

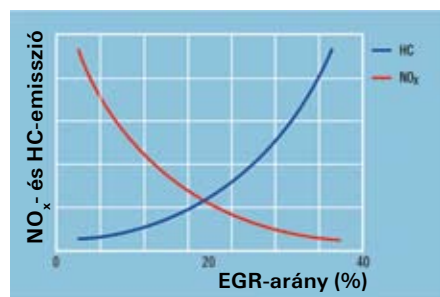
Közvetlen befecskendezésű Otto-motorok kipufogógáz-visszavezetése

A nitrogén-oxid-emisszió csökkentésére a belső motorikus technikai megoldások mellett a kipufogógáz-visszavezetés a leghatékonyabb technológiai megoldás.



Az égésfolyamatban a visszavezetett kipufogógáz hatására a nitrogén-oxidok létrejöttének csökkenése kémiai és fizikailag a következőképpen írható le. A levegő, tüzelőanyag keverékben, az égés során a szénhidrogének a levegőben lévő oxigénnel reagálnak. A kipufogógáz hozzákeverése a friss töltet levegőjéhez, az oxigénkoncentrációt csökkenti a hengerben. Ennek következtében az égés lelassul, az égési hőmérséklet csökken. Mivel a nitrogén-oxid-képződés exponenciálisan az égési hőmérséklettől függ, az NO-emisszió, a növekvő EGR-aránnyal jelentősen csökken, miközben a szénhidrogén-emisszió nő (1. ábra).

A direkt befecskendezésű Otto-motor bevezetése előtt a kipufogógáz-visszave-



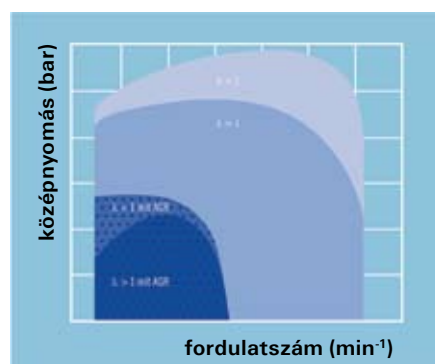
1. ábra

tést jellemzően a tüzelőanyag-fogyasztás csökkentésére alkalmazták. Mivel az égéshez szükséges levegőmennyiséget a fojtószelep szabályozza, a fojtás hatására a részterhelési tartományban különösen jelentős töltési munkát kell kifejtetni. Ez veszteséget jelent, mely hatásfokromlásban jelentkezik. A kipufogógáz-fojtószelep után hozzákeverésével a fojtási veszteség csökkenthető. A hengertöltés az EGR hűtésével tovább növelhető.

A dízelmotorokkal összehasonlítva a konvencionális szívócső-befecskendezéssel működő Otto-motoroknál csak a részterhelési tartományban, a fojtási veszteség csökkentésére használnak kipufogógáz-visszavezetést. A jellemző EGR-arány itt 20% körül van.

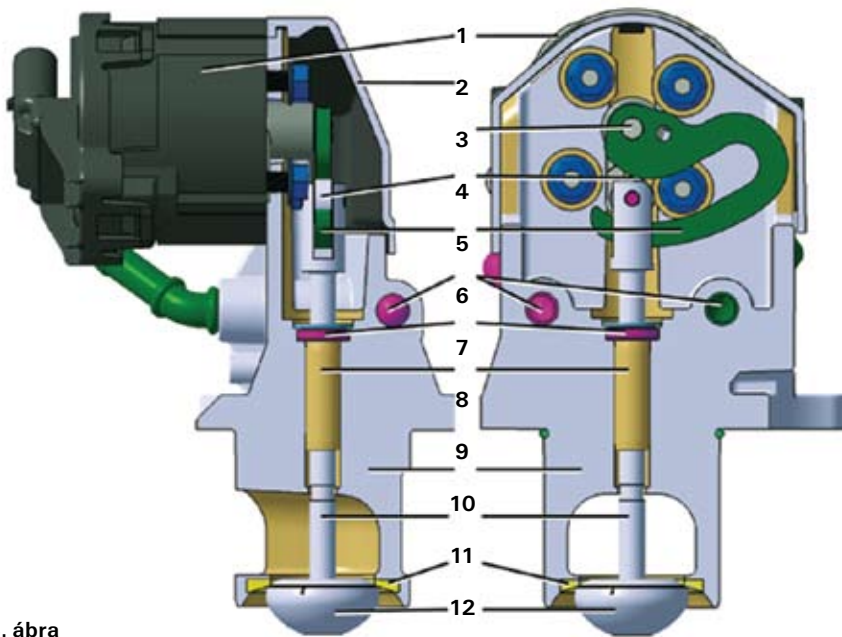
A 2. ábrán egy EU 5-ös közvetlen befecskendezésű Otto-motor jellemző EGR működési tartományai láthatóak.

