diameter):	~ 15 $\mu$ m
Befecskendezés ciklusonként:	max. 4
Nyitási/zárási idő:	$\geq$ 150 $\mu$ s
Üzemi hőmérséklet-tartomány:	-30 °C - 140 °C
A sugár kúpszöge:	90°
A porlasztó egyedi hitelesítésű, kódolt.	



9. ábra

a kisebb sugárbehatolást, ezzel a keveréknek az égéstér közepén való gömbszerű elhelyezkedését. A láng az égéstér közepén kialakuló, a határoló a falakat el nem

erő szegénykeverékű térben biztonsággal terjed. Ezzel a keverékképzési móddal a BMW 6 hengerű motorja 4000  $\text{min}^{-1}$  fordulatilig, és 0,5  $\text{kJ/dm}^3$  fajlagos terhelésig képes üzemelni. Síkúti haladásnál ez 160  $\text{km/h}$  sebességhatárt jelent (7. ábra). Az európai tesztciklusban (NEFZ/NEDC) mérve a réteges keverékképzésű motor 14%-kal kevesebbet fogyaszt, mint az azonos lökettérfogatú Valvetronic motor, miközben teljesíti az EURO 4 előírást.



10. ábra: a kipufogórendszer szerkezeti elemei 1 - lambdaszonda (szélessávú), 2 - redox (három komponensre ható) katalizátor, a 4-6 hengerhez, 3 - hőmérséklet-jeladó, 4 - NOx tároló-katalizátor a 4-6 hengerhez, 5 - NOx tároló-katalizátor az 1-3 hengerhez, 6 - NOx jeladó, 7 - közbenső hangtompító dob, 8 - hátsó hangtompító dob, 9 - kipufogógáz-terelőszelep, 10 - monitor (hátsó vagy OBD) lambdaszonda (ugrás karakterisztikájú), 11 - kipufogóleömlő (4-6 henger), 12 - redox (három komponensre ható) katalizátor, az 1-3 hengerhez, 13 - kipufogóleömlő (1-3 henger).

## A befecskendezési stratégia

A 8. ábra a jellegzetes keverékösszetételmezőket mutatja: 1 - a rétegezett szegénykeverék ( $\lambda > 1$ ) mezője a korábbi, első generációs fal/levegő terelésű keverékképzési eljárásnál, 2 - a HPI-vel elérhető rétegezett keverékű tartomány, 3 - átmeneti tartomány ( $\lambda > 1$ ), 4 - „klasszikus” homogén keverékű tartomány ( $\lambda = 1$ ).

A rétegezett keverék létrehozásának vannak korlátai, a dózisz nagyság és a fordulatszám növekedésével eljut megvalósíthatóságának fizikai határáig. Tehát a teljes terhelési jellegmezőre ezt az üzemmódot nem lehet kiterjeszteni.

A befecskendezési stratégiát mutató ábra (9. ábra) a „mikor és hányszor van befecskendezés az egyes terhelési jellegmező területeken” kérdésre ad választ. Az 1-es mezőben 2-szer van befecskendezés, az első a szívóütemben, a második a sűrítési ütem közepén.

A 2-es mezőben is 2-szer van befecskendezés, az első a szívóütemben, a második közvetlenül a gyújtási FHP előtt.

A 3-as mezőben a gyújtási FHP előtt kétszer, közvetlenül egymás után van befecskendezés.

