

# A dízelmotor-kipufogógázok utókezelése

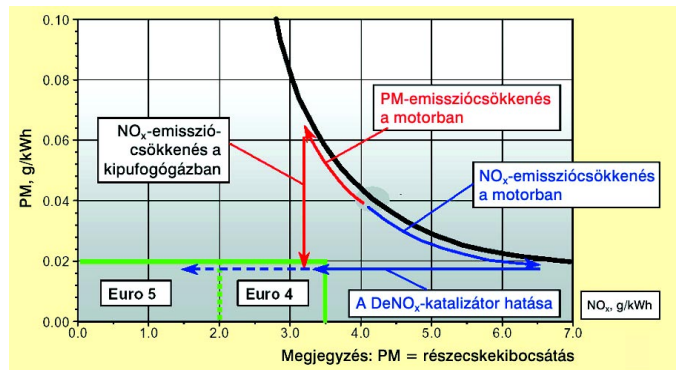
A dízelmotorok működését állandó légfelesleg, és a benzinmotorokénál kisebb kipufogógáz-hőmérséklet jellemzi. CO- és HC-kibocsátásuk ezért kedvezőbb. NO<sub>x</sub>-kibocsátásuk nagyobb, finom részecske-emisszió-kibocsátásuk pedig jelentősen nagyobb a benzinmotorokénál. E jellemzők az emissziókezelésüket is bonyolultabbá teszik. Égéstermékeikkel ugyanis nemcsak gáznemű, hanem szilárd részecskék formájában is meg kell küzdeniük a fejlesztőknek. A 800 °C körüli kipufogógáz-hőmérséklet oxidációs reakciókra és katalitikus eszközök használatára szűkíti a kipufogógázok utókezelését.

## Ártalmak

A NO<sub>x</sub>-emissziók egészségkárosító, ózonképző, növényzetkárosító, a részecskék pedig igazoltan rákkeltő anyagok. Az ellenük folytatott emissziócsökkentést nehezíti, hogy az csak szelektív eszközökkel folytatható, a NO<sub>x</sub>-emissziók csökkentését ugyanis a részecske-emissziók növekedése, a részecskeemissziók csökkentését pedig a NO<sub>x</sub>-emissziók növekedése kíséri. A környezetvédelmi törvényhozásban világszerte használt „finom részecske-emisszió”, azok kémiai összetételétől függetlenül, a 10 μm-nél vagy a 2,5 μm-nél kisebb szemcseméretű részecskéket értik.

Dízelmotorok kipufogógázainak tisztítása: adalékkal regenerált (a), fűtéssel regenerált (b) szűrőelemmel; karbantartást nem igénylő, katalitikus (c) utókezelő eszközzel

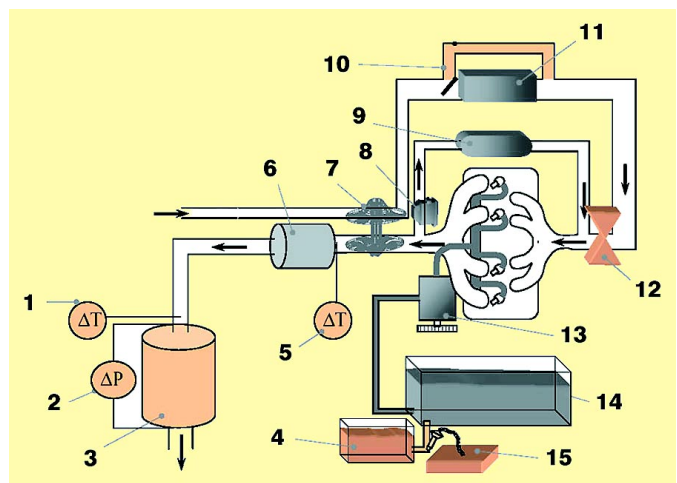
Hogy miért kell ilyen mániákusan foglalkozni a részecskeszűréssel, azt legalább két dolog