Direkt befecskendezésű Otto-motoroknál, a motorterheléstől függően, két működésmódot különböztetünk meg. Részterhelésnél a fojtás nélküli, ún. réteges töltési üzemmódban – a dízelmotorokhoz hasonlóan – tiszta levegővel töltünk, és a tüzelőanyag-dózis a mindenkori motornyomaték-igénynek felel meg. A légviszonytényező akár $\lambda = 5,00$



2. ábra

is lehet. Homogén üzemmódban (nagyobb terhelésnél) a levegő/tüzelőanyag aránya, mint a hagyományos Otto-motoroknál, közel sztochasztikus ($\lambda = 1,00$), vagy a motor egy csekély légfelcsapással üzemel. A NO_x-emisszió csökkentésére itt az EGR-arány akár 30% is lehet, ami hozzájárul a tüzelőanyag jobb elpárolgásához. Közepes fordulatszám felett és a részterhelési tartományban a közvetlen befecskendezésű, EU 5-ös Otto-motorok üzemelése jellemzően homogén keverékű, EGR nélküli. A maximális teljesítménytartományban $\lambda < 1$, vagyis dúsított, az égéstér hűtése érdekében.



3. ábra

Követelmények a direktbefecskendezésű Otto-motorok kipufogógáz-visszavezetésével szemben

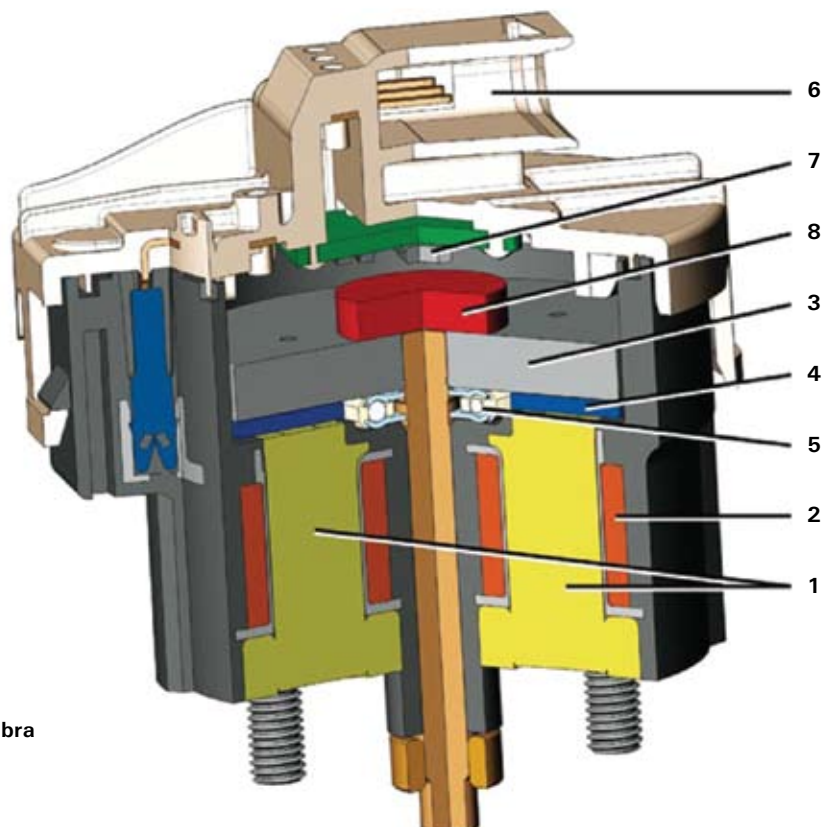
A közvetlen befecskendezésű Otto-motorok által támasztott követelmények teljesítése érdekében, mint a gyors állítás és pontos mennyiség szabályozás, elektromos működtetésű EGR-szelepeket alkalmaznak, jellemzően emelőszelepes megoldásban. A hi-tech EGR elektromos szelepek jellemzően egy, a házba integrált szeleplék és szelepvezető, egy tányérszelep, szelepszártömítés, rugó és egy mechanizmus, mely az aktuátor forgó mozgását egyenes irányú mozgásá alakítja, állnak. Az aktuátor házában helyzetjeladó (útdó) is van. A szigorodó emissziós előírások kikényszerítik a visszavezetett kipufogógáz-mennyiségnek egyre pontosabb bemérését és ezáltal egyre rövidebb nyitó és záró időket követelnek az EGR-szeleptől. Például ezért szükséges teljesítményváltozásoknál, mint például fokozatváltás az EGR-arány azonnali igazítása. Egy szabályozási kör teszi lehetővé az EGR-szelep számára, hogy a szennyeződéssel, súrlódással és az alkatrészek kopásával járó befolyásokat kompenzálja. Az alkalmazások döntő többségében a központi motor ECU végzi a szabályozást, PWM-jelet küld az EGR-aktuátor motorjára és pozíció-visszajelzést fogad. A környező elektromos alkatrészek sugárzása zavarhatja az EGR-szelep funkcióját és szabályozását. Az ilyen hibás működés megelőzése érdekében, az EMV (elektromágneses védelem) és ESD-re (elektrosztatikus kisülés) vonatkozó előírásokat be kell tartani. Közvetlen befecskendezésű

