

Tüzelőanyag-ellátó berendezések. Emisszió.

Dr. Finichiu Liviu

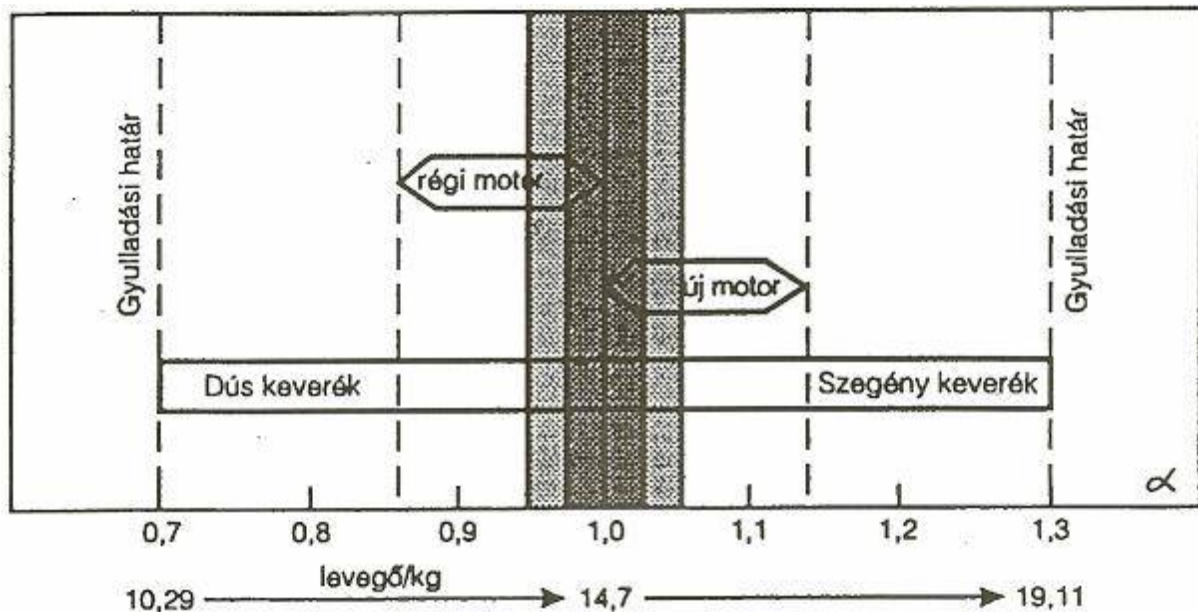


Budapest, 2012.

Tüzelőanyag-ellátó berendezések, emisszió.

1. Benzinmotorok tüzelőanyag-ellátó berendezései, emisszió.

Benzinmotorokban a keverékképzés a karburátorban vagy a befecskendező berendezésben kezdődik, és a hengerben, a kompresszió ütemben fejeződik be. A keverékképző rendszer feladata a motor mindenkorai üzemállapotához szükséges keverési arány előállítása. A tüzelőanyag és levegő keverési aránya a tökéletes égéshez (elméleti levegőarány): 1 kg tüzelőanyaghoz 14,7 kg levegő. A légviszony-tényező (légfelesleg-tényező): a tényleges (effektív) levegőarány és az elméleti levegőarány hányadosa. (1. ábra).



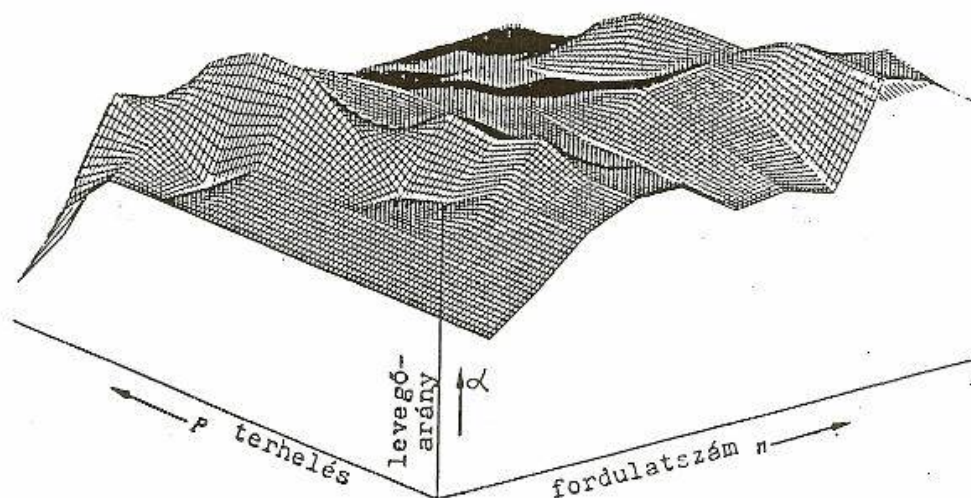
1. ábra. A benzinmotor keverési aránya

Benzinmotor fontos üzemi korlátja a gyulladási határ, amely 0.7-nél alacsonyabb légfelesleg esetén a túl dús keverék, 1.3-nál magasabb légfelesleg esetén pedig a keverék elszegényedése miatti gyújtáskimaradások révén jön létre. A keverékképző rendszernek a benzin-levegő keverési arányt jóval szűkebb tartományban kell tartania, lehetőleg az 1-es légfelesleg körül, hogy ne csak a gyulladási problémákat kerüljük el, hanem a motor teljesítményének, tüzelőanyag-fogyasztásának és károsanyag-kibocsátását ingadozása is szűk tartományban legyen.

Karburátoros motorok jellemző viselkedése, hogy új állapotban a jobb tömítési viszonyok folytán a motor magasabb légfelesleggel üzemel, míg nagyobb futásteljesítményt megtett motoroknál a kopás általi tömítetlenségek növekedése alacsonyabb légfelesleget von maga után.

Benzinmotorok optimális keverési aránya jelentős függést mutat a motor fordulatszáma és terhelése függvényében (2. ábra). A motor különböző terhelési állapotaiban a légfelesleg-tényező 1-től kismértékben eltérő értéke (pl. alapjáraton vagy teljes terhelésnél) kedvezőbb a motor üzeme céljából.

Optimális légfeleslegtetényező (α) térgörbéje a motor igényeihez alkalmazkodva a terhelés és a fordulatszám függvényében



2. ábra. A benzinmotor optimális levegőigénye

Előzmények:

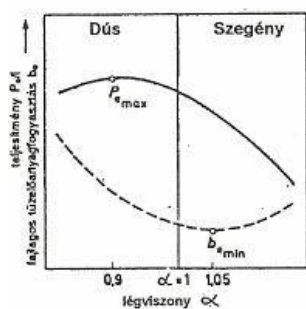
karburátor – 1893-tól kb. 1990-ig

mechanikus befecskendezések – repülőgépek, sportkocsik

mechanikus befecskendezések – személygépkocsik 1973-1995

Ma: szabályozott keverékképzésű, elektronikusan vezérelt rendszerek

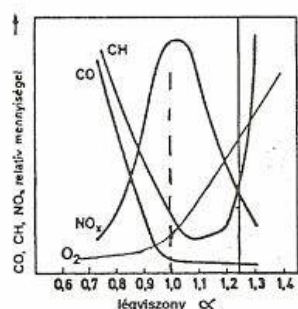
Karburátoros keverékképzés (3. ábra) esetén a légviszony tényező csak viszonylag széles tartományban biztosítható. A megvalósítható kb. 0,8-1,2-es légfelesleg tartomány is bonyolult szerkezeti felépítést igényel a karburátortól (4. ábra).



Működés közbeni α tartomány 0,8-1,2.

A különböző üzemállapotokhoz szükséges keverési arányok:

hidegindításnál	3:1
felmelegedett motornál	8:1
alapjáraton	10:1
részterhelésnél	17:1
teljes terhelésnél	13:1



A tiszta kipufogógázhoz szükséges keverési arányok:

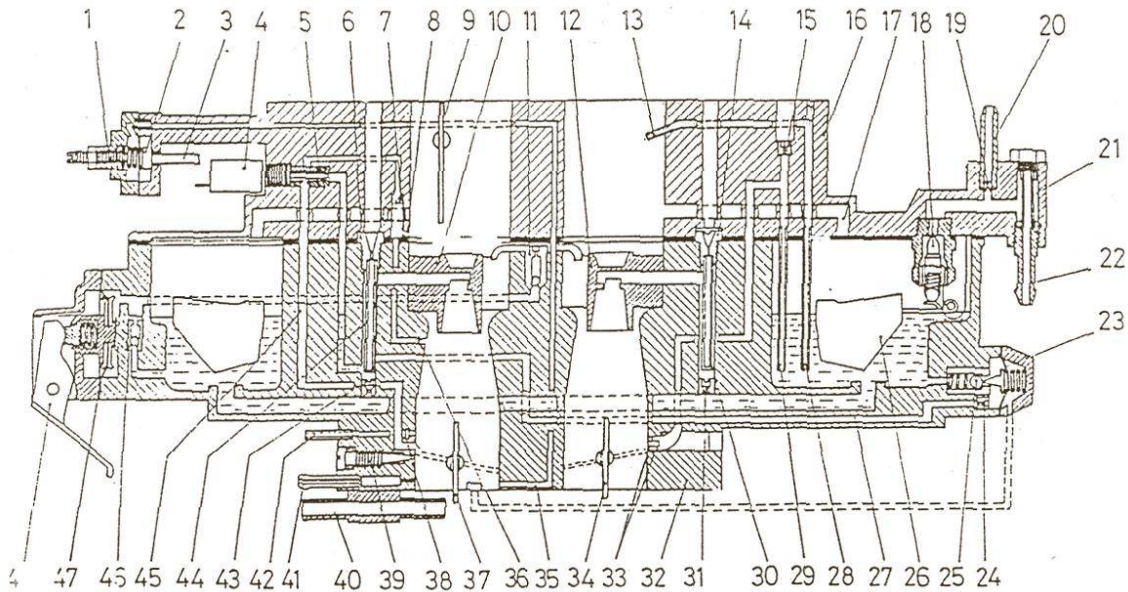
alacsony CO-tartalomhoz	16:1
alacsony CH-részarányhoz	14:1
kevés nitrogénmonoxidhoz	17:1 vagy 12:1

Gyakorlati α tényező 0,95-1 kompromisszum eredménye.

3. ábra Karburátoros keverékképzés jellemzői

A karburátorok legfontosabb részei:

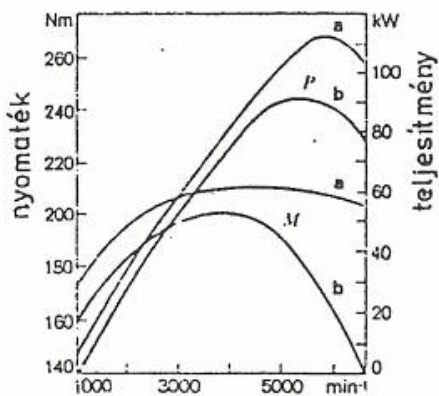
- Állandó benzinszintet biztosító berendezés
- Főfűvókarendszer
- Alapjárat berendezés
- Teljesítmény-berendezés
- Átmeneti berendezések
- Indító berendezés



4. ábra Karburátoros keverékképzés

Nagyteljesítményű motorok esetén több keverőtorkot alkalmaznak a karburátorokban, amelyek közül alacsony, ill. részterhelésen az egyik torok van csak nyitva, míg a második csak magasabb terhelési szinten kapcsolódik be (regiszter-elv).

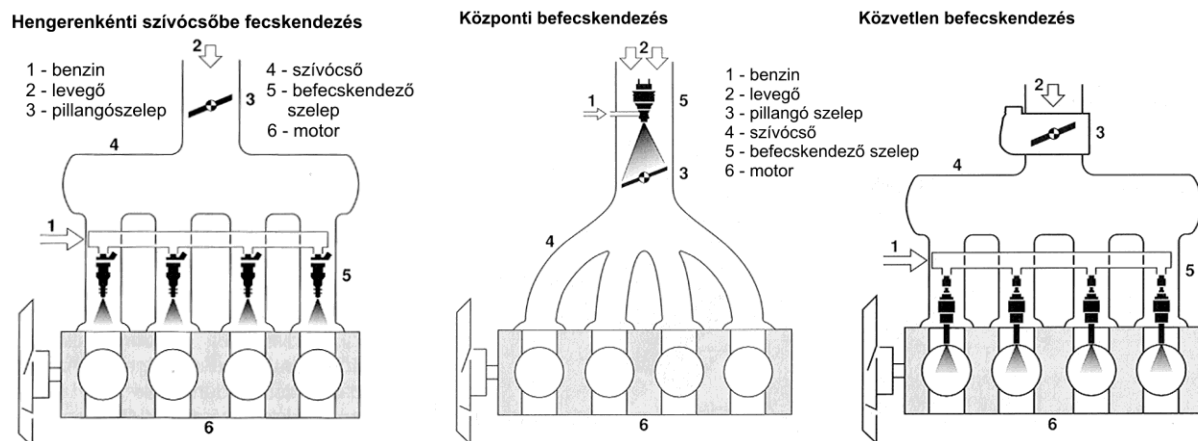
Benzinbefecskendezés alkalmazásával a légviszony-tartomány ingadozása jelentősen csökkenthető a motorteljesítmény növekedése mellett, amely elsősorban a csökkenő szívási veszteségekre vezethető vissza (5. ábra).



Benzinbefecskendezős (a) ill. karburátoros (b) motor külső jelleggörbéje.

5. ábra. Karburátoros és benzinbefecskendezésű motorkarakterisztikák

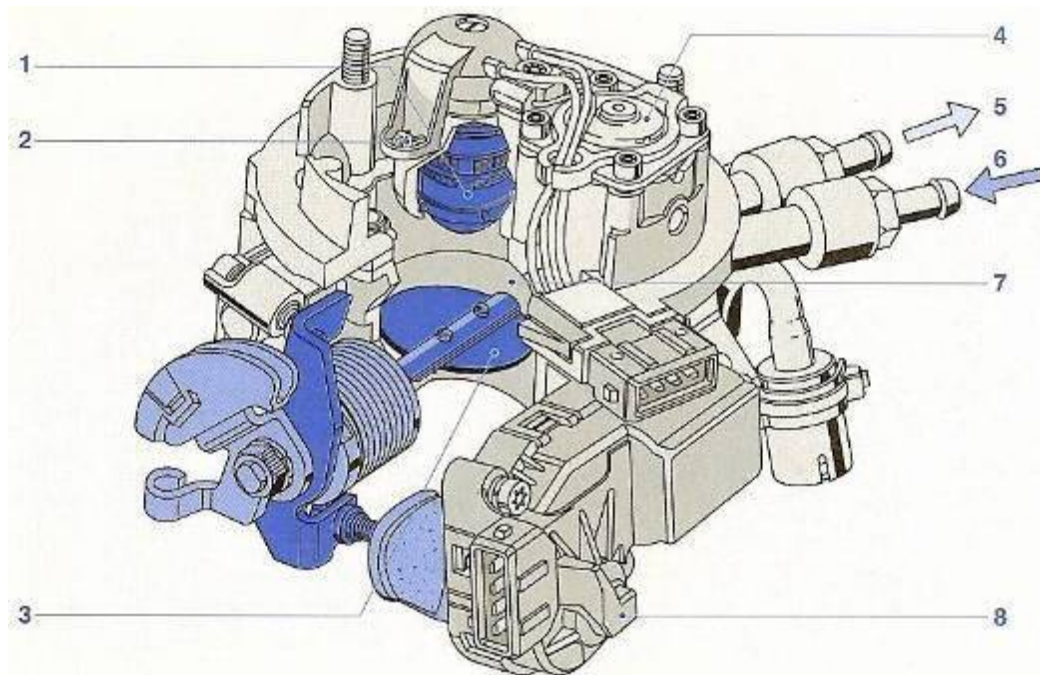
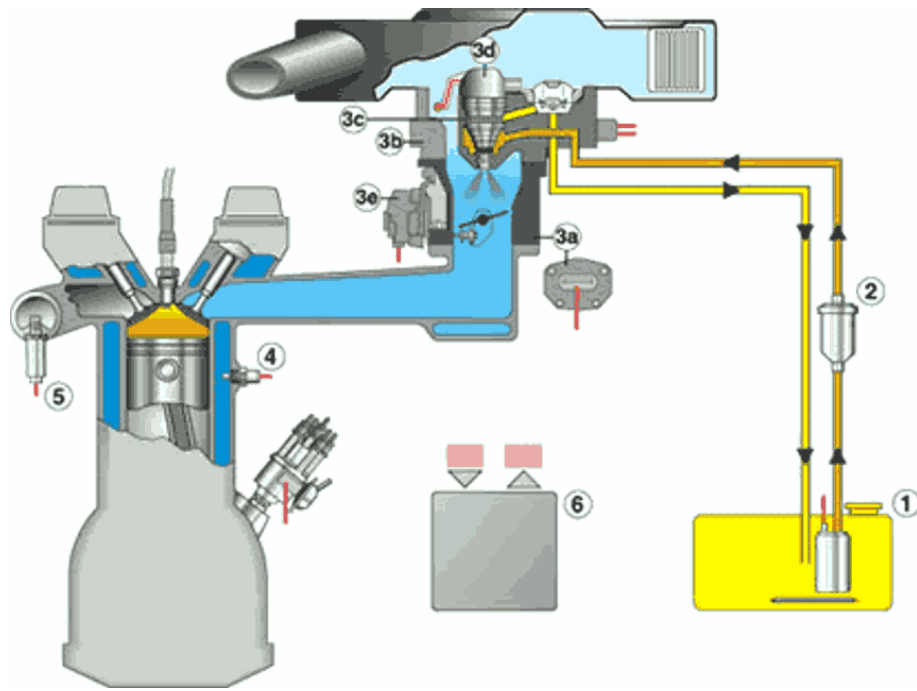
Belsőégésű motorok keverékképzését külső- és belső keverékképzésű esetekre oszthatjuk. A külső keverékképzésű esetben a tüzelőanyag levegőhöz való hozzákeverése a hengeren kívül, a szívócsőben történik, míg belső esetben közvetlenül a hengerben. Benzinbefecskendező rendszerek felosztása a 6. ábrán látható.



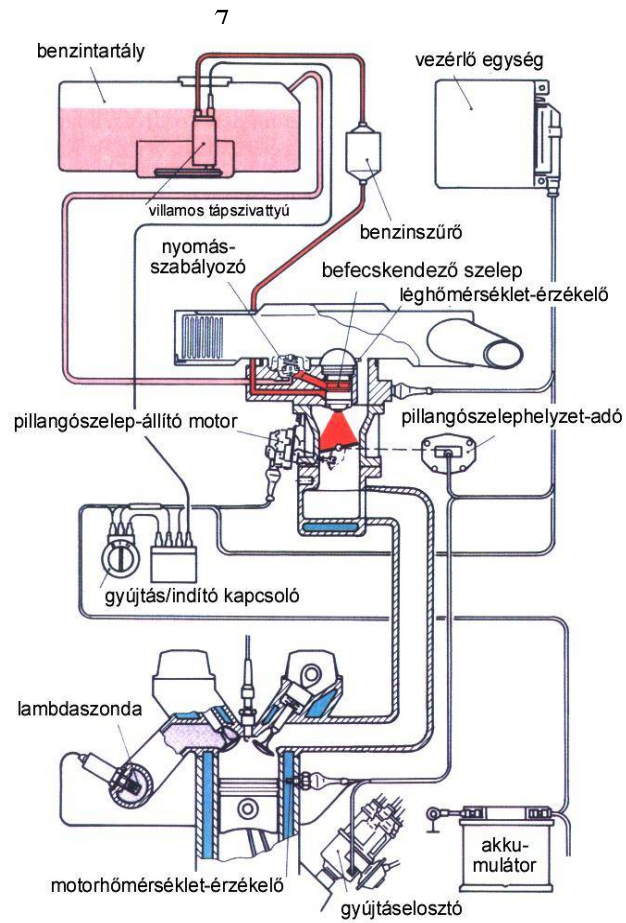
6. ábra Benzinbefecskendező rendszerek

A legegyszerűbb benzinbefecskendezési módszer a központi befecskendezés, amelynek elterjedt képviselője a Mono-Jetronic rendszer (7. és 8. ábra). A befecskendező egység közvetlenül a karburátor helyére építhető be, tartalmazza a tüzelőanyag nyomásszabályozó egységét, a központi befecskendező szelepet, az alapjárat-szabályozáshoz szükséges változó ütköztetésű fojtószelepet és a működéshez szükséges érzékelőket. A tüzelőanyag nyomását a tartályban elhelyezett villamos szállítószivattyú hozza létre. A befecskendezési nyomásszint 1 bar. A befecskendezendő tüzelőanyag-mennyiséget a fojtószelep helyzetéből és motor fordulatszámából határozza meg a rendszer. Központi befecskendezésű rendszerek légfelesleg-tényező pontosságát korlátozza az a tény, hogy a keverékképzés egy központi helyen zajlik, és a hengerbe vezető csövek aszimmetriája miatt a motor hengerei eltérő légfelesleggel működnek. Ezt a problémát a hengerenkénti benzinbefecskendező rendszerek küszöbölik ki.

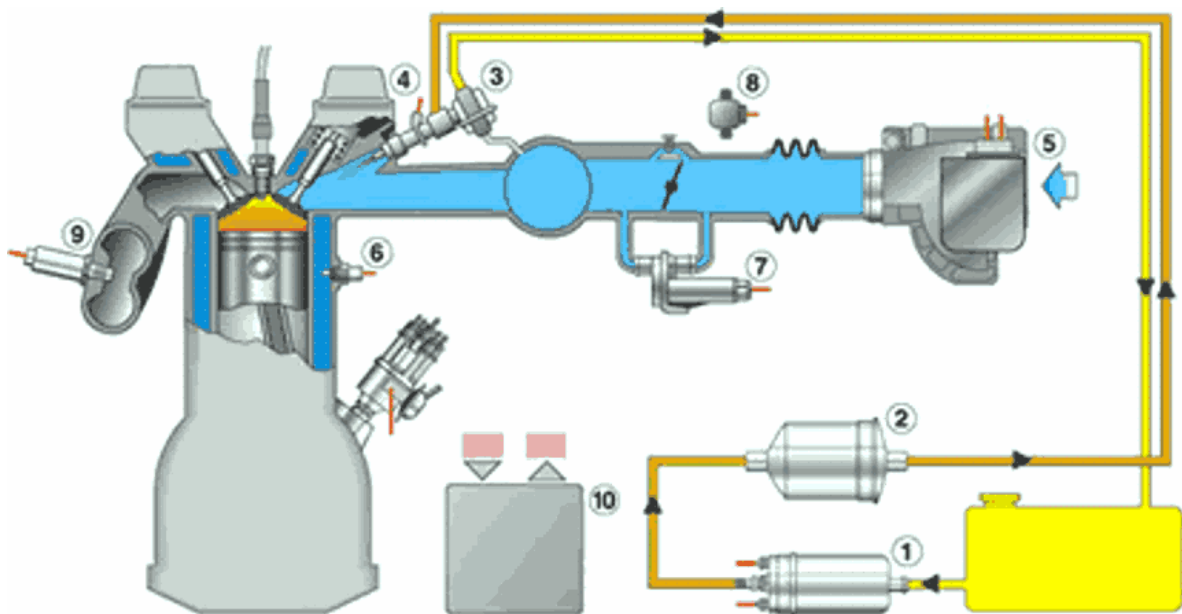
Az L-Jetronic rendszer (9. és 10. ábra) hengerenkénti szívócső-befecskendezést alkalmaz. A tüzelőanyag ellátását szintén a tartályban elhelyezett szivattyú valósítja meg, azonban itt a rendszernyomás magasabb, 2,5-3 bar. A nyomásszabályozó szelep közvetlenül a villamos befecskendező szelepek elosztócsövén helyezkedik el. A befecskendezendő tüzelőanyag-mennyiséget egy villamos pozícióérzékelővel ellátott, torlólapos légfogyasztásmérő jeléből határozza meg a rendszer. A 11. ábra az L-Jetronic rendszer nyomásszabályozóját és a torlólapos levegő fogyasztásmérőjét szemlélteti.