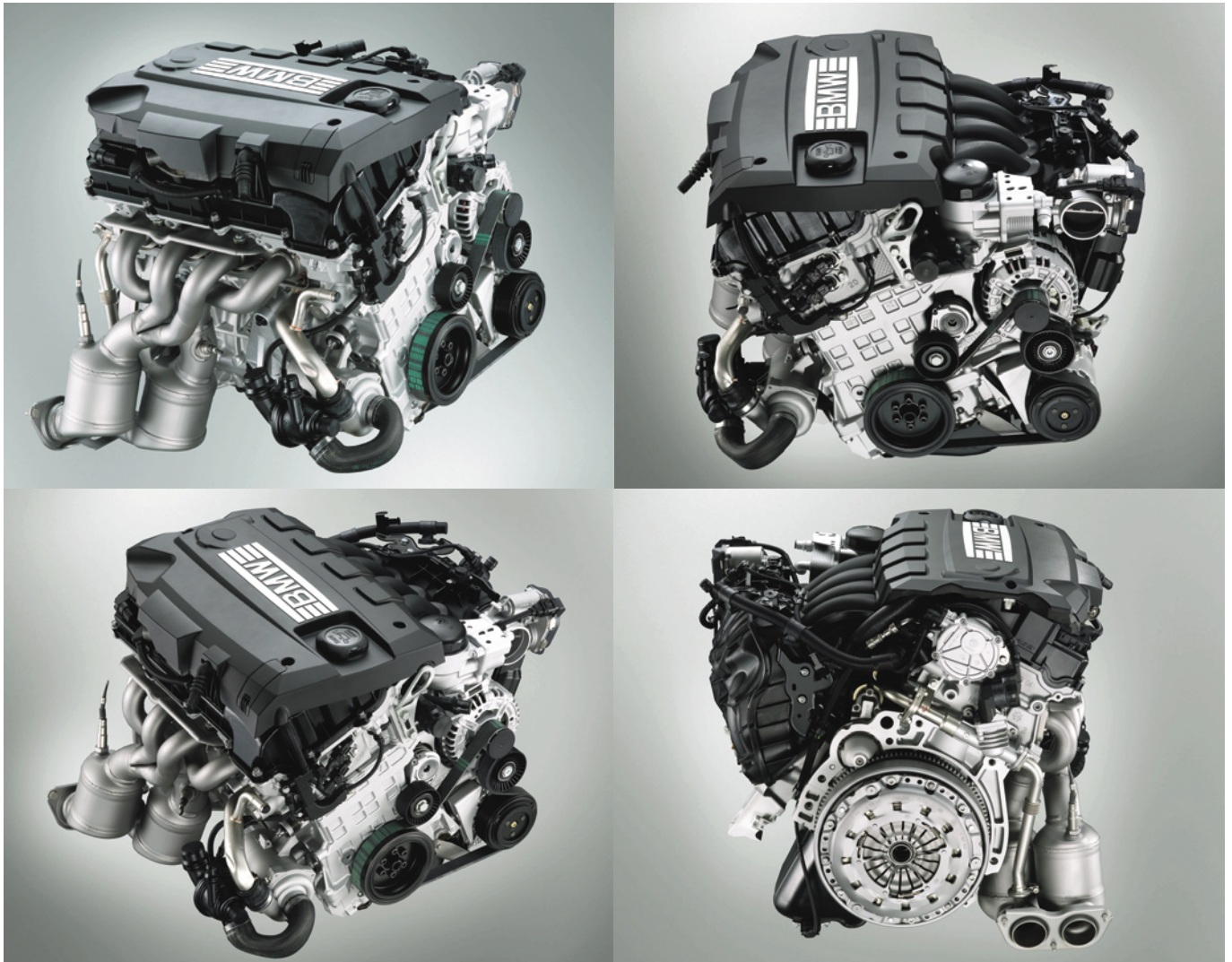
A 4-es mezőben 3-szor van befecskendezés a sűrítési ütem második felében.

Az 5-ös mezőben egyszer van befecskendezés, a szívóütemben.

## Emissziótechnikai rendszer

A híg keverékű üzem miatt nem elegendő a hagyományos redox (három komponensre ható) klasszikus katalizátor. A nitrogén-oxid redukálására külön egység szükséges, ez a nitrogén-oxid-tároló és -redukáló katalizátor. A rendszer felépítését a 10. ábrán szemléltetjük. A 6 hengerű motor 3-3 hengereként kap egy-egy szélessávú (lineáris) lambdaszondát, mely hengervelektív értékelésre is képes, egy-egy redox katalizátort (11. ábra), majd utánuk egy-egy ugrás vagy bináris szondát az OBD követelményeknek megfelelően. A tároló katalizátorból is kettőt találunk. Előtte egy gázhőmérséklet-jeladó, utána - a csőegyesítés után - egy nitrogén-oxid-koncentráció jeladó.