Otto-motoroknál az EGR-üzemben akár 550 °C hőmérsékletű kipufogógázzal számolhatunk az EGR-szelepnél. A lehetséges 30% EGR-aránynál bevitt hőmennyiség meghatározó kritérium az alkatrészek anyagválasztásánál. Olyan nem kívánt üzemi körülmények elkerülése érdekében, mint például a motorrángatás falszevegő-beszívás miatt, az EGR-szelep tömítettsége nagyon fontos. Direkt befecskendezésű Otto-motoroknál, turbófeltöltés nélkül 2 bar kipufogógáz-ellennyomást mérhetünk, melyek a szelepnyi-

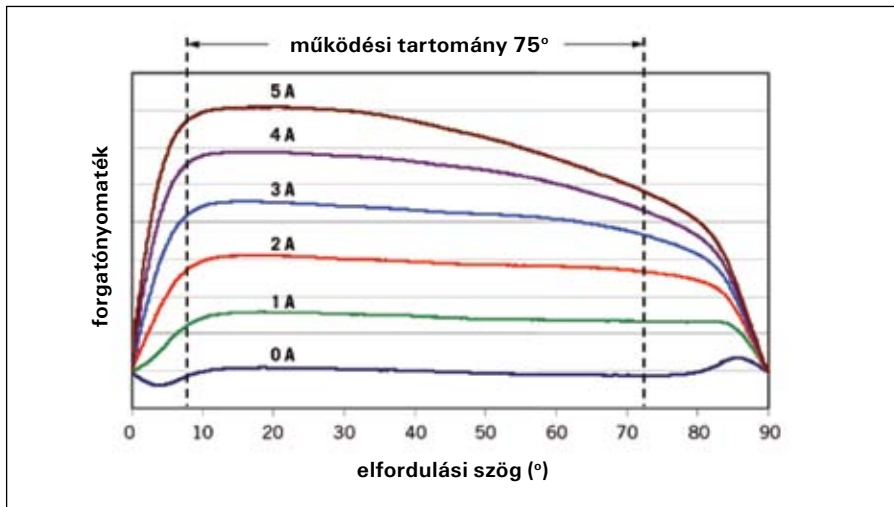
tásnál maximálisan 1 bar nyomáskülönbséget jelentenek, melyet az aktuátornak és az állítómechanizmusnak kezelnie kell. Turbómotoroknál kétszer ekkora nyomáskülönbségek is ismertek. Azért, hogy az EGR-szelep folyamatosan növekvő élettartam-elvárásnak, mely legalább 250 000 km, megfelelően, a széria gyártás megkezdése előtt, egy minden befolyásoló körülményre kiterjedő, átfogó vizsgálatnak kell megelőznie. A kipufogógáz további hűtése, az ezzel elérhető sűrűsége növelés EU 5-re kifejlesztett direkt befecskendezésű Otto-motoroknál még nem játszik szignifikáns szerepet.