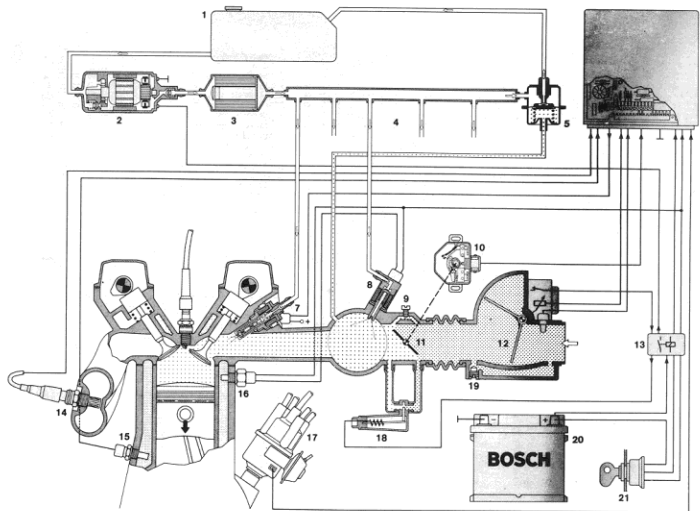
7. ábra. A Mono-Jetronic egység



8. ábra. Mono-Jetronic befecskendező rendszer

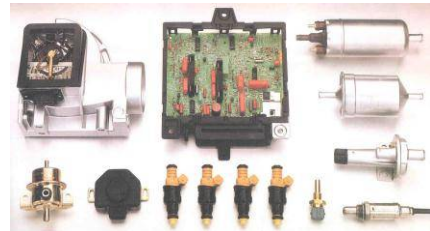


9. ábra. Az L-Jetronic rendszer

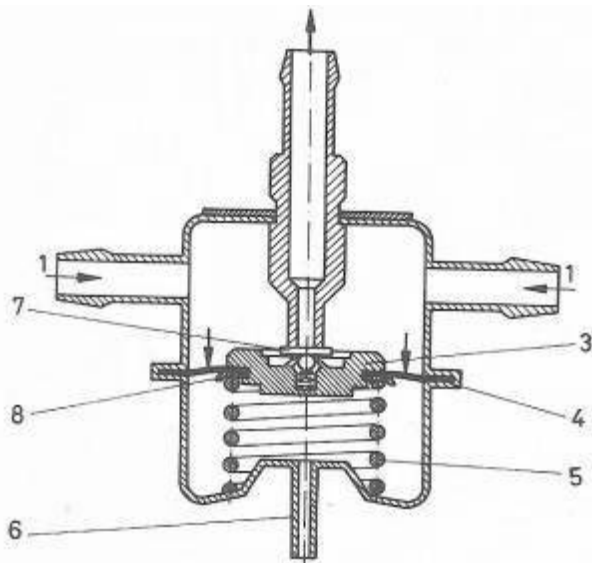


- 1- benzintartály
- 2- tápszivattyú
- 3 - szűrő
- 4 - elosztócső
- 5 - nyomásszabályozó
- 6 - elektronikus vezérlő egység
- 7 - befecskendező szelep
- 8 - indító fűvóka
- 9 - alapjárat fordulatszám állító
- 10 - pillangószelep-helyzet érzékelő

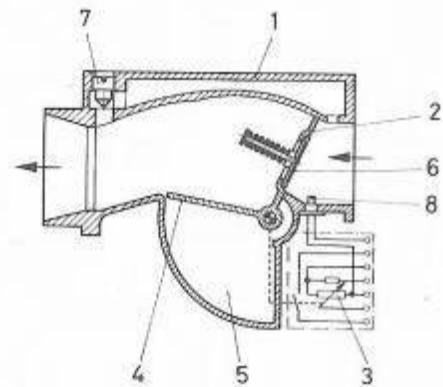
- 11 - pillangószelep
- 12 - levegő-térfogatóram mérő
- 13 - biztonsági mágnesszelep
- 14 - lambdasonda
- 15 - hőmérséklet-érzékelő
- 16 - hőmérséklet/idő kapcsoló
- 17 - gyújtáskapcsoló
- 18 - melegítő fordulatszabályozó
- 19 - keverékszabályozó
- 20 - akkumulátor



10. ábra. Az L-Jetronic rendszer



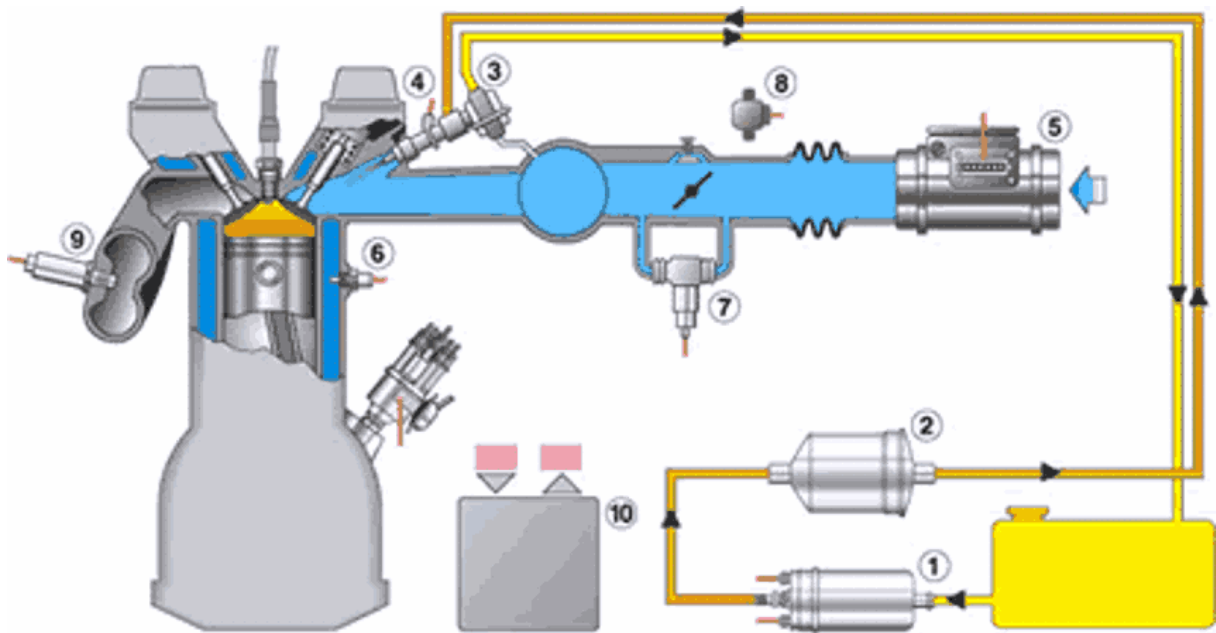
L-Jetronic tüzelőanyag-nyomásszabályozó
1 tüzelőanyag-bevezetés; 2 tüzelőanyag-visszafolyás a tüzelőanyag-tartályba; 3 szeleptartó; 4 membrán; 5 rugó; 6 szívócsőnyomás-csatlakozó; 7 szelep; 8 rugótányér



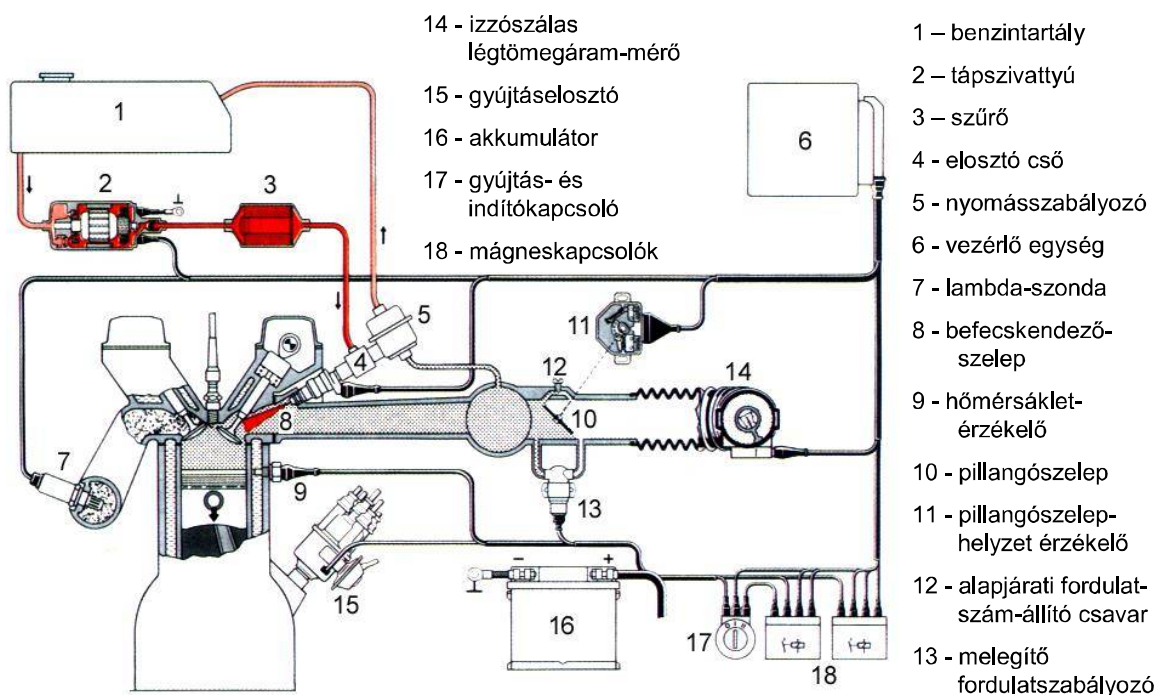
Levegőfogyasztás-mérő (Bosch L-Jetronic)
1 ház; 2 torlószelep; 3 potencióméter; 4 csillapító-szelep; 5 csillapítókamra; 6 visszaesapó szelep; 7 alapjárat levegőcsavar; 8 levegőhőmérséklet-érzékelő

11. ábra. Az L-Jetronic rendszer nyomásszabályzója és légfogyasztás-mérője

A torlólapos levegőfogyasztás-mérő hiányosságai miatt (légellenállás, mozgó, kopó alkatrészek), újabban a hő szálas, hőfilmes tömegárammérőket alkalmaznak (LH Jetronic rendszerek, 12. és 13. ábra). Nagy előnyük, hogy a fojtásuk igen csekély, mozgó alkatrészt nem tartalmaznak, beállítási idő rövid, karbantartást nem igényelnek. Viszont a rövid reakcióidő (5 ms) alapjáraton nem előnyös, a fordulatszám „szaladgál”, ezen a lomhább hőfilmes megoldás segít.



12. ábra. Az LH-Jetronic rendszer



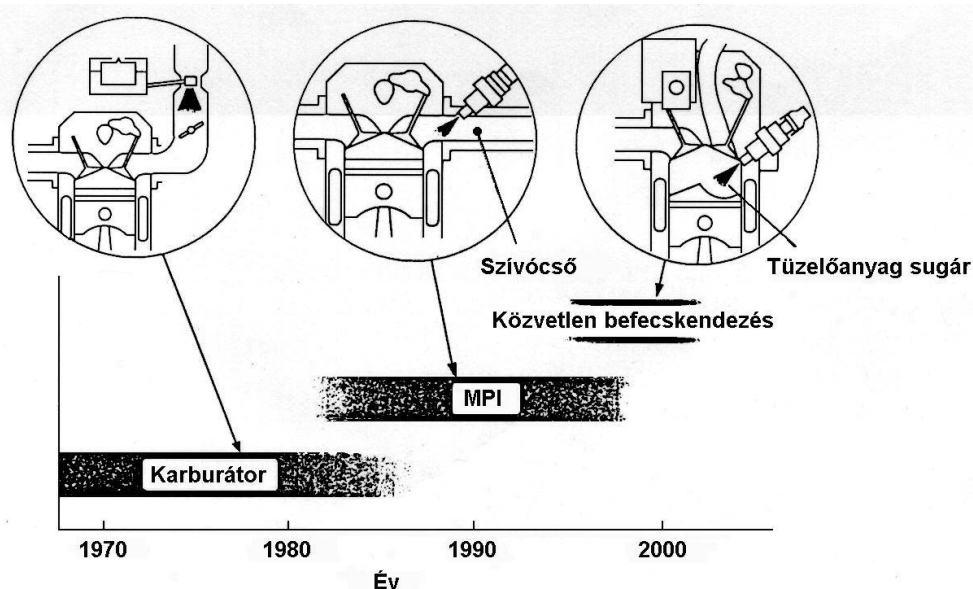
13. ábra. Az LH-Jetronic rendszer felépítése

Közvetlen-befecskendezésű benzinmotorok.

A világ összes motorfejlesztő és gyártó cégei már hosszú ideje dolgoznak a még nagyobb teljesítményű, még nagyobb nyomatékú és ezzel egyidejűleg kis fogyasztású és károsanyag kibocsátású motorokon. Ebben a fejlesztési folyamatban az első nagy lépés a karburátor feltalálása volt, ez a levegő és a tüzelőanyag jobb keveredését eredményezte, ezáltal a hasznos teljesítmény megnőtt. A karburátor fokozatosan fejlődött, de amikor már

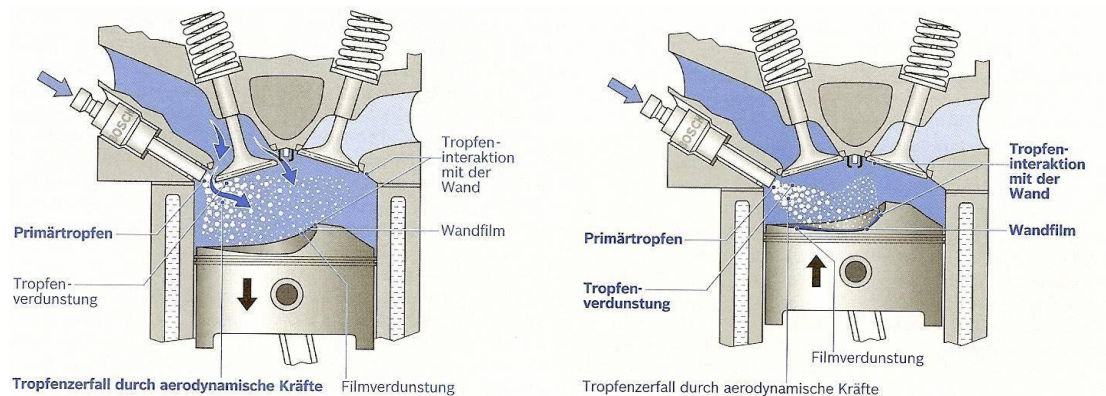
elérte azt a fejlettséget, amely gazdaságosan nem volt tovább fejleszthető, új utakat kellett keresni. Az egyik a benzinbefecskendező rendszerek kifejlesztése volt. Ennek előnye a belsőégésű motor teljes üzemelési tartományában a jobb tüzelőanyag-levegő keverék előállítása, valamint a kisebb károsanyag kibocsátás, ami a λ -szonda megjelenésével tovább csökkent. Ez már az 1920-as években megjelent, de nem a szériagyártású motorokon. Szériagyártású motorokon akkor jelent meg, amikor a fizetőképes kereslet erre már igényt tartott. Ez is - mint a karburátor - fejlődésen ment keresztül, így például: mechanikus, mechanikus-elektronikus, elektronikus. Ez is elérte a gazdaságos továbbfejleszthetőség határát ezért újból lépni kellett. Egyszerre több világ cég foglalkozott és foglalkozik a közvetlenül a hengerbe történő benzinbefecskendezéssel.

Az előzőekben nagyvonalakban ismertetett fejlődési állomásokat mutatja be a következő egyszerűsített ábra:



14. ábra. Tüzelő-ellátó rendszer.

A közvetlen-befecskendezésű motoroknál a keverékképzés első fázisában a keverék homogén, a második fázisban réteges

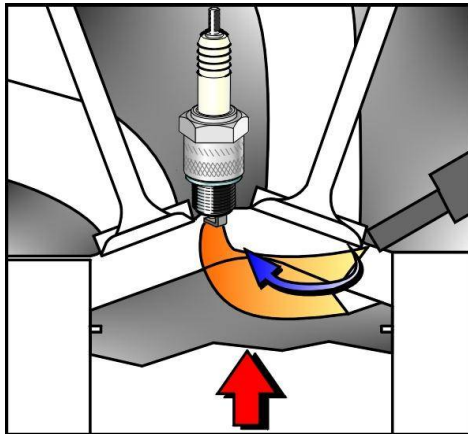
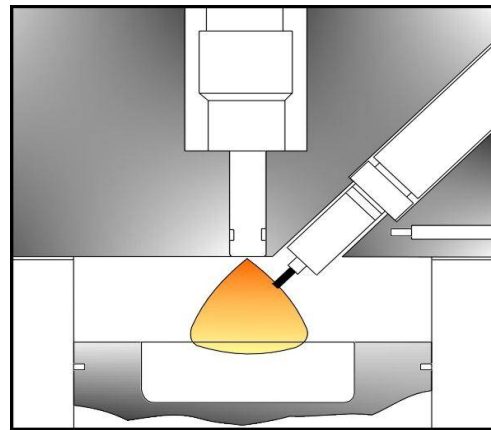


Homogén

Réteges

15. ábra. Közvetlen befecskendezési keverékképzési fázisai.

A közvetlen-befecskendezésű motoroknál háromféle keverékképzési eljárás terjedt el. A falvezetéses (Mitsubishi 1.8 GDI), a sugárvezetéses (Mercedes-Benz 350 CGI)(3. ábra) és a legújabban kialakított légvezetéses keverékképzés.

Falvezetéses
(swirl/thumble)

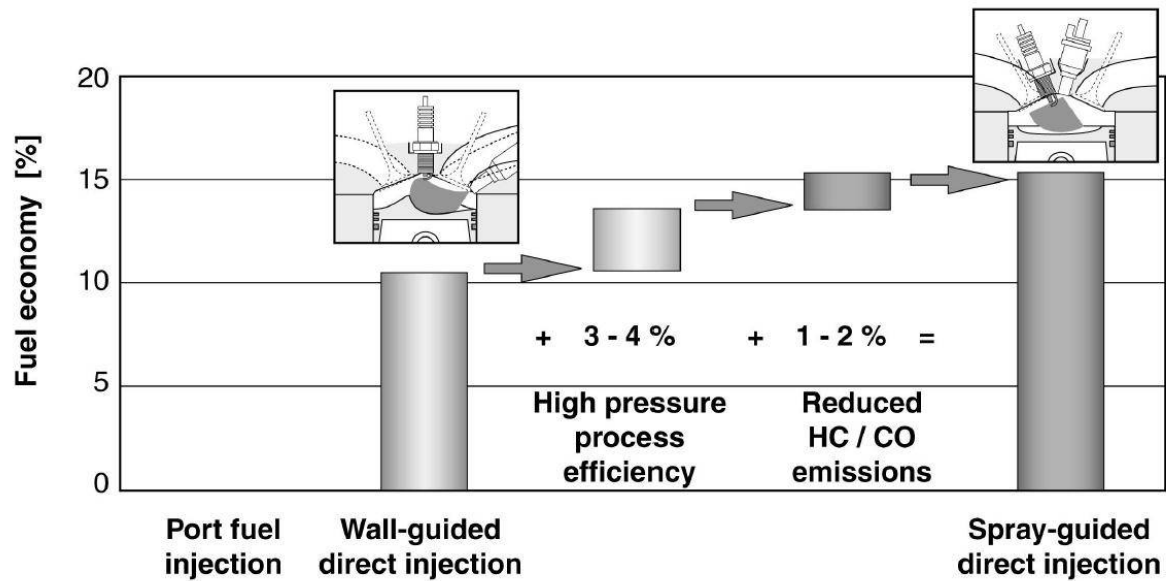
Sugárvezetéses

3. ábra. Falvezetéses és sugárvezetéses keverékképzési eljárás.