A vizsgálati görgőspadi ciklusban, a hideg motor indítása után az ECU-katalizátor felmelegítési üzemmódot, ezt követően homogénkeverékű motorfelmelegítési üzemmódot állít be. A meleg motor alapjáratán és részterhelésben rétegezett keverékű a motor keverékképzése. Az NOx-katalizátor regenerálása alatt a megelőző rétegezett, szegény keverékű üzemet dús keverékű, homogén keverékű üzem váltja fel. A keverékűsítés ugyan tüzelőanyagfogyasztásnövekedést okoz, de ennek mértéke a ciklusfogyasztásban csak 4%.



11. ábra: az N43-as motor (Foto: BMW)

Az NO<sub>x</sub>-tárolás és redukálás csak meghatározott hőmérséklet-határok között megy végbe. Ha ezen túllép a gázhőmérséklet, a keverékképzés homogén,  $\lambda=1$ -re vált át.

A katalizátor kéntelítődése – nem kéntmentes benzinnel való üzemelés eredményeként – annak működését megakadályozza, ekkor is hagyományos üzemre vált át a keverékképzés. Ekkor is teljesíti a motor az EURO 4 előírását. (Ebből is láthatjuk, hogy a rétegzett keverékű üzem nem a szennyezőanyag-komponensek további csökkentését szolgálja, hanem elsődlegesen a fogyasztás- és a CO<sub>2</sub>-kibocsátás-csökkentést.) A katalizátor kéntmentesítése lehetséges.

Ha egy HPI-réteges keverékképzésű motornál ECU-t (MSD80) kell cserélni, akkor az NO<sub>x</sub> tárolókatalizátor öregedési és kéntelítési adatait át kell írni az új ECU-ba. Ha új tárolókatalizátort építünk be, akkor az előző két paramétert az ECU-ban nullázni kell.

Amennyiben az (E)OBD a kipufogógáz-tisztítás minőségi romlásához vezető hibát azonosít, vészüzemmódba (limp-home) állítja át a motorirányítást. A befecskendezési nyomást 90 bar értékben korlátozza, homogén keverékképzésre áll át. Lehetséges hibák:

- nem elfogadható nagynyomású szenzor jelérték,
- tápszivattyúban a mennyiség szabályzó szelep hibája,
- szivárgás a nagynyomású rendszerben,
- a nagynyomású szivattyú hibája,
- a nagynyomású szenzor hibája.

A sugárvezérelt réteges keverékképzés eddig a legsikeresebb szegénykeverékű elégetési eljárás. Várható, hogy hasonló megoldással több autó- és motorgyártó is színe lép a közeljövőben. Létezik-e további, ennél még jobb keverékképzési, elégetési eljárás? Nem látunk be a kutatás-fejlesztés boszorkánykonyháiba, de a dízotto-motort ne tévesszük szem elől.

DR. NAGYSZOKOLYAI IVÁN

Forrás:

Siemens AG - Siemens VDO Automotive J710011 terméklap,

Der neue BMW 1r, ATZ/MTZ Extra 58922, 2004 Oktober,

Dipl.-Ing. P. Langen, Dipl.-Ing. T. Melcher, Dipl.-Ing. S. Missy, Dr.-Ing. C. Schwarz, Dr.-

Ing. E. Schünemann, BMW Group, Munich: New BMW Six- and Four-Cylinder Petrol

Engines with High Precision Injection and Stratified Combustion, 28. Internationales

Wiener Motorensymposium, 2007., Andreas Welter et al.: Der neue aufgeladene

Reihensechszylinder-Ottomotor von BMW, MTZ, 2007/02, p. 80-89.,

Christian Schwarz et al.: Die neue Vier- und Sechszylinder-Ottomotoren von BMW mit

Schichtbrennverfahren, MTZ 2007/05, p. 332-341.

Köszönetet mondunk Kiszely Csabának, a BMW Magyarország Kft. munkatársának értékes műszaki konzultációs segítségéért.