Egy elektromos EGR-szelep felépítése

Az EGR-szelep motortérben, valamint az EGR-rendszerben történő elhelyezése meghatározza a szelepbelépésnél mérhető kipufogógáz hőmérsékletét, a nyomásvizonyokat a be- és kiáramló csatlakozásoknál, a környezeti hőmérsékletet és a rezgési igénybevételt. Ezek a paraméterek határozzák meg az EGR-szelephez az anyagválasztást, a szelep méreteit. Szívó, közvetlen befecskendezésű Otto-motoroknál a kipufogógázt a kipufogócsőnél, feltöltött motoroknál a turbó előtt szokták elvenni. Az akár 900 °C hőmérsékletű kipufogógáz lehűtését egy megfelelő hosszúra választott EGR-cső biztosítja. Az EGR-szelep pozicionálását úgy



4. ábra



5. ábra

kell megválasztani, hogy a belépőgáz-hőmérséklet ne lépje át az 530 °C-ot, ami az optimális árú nyomásos öntésű alumíniumház alkalmazását még lehetővé teszi.

A szeleptátmérő kialakításához szükséges kritériumok, a kipufogógáz-tömegáram, a nyomásviszony és a kipufogógáz-hőmérséklet. Az optimális szeleptátmérő kiszámítását egy méretezőprogram végzi a beáramlási geometria figyelembevételével CFD-szimulációval. A szeleplék szivárgásának lehető legalacsonyabb értéken tartása, valamint, hogy a kis mennyiségű szabályozás is lehetséges legyen, a szelep/szeleplék geometria kialakításának fontos szerep jut. Mivel a tányérszelep a kipufogógáz-árammal szemben nyit, ez a nyomás javítja zárt állapotban a tömítettséget. Kialakítástól függően a szelep egy már kialakított házba helyezhető, vagy önálló alkatrészként kerül kialakításra.

Emelőszelep

A 3. ábra egy direkt befecskendezésű Otto-motor EGR-szelepeinek sematikus felépítését mutatja. Az aktuátor ennél a felépítésnél közvetlenül a szelepházhoz rögzített forgó elektromágnes (9), tengelye (3) egy bütykös tárcsával (5) van összehegesztve. A szelep (10) a forgó elektromágnesre (1) merőleges elhelyezésű és a (8) csapágy által vezetett. A szelep felső vége villaként van kialakítva, mely egy golyóscsapágyat vesz fel, ami a bütykös-tárcsa-pályán halad. Ennek a mechanikának a segítségével alakul a forgómozgás a tányérszelep egyenes irányú mozgásává. A bütykös-tárcsa-pályája úgy van kialakítva, hogy a forgó elektromágnes forgásszögével progresszívan növekszik a szelep nyitása. Ezáltal a szelepnýtátnál nagyobb erő érhető el a kipufogógázzal

szemben. Valamint pontosabb kis mennyiségű szabályozás érhető el. A bütykös tárcsa és golyóscsapágy közti minimális játék csökkenti a hiszterézist az egyenes irányú mozgás irányváltásánál. Árammentes állapotban a szelep zárva van. Ezt a forgó elektromágnes tengelyére helyezett rugóval érijük el. A szelepszár és a szelepvezető közti rést szelepszártömítéssel (7) zárjuk el. Egy műanyag fedő (2) védi az átalakító mechanizmust a külső szennyeződésektől és a sérüléstől.