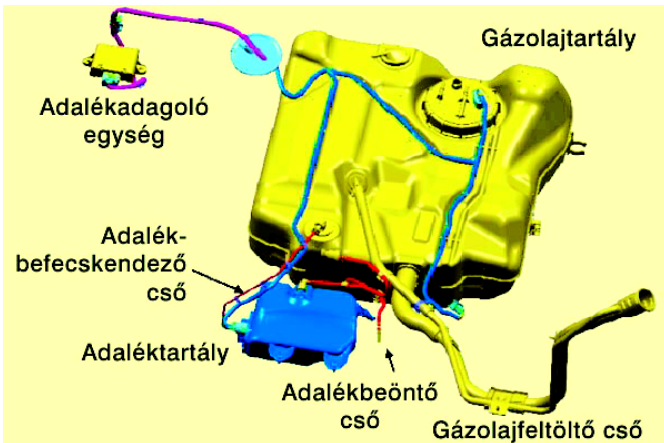
A dízelmotorok kipufogógáz-utókezelésének eszközei és lehetőségei

indokolja. 1. A dízelkoromszemcsékre el nem égett szénhidrogén-részecskék tapadnak, amelyek igazoltan rákkeltő anyagok. 2. A koromszűrőtlen dízelmotorokból, a gépkocsi által megtett út minden milliméteres szakaszára, százmillió részecske jut.

Érthetőbben: amíg a szűrőtlen gépkocsi részecskehalmokkal borítja az utakat és környékét, a koromszűrős gépkocsi ennek csupán tízezred részével szennyezi a környezetet, a koromszűrők előírt élettartamát jelentő 80 ezer kilométeres úton. A légúti rákkockázati tényezők 90%-áért a gépjárművek és egyéb mobil légszennyező források a felelősek, amelyek az



Adalékkal regenerált kipufogógáz-tisztító rendszer (PSA–Ford–Volvo). 1. Hőkülönbség-érzékelő. 2. Nyomáskülönbség-érzékelő. 3. Részecskeszűrő. 4. Adaléktartály. 5. Hőérzékelő. 6. Katalizátor. 7. Turbótöltő. 8. EGR. 9. EGR-hűtő. 10. Levegőhűtő-kerülőszelep. 11. Levegőhűtő. 12. Szívószelep. 13. Nagynyomású gázolajszivattyú. 14. Gázolajtartály. 15. Adalékbefecskendező

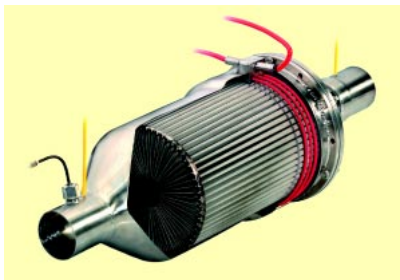


Adalékkal regenerált kipufogógáz-tisztító rendszer, adalékadagoló részrendszerének felépítése

USA leginkább szennyezett államában, Kaliforniában az összes kültéri rákkockázat 0,6%-át képviselik. Mielőtt bárki legyintene, ez Kaliforniában évente 250 ezer rákos megbetegedést jelent. Úgy, hogy az USA-ban a személygépkocsik alig 1%-át és a tehergépkocsiknak is csak 60%-át hajtja dízelmotor. Németországban a gépkocsi-dízelemisziók évente 800 ezer megbetegedést okoznak.

## Korlátozások

Az USA motorgyártói 2007-től a jelenlegi 0,1-ről 0,01 g/LEh-ra tervezik csökkenteni a dízelmotorok részecskékibocsátását. Amíg ekkora követelményugrás csak koromszűrő használatával követhető, a



Villamos fűtéssel regenerált részecskeszűrő egység felépítése

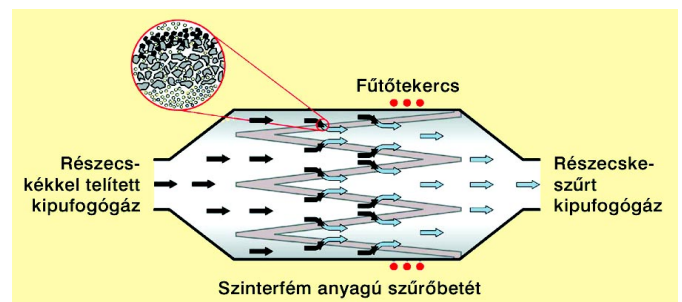
$\text{NO}_x$ -szennyezők csökkentésének módszerei távolról sem egységesek. Éppúgy, mint a velük elérhető eredmények. Az oxidációs katalizátor főképp a dízel kipufogógázok illékony szénhidrogéneinek (adalékanyagainak) és könnyű részecskék csökkentésére alkalmas. Nem alkalmas viszont az egészségkárosító szénmagú részecskék eltávolítására, ami részecskeszármazék vagy részecskeszűrők használatát teszi szükségessé.