Közvetlen benzinbefecskendezés jellemzői:

- Dízelmotorokhoz hasonló belső keverékképzés,
- Előnyei:
 - Minőségi szabályozás → fojtásmentes,
 - Kisebb gázcsere-veszteség (-95%),
 - Kedvezőbb porlasztási kép,
 - Nagyobb kompresszió-viszony,
 - Kisebb falveszteségek bizonyos üzemállapotban,
 - Nagyobb hatásfok (4..9% javulás),
 - Kisebb fogyasztás,
 - Nagyobb nyomaték (rugalmasabb),
 - Kisebb CO₂-kibocsátás,
 - Réteges keverékképzés egyszerű megvalósítása,
 - Mind a takarékos mind a nagyteljesítményű üzem megvalósítható,
 - Nagyarányú kipufogógáz-visszavezetés lehetséges
 - Ultraszegény keverékes üzem is lehetséges ($\alpha = 3..3,5$) → kisebb hőmérséklet.
- Hátrányai
 - Magas nyers NO_x és HC emisszió,
 - Teljesen kénmentes tüzelőanyagot igényel (+ speciális kenőolajat),
 - Kipufogógáz utókezelése nehézkes és drágább,
 - Befecskendezési sugarat erősen befolyásolja az égéstér nyomása,
 - Fordulatszámától és terheléstől függnnek a keverékképzésben elsődleges töltetmozgások,
 - Magasabb technológiai szint → drága,
 - Nagy befecskendezési nyomás előállítása (40..200 bar),

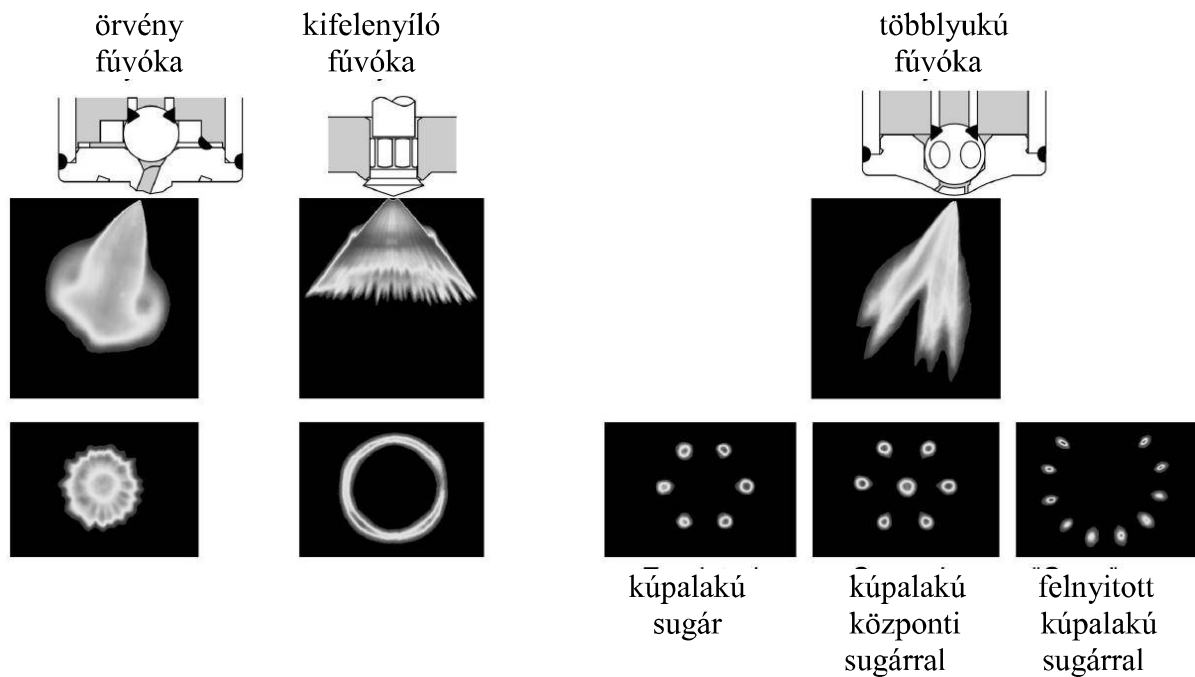
A fogyasztáscsökkenés közvetlen-befecskendezés esetén az alábbi ábra szerint alakul.



16. ábra. Fogyasztáscsökkenés közvetlen-befecskendezés esetén.

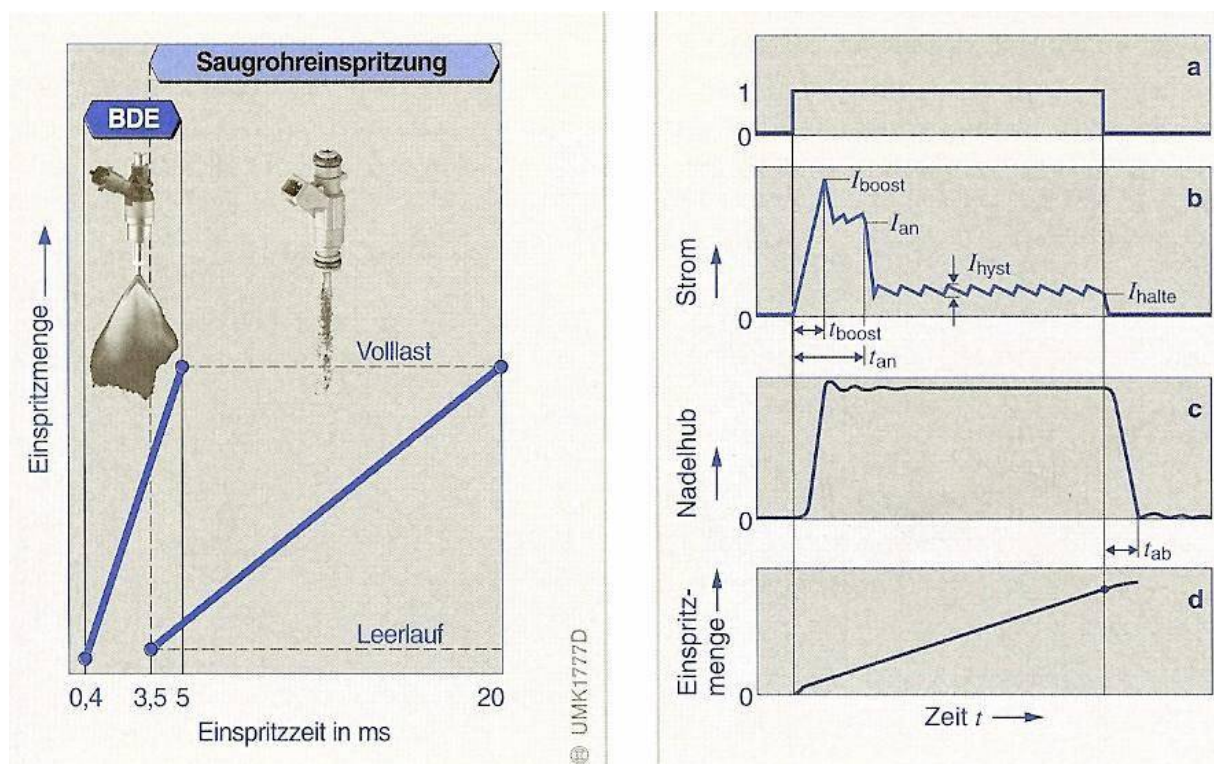
A különböző közvetlen-befecskendezésű motorok befecskendező szelepeit három kialakítású fúvókával szerelik:

- **örvény fúvóka**, falvezetéses keverékképzési eljárású közvetlen-befecskendezésű motorokhoz,
- **többlukú fúvóka**, sugárvezetéses keverékképzési eljárású közvetlen-befecskendezésű motorokhoz,
- **kifelenyülő fúvóka**, légvezetéses keverékképzési eljárású közvetlen-befecskendezésű motorokhoz.



17. ábra. Közvetlen-befecskendezésű motorok befecskendező fúvókáinak típusai.

A befecskendező-szelepek üzemi jellemzőit a 6. ábra szemlélteti.



18. ábra. A befecskendező-szelepek üzemi jellemzői

Falvezetéses közvetlen-befecskendezés (Mitsubishi 1.8 GDI)

Az újonnan kifejlesztett megoldás a Hengerbe Történő Benzin Befecskendezésű Motor (angol nyelvű rövidítéssel I.D.I.G.E.). Ennek a rendszernek a legelső szériában való kifejlesztője a japán Mitsubishi gyár, aki ezt GDI (Gasoline Direct Injection) jelöléssel látta el. A továbbiakban a GDI jelölést fogjuk használni.

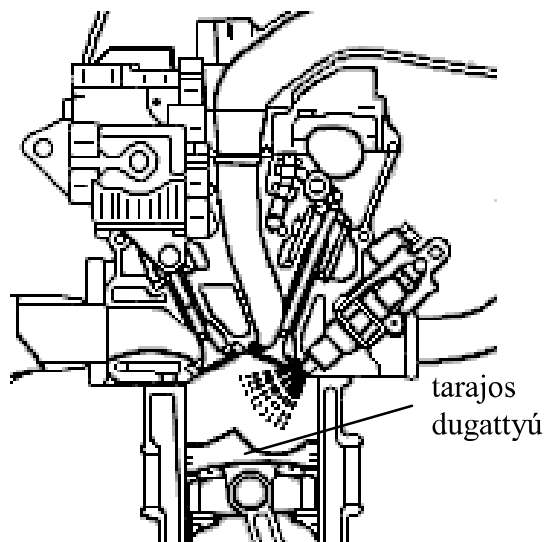
A hagyományos MPI és a GDI rendszer összehasonlítva a következő előnyök mutatkoznak:

- jobb a henger töltése;
- nagyobb a motor sűrítési aránya;
- kisebb a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás;
- nincs benzinlecsapódás a szívócsőben;
- optimálisabb tüzelőanyag-ellátás a teljes jellegmezőben;
- kisebb károsanyag kibocsátás;
- könnyebb a benzinmotor feltöltése;
- könnyebb indítás;
- jobb gyorsítási viszonyok;

A következő táblázat a hagyományos MPI-vel és közvetlen befecskendezéssel szerelt, azonos hengerűrtartalmú motorok összehasonlítását szemlélteti:

	4G93 Közvetlen befecskendezés	4G93 Hagyományos MPI
Furat x löket (mm)	81.0 x 89.0	81.0 x 89.0
Henger űrtartalom (cm ³)	1834	1834
Hengerek száma	4, soros elhely.	4, soros elhely.
Szelepvezérlés	DOHC	DOHC
Szelepek száma	2 szívó, 2 kipufogó	2 szívó, 2 kipufogó
Sűrítési arány	12.0	10.5
Égéstér típusa	Pentroof (tarajos dugattyú)	Pentroof
Szívótorok	Függőleges, egyenes	Hagyományos
Befecskendezés típusa	Közvetlenül a hengerbe	Szívócsőbe
Befecskendezési nyomás	5.0 MPa	0.33 MPa

A hagyományos konstrukciós megoldásoknál a beömlővezeték vízszintes és a szívócsatorna megtörik. Az égéstér és dugattyú kialakítása szokványos. A befecskendezést a szívócsőbe történik kis nyomással, így a tüzelőanyagot még a hengerbe való bejutás előtt keveredik a levegővel, ami nem az optimális megoldás a megfelelő benzin-levegő keverék előállításához.

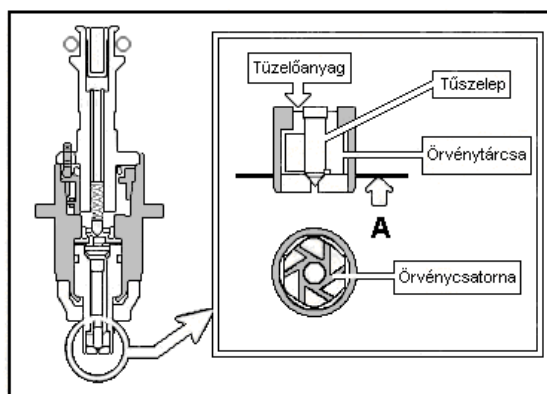


19. ábra. A GDI motor hengerfej kialakítása.

A GDI rendszernél a megfelelő levegőáramlás céljából függőleges, egyenes szívócsatornát alakítottak ki. Ennek ellenére a motor csak 25 mm-rel magasabb a hagyományos konstrukciójú, azonos alkatrészek esetén, így a kis járművekbe is gond nélkül beépíthető. A

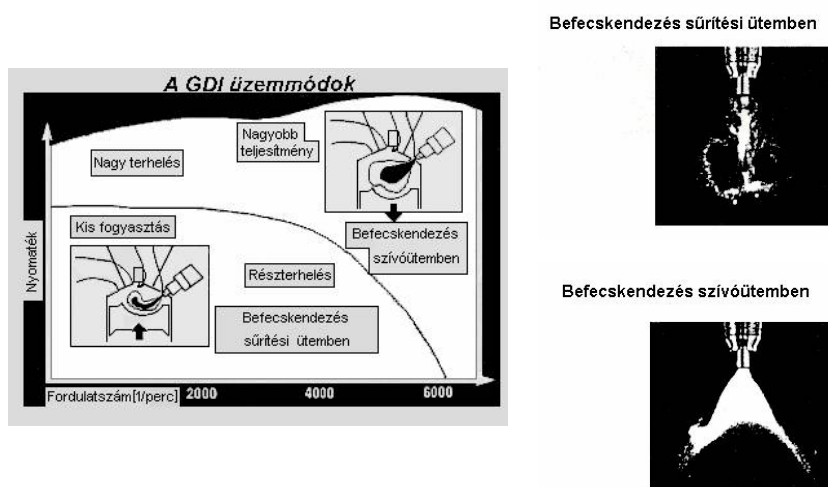
tarajos dugattyútető elősegíti a megfelelő gyulladási feltételeinek kialakulását. A tüzelőanyagot egy nagynyomású szivattyú szállítja 50 bar nyomással, a befecskendező-szelepen át közvetlenül az égéstérbe.

Ezek a befecskendező-szelepek nemcsak a nagynyomással, hanem megfelelő örvénnyel juttatja az égéstérbe a benzint. Az örvénylest, a szelepbe beépített kisméretű, propellerre hasonlító örvénytárcsa hozza létre.



20. ábra. A GDI motor befecskendező-szelepe.

A GDI és az öngyulladással működő motorok műszaki megoldásai között sok közös vonás van. A GDI motoroknál, részterhelésnél elmarad a pillangószelep, hatásfokot rontó szerep ugyanúgy, mint a diesel-motoroknál. A hagyományos benzinmotor hengereinek teljes erejével szívja a legtöbbször majdnem zárt pillangószelepet, ami jelentős szívási veszteségeket okoz. A GDI motor kétféle üzemmódban működhet. Az egyik a leghatékonyabb tüzelőanyag felhasználást célozza, a másik a nagyobb teljesítmény leadására szolgál. Az első esetben rendkívül szegény keverékkel működik, míg a másodikban a minél jobb tüzelőanyag-töltés kerül előtérbe.



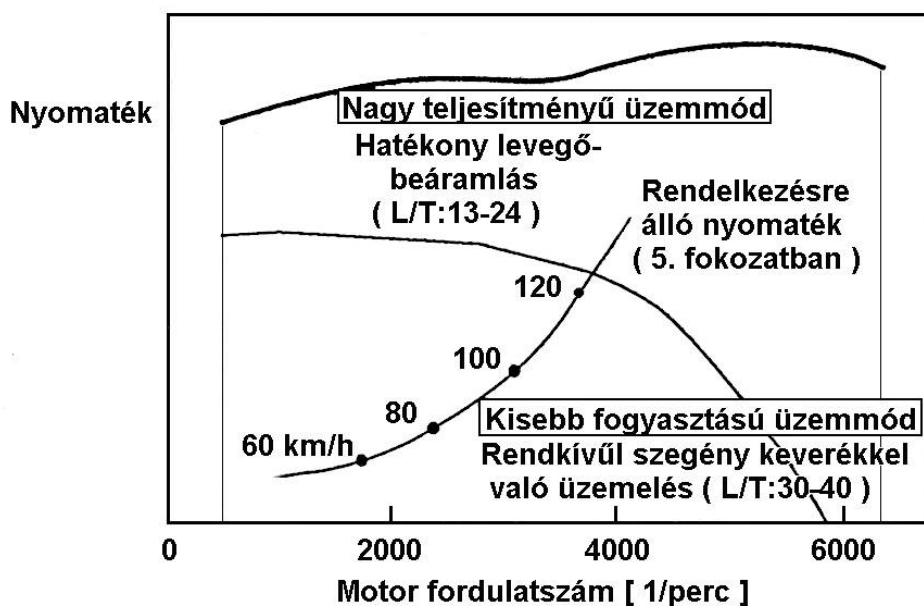
21. ábra. Üzemmódok és a befecskendezési sugárkép

Részterheléskor a GDI motor szegény keverékes módban üzemel. Ilyenkor egy kétutas szelep segítségével a levegő megkerüli a pillangószelepet. A benzinbefecskendezés csak a sűrítési ütem legvégén történik meg. A szabad szívócsatornának és a benzin-levegő keverék réteges elhelyezkedésének köszönhetően az égéskamra térfogatára vetítve a keverési arány $1:30 \div 40$. Ebben az üzemmódban a szelepek egészen kis mennyiségű tüzelőanyagot fecskendeznek be a szokványostól eltérő befecskendezési képpel.

Nagy terhelésnél a teljes működési stratégiát villámgyorsan megváltoztatja a rendszer. A szívócsatorna kétutas szelepe lezár, a levegő a pillangószelepen keresztül áramlik, a tüzelőanyagot már a szívóütemben elkezdik befecskendezni, a befecskendezési kép is megváltozik.

Ez nagy fordulatszámnál tovább javítja az égést, a töltési fokot és csökkenti a kopogásra való hajlamot azáltal, hogy az üzemanyagnak több ideje van a homogén elkeveredésre, elpárolgásra, így javul a sűrítéstől felmelegedett levegő tüzelőanyag-felvevő képessége, illetve biztosítja a henger belső hűtését. A GDI motornál csak teljes terhelésnél érvényesül a sztöchiometrikus $14,7:1$ arányú benzin-levegő keverék. Ebben a tartományban úgy működik, mint egy szokványos motor.

A két üzemmód között észrevétlenül kapcsol ide-oda a rendszer anélkül, hogy rángatna, vagy megtorpanna a motor.



22. ábra. Befecskendezési üzemmódok és stratégiák a GDI motoroknál.

A GDI motor kiemelkedően kis tüzelőanyag-fogyasztással tud működni. Egyenletes elosztás mellett a különlegesen szegény keverék nem égne el. Ezért a rendkívül szegény benzin-levegő keveréket oly módon égeti el, hogy a sűrítési ütem végéhez közeli fázisban egy benzinben dúsabb, éghető réteg alakul ki a gyújtógyertya környezetében, míg a tiszta levegő a hengerfalnál helyezkedik el, ezzel jelentősen mérsékelve a hővesztéséget is.

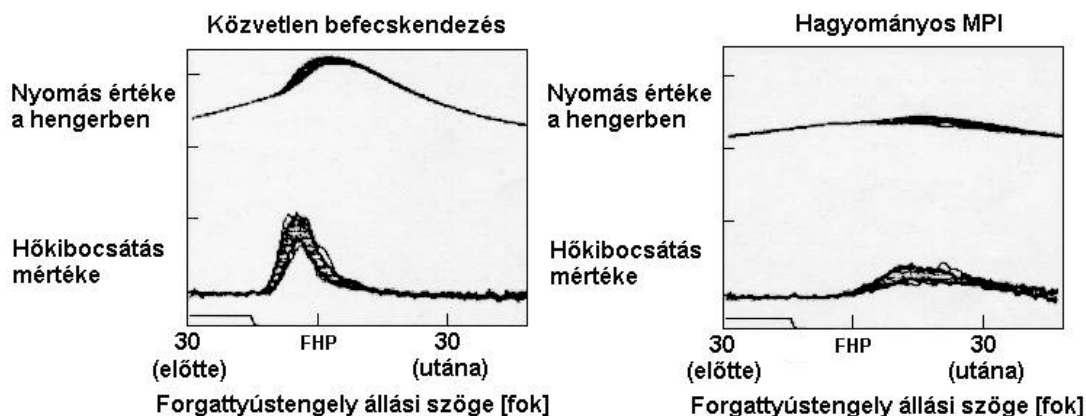


23. ábra. Réteges keverékképzés végrehajtása.

A függőlegesen, egyenesen futó szívócsatornákon át a levegő áramlása zavartalan, a sugár a dugattyú tetején kiképzett mélyedés okozta irányváltoztatással erőteljes örvényt hoz létre a hengeren belül, melynek iránya ellentétes a hagyományos motorokban kialakuló keverékáramlás irányával.

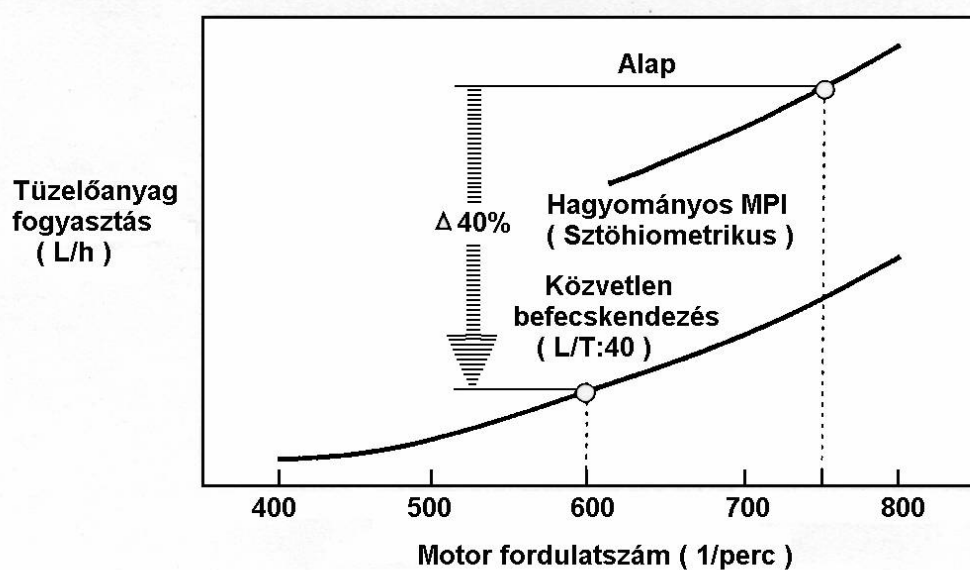
A nagynyomású örvénybefecskendező által a hengerbe, a sűrítési ütem végéhez közeli fázisban beporlasztott benzinszemcsék elpárolognak, még mielőtt a dugattyúig eljutnának. A pára a légárammal együtt terjed szét az égéstérben, ezáltal létrehozva a már említett tüzelőanyag-rétegződést. Ezen kívül a rendkívül kis tüzelőanyag-fogyasztást elősegíti, hogy a sűrítési arány növelhető, öblítéskor nincsenek tüzelőanyag-vesztések, „kényszerüresjáratban” tüzelőanyag-fogyasztás nincs, mert a befecskendezés elmarad, és nem szükséges gyorsító berendezés, amely a keveréket indokolatlanul dúsítja.

A GDI motor alacsony alapjáratú fordulatszámra is képes stabilan és simán működni, továbbá szélesebb határok között választható meg az alapjáratú fordulatszáma. A következő ábra szemlélteti a GDI valamint az MPI motorokban az égést alapjáraton.