A szeleptányér (12) a szelepszárral össze van hegesztve. A szeleptányér alsó és felső kontúrja is arra a célra optimált, hogy egyrészt minimalizálja a kipufogógáz nyomásvesztését, másrészt kis elmozdulásnál biztosítsa a kis mennyiségű szabályozást. A szeleplék (11) a direkt befecskendezésű Otto-motorok jellemző nagy hőmérsékleteire való tekintettel az alumínium szelepház öntésekor kerül behelyezésre.

Azért, hogy a forgó elektromágnes és különösen a szenzorika a nagy hőmérsékletektől védve legyen, adott esetben a szelepházat a motor hűtési rendszerére kell kötni, hogy a kipufogógáz és az elektromágnes által leadott hőt elvezessük. A hűtés nagyon hatékony módja az, amikor a szelepházon hűtőfuratokat (6) vezetnek át.

Beavatkozó és érzékelő

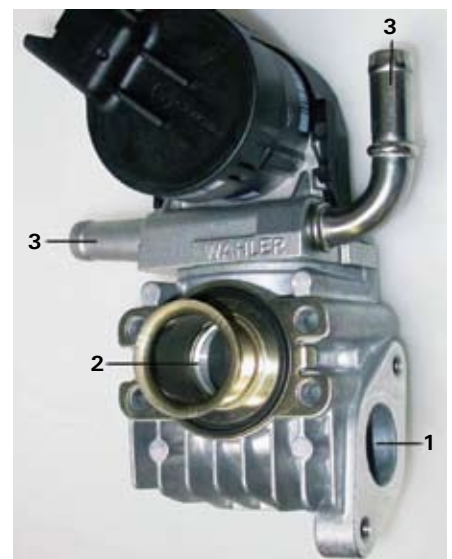
Az EGR-szelep meghatározó eleme a beavatkozó (aktuátor) a pozíció (útdó) szenzorral. A érintkezésmentes forgó elektromágnes megbízhatósága, kompakt mérete és kiváló hőelvezető képessége miatt az elektromos EGR-szelepek nagy részénél bevált aktuátor. A forgó elektromágnes egy kefe és hajtómű nélküli meghajtás, amelynek munkaszektora 70–75°. Működési elve a mágneses kölcsönhatá-

son alapszik (4. ábra), az állórész vaspólusra (1) szerelt tekercsel (2) és a forgórész között 4 pólusú állandó mágnessel. Ez a kölcsönhatás forgatónyomatékokat hoz létre, melynek iránya és ereje az elektromágnesre táplált áram polaritásától és áramerősségétől függ (5. ábra).

$$M = 8 \cdot B_r \cdot L/s \cdot Z \cdot n \cdot l \cdot r_m$$

Az M forgatónyomaték egyenesen arányos az állandó mágnes mágneses indukciójával (Br), a tekercsek számával (n) és gyűrű formájú állandó mágnes méretétől, úgymint vastagság (L), szélesség(Z) és átlagos rádiusz (rm). A nyomaték fordítottan arányos a légréssel (s), amit az axiális golyóscsapágy (5) állandó értéken tart a mágneses erővel szemben. Nagy áramerőnél mágneses telítődés lép fel a munkamező felső tartományában, ezért növekvő áramerősséggel a forgatónyomaték nem nő egyenes arányban. A nagy nyomatékdinamikának köszönhetően hirtelen teljesítménycsúcsok is elérhetők, ami egyrészt előnyös a szelep megindító nyomatékánál, másrészt a hajtómű nélküli megoldásnak köszönhetően, így nagyon jók a reakcióidők. A kis rögzítő nyomaték árammentes állapotban gyengébb visszatérítő rugó alkalmazását teszi lehetővé, ami kisebb áramfelvételt eredményez a szabályozási tartományban.