Az EU több lépcsőben csökkenti a dízelemisziók határértékeit. Az Euro 3  $\text{NO}_x$ -emisziós határértékei körülbelül 35%-kal alacsonyabbak az amerikai szövetségi előírásokénál, az Euro 4-é viszont hatszor magasabbak annál.

Az Euro 3 részecskemisziós határértékei körülbelül 20%-kal alacsonyabbak, az Euro 4 határértékei hozzávetőleg négyszer magasabbak az amerikai Tier 2 előírásénál. Amíg a japánok határértékei megegyeznek az Euro 3-aséval, 2005-től mintegy 40%-kal elmaradnak azoktól.

2007-től viszont az amerikai szabványok jóval szigorúbbak lesznek a másik két régióénál. Úgy, hogy a részecsketömegmérést részecskeszámlálással is kiegészítik. A mai, részecsketömegmérésen alapuló eljárás hátránya ugyanis, hogy a mintában kiülepedő, viszonylag kevés nagy tömegű részecske mellett, úgyszólván kontrollálatlanok maradnak a nagy számban előforduló, kis tömegű részecskék. Ennek kiküszöbölésére, a részecsketömegmérésen kívül, a részecskeszámlálást is a vizsgálatok részévé teszik.

Ezek a jellemzők az égésfolyamat javításával 20–30, a kipufogógáz-visszavezetés elektronikus irányításával 20–50, szelektív katalizátor használatával 70–95%-kal csökkenthetők. Az utóbbi azért előnyös, mert a használata 8–10%-os fogyasztáscsökkenésre is lehetőséget ad.

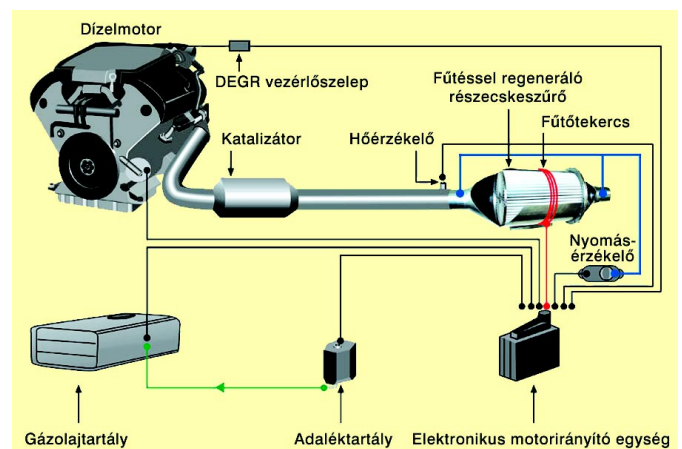


Villamos fűtéssel regenerált részecskeszűrő működése

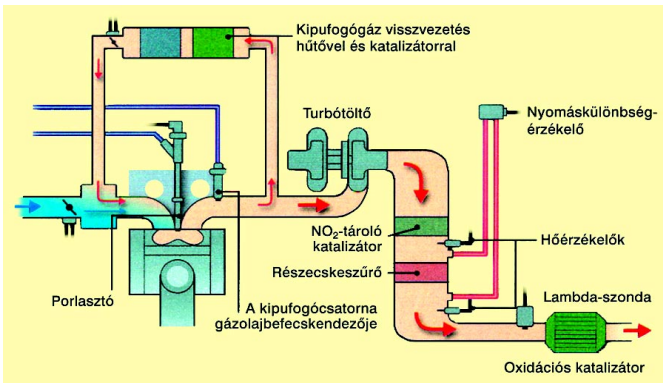
## A $\text{NO}_x$ -emisziók csökkentése

A motorikuss oldalon a piezoporlasztók azok, amelyek használatával 20% körüli értékkel csökkenthető mind a  $\text{NO}_x$ -, mind a részecskemiszió. A piezoporlasztók nagyságrenddel kisebb holtidejük miatt gyorsabbak. Velük több befecskendezés, és tovább finomítható, kevesebb károsanyag-kibocsátással jellemezhető égésfolyamat hozható létre.