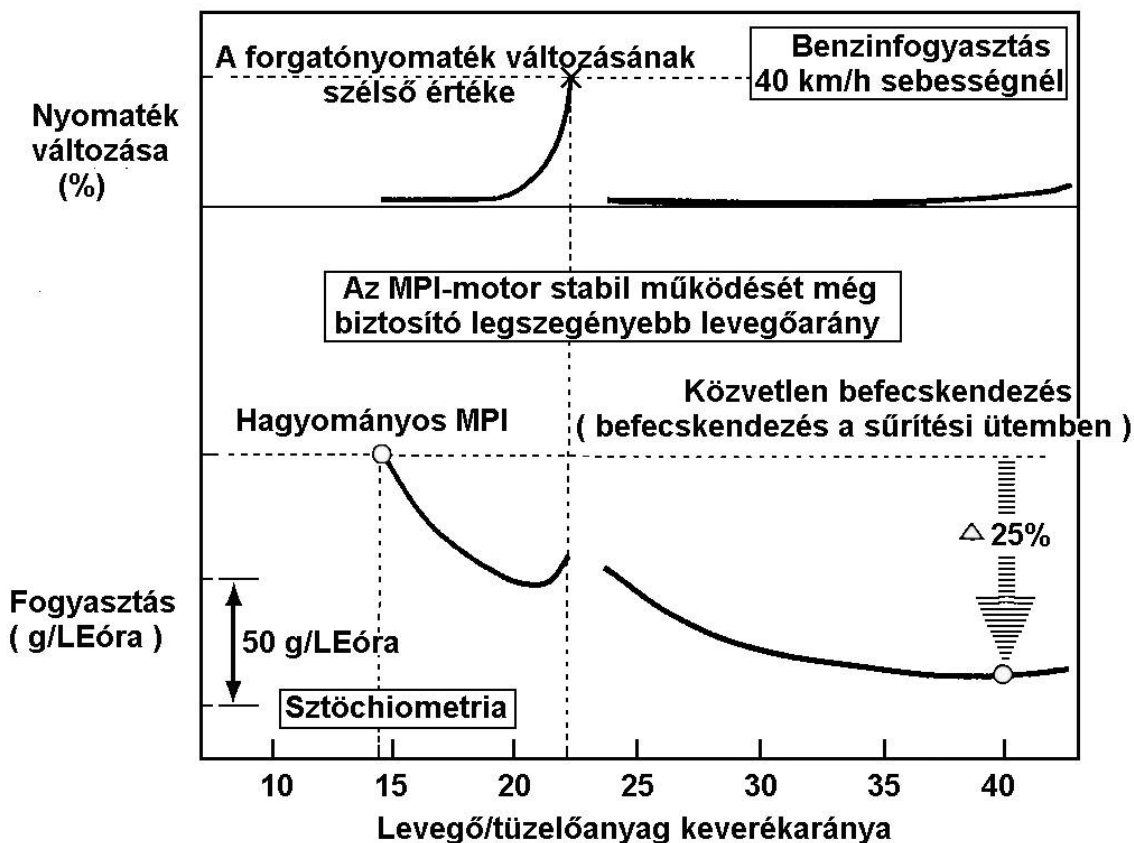
24. ábra. a GDI valamint az MPI motorokban az égés alapjáraton.

Jól látható a közvetlen befecskendezésnél kialakuló rövid lángút (gyors égés), mely csökkenti a kopogási hajlamot ugyan, de egyben a "kemény járás" bekövetkezésének veszélyét idézheti elő. Továbbá a nagyobb égési csúcsnyomás és ezáltal nagyobb középnyomás kialakulása, mely kis fogyasztást okoz. A hagyományos MPI rendszerrel szerelt motorokkal összehasonlítva kitűnik, hogy alapjáraton a tüzelőanyag-fogyasztás 40 %-kal kevesebb lehet.



25. ábra. Réteges keverékképzés hatása az alapjáratú fogyasztásra.

A GDI motornak kis sebességgel működtetve 25 %-kal kevesebb tüzelőanyagra van szüksége, mint a megegyező hengerűrtartalmú hagyományos motoroknak. A következő ábrán jól látható a két motor fogyasztása és működési tartománya közötti különbség.



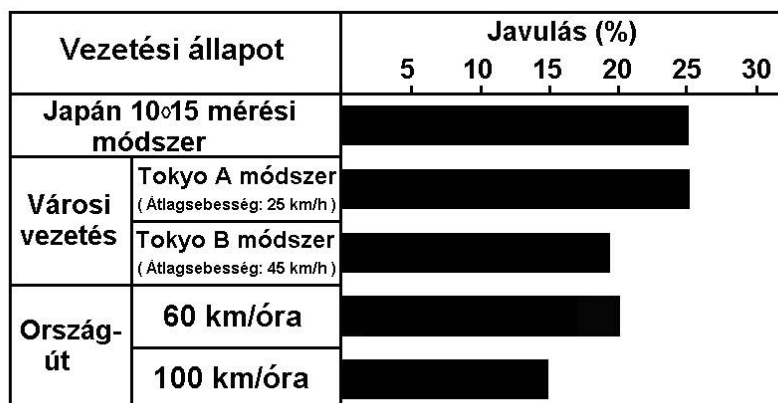
26. ábra. Réteges keverékképzés hatása a fogyasztásra
Többféle módszerrel is vizsgálták a GDI motor városi fogyasztását.

A Japánban használatos 10°15 mérési módszerrel (jellemzően városi vezetés-orientált módszer) kapott eredmények azt mutatják, hogy akár 25 %-kal kevesebbet is fogyaszthat, mint a hasonló méretű, más benzinüzemű motorok, sőt, még egyes dízel motoroknál is kevesebb tüzelőanyaggal megelégedhet.

Motor		10°15 mérési módszer M/T (km/L)			
		5	10	15	20
1800 ccm	Közv. befecsk.				
	MPI				
2000 ccm I/C T/C Diesel					

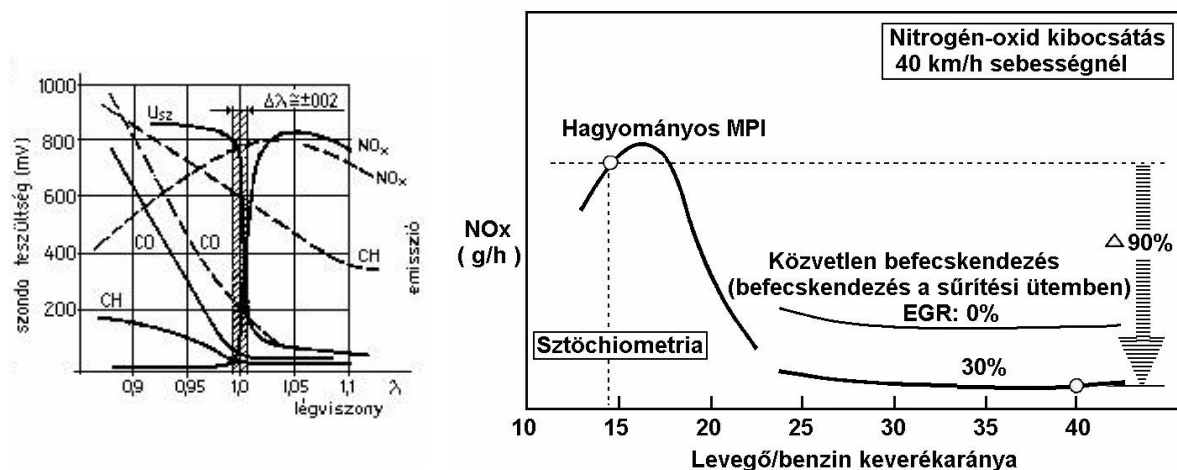
27. ábra. A városi tüzelőanyag-fogyasztás összehasonlítása a japán 10°15 módszer szerint.

Olyan módszerekkel is vizsgálták a fogyasztást, amelyek más vezetési körülményekre helyezik a hangsúlyt. Az eredmények azonban ezeknél is hasonlóan jók.



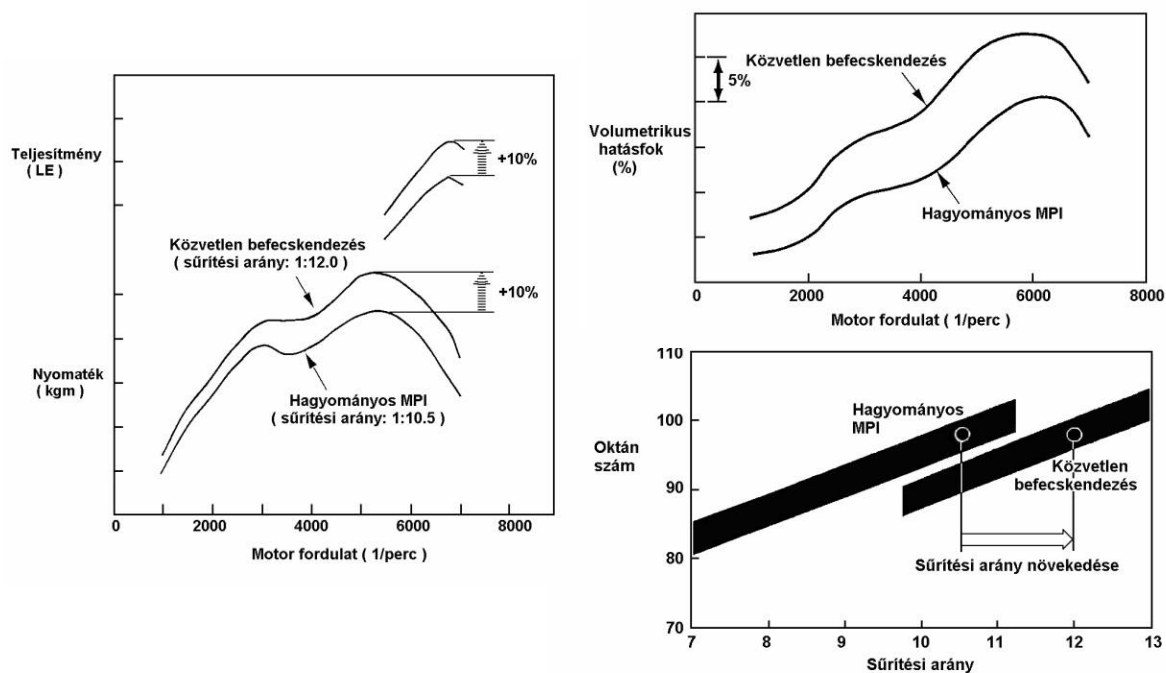
28. ábra. A városi tüzelőanyag-fogyasztás összehasonlítása

A korábbi, nagyon szegény keverékek égetésével próbálkozó motorok esetében drasztikusan megnőtt a nitrogén-oxidok mennyisége a kipufogógázban. A GDI motornak azonban az európai engedélyeztetéshez tartósan teljesítenie kell az Euro-2 normák előírásait, a 2000. évtől pedig a még szigorúbb Euro-3-nak kell eleget tennie. A hagyományos rendszerű hármas hatású szabályozott katalizátor itt csak részben működik, mert annak kipufogógáz tisztító hatása csak szigorúan 14,7:1 levegő arány esetén érvényesül. Ez viszont, mint már említettük, a GDI motornál csak teljes terhelés esetén valósul meg. A hármas hatású szabályozott katalizátor a nagy mennyiségű nitrogén-oxidot nem alakítja át. Az igen stabil égési folyamat miatt azonban egészen nagy mennyiségű, 30% vagy még több kipufogófáz is visszavezethető a hengerekbe (EGR-módszer). Már ily módon is 80%-kal csökkenthető a kibocsátott nitrogén-oxidok mennyisége. További segítség az újonnan kifejlesztett NO_x katalizátor, amely újszerű, irídium réteggel bevont kerámia katalizátor és a nitrogénoxid tisztító hatást 95%-kal megnöveli. Ez az NO_x katalizátor a hármas hatású szabályozott katalizátorral együtt közös házban helyezkedik el, és kiegészítik egymást. Az új fejlesztésű katalizátor az úgynevezett tároló katalizátorral ellentétben folyamatosan működik, és további előnye, hogy érzéketlen az európai benzinben még mindig nagy mennyiségben található kénnel szemben. Végeredményben a GDI motor által kibocsátott nitrogén-oxidok mennyisége 90 %-kal is csökkenthető a hagyományos MPI-motorokhoz képest.



29. ábra. Kipufogógáz kezelés (EGR+NO_x kat.+3-as hatású kat.)

A motor kopogási határát nagyobb sűrítési arányok felé lehet eltolni, mivel a nagy szelepösszenyitással a forró égéstermékek jobban eltávolíthatók. A hengerbe kerülő, és ott felmelegedő levegőt az elpárolgó benzin lehűti, és kialakul a benzin-levegő keverék réteges elhelyezkedése. Ezáltal nagyobb sűrítési arányú motorokat lehet gyártani, amely - egy bizonyos érték eléréséig - a belsőégésű motorok teljesítmény-növelésének egyik leghatásosabb módja.



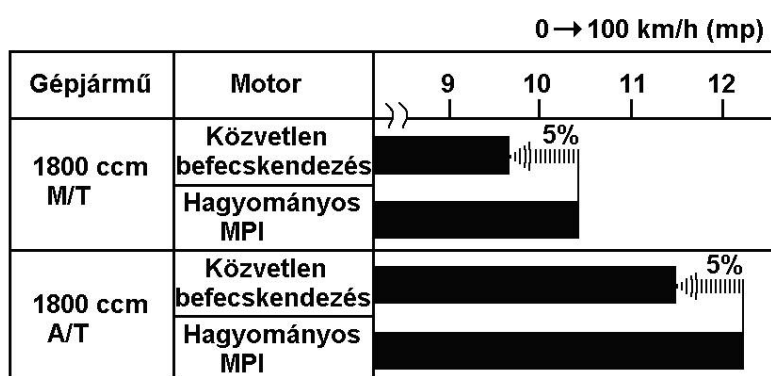
30. ábra. Teljesítményjellemzők javulása.

A GDI motor hengereinek töltése jobb az MPI motorokhoz képest. A függőleges, egyenes állású szívócsatorna és a pillangószelep elhagyása simább levegőáramlást tesz

lehetővé. Nagy szelepösszenyitás lehetséges, ami jó öblítést biztosít, továbbá a benzin befecskendezéskor elpárolog, és lehűti a keveréket. Az említett előnyök, valamint a nagyobb sűrítési arány miatt a GDI motor literteljesítménye nagyobb.

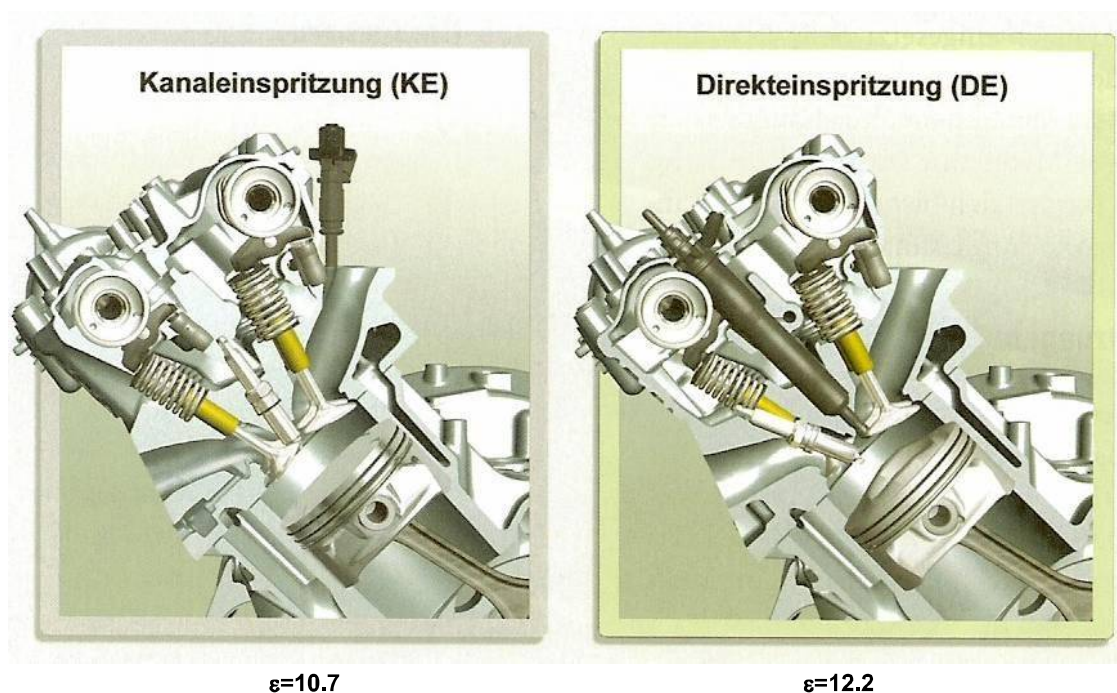
A teljesítményhez hasonlóan a GDI motor forgatónyomatéka is nagyobb a hasonló hengerűrtartalmú MPI motorokhoz képest. A növekmény akár 10% is lehet.

Nagy-teljesítményű üzemmódban a GDI motorral szerelt gépkocsi kiemelkedő gyorsulásra képes mind kézi, mint automata váltós kiszerelésben. A következő ábra szemlélteti a közvetlen-befecskendezéssel, valamint a hagyományos MPI-vel szerelt motorokkal szerelt gépkocsik gyorsulásait mechanikus és automata váltóval esetében.

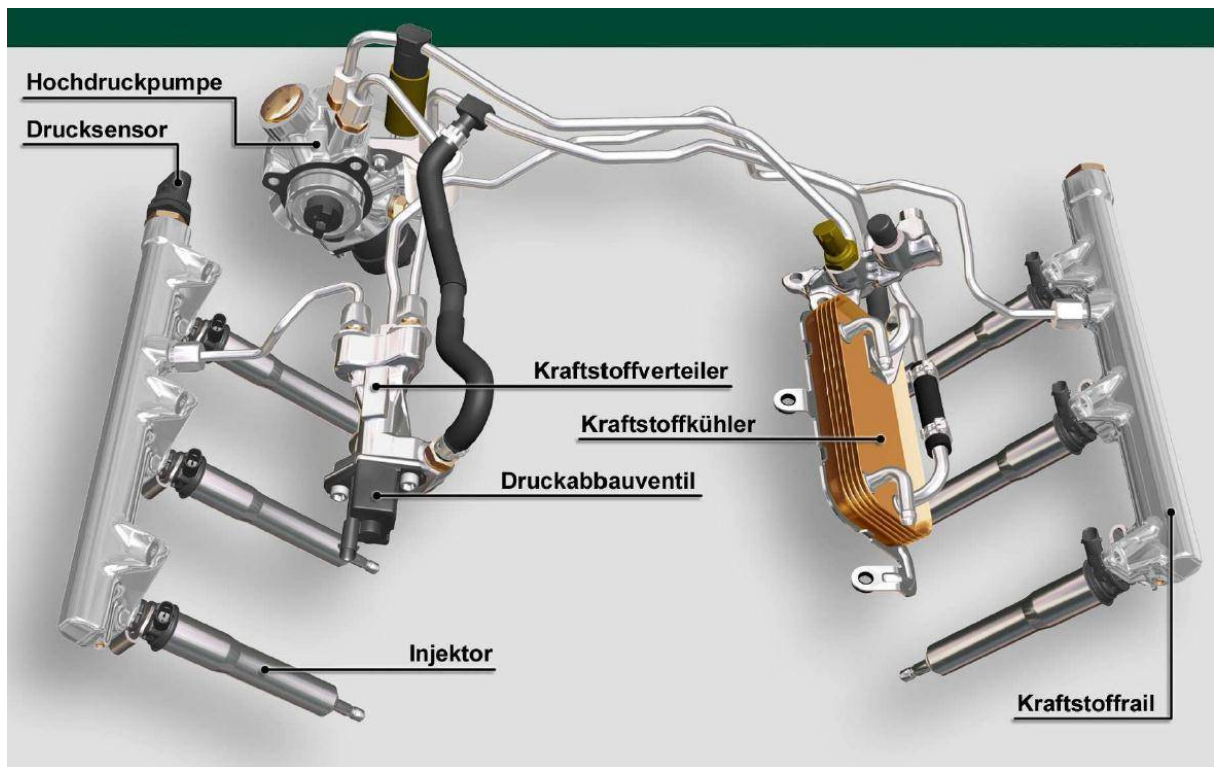


31. ábra. Gyorsulási jellemzők javulása.

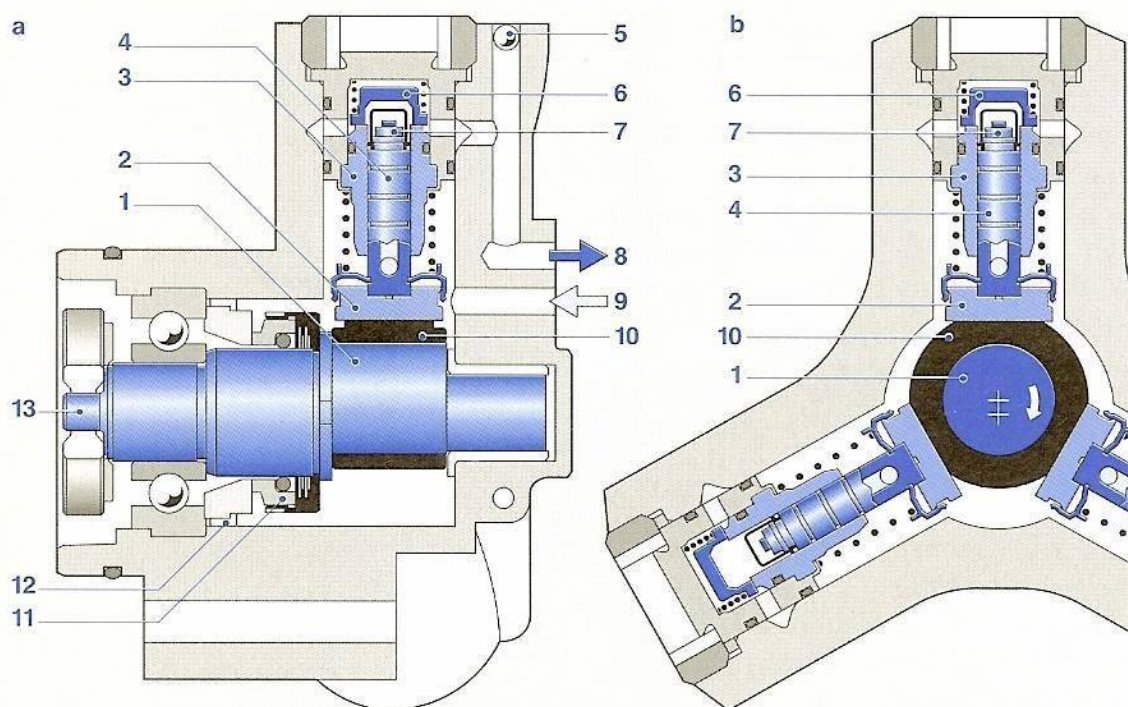
Sugárvezetési közvetlen befecskendezés (Mercedes-Benz 350 CGI)



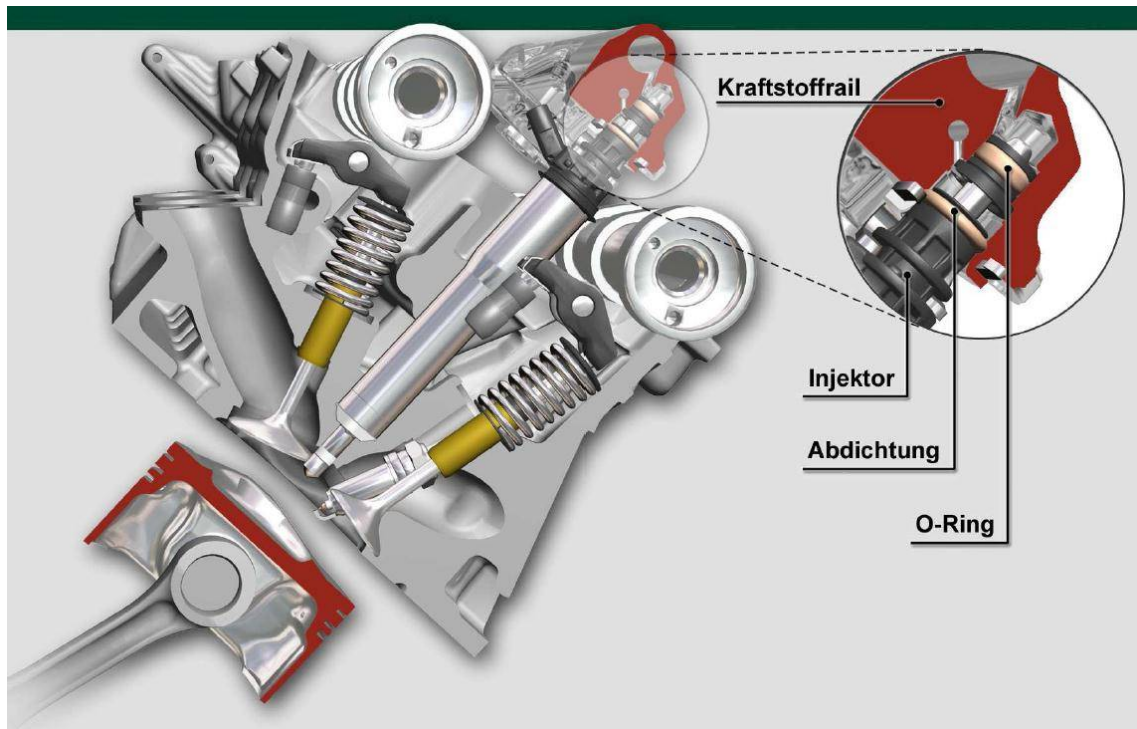
32. ábra. Égéstérkialakítás.