Az állítás szabályozásához a forgó mágnes rendelkezik egy integrált útdószennorral, amely szintén az érintkezésmentes mágneses kölcsönhatás alapján működik. Egy



6. ábra: EGR-szelep integrált hűtéssel, 6 hengerű motor műanyag szivócsövére szerelt változat, 1 – kipufogógáz-belepés, 2 – kipufogógáz-kilépés vezető tölcsérrel, 3 – hűtőcsatlakozások

műanyag szenzorsapka, integrált csatlakozóval (6) zárja le a motort. Ezenkívül a sapka tartalmaz egy félvezetőlapkát egy Hall-ASIC érzékelővel (7). Egy, a forgórészre rögzített állandó mágnes (8) a forgórész pozíciójától függő mágneses teret hoz létre, melyet a szembe lévő Hall-ASIC jeladóval értékel ki. A Hall-ASIC a mágneses mező alapján analóg vagy digitális kimenő jelet generál.

A bemutatott érintkezésmentes, hajtómű nélküli felépítésének köszönhetően extrém robusztus és megbízható aktuátor a belső égésű motoroknál történő alkalmazáshoz. Kompakt kialakításának köszönhetően kiválóan alkalmas szűk motorterekbe való integráláshoz. Az érintkezésmentes forgó mágnesek alapján az EMV-követelményeknek való megfelelés a teljes élettartam alatt biztosított.

A hajtás és a szelepmechanika majdnem kopásmentes. A gyártás végén szenzorkalibrálással a gyártási tűréseket kiegyenlítik. Az EGR-szabályozás napjainkban általában egy szabványosított, egyszerű PID szabályozó segítségével történik a központi motorvezérlésben, miközben a szelep a PWM teljesítményjellel, hídkapcsoláson keresztül hajtott. A motorvezérlésbe történő pozíció-visszajelzés alapján az OBD-képesség adott.

Alkalmazáspéldák a motoron

Az első elektromos EGR-szelepeket, melyeket direkt befecskendezésű Otto-motoroknál alkalmaztak, a **6. ábra** (hathengerű motor) és a **7. ábra** (négyhengerű motor) mutatja. Az EGR-szelep a hathengerű motornál a műanyag szívótorokra van rögzítve. A szívócsövet a kipufogógáz-visszavezetés helyén, azért, hogy a termikus túlterhelését megelőzzük, egy kipufogógáz-bevezető tölcse (2) keresztül juttatjuk be, ami a szívólevegővel az optimális keveredést is megadja. A bevezető tölcse acéllemez karimára forrasztott, mely mindkét oldalára felvitt tömítéssel rendelkezik.

Ezzel érjük el a teljes működési hőmérséklet-tartományban megkövetelt abszolút tömítettséget. Ahhoz, hogy az EGR-szelep a megengedett működési hőmérsékletét ne lépje túl, a szelepház egy by-pass-on keresztül csatlakozik a motor hűtési rendszeréhez. Az EGR-szelep a négyhengerű motornál közvetlenül a hengerfej falára, a kihajtás felőli oldalra szerelt. A hűtést ebben az esetben nem áramló hűtőfolyadék adja, hanem egy rövid cső (3), mely egy O gyűrűtömítéssel letömítve a hengerfej vízköpenyébe nyúlik, így gondoskodva a megfelelő hőleadásról.



7. ábra: EGR-szelep 4 hengerű motor hengerfejére szerelt változat, 1 – kipufogógáz-belépés, 2 – kipufogógáz-kilépés, 3 – hűtővíz-csatlakozás

A két EGR-szelep paramétereit a **8. ábra** táblázatában olvashatjuk. Kiemelendő a jó értékek a maximális EGR átáramlási mennyiség 70 kg/h (100 mbar nyomáskülönbség mellett) és a nagy megengedett kipufogógáz-hőmérséklet. A megengedett kipufogógáz-nyomáskülönbség szelepnitánál akár 1 barig is elmehet. A motor EGR-követelményére beállított kis mennyiségű szabályozás ezeknél a szeleptípusoknál megfelelő szeleplék és szelepkontúr mellett már 0,1 mm elmozdulással is realizálható. Azért, hogy megakadályozzuk a negatív átöblítést, az EGR-szelepet zárt állapotban ak-