A  $\text{NO}_x$ -emisziók csökkentésének személygépkocsikon bevált eszköze a  $\text{NO}_x$ -tároló katalizátor, amelynek működését, a Toyota D-CAT-jának példáján keresztül, januári



Villamos fűtéssel regeneráló részecskeszűrő-rendszer felépítése (HJS)



A Toyota Avensis D-4D, kis kéntartalmú gázolaj használatát igénylő, bárium-oxid bevonatú, méhsejt-kerámia katalizátoros kipufogógáz-utókezelő rendszerének felépítése

lapszámunkban mutattuk be olvasóinknak. Lényege: üzemlemez motoron a nitrogén-oxidok a  $\text{NO}_x$ -tároló katalizátor nemesfém bevonatának aktív felületén nitrogén-dioxiddá ( $\text{NO}_2$ -dá) oxidálódnak. A keletkező  $\text{NO}_2$  a katalizátor bárium-oxid betétanyagának felületén tovább reagál, és  $\text{Ba}[(\text{NO}_3)_2]$  formájában tárolódik. A reakció során felszabaduló oxigén egy része a kipufogógázban lévő részecskék egy részével  $\text{CO}_2$ -vé oxidálódik. A többi részecske a részecskeszűrőben ülepedik le, amelyeket azután a motorirányító egység automatikusan, utóbefecskendezéssel regenerál. Utóbefecskendezéskor a motorirányító egység gázolajat juttat a kipufogógázba, ahol főleg  $\text{CO}$  és  $\text{HC}$  keletkezik. Eközben a jelen lévő aktív oxigén a  $\text{N}_2$  helyett a nála aktívabb szénrel  $\text{CO}_2$ -vé oxidálódik, a szűrőben visszamaradt részecskék pedig  $\text{CO}_2$ -vé égnek el. A  $\text{NO}_x$ -tároló katalizátor 70%-os  $\text{NO}_x$ -emisszió-csökkenést tesz lehetővé.

A  $\text{NO}_x$ -emissziók csökkentésének másik módja a használt járműveken alkalmazott SCR (Selective Catalyst Reduction) passzív, illetőleg az aktív szelektív katalizátoros eljárás.

Az előbbi a kipufogógázban jelen lévő szénhidrogének elégetésekor felszabaduló hőenergiát hasznosítja a  $\text{NO}_x$  redukációjához, az utóbbi ammónia vagy karbamid-redukálóanyag befecskendezésével hozza létre ugyanazt. Karbamid-redukálóanyag katalizátor elé végzett ammónia-befecskendezéssel a katalizátor működési hőmérséklete 200 és 450 °C közötti hőmérsékletre hevíthető. Ez a hőtartomány az, amelyik a legjobban megfelel a redukáló vegyi folyamatoknak.

Az SCR-katalizátorok személygépkocsikon való alkalmazását azok transzienszerűsége korlátozza. Nem lennének meglepve, ha a bevezetésig a fejlesztők ezt is megoldanák.

## Részecskeszűrés

Már kizárólag motoron belüli megoldásokkal is elérhető, hogy az akár 1800 kilogrammos tömegű dízelautók is teljesíthessék az előttünk álló Euro 4 károsanyag-kibocsátásra vonatkozó előírásait, amelyek 2005-től lépnek életbe. Azt, amelyik az 1990-es szintekhez képest 91 százalékkal kevesebb szilárd részecske, 95 százalékkal kevesebb

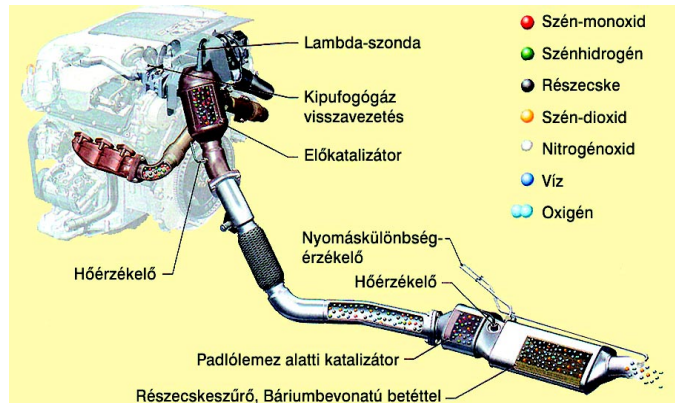
nitrogén-oxid és 98 százalékkal kevesebb szén-monoxid kibocsátását jelenti.

Az ennél nagyobb tömegű személygépkocsik kipufogógáz-utókezelés nélkül valószínűleg nem tudják teljesíteni az Euro 4-et. Ebből a megfontolásból a Bosch 2005-től megkezdte a részecskeszűrők nagyszorozatú előállítását.

A részecskeszűrőknek jól regenerálhatónak, valamint a visszamaradó anyagok (vagyis a hamu) számára nagy tárolókapacitásúnak kell lenniük. Csak ily módon érhető el a több mint 200 ezer kilométeres csereintervallum (a gyakorlatilag karbantartásmentes üzemelés).