33. ábra. A nagynyomású tüzelőanyag-ellátó rendszer.

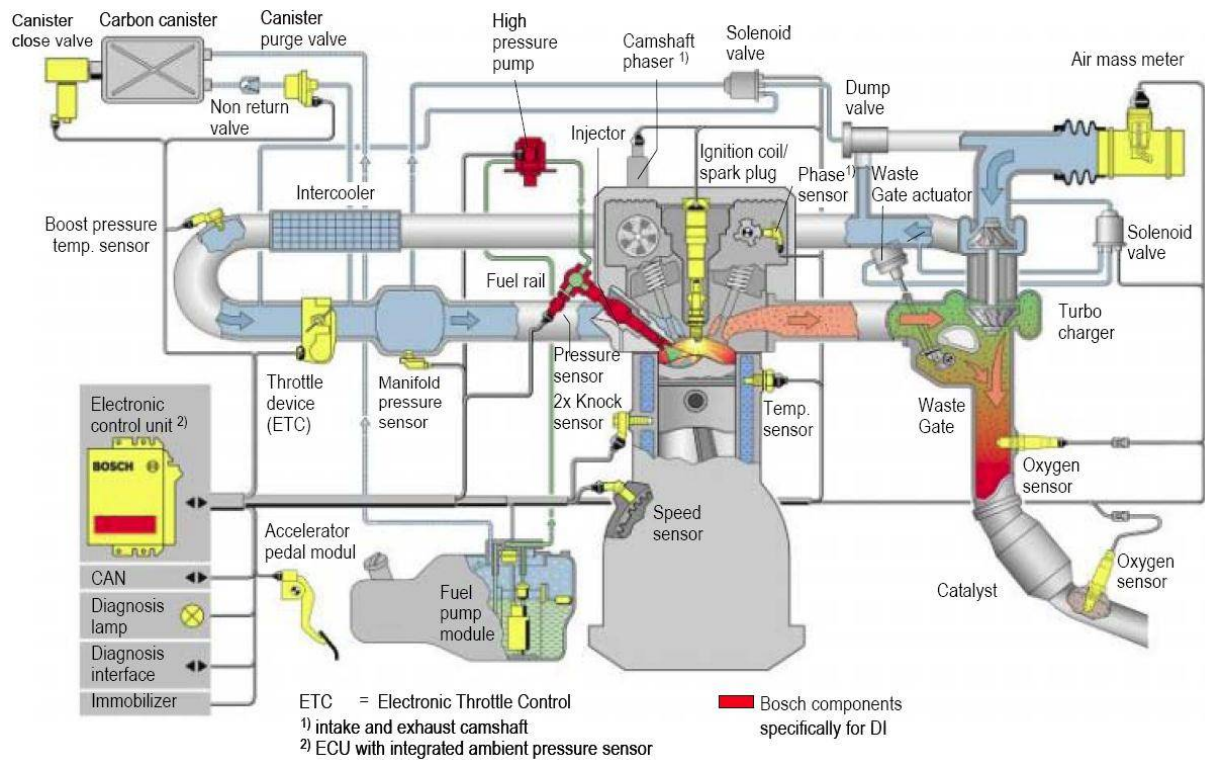


34. ábra. A nagynyomású tüzelőanyag szivattyú.



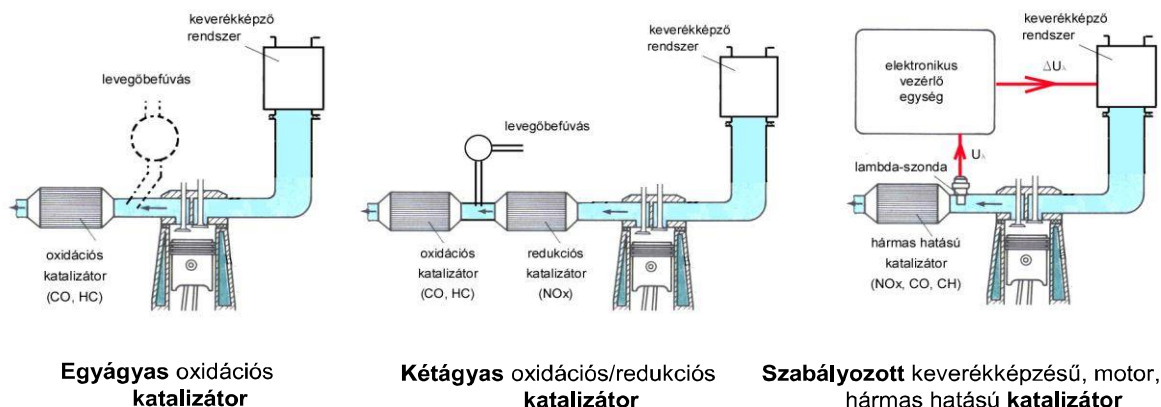
35. ábra. A befecskendező rögzítése és tömítése

Légvezetékes közvetlen befecskendezés (Bosch)



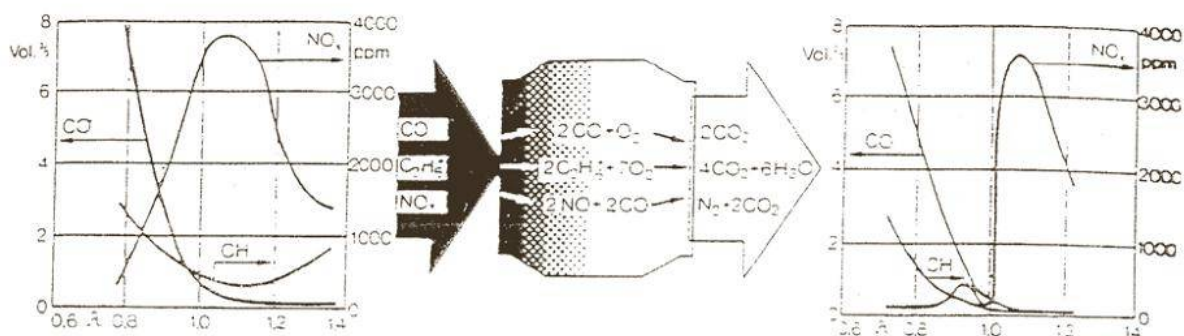
36. ábra. Légvezetékes közvetlen benzinbefecskendező rendszer (Bosch)

Benzinmotorok károsanyag-kibocsátásának csökkentésére különböző **katalizátor rendszerek** (37. ábra) használatosak. Az egyágvas katalizátor csak oxidációs hatású katalitikus anyagokat tartalmaz, amellyel légszelesleg esetén az elégetlen károsanyagok utólag oxidálhatók. A kétágvas katalizátorrendszer egy redukációs és egy oxidációs katalizátort tartalmaz külön egységben. Végül a hármás hatású katalizátor mind a redukációs, mind az oxidációs folyamatokat egy katalizátoron valósítja meg.



37. ábra. Katalizátor rendszerek benzinmotorokhoz

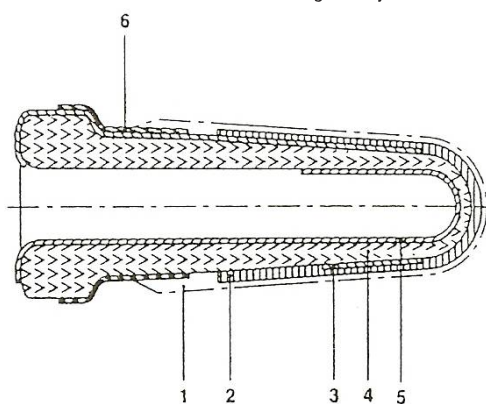
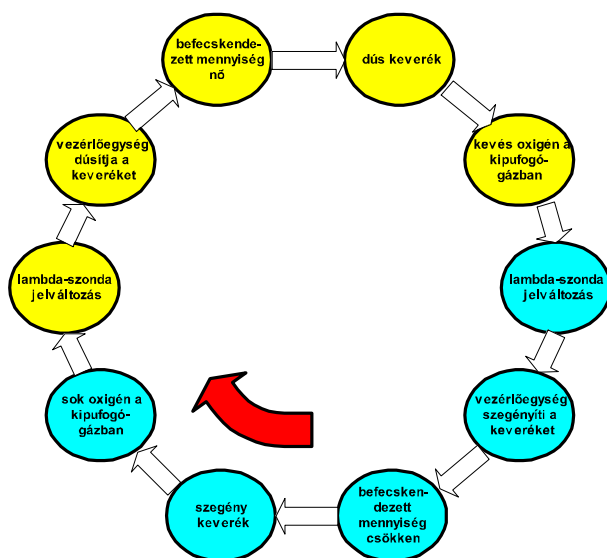
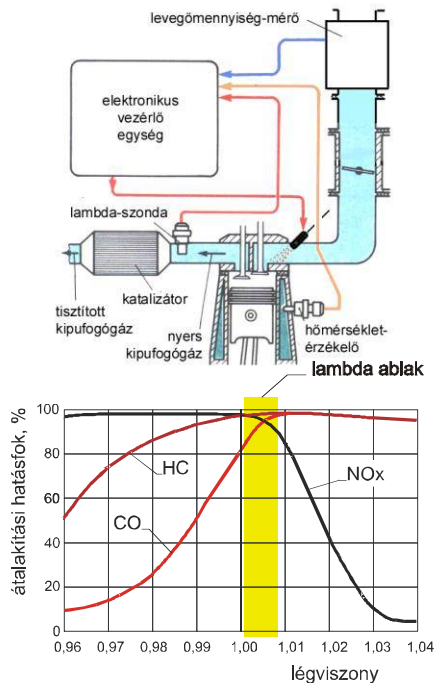
A **katalizátor előtt és utáni károsanyag-koncentrációk** (38. ábra) jelentősen függenek a légviszonytól. A hatékony átalakítás érdekében a motort az elméleti légviszony szűk, kb. 0.99-1.01-es tartományában kell üzemeltetni.



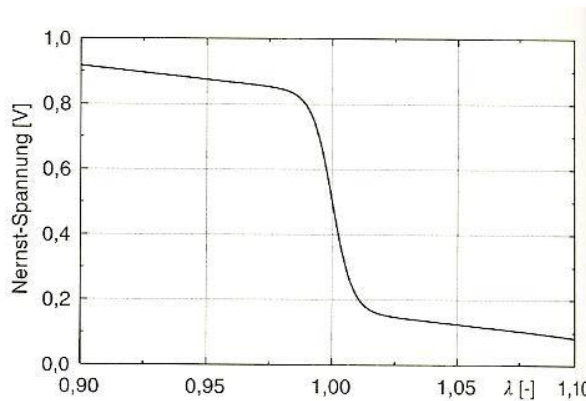
38. ábra. Katalizátor hatása benzinmotorok károsanyag-kibocsátására

Ennek az állapotnak a visszacsatolására szolgál a **lambda-szonda** (39. ábra), amely a kipufogógáz oxigénkoncentrációját méri. A lambda-szonda egy szilárd, de porózus elektrolittal rendelkező feszültség-szonda. A szonda belső elektródája a környezeti levegővel van összekapcsolva, amely a referencia-oxigénkoncentrációt biztosítja. A szonda külső elektródája a kipufogógázzal érintkezik. Nagy légszelesleg esetén a kipufogógázban levő

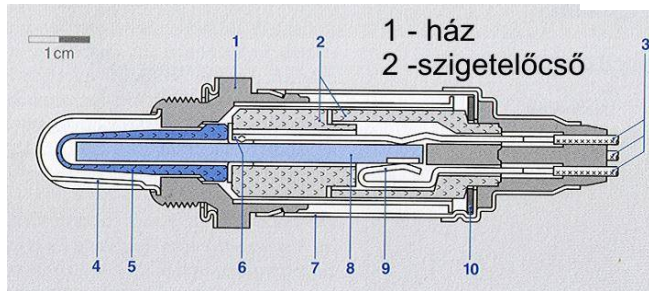
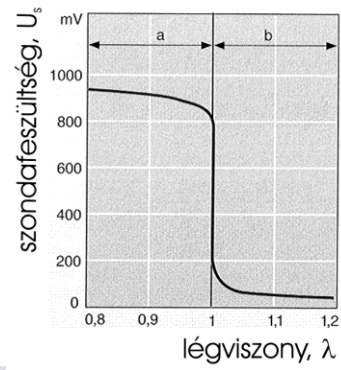
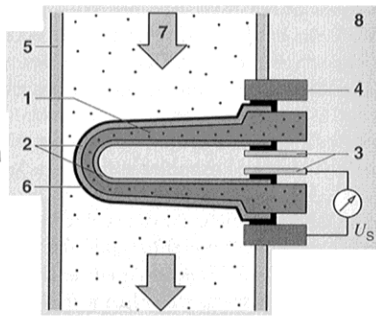
oxigén révén, a két oldal között csak a koncentrációkülönbség, így a két elektróda között nem alakul ki potenciálkülönbség. Dús keverék esetén viszont a kipufogógáz oxigénkoncentrációja alacsony, így az elektródák közötti nagy koncentrációkülönbség hatására a szonda kb. 0,8-1 V feszültséget szolgáltat. Az elméleti 1-es légfelesleg tartományban a szondafeszültség jelentős változást, ugrást mutat, így jól alkalmazható visszacsatolás céljára.



a szilárd elektrolit kerámia és bevonati rétegei
1 védőréteg, 2 második védőréteg, 3 külső elektróda.
4 ZrO₂-kerámia, 5 belső elektróda, 6 szigetelő réteg



- 1 - kerámia
- 2 - elektróda
- 3 - csatlakozó
- 4 - testelés
- 5 - kipufogócső
- 6 - védőkerámia
- 7 - kipufogógáz
- 8 - környezet



- 1 - ház
- 2 - szigetelőcső

- 3 - csatlakozók
- 4 - védőkupak
- 5 - kerámia
- 6 - érintkező
- 7 - védőhüvely
- 8 - fűtőelem
- 9 - érintkező
- 10 - rugóalátét



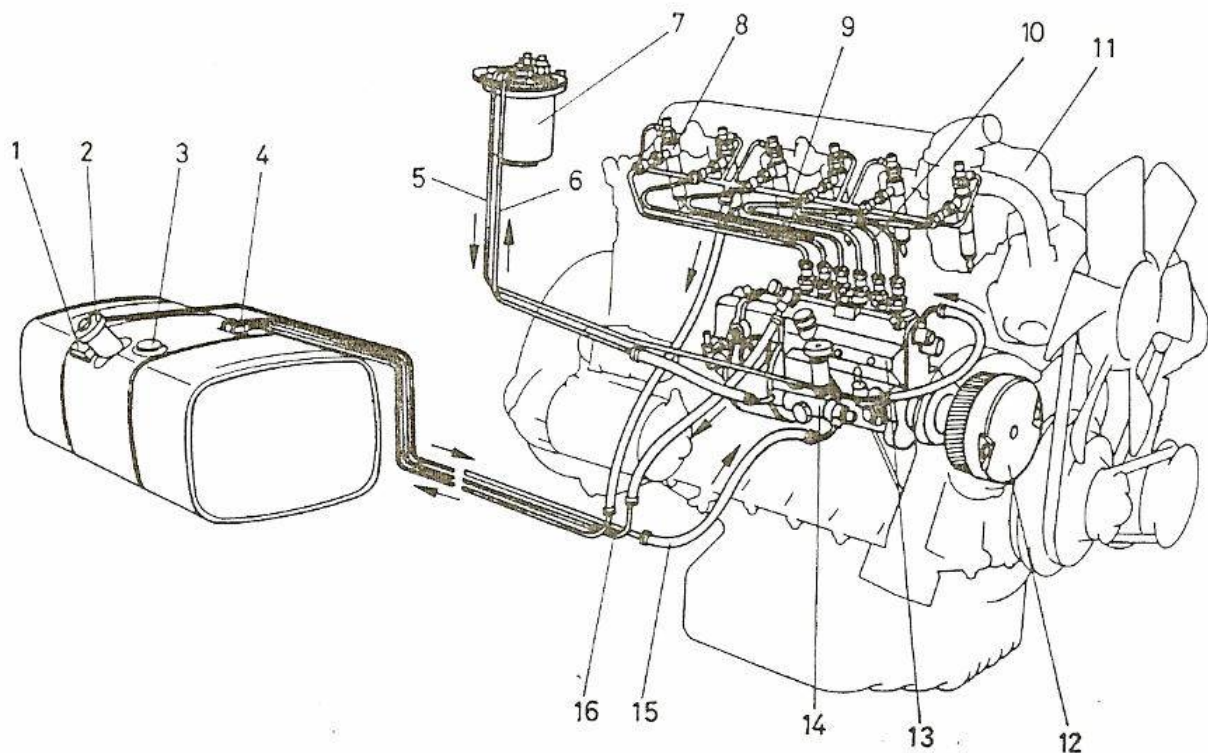
39. ábra. Lambda-szonda felépítése és feszültsége

2. Dízelmotorok tüzelőanyag-ellátó berendezései, emisszió.

Dízelmotorokon alkalmazott tüzelőanyag-befecskendező rendszerek feladata a gázolaj hengertérbe juttatása

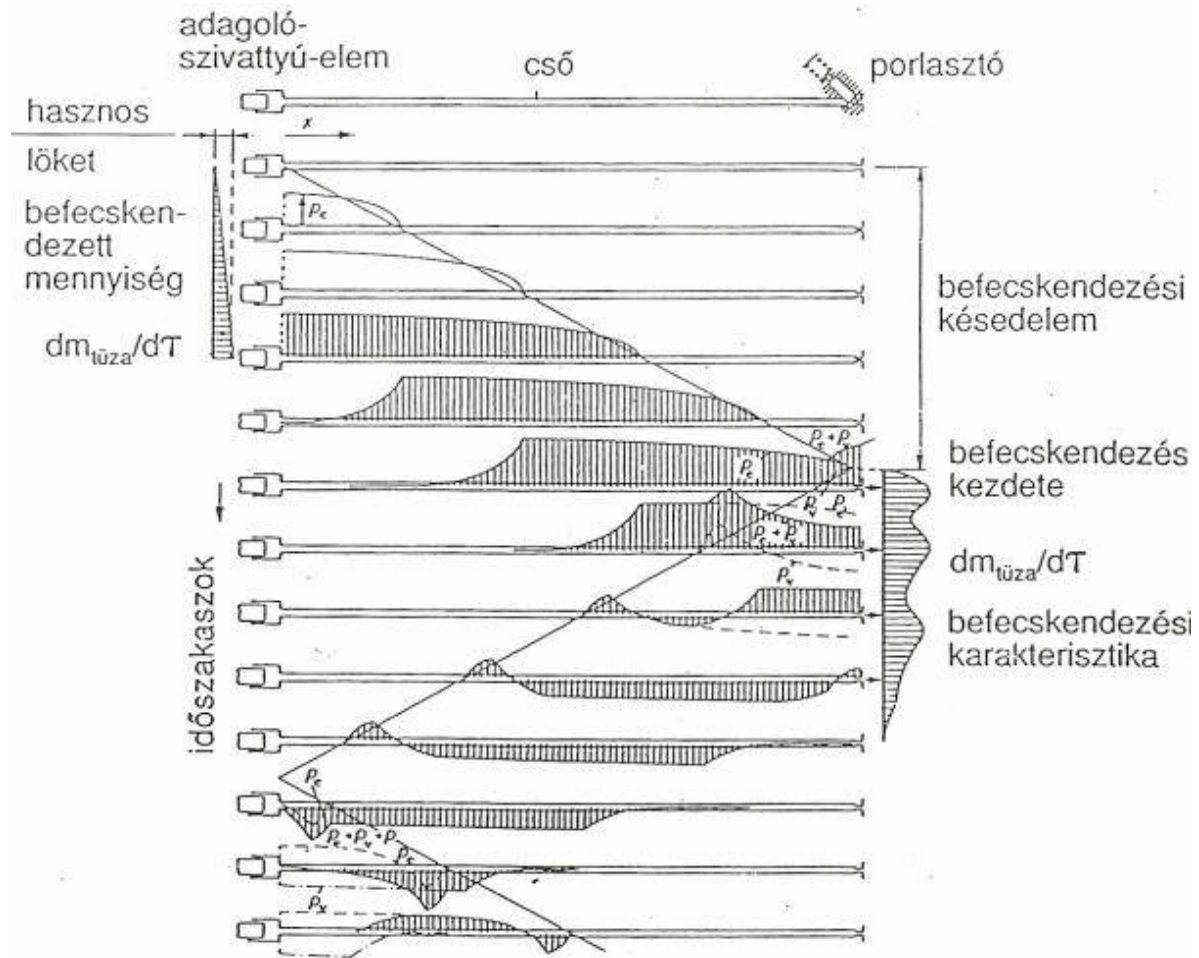
- megfelelő időpontban és megfelelő ideig,
- megfelelő nyomással,
- a motorterhelésnek megfelelő pontos mennyiségben, a hengerek között egyenletesen elosztva, lehetővé téve
- az aljárati fordulatszám állandó értéken tartását,
- a maximális fordulatszámnál történő le szabályozást,
- a hidegindítást,
- a motor leállítását,
- a befecskendezés végén a nyomás gyors csökkentését, a tehermentesítést,
- a befecskendezés-kezdet módosítását a fordulatszám függvényében.