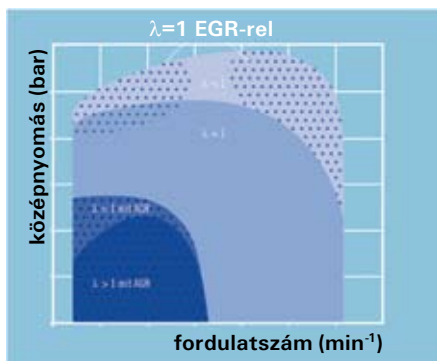
tívan zárjuk. Ezt úgy érjük el, hogy a forgó elektromágnes – más aktuátorokkal ellentétben – mindkét irányba áram alá helyezhetjük, és így aktívan működtethetjük.

A jövőbeni fejlesztések

A jövőbeni CO₂-csökkentési előírásokon alapuló tüzelőanyag-fogyasztási előírások és az emisszió-értékhatarok intenzív továbbfejlesztést igényelnek a direkt befecskendezésű Otto-motor esetében. A jelenlegi trendek, mint a méretcsökkentés (downsizing) feltöl-

EGR-szelep adatok	6 hengerű motorhoz	4 hengerű motorhoz
Befoglalóméret [mm]	110x90x160	163x65x200
Szeleptátméret [mm]	21	21
Szeleplökét [mm]	4,7	4,7
Tömeg [g]	910	970
Max. EGR-áteresztés [kg/h], $\Delta p = 100$ mbar	70	70
Max. szívárgási veszteség a szelepléknél [l/min], $\Delta p = 600$ mbar	< 5,5	< 5,5
Max. megengedett kipufogógáznyomáskülönbség a szelep nyithatóságához [bar]	1	1
Környezeti hőmérséklet [°C]	- 40 bis 140	- 40 bis 140
Kipufogógáz-hőmérséklet [°C]	max. 530	max. 500
Hűtőközeghűtés	átáramlás 100–430 l/h	rávezetés
Lengésgyorsulás [g]	max. 20	max. 30
Élettartam (a szeleplökétek száma)	min. 3,6 millió	min. 3,6 millió

8. ábra



9. ábra

téssel való kombinálása, a réteges keverékképzés alkalmazásához szükséges többlyukú befecskendezőkialakítás, változatlanok maradnak. Az EU 6-os motorok esetében a kipufogógáz-visszavezetés nemcsak a réteges és homogén töltés üzemállapotra korlátozódik, mint az EU 5-ös motoroknál, hanem teljes terhelésnél is végbemegy (9. ábra).

A teljes terhelés melletti EGR alkalmazása a tüzelőanyag dúsítása helyett további tüzelőanyag-csökkenéshez vezet, és ezzel a CO₂-kibocsátás csökkenéséhez. Továbbá a kopogási hajlam is csökken maximális terhe-

lés mellett kis és közepes fordulatszám-tartományban. A motorba vezetett levegő mennyiség növeléséhez a motorok jelentős részénél szükséges lesz a visszavezetett kipufogógáz további hűtésére folyadék-hűtött EGR-csővel vagy EGR-hűtő segítségével. Egy fontos kritériuma a jövőbeni direkt befecskendezésű Otto-motoroknak, az elektromos EGR-szelepek tömítettsége. Itt kínálják magukat a tányérszelepek, a működési elvük alapján jó tömítettségükkel. Azért, hogy a levegő-tüzelőanyag keverék arányának nem kívánt eltéréseit és az ezzel járó egyetlen motorjárást megelőzzük, az EGR-szelep átáramlási mennyiség túrési sávját a teljes élettartam során, a fellépő befolyásoló tényezők, mint hőmérséklet-ingadozás vagy szennyeződés, szűken tartani kell.