## Adalék + részecskeszűrő

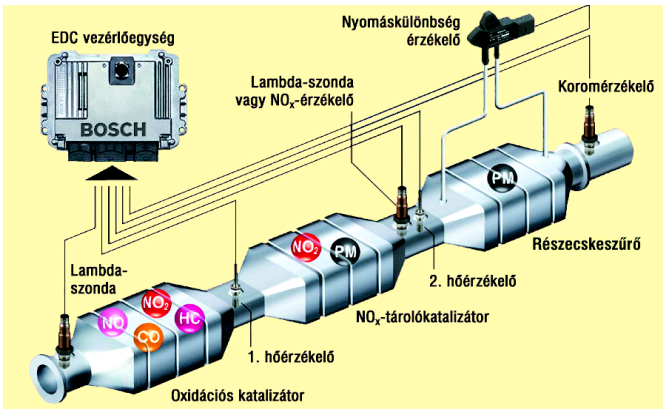
A részecskeszűrő megköti a szilárd égéstermégeket. Az égéstermék azonban rövid használat után beborítja a szűrő aktív felületét. A szűrőnyílások eltömődése az összegyűlt részecskék elégetésével végzett regenerálásával akadályozható meg. A részecskék égéstermék, emiatt csak nagy égési hőmérsékleten gyűjthetők meg és égethetők el. Az égési hőmérséklet cériumtartalmú adalékanyag-nak az égés helyére juttatásával csökkenthető. Az égetéshez szükséges hőmérséklet-növekedés a töltőlevegő-hűtőt megkerülő szelep használatával, és a katalizátort fokozottabban felmelegítő, kipufogó ütemben, több ciklus során megismételt gázolaj utóbefecskendezésével érhető el.



Karbantartást nem igénylő, katalitikus utókezelő rendszer, amely a szűrő elé épített katalizátor működéshőjét hasznosítja szűrőregenerálásra (Audi)

A folyékony adalékanyag gázolajhoz adagolását a gázolajtartályba épített adagolóegység végzi. A regeneráláskori hőfejlődést hőérzékelők, a részecskeszűrő eltömődését nyomáskülönbség-érzékelő méri. A részecskeszűrő regenerálása a rá rakódott korom elégetésével végzett megtisztítást jelenti. A koromrészecskék természetes égése 550 °C-nál nagyobb hőmérsékleten következik be. A cériumadalék ezt a hőmérsékletet (26 °C külső hőmérséklet esetén) 400 °C körüli hőmérsékletre csökkenti. A regenerációhoz szükséges hőbevitel utóbefecskendezés, és a fojtószelep megfelelő beállításával növelhető.

Amint az adagolóegység a CAN-bus hálózat jelei alapján tankolást érzékel, a motor ki-/bekapcsolás számával, a jármű



A Bosch, haszongépjárművekre kifejlesztett kipufogógáz-utókezelő rendszerének felépítése

haladási sebességével, és a gázolajszinttel arányosan számítja ki az adalékbecskendezés mértékét.

A regenerálás során az adalékanyag is oxidálódik. A részecskeszűrő élettartamát a szűrőben maradó adalék-oxid határozza meg. A cériumot legújában kiegészítő vastartalmú adalékanyag a visszamaradó hamutartalom tömegének csökkentését segíti elő.

## Eszközválasztás

A Detroit Diesel Corporation (DDC), az EU-haszonjárműgyártók egy részéhez hasonlóan karbamid anyagú, szelektív katalizátor (Urea-SCR) használatát tervezi bevezetni járműveiken.

A Cummins a karbamid anyagú, szelektív katalizátort hűtött EGR használatával egészíti ki.

A Mercedes-Benz tavaly óta Faurecia Tenneco gyártmányú részecskeszűrővel gyártja C- és E-osztályú modelljeit. A Faurecia, mint ismeretes, 2000-ben a Peugeot 607-esek 2.2



Egy kép a közeljövőből, plazmasugaras kipufogógáz-utókezelő, HCCI-dízelmotorhoz

HDi motorján vezette be az első, cérium benzinalalékú részecskeszűrőjét. A kellően magas működési hőmérsékletet a szűrő-, kipufogógyűjtőcsővéhez közeli elhelyezése biztosítja. Nem véletlen, hogy több gyártó is ezt a technikát választotta. Annak ellenére, hogy folyékony adaléka, ha ritkán is, utántöltést igényel. A tízezredére csökkenthető részecskemiszió azonban 80 ezer kilométerenként elviselhető

áldozat. Ennek köszönhető, hogy ma már a Peugeot és Citroën csúcsmoelljein túl, a Ford és a Volvo is a PSA által kifejlesztett, folyékony adalékú eljárást alkalmazza dízelmotorú gépkocsijain.