A dízel-befecskendező rendszer általános felépítése a 1. ábrán látható.



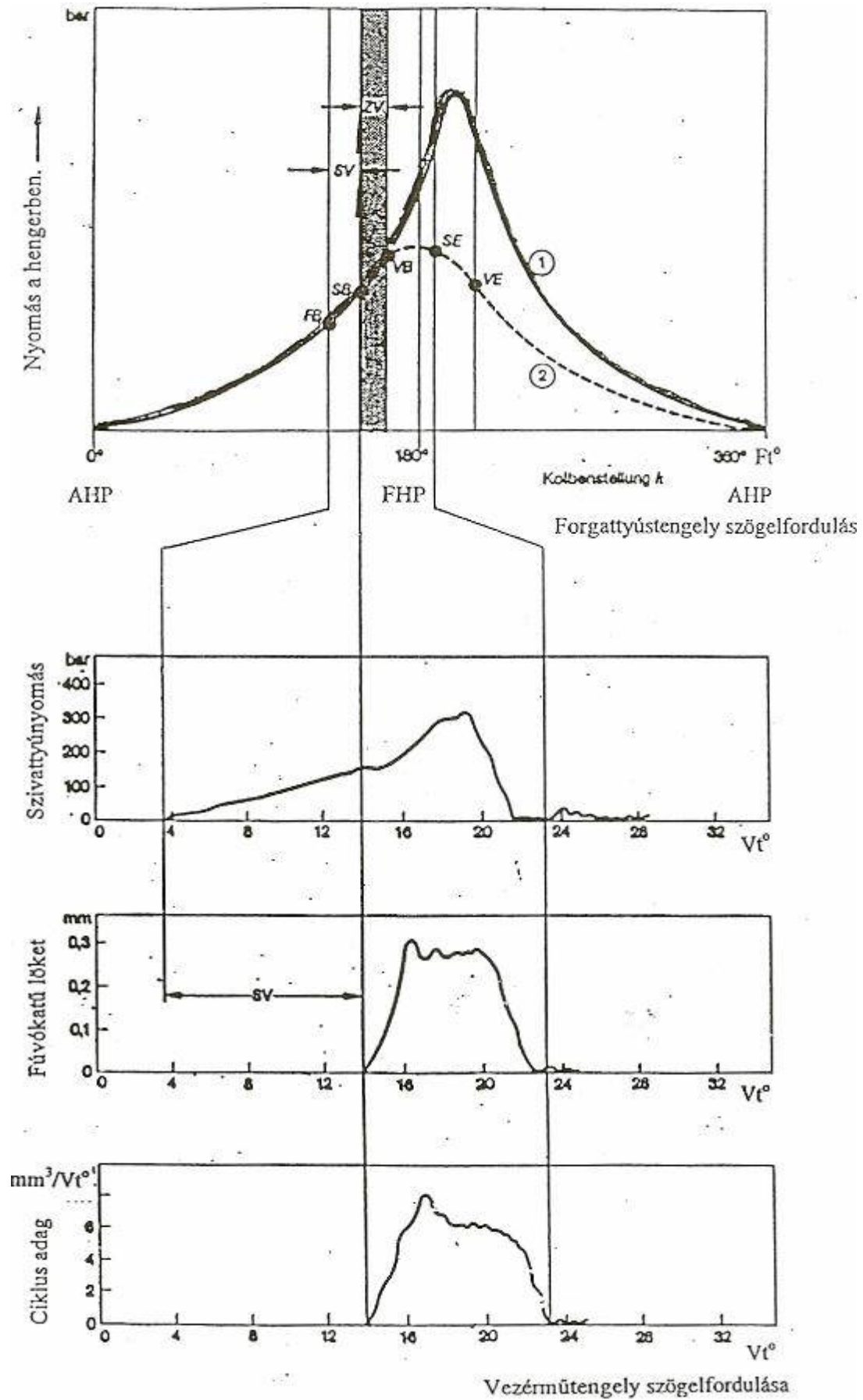
1. ábra. Dízel-befecskendező rendszer

Mivel a befecskendezésre, keverékképzésre és az égésre kevés idő áll rendelkezésre, dízelmotornál a keverékképzés és a befecskendezés nem választható szét élesen. A **nyomáshullám terjedése a nyomócsőben** jelentős mértékben meghatározza befecskendezési mennyiség időbeni lefutását (2. ábra).



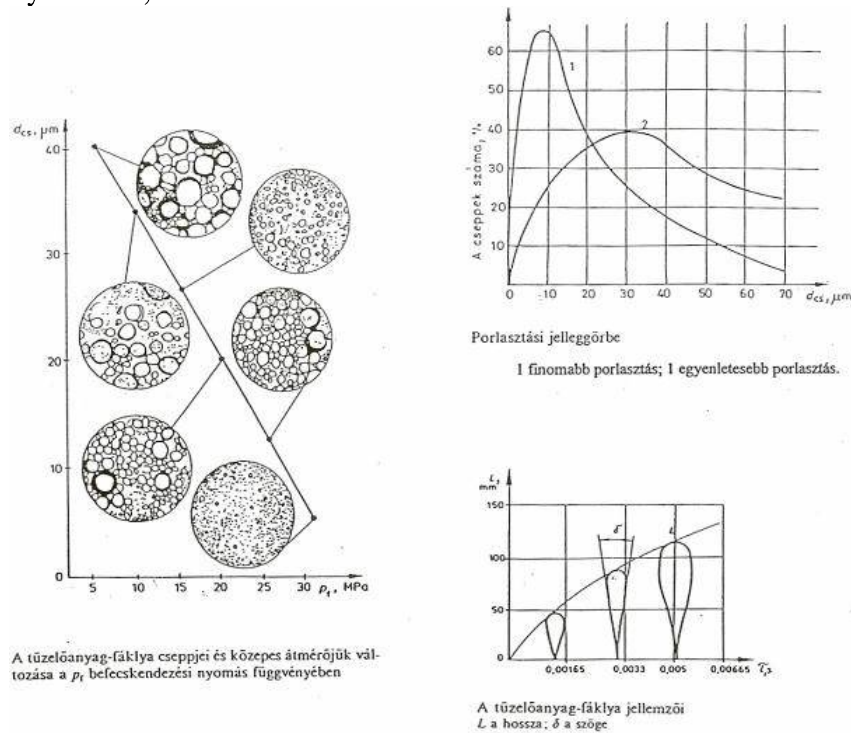
2. ábra. A nyomáshullám terjedése a befecskendező csőben

A **befecskendezés lefutása**, valamint a **gyulladás és égés a dízelmotorban** (3. ábra) a következő fontosabb részekre bontható. A folyamat első lépéseként a befecskendező szivattyú adagolóeleme elkezd növelni a tüzelőanyag-nyomást a nyomócsőben (FB pont). Amikor a nyomás eléri porlasztó nyitónyomását, megkezdődik a befecskendezés (SB pont). A két pont között eltelt idő a szállítási késedelem (SV szakasz). A befecskendezett tüzelőanyag a forró sűrített levegőben párologni kezd, valamint egyre jobban összekeveredik a levegővel, kis idő múlva begyullad (VB pont), az eltelt időtartam a gyulladási késedelem (ZV szakasz). A szivattyú adagolóeleme a szükséges mennyiség befecskendezése után elkezd csökkenteni a nyomást a nyomócsőben, aminek hatására a porlasztó lezár és befejeződik a befecskendezés (SE pont). A befecskendezés utolsó fázisában bejutott tüzelőanyag egy bizonyos időeltolódással elég az égéstérben, végül az égésfolyamat befejeződik (VE pont). Az öngyulladású égés három fázisa különböztethető meg, a viszonylag kis hőmérsékletű hidegláng, a jelentősebb CO kibocsátással járó kékláng és az erőteljes hőfejlődéssel járó hőláng. A 17. ábra felső diagramján a befecskendezéssel kapott hengernyomást az 1. görbe, a befecskendezés nélküli hengernyomást, pedig a 2. görbe jelöli.

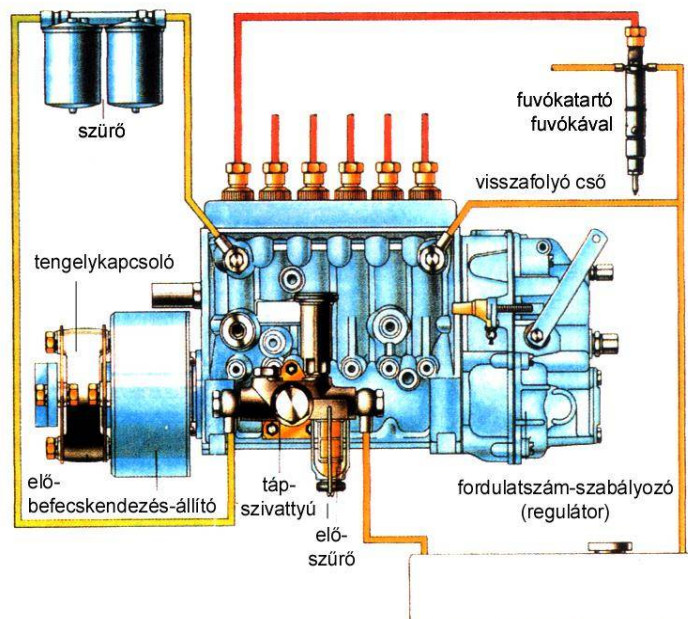


3. ábra. A Dízel-befecskendezési jelleggörbe

A befecskendezési sugár jellemzői (4. ábra) jelentősen függenek a befecskendezési nyomásától. Alacsony befecskendezési nyomás esetén a létrejövő tüzelőanyagcseppek átmérője nagy, míg nagy nyomás esetén az átmérő jelentősen csökken, így a gyulladási késedelem ideje jelentősen csökkenthető. Mivel a befecskendezési nyomás sosem pontosan állandó, így a cseppméretet egy bizonyos átmérőeloszlással jellemezhetünk. A kisebb cseppek nagyobb, a nagyobb cseppek kisebb részaránya a kedvezőbb a motor üzeme szempontjából (1. görbe). A tüzelőanyag fáklya behatolási mélysége szintén függ a befecskendezési nyomástól, valamint a befecskendezés óta eltelt időtartamtól.

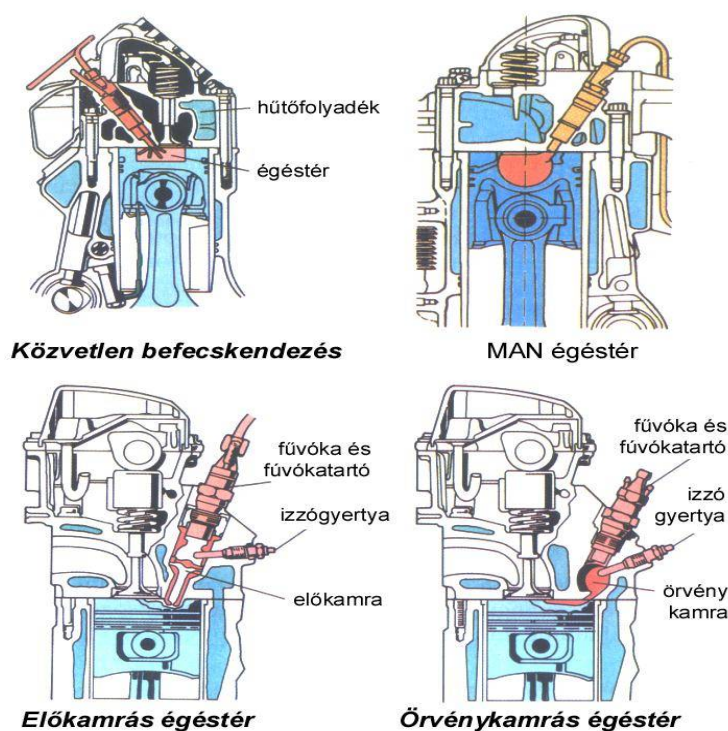


4. ábra. A befecskendezési sugár jellegzetességei
A soros befecskendező-szivattyú felépítését, elemeit az 5. ábra szemlélteti.



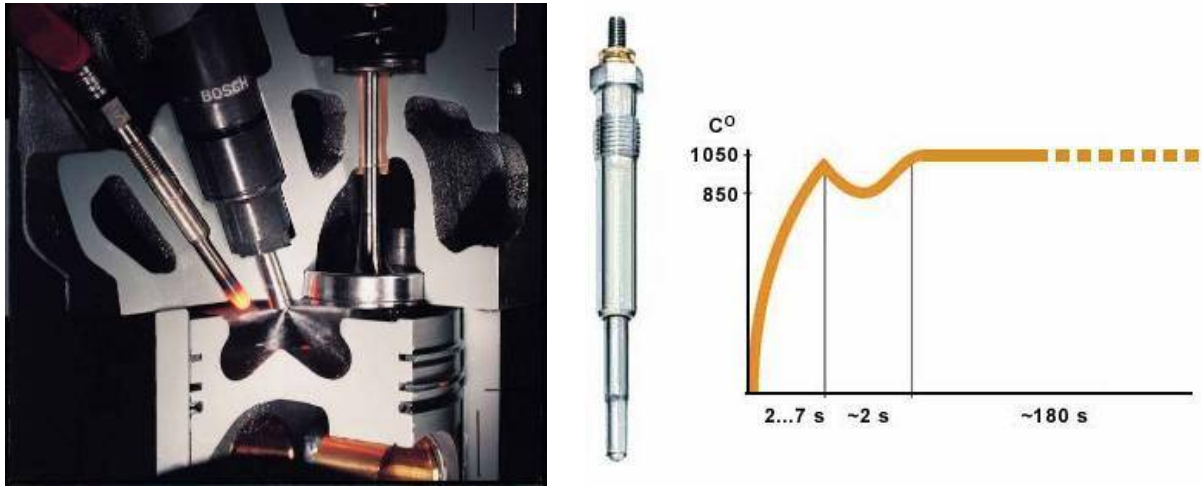
5. ábra. Soros befecskendező-szivattyú.

Dízelmotorok **osztott-, vagy osztatlan égésterű** kialakításban épülnek (6. ábra). Az osztott égésterűeket kamrás motoroknak is hívják. Ennél a befecskendezés egy kamrába történik, ahol a tüzelőanyag begyullad, majd az égés a fő égéstérbe, a hengerbe jutva folytatódik. Kamrás motorok kialakítása lehet, un. előkamrás, illetve örvénykamrás. Előkamrás esetben a befecskendezés egy un. izzócsapra történik, amely a tüzelőanyag párolgását segíti elő. Örvénykamrás esetben a levegő beáramlása a kamrába egy érintő csatornán keresztül történik, ezáltal jelentős örvénylő mozgást létrehozva. Utóbbi esetben a kamra és a fő égéstér között nincs szükség olyan jelentős szűkületre, fojtásra, így az ilyen motorok kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkeznek. Kamrás motorok közös jellemzője, hogy kevésbé érzékenyek a tüzelőanyag cseppméretére, így kevésbé igényes, egylyukú porlasztóval felszerelt, alacsonyabb kb. 300-500 bar maximális befecskendezési nyomású adagoló-rendszerrel üzemeltethetők. Osztatlan, azaz közvetlen befecskendezésű égéstereknél a tüzelőanyag közvetlenül a hengerbe jut, amelyhez többlyukú porlasztó és magas, 1000-2000 bar maximális nyomású befecskendező-rendszer szükséges a lágy égésfolyamat érdekében.



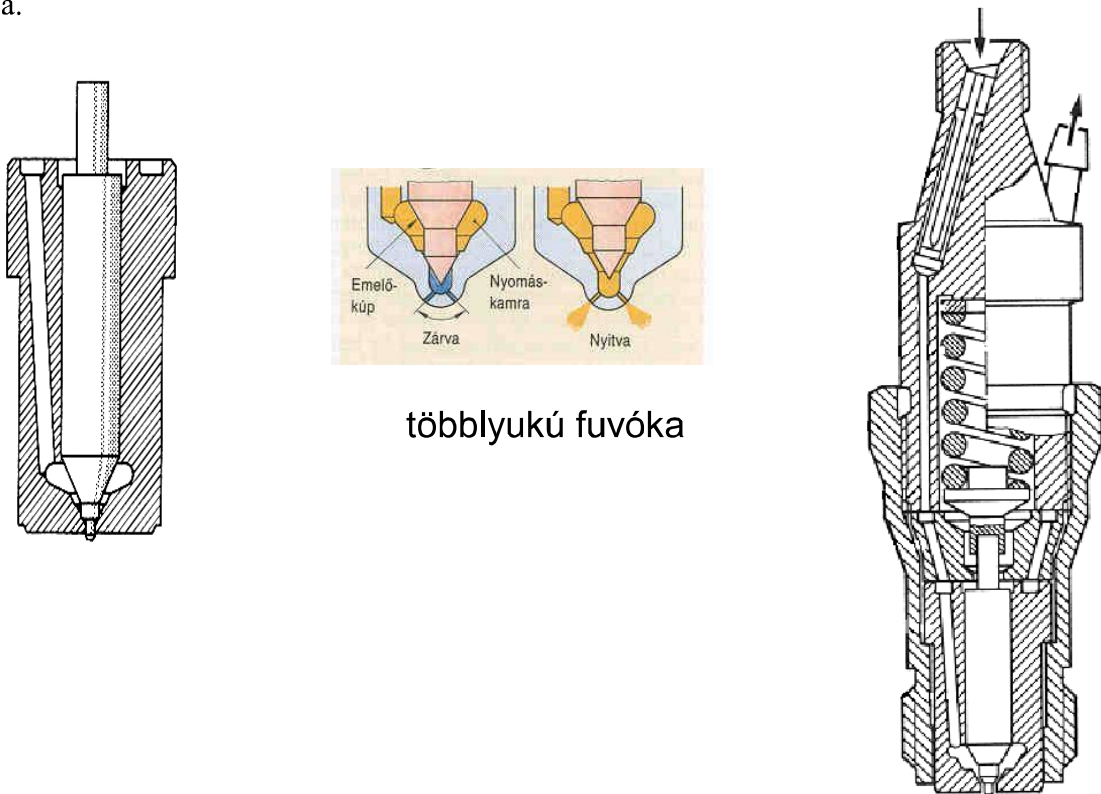
6. ábra. Égésterek

Dízelmotorok hidegindítását **izzító gyertyákkal** segítik elő (7. ábra), amely a hideg motorban az öngyulladás számára kedvezőtlen körülményeket javítja.



7. ábra. Az izzító gyertya beépítése és működése

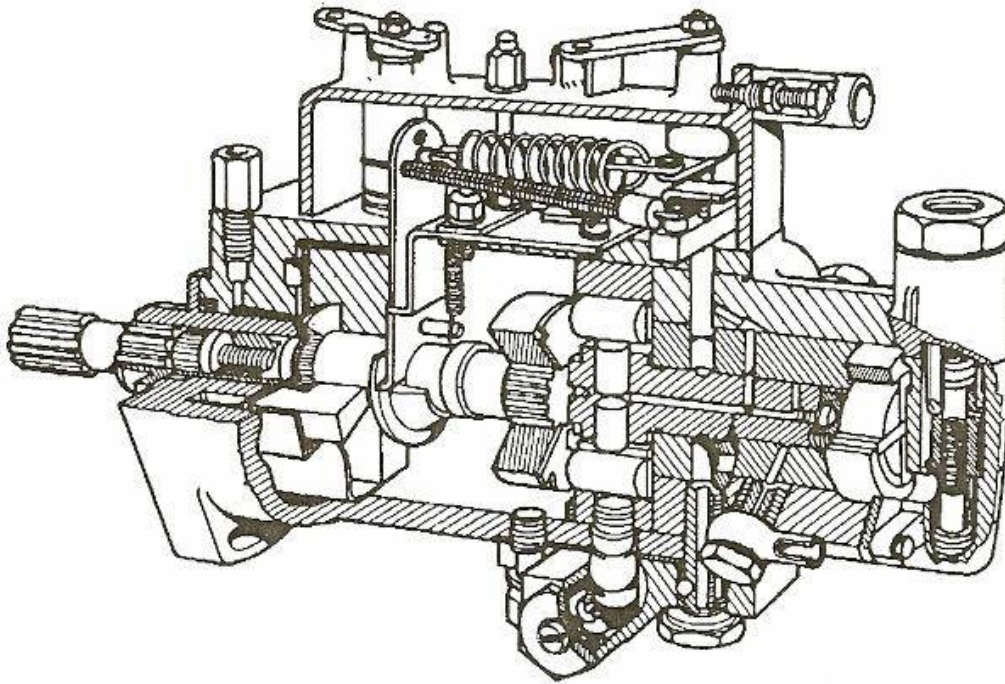
A porlasztókat a égési eljárásokhoz igazítják. Az alkalmazott porlasztótípusokat a 8. ábra mutatja.