Ezenkívül a jövő motorjainál a vezetésdinamikai terhelésváltozások megkövetelik a nagyfokú EGR-vezérlési jószágot. A folyamatosan változó levegő-/tüzelőanyag keverék optimális beállításához szükséges a motorvezérlés által előre kiszámolt EGR-arány. Ez egy termodinamikai modell segítségével lehetséges, mely az aktuális szeleppozícióból számolja ki az optimális EGR-arányt. Az eddig standard

alkalmazott nagynyomású EGR mellett a motorfejlesztőknek ki kell állniuk az alacsony nyomású EGR (szenzorika, hűtés, kondenzáció) által támasztott kihívásokkal szemben is. Az itt bemutatott elektromos EGR szelepforgó elektromágnes-hajtásként sűrűlódásra optimált felépítésével, kis mozgó tömegével, kis hisztézissel és egzakt pozíció-visszajelzéssel kiválóan alkalmas a következő generációs közvetlen befecskendezésű Otto-motorok jövőbeli emissziós előírásainak elérésére.

DR.-ING. BERNHARD FLAIG,

SZELEPÜZLETÁG-VEZETŐ,

GUSTAV WAHLER GMBH & Co. KG, ESSLINGEN

DR.-ING. UWE BEYER,

PROJEKTMENEDZSER,

GUSTAV WAHLER GMBH & Co. KG, ESSLINGEN

DR.-ING. MARC-OLIVIER ANDRÉ,

ÜZLETI EGYSÉG MENEDZSER, MOTORMANAGEMENT,
SONCEBOZ AUTOMOTIVE S.A., SONCEBOZ (SVÁJC)

Forrás: a cikk az MTZ 2010/1. számában (p. 35–40.) megjelent írás másodközlése a Gustav Wahler GmbH & Co. KG hozzájárulásával, a Wahler cég magyarországi képviselője, az IHR Techmark Kft. közreműködésével.

EQUIP AUTO Párizs 2011

Elérte a kitűzött célt

EQUIP AUTO
DU MARDI 11 AU SAMEDI 15 OCTOBRE 2011
PARC DES EXPOSITIONS • PARIS NORD VILLEPENTE

A 2011. október 11–15. között a Paris Nord Villepinte kiállítási parkban megrendezésre kerülő szakkiállítás, az európai aftermarket szektor referenciaértékű rendezvénye az EQUIP AUTO, a gépjármű aftermarket és szervizberendezések nemzetközi szakkiállítása, egy bő hónappal megnyitása előtt már elérte kitűzött céljait.

AZ EQUIP AUTO 2011 jó kilátásokkal indul. Elérte a kitűzött célt, a 100 000 m² kiállítási területet (+25% 2009-hez viszonyítva) és az 1800 nemzetközi kiállítói létszámot. Úgy tűnik, az EQUIP AUTO még soha nem volt ennyire az alkatrész- és felszerelés-gyártók kiállítása, még talán soha nem felelt meg ennyire az importőrök és forgalmazók elvárásainak.

A gépjárműalkatrész és -felszerelés-ipar nemzetközi szakkiállítása, az EQUIP AUTO az új termékeket, szolgáltatásokat és partnereket kereső gyártók, forgalmazók és szerelők egyik legfőbb találkozóhelye lett. Szervezője a Comexposium, a partnerrésztvevő Fédéra-

tion des Industries des Équipements pour Véhicules (FIEV) és a Fédération Française de la Carrosserie (FFC) részvételével. 2011-ben a kiállítás 96 000 látogatót (ebből 30% külföldi) és 1800 kiállítót (75% külföldi) vár az összes szektort egybevéve.

Viták, eszmecserék, információk az aftermarket jelenéről és jövőjéről

Mivel az EQUIP AUTO nem csupán a szektor kirakata kíván lenni, sokkal inkább megfelelő válaszokat szeretne adni a felmerülő trendekre és látogatói elvárásaira, a kiállítás számos kísérőprogramot, bemutatókat és workshopokat is kínál. A teljes program megtalálható a www.equipauto.com oldalon.

Megerősödve, új formában, új területekkel és üzleti lehetőségeket kínáló kiemelt témákkal az EQUIP AUTO a gépjármű-háttér-
ipar legjelentősebb rendezvénye 2011-ben.

Figyeljék az EQUIP AUTO-t a közösségi oldalakon: Facebook, Twitter, Viadeo

Magyarországi képviselő: GYÖRKI Ágnes, hungary@promotions.com tel.: (1) 266 13 18.