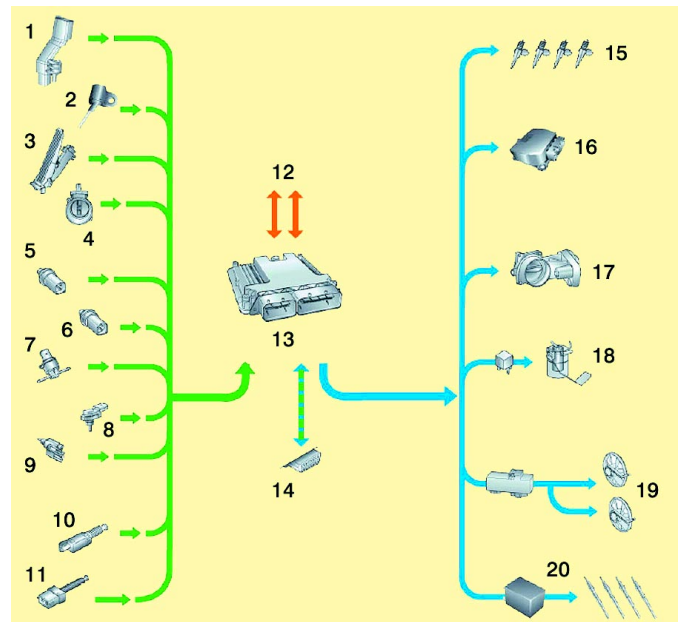
A tízezredére csökkenthető részecskemiszió azonban 80 ezer kilométerenként ekkora áldozatot akkor is megér, ha a folyékony adalékú eljárás 300–800 €-val növeli a gyártási költségeket.

A VW 2.0 TDI motorján faláramú, társított Si-SiC-monolit alapanyagú, faláramú részecskeszűrőt használnak koromszűrőként, és vastartalmú anyagot regeneráló anyagként. A regenerálást a koromszűrő 500 °C-ra végzett hevítése jelenti, amelyet a motorirányító egység akkor kezdeményez, ha a részecskeszűrő nyomáskülönbsége meghaladja a küszöbértéket.

A GM a Vauxhall és Opel gépkocsikba szerelt 1.9 CDTi, Ecotec dízelmotorjait gyártja faláramú, Si-SiC-monolit-társított alapanyagú, faláramú részecskeszűrővel.

A szűrő regenerálása a motorirányító rendszer utóbecskendezésekor fellépő fokozott HC-képződéssel járó hőmérséklet-növekedés hasznosítására épül.

Az Audi az új A6 limuzin és Avant modelljein kezdte meg a részecskeszűrők használatát.



Korszerű dízelmotor karbantartást nem igénylő kipufogógáz-tisztítás-vezérlő rendszerének felépítése (VW). 1. Fordulatszámjeladó. 2. Vezértengely- (Hall) jeladó. 3. Gázpedálállás-jeladó. 4. Légnyelésmérő. 5. Hűtőfolyadék hőmérséklet jeladó. 6. Hűtőközeg-hőérzékelő. 7. Gázolaj hőmérséklet jeladó. 8. Beszívott levegő hőérzékelő. 9. Féklámpakapcsoló. 10. Tengelykapcsoló pedál jeladó. 11. Töltőnyomás-jeladó. 12. CAN-adatbusz. 13. Befecskendezésvezérlő egység. 14. Diagnosztikai csatlakozóaljzat. 15. Porlasztók. 16. Mágnesszeleptömb. 17. Fojtószelepléptetőmotor. 18. Gázolaj-tápszivattyú. 19. Hűtőventilátorok. 20. Izzítógyertyák és vezérlőegységük

A Bosch piezobefecskendezőt és részecskeszűrőt, a Delphi Diesel Piezotec keverékképző rendszert, részecskeszűrőt, NO<sub>x</sub>- és részecskesapdát, továbbá NO<sub>x</sub>-csapdát kínál a választás előtt állóknak.

A dízelmotoroknak pedig mindinkább elidegeníthetetlen részévé válik a részecskeszűrő.

petjan