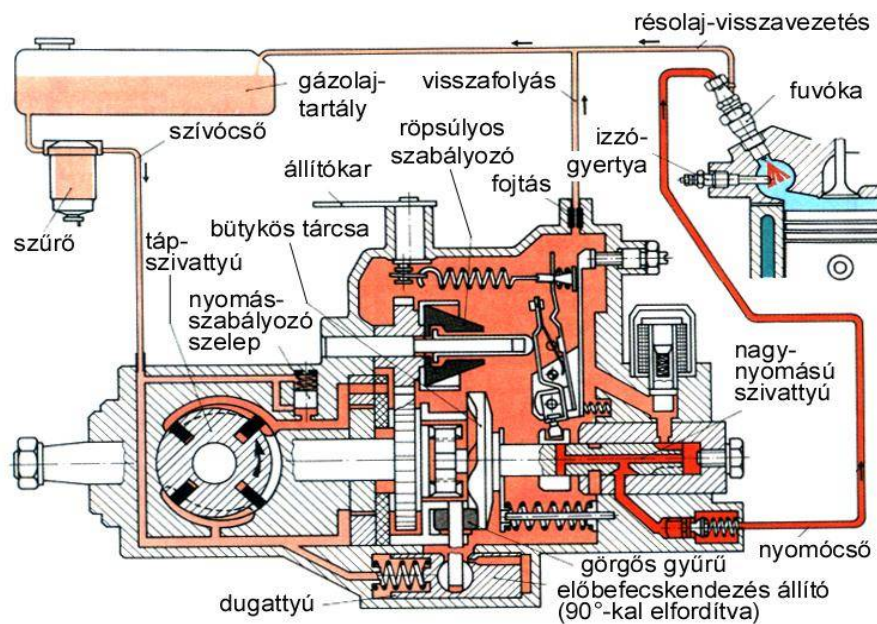
többllyukú fuvóka

8. ábra. Porlasztó és fúvókák

Forgóelosztós befecskendező szivattyúkat kisebb teljesítményű, általában személygépkocsi motoroknál alkalmaznak. A nyomás létrehozása **radiálisan** (9. ábra), vagy **axiálisan elhelyezett dugattyúval** (10. ábra) történik. A dugattyú nyomótere mindig a soron következő henger nyomócsövével kapcsolódik össze, így egyetlen adagolóelemmel a motor minden hengere kiszolgálható. A tüzelőanyag mennyiségének szabályozása az első példánál az adagolóelem feltöltését meghatározó fojtás segítségével történik, míg utóbbi esetben azt az adagolóelem zárt állapotát fenntartó csúszó hüvely határozza meg (20. elem).



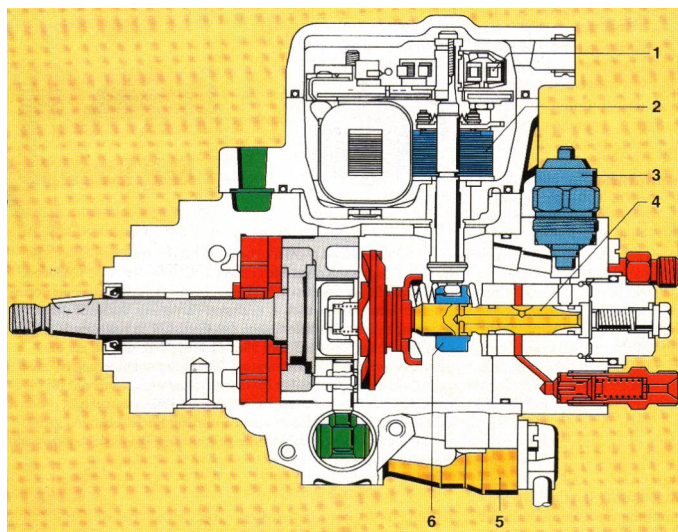
9. ábra. CAV DPA forgóelosztós, radiáldugattyús befecskendező szivattyú



10. ábra. Bosch VE forgóelosztós, axiáldugattyús befecskendező szivattyú

Az **EDC** (**E**lectronic **D**iesel **C**ontrol = elektronikus Diesel-szabályozás, német nyelven **DDE** = **D**igitale **D**iesel-**E**inspritzung) név először 1982-ben jelent meg a japán Diesel Kikivel közösen fejlesztett Isuzu motoron. 1984-ben elektronikus rendszer felügyelte a Diesel BMW Bosch VE forgóelosztós adagolójának befecskendezés-kezdet időzítését, elsősorban a kipufogógáz emisszió javítása céljából. A befecskendezés kezdetéről a visszacsatolt jelet egy porlasztóba épített túlőket-jeladó szolgáltatva. A valódi EDC 1987-ben vonult be az autótechnikába. Ekkor a Bosch VE befecskendezőszivattyúnál mind az előbefecskendezés, mind a befecskendezett mennyiség beállítását és szabályozását az elektronikára bízta. A

motoron, az autó egyéb részein, valamint a befecskendező szivattyúban elhelyezett jeladók szolgáltatja adatok alapján digitális számítógép alapú elektronikus vezérlőegység (EVE, vagy idegen szóhasználatnál ECU = Electronic Control Unit) határozta meg a befecskendezendő dózist és a befecskendezés-kezdetet.(11. ábra)



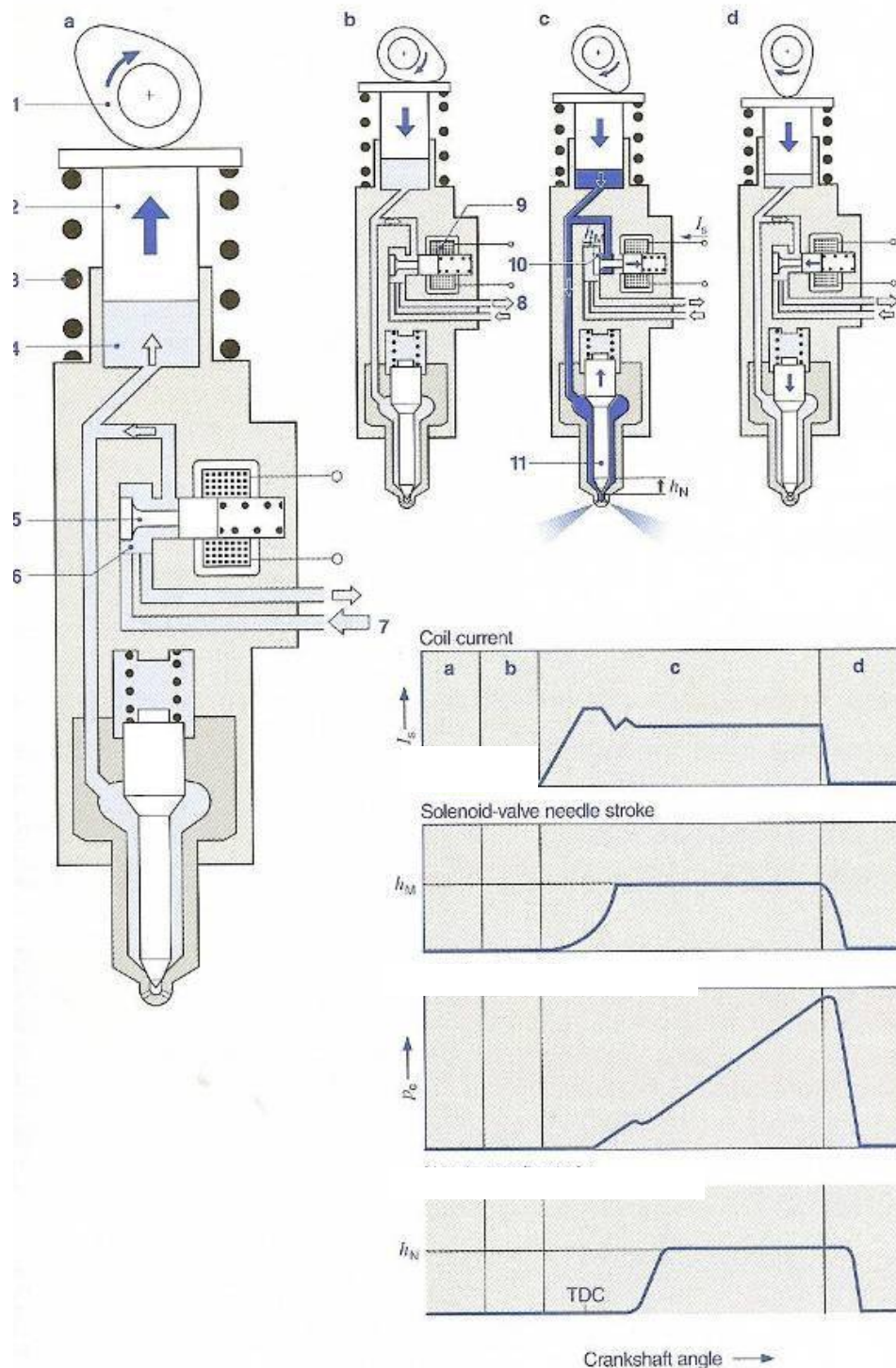
- 1 helyzetjeladó
- 2 állítómű
- 3 elektromágneses leállító szelep
- 4 forgó-elosztódugattyú
- 5 befecskendezés kezdet állító
- 6 szabályozó gyűrű

11. ábra. Bosch VE forgóelosztós elektronikus befecskendezőszivattyú

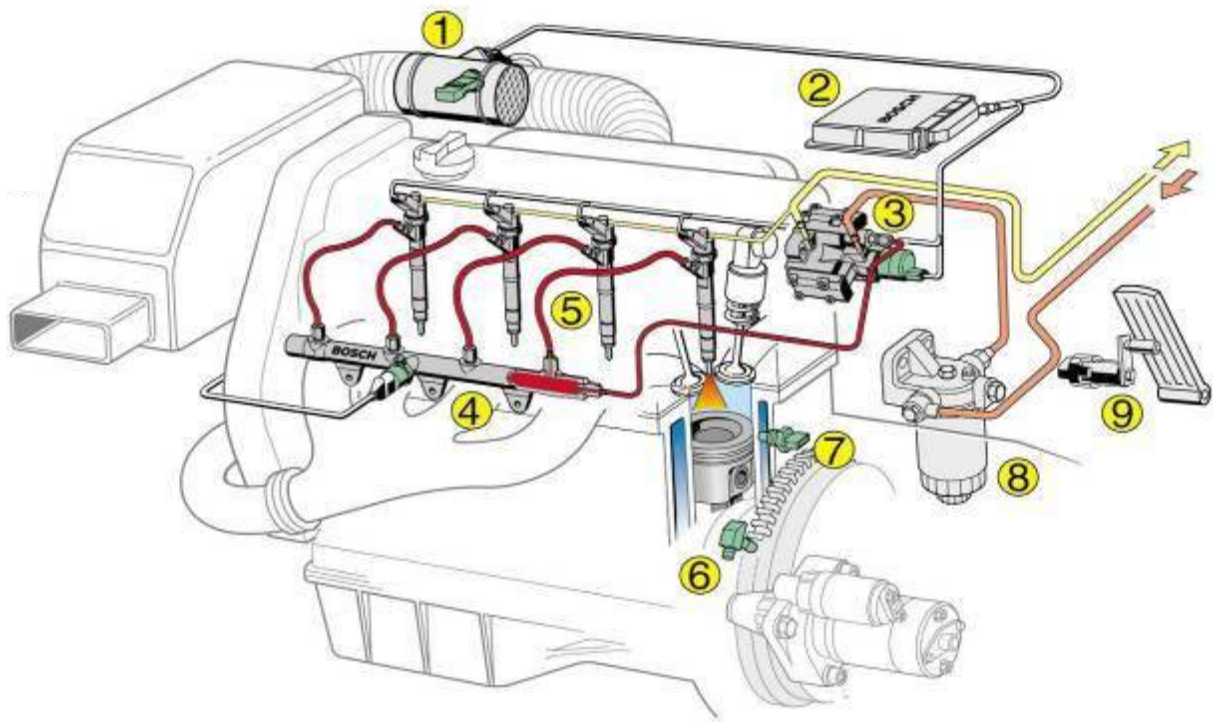
Az 1990-es évek végén jelent meg az elektromosan vezérelt **PD adagolóporlasztós befecskendező rendszer**, amely a porlasztó és az adagolóelem egybeépítésével 2000 bar feletti befecskendezési csúcsnyomásokat tett lehetővé (12. ábra). Ennél a kialakításnál az adagoló és a porlasztó elem egy egységben kerül kialakításra, amelyből minden henger egy-egy elemmel rendelkezik. A befecskendezési folyamatot mágnesszelep vezérli. A befecskendezés előtt az adagoló dugattyú felfelé mozdul el, így a vezérlőtér feltöltődik tüzelőanyaggal (a. fázis). A vezérlődugattyú lefelé mozdulása során még mindig nem kezdődik meg a befecskendezés, mert a mágnesszelep elejtett helyzetben a vezérlőtérrel nyitva tartja (b. fázis). A mágnesszelep meghúzásakor a nyomótér lezáródik, így megkezdődik a nyomás növelése, majd a befecskendezés (c. fázis). A befecskendezés a mágnesszelep elejtésekor fejeződik be, amely mindig a vezérlőbütyök lefelé mozgása során következik be (d. fázis). Az kis nyomótér és a nyomócső elhagyása eredményeképpen magas befecskendezési csúcsnyomás érhető el, azonban a befecskendezési nyomás itt sem állandó a befecskendezés folyamán, így a tüzelőanyag cseppmérete sem.

Napjaink korszerű és sokat emlegetett dízelbefecskendező rendszere a Common Rail rendszer (Common Rail = közös cső), azaz közös nyomásterű befecskendező rendszer, mely sorozatgyártásban, 1998-ban jelent meg, először az Alfa Romeo 156 JTD személygépkocsi motorján, de azóta több más gyár is megjelent hasonló konstrukciójú befecskendező rendszerrel (13. ábra). Itt a benzinbefecskendezőkhöz (L-Jetronic) hasonló módon különválasztották a nyomás előállítását és a befecskendezési folyamatot. Természetesen a Common Rail rendszerben jóval nagyobb nyomás uralkodik, mint az L-Jetronicban. Ezzel a konstrukcióval 2000 bar-ig terjedő befecskendezési nyomás érhető el. A befecskendezési nyomás független a motor fordulatszámától és a befecskendezett mennyiségtől. A nyomást radiáldugattyús szivattyú állítja elő, és nyomásszabályozó tartja állandó értéken. A tüzelőanyag dózisa a vezérlő mágnesszelepek nyitási idejével szabályozható. Megfelelő gyorsaságú mágnesszelepekkel szinte tetszőleges befecskendezési profil érhető el, ezzel igen csendes és környezetkímélő motorüzem valósítható meg.

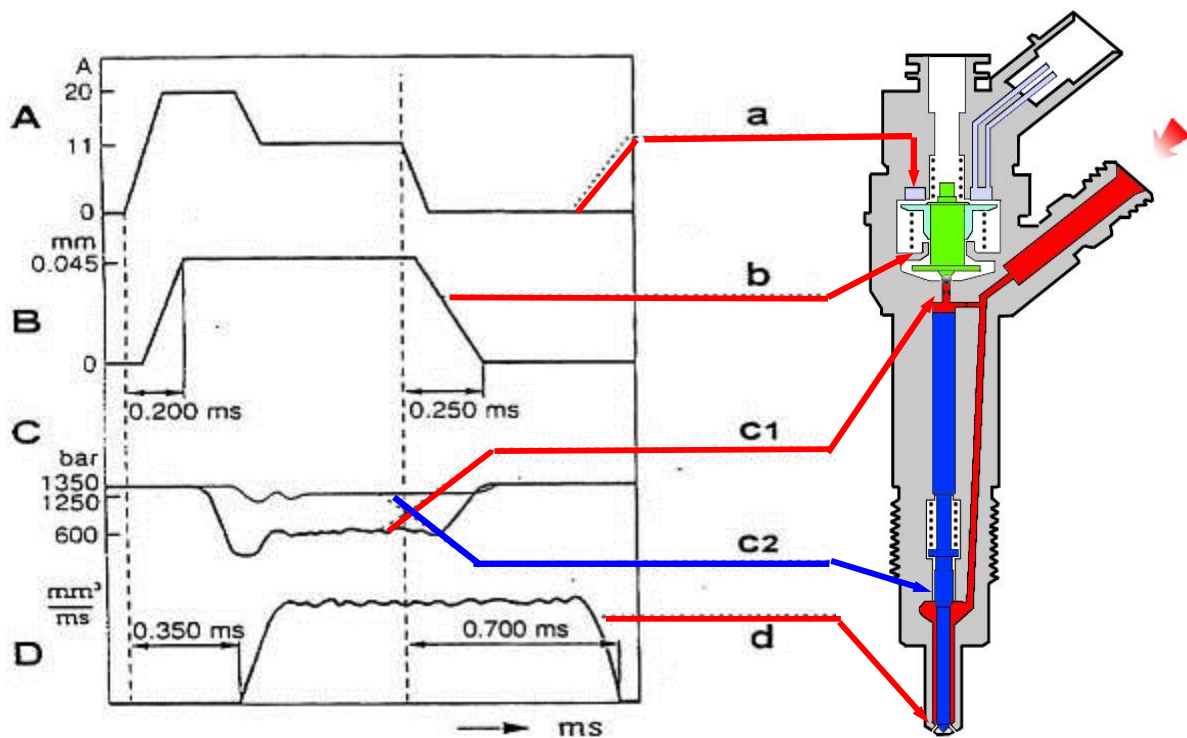
A közös nyomásterű rendszerek porlasztójának felépítése és működése a 14. ábrán figyelhető meg. A mágnesszelep áramerőssége (A. görbe) által létrejött armatúra elmozdulás (B. görbe) szabaddá teszi a porlasztó tű feletti tér elfolyató keresztmetszetét, aminek hatására a tű feletti tér nyomása alacsonyabb lesz a tű alsó részénél uralkodó rendszernyomásnál. Így a tűre ható nyomásból eredő erő leküzdí a rugó előfeszítő erejét, amire a tű felemelkedik és megkezdődik a befecskendezés. A befecskendezés alatt a tű alatti tér nyomása jó közelítéssel állandó, így porlasztás minősége is. A megfelelő nyitvatartási idő lejárta után a mágnesszelep árama lecsökken, majd az armatúra elejt, ezzel pedig a tű feletti térben újra felnő a nyomás, majd a tű lezár, és a befecskendezés befejeződik.



12. ábra. PD adagolóporlasztós befecskendező szivattyú



13. ábra. Common rail befecskendező rendszer felépítése



14. ábra. Common rail porlasztó működése

Dízelmotorok kipufogógáz utókezelése.

- **A kipufogógázok káros összetevőire**

Általában a következő kipufogógáz-összetevőket korlátozzák:

- szénhidrogének (HC),
- szén-monoxid (CO),
- nitrogénoxidok (NO_x),

ezeken túlmenően dízelmotorok kipufogógázaiban

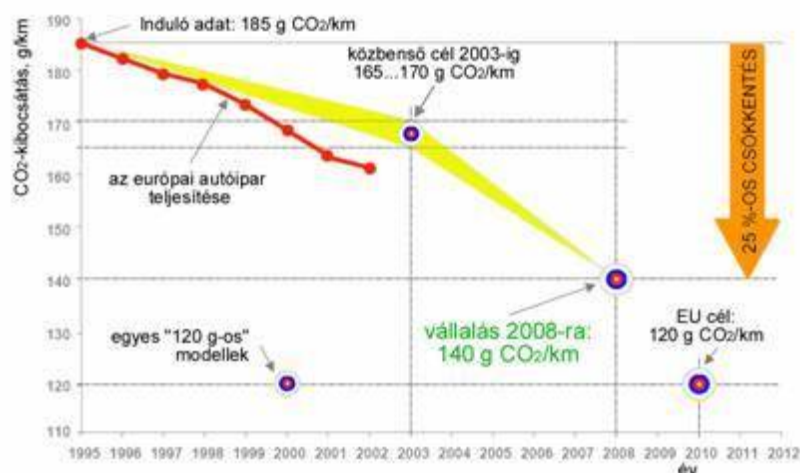
- a részecske (cseppfolyós- és szilárdanyag) -tartalom és/vagy
- a füstsűrűség (a látást korlátozó kipufogógáz-összetevők).

- **A típusvizsgálaton ellenőrzött értékek tartósságára**

A járműveknek meghatározott út – jelenleg Európában a személygépkocsik 80 000 km, 2005-től 100 000 km -- megtételéig nem léphetik túl a típusvizsgálati korlátozás másfélszeres értékét.

- **A jármű fogyasztására (vagy CO₂-kibocsátására)**

Az Európai Unióban a közvetlen tüzelőanyag-fogyasztásra vonatkozó hatósági előírás nincs. Közvetve azonban fogyasztáscsökkentő hatása van a CO₂-korlátozásoknak. Adott benzinösszetételnél ugyanis a tüzelőanyag-fogyasztás és a CO₂-kibocsátás egyenesen arányos. Az ACEA (Európai Járműgyártók Szövetsége) vállalása szerint a 2008-ig a személygépkocsik átlagos flottakibocsátását 140 g/km alá csökkenti (1. ábra). Ez 25 %-kal kevesebb, mint az 1995-as átlagkibocsátás. Az EU 2010-re 120 g/km értékhatárt ír elő, ez átlagos benzinösszetétel esetén mintegy 5 l/100 km tüzelőanyag-flotta-fogyasztásnak felel meg. (Flottakibocsátás, flotta-fogyasztás: a járműgyártó által értékesített összes jármű kibocsátásának, fogyasztásának átlaga.)



15. ábra. A motorok szén-dioxid-kibocsátásának csökkentése

- **A jármű tüzelőanyagának párolgásából származó környezetszennyezésére**

Megfelelő előkészítés után

- a motor tüzelőanyag-tartályában lévő benzint 20 °C-ról 35 °C-ra melegítik, és meghatározzák a tartályban lévő gőzök eltávozásából származó szennyezést
- a motorral egy európa-menetciklust (UDC+EUDC) járatnak végig
- meghatározzák a melegen leállított motorból elpárolgott benzinmennyiséget.

A két meghatározott mennyiség összege nem lehet több, mint 2 g.

EU előírások személygépkocsikra

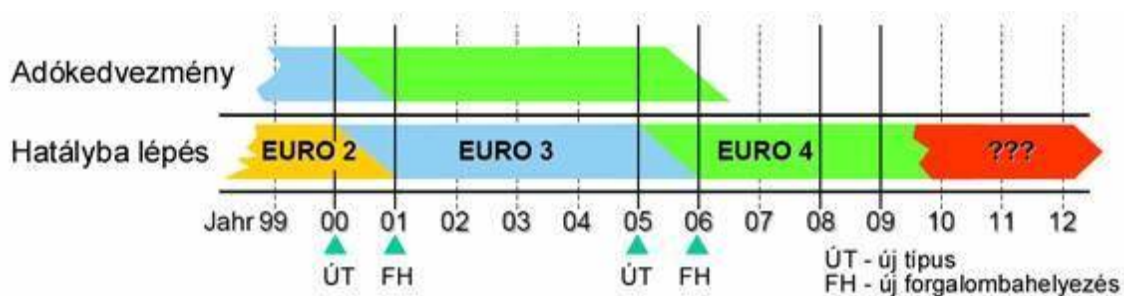
Az Európai Unió elődei, az Európai Gazdasági Közösség (EGK, EEC) és az Európai Közösségek (EK, EC) először 1970-ben korlátozták a járművek károsanyag-kibocsátását (70/220/EGK).

Az ENSZ EGB előírások és az EGK/EK irányelvek bonyolult kettős rendszerét az utóbbi években az egységes EU rendszer bevezetése szüntette meg (1. táblázat):

1. táblázat. Az európai típusvizsgálatok rendszere

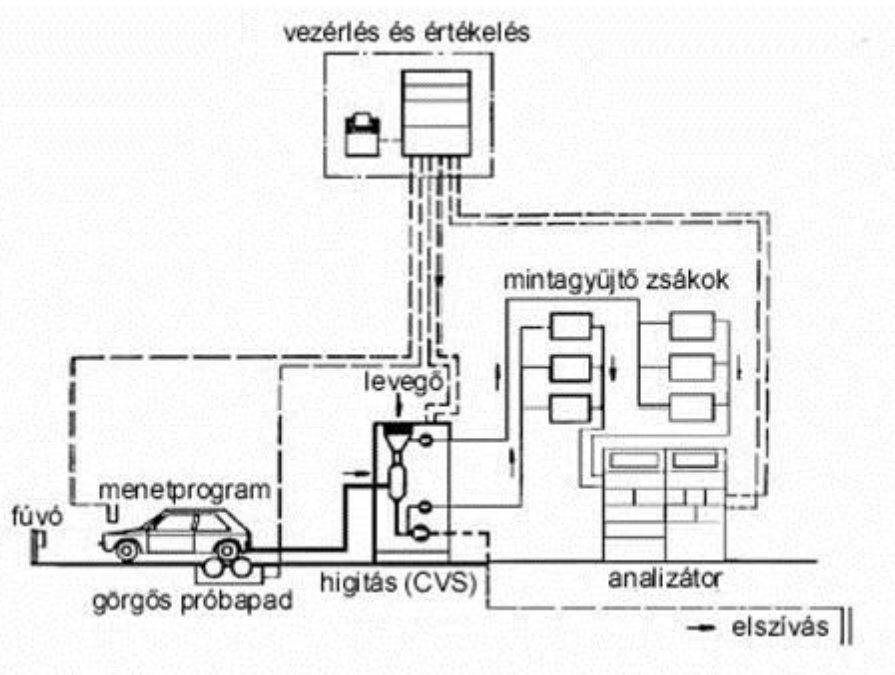
ENSZ EGB előírás	EK/EGK irányelv	EU-fokozat	Bevezetés éve
ENSZ EGB 83/02	91/411 EGK (EK 93)	EURO 1	1993
ENSZ EGB 83/03	94/12 EGK (EK 96)	EURO 2	1996
	EK 2000	EURO 3	2000*
	EK 2005	EURO 4	2005
		EURO 5.	2008

Az egyes előírások bevezetésének életbe léptetését a.16. ábrán szemléltetjük.



16. ábra. EU károsanyag-kibocsátási korlátozások bevezetése

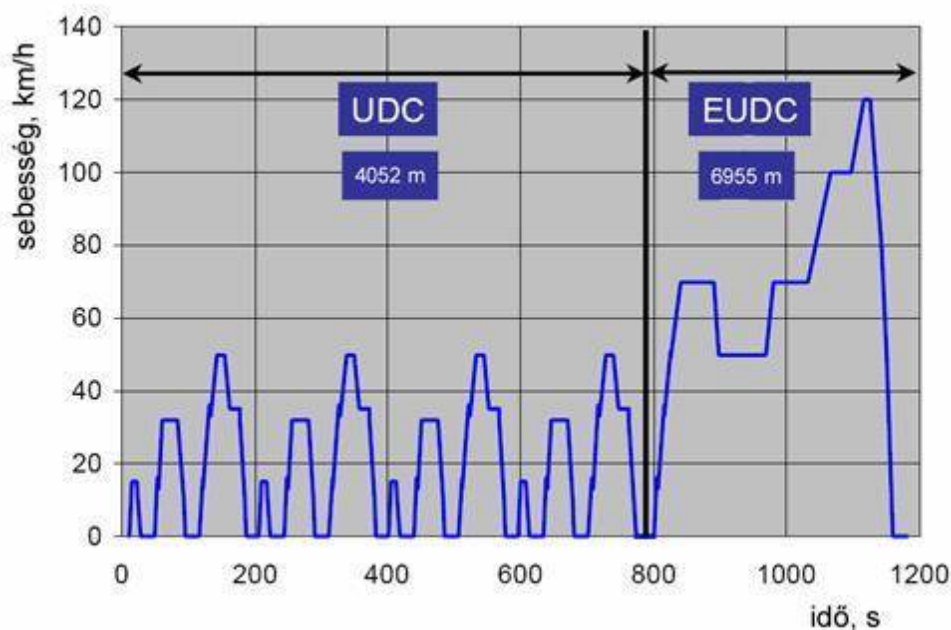
A személygépkocsi típusvizsgálatát görgős járműfékpadon végzik, a fékpad a jármű menetellenállásait (gördülési, lég- és gyorsulási ellenállásait) szimulálja (17. ábra).



17. ábra. Személygépkocsi károsanyag-kibocsátásának mérése

görgős próbapadon

A 2000 előtt (EURO 1 és EURO 2) az u.n. városi Európa-menetciklus szerint vizsgálták a személygépkocsikat (18. ábra). Ez a diagram bal oldalán látható (UDC Urban Drive Cycle), melynek átlagsebessége 18,7 km/h.



18. ábra. Városi és városon kívüli Európa-menetciklus

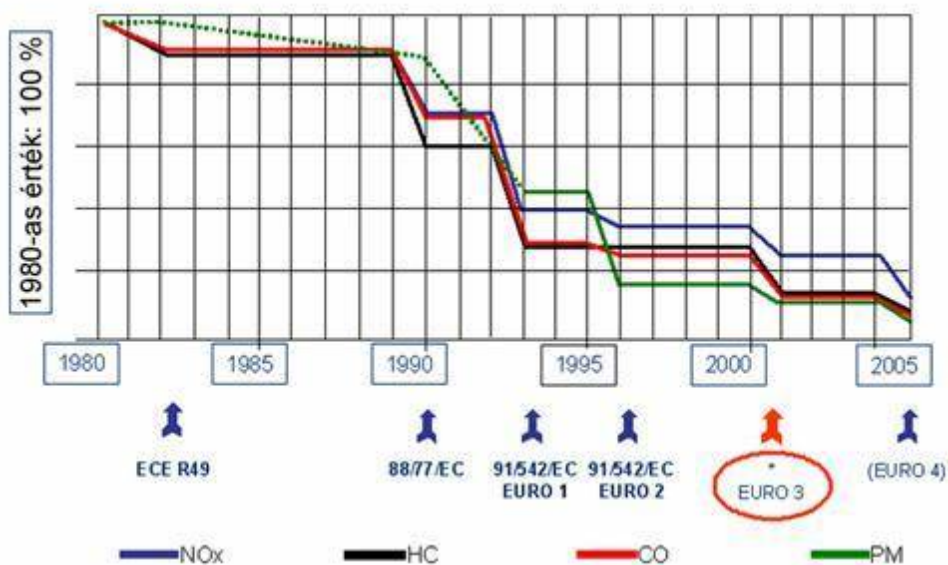
Az EURO 3 előírások bevezetésétől, 2000-től a városi ciklust országúti menetciklussal (EUDC) egészítették ki. A kipufogógázokból folyamatosan vesznek mintát, majd a teljes ciklus alatt kibocsátott összetevőt g/km egységre számítják át. A teljes ciklus (UDC+EUDC) átlagsebessége 33,6 km/h.

A megengedett határértékeket a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. Személygépkocsik károsanyag-kibocsátásának határértékei

	Új típus	Új forgalomba helyezés	Típusvizsgálati határérték, g/km								
			CO		HC		NO _x		HC + NO _x		PM
			benzín	dízel	benzín	dízel	benzín	dízel	benzín	dízel	dízel
Euro 3	01.01.00	01.01.01	2,3	0,64	0,20	-	0,15	0,50	-	0,56	0,05
Euro 4	01.01.05	01.01.06	1,0	0,50	0,10	-	0,08	0,25	-	0,30	0,025

A személygépkocsik károsanyag-kibocsátásának szigorodását az 19. ábra jól szemlélteti.



19. ábra. Személygépkocsi-motor károsanyag-kibocsátását korlátozó határértékek változása 1980...2005 között

EU előírások nehéz, haszonjárművekre

A nehéz haszonjárművek (össztömegük 3,5 t-nál nagyobb, a szállítható személyek száma több, mint 9) motorjait az EU előírások szerint motorfékpadon vizsgálják (20. ábra).



20. ábra. Nehéz haszonjármű motorja a teljesítménymérő motorfékpadon

Az EURO 3 károsanyag-kibocsátási méréseket a korábbi EGB R49 jelű vizsgálatoktól eltérően, a 13 állandósult ponton mérő ESC (European Steady Cycle) és a változó üzembemért ETC (European Transient Cycle) módszerek szerint végzik.

- Minden kompresszió-gyújtású motornál el kell végezni Az ESC vizsgálatokat.
- Részecskeszűrős vagy DeNOx-katalizátoros kompressziógyújtású motoroknál az ETC vizsgálatokat is el kell végezni.

- Szikragyújtású földgáz (CNG, LNG) vagy propán-bután gáz (LPG) hajtású motoroknál csak az ETC mérések végzendők el.

Megváltozott a füstölésmérési előírás is. Az új módszer neve ELR (European Load Response Test).

Az ESC vizsgálati ciklus (ESC = European Steady Cycle)

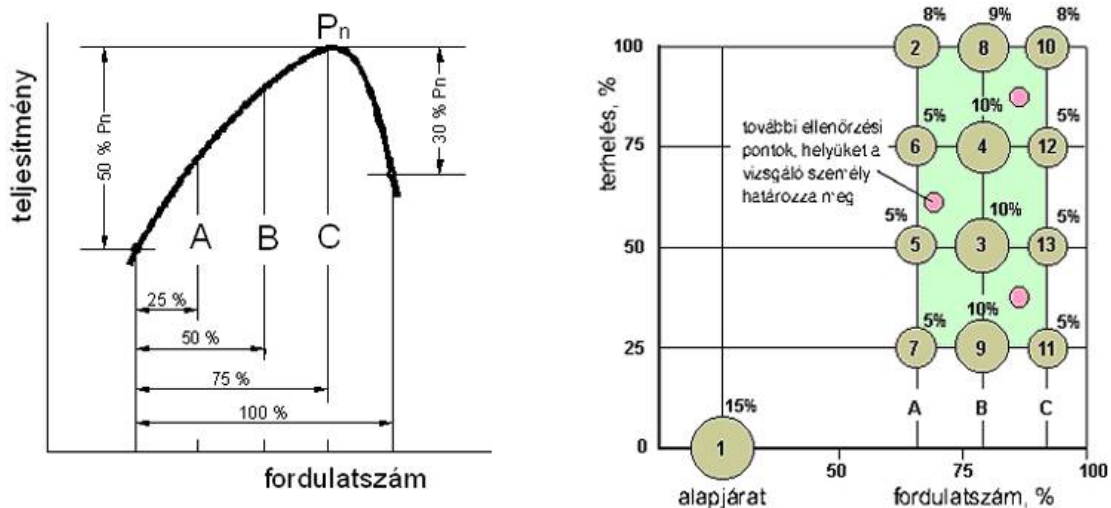
A vizsgálati fordulatszámokat a következők szerint határozzák meg (21. ábra):

- mérik a túlpörgetett motornak azt a fordulatszámát (n_f), amelyen a motor teljesítménye a névleges teljesítmény 70 %-ára csökken
- mérik a motornak azt a részfordulatszámát (n_a), amelyen a motor teljesítménye a névleges teljesítmény 50 %-a
- ezekből az A, B és C vizsgálati fordulatszámokat a következők szerint számítják:

$$A = n_a + 0,25 \cdot (n_f - n_a)$$

$$B = n_a + 0,50 \cdot (n_f - n_a)$$

$$C = n_a + 0,75 \cdot (n_f - n_a)$$



21. ábra. Az ESC vizsgálati ciklus fordulatszámai és vizsgálati pontjai

Alapjáraton, valamint e három fordulatszámon, az adott fordulatszámhoz tartozó legnagyobb terhelés 25, 50, 75 és 100 %-án statikusan mérik a motor CO-, HC-, NO_x-kibocsátását. Ebből az összesen 13 pontból súlyozott számtani középértéket számítanak. Az ábrán a körben lévő számok a mérés sorrendjét, a körön kívüli számok a súlyozás mértékét adják meg.

Alapjáraton 4 percig, a többi mérési pontban 2-2 percig üzemel a motor. A teljes vizsgálati időtartamon – 28 percen – keresztül a kipufogógázból vett mintát szűrőpapíron vezetik keresztül, ennek alapján számítják ki a motor részecskekibocsátását (PM).

Ellenőrzésképpen az A és C fordulatszámok, ill. a 25 és 100% terhelések által határolt téglalap-területen három, a vizsgáló személy által meghatározott pontban is kell méréseket végezni, ezekben a pontokban a mért értéknek a szomszédos 4 érték közé kell esnie.

3. táblázat. Az ESC vizsgálat határértékei.

	Hatályba- lépés	CO g/(kw·h)	HC g/(kw·h)	NO _x g/(kw·h)	PM g/(kw·h)	Fényelnyelés, K, m-1
EURO 3	2000	2,1	0,66	5,0	0,1	0,80
EURO 4	2005	1,5	0,46	3,5	0,02	0,5
EURO5	2008	1.5	0,46	2.0	0,02	0,5

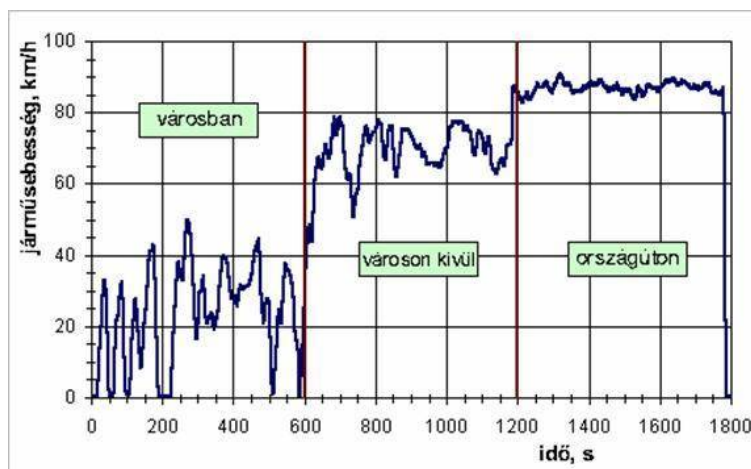
*A fényelnyelést az ELR vizsgálati előírások szerint mérik.

Az ETC vizsgálati ciklus (ETC = European Transiens Cycle)

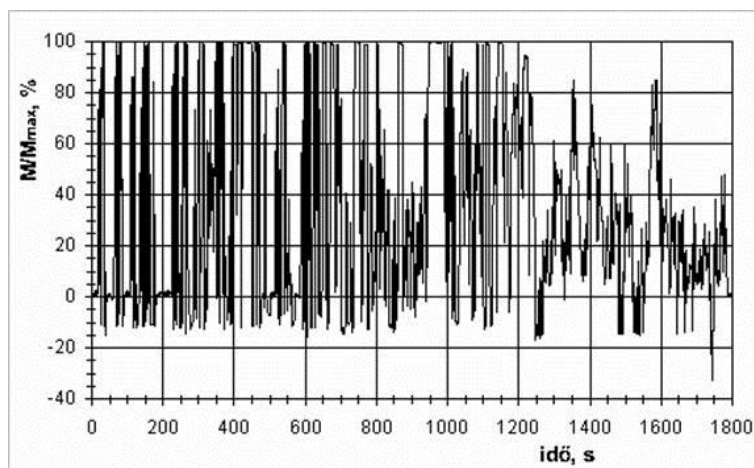
Az ETC ciklust reális

- városi (max. 50 km/h sebesség, gyakori megállás, indítás és alapjárat),
- városon kívüli (egy gyorsítást tartalmazó 72 km/h átlagsebességű haladás) és
- országúti (kb. 88 km/h átlagos sebesség)

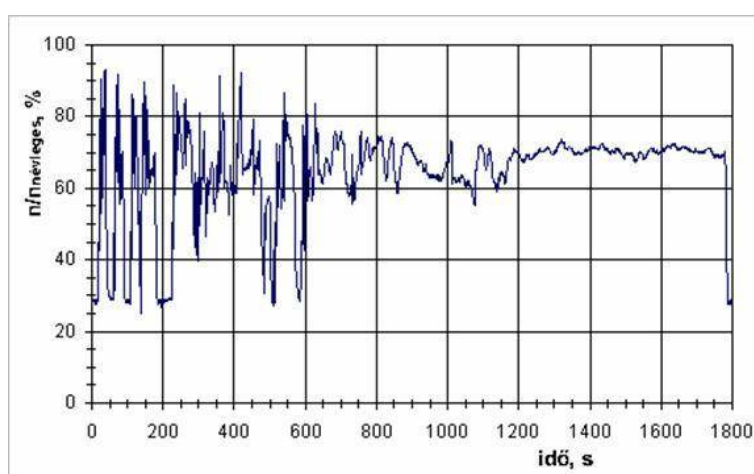
szakaszból álló útvonalat figyelembe véve alakították ki (22. ábra).



22. ábra. ETC vizsgálati ciklus sebesség-idő diagramja



23. ábra. ETC vizsgálati ciklus nyomaték-idő diagramja



24. ábra. ETC vizsgálati ciklus fordulatszám-idő diagramja

A jármű haladása közben regisztrálták a motor forgatónyomatékát és fordulatszámát. Ennek alapján hozták létre a motorfékpadon mérendő nyomaték-idő és fordulatszám-idő vizsgálati ciklust (23. és 24. ábrák). Ez természetesen csak számítógép-vezérléssel lehetséges végigfuttatni.

	Hatályba- lépés	CO g/(kw·h)	NMHC g/(kw·h)	CH ₄ ² g/(kW·h)	NO _x g/(kw·h)	PM ³ g/(kw·h)
EURO 3	2000	5,45	0,78	1,6	5,0	0,16
EURO 4	2005	4,00	0,55	1,1	3,5	0,03

1 NMHC – szénhidrogének metán nélkül

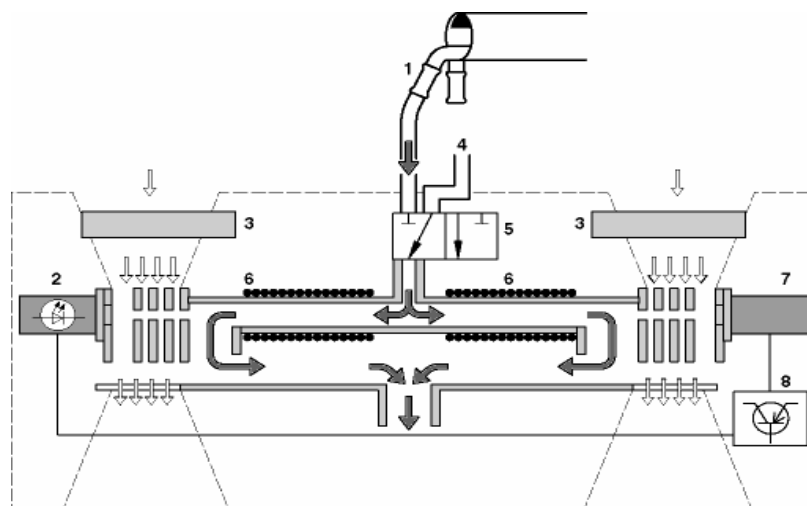
2 csak földgázüzemű motornál mérendő

3 gázüzemű motoroknál nem kell mérni

Az ELR vizsgálati ciklus (ELR = European Load Response)

Az EURO 3 előírások tartalmazzák a kipufogógázok füstölésére jellemző fényelnyelés (opacitás) meghatározását is.

A mérés elve: a kipufogógáz-áramot fényforrás és fényérzékelő közé vezetik (25. ábra).



- | | |
|----------------------|---------------------------|
| 1 – mintavevő szonda | 5 – kalibráló szelep |
| 2 – fényforrás | 6 – fűtés |
| 3 – fűvő | 7 – fényérzékelő |
| 4 – öblítő levegő | 8 – értékelés és kijelzés |

25. ábra. Fényelnyelés-mérő berendezés vázlata

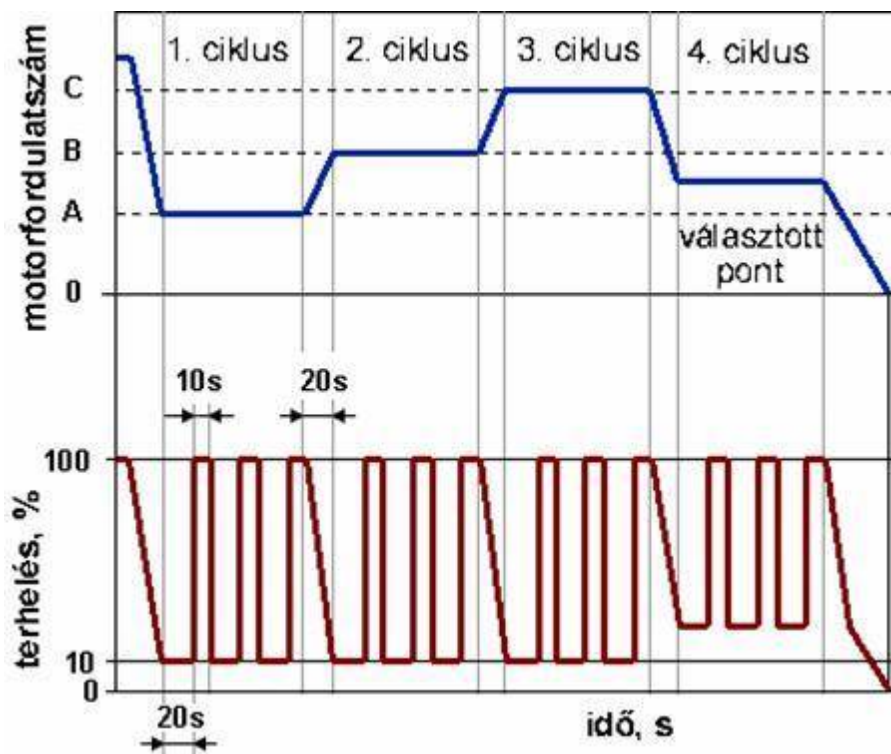
A készülék az átvilágított kipufogógáz fényelnyelését méri. 0 % a fényelnyelése a tiszta levegőnek, 100 % a teljesen átlátszatlan kipufogógáznak. Az N fényelnyelési %-ot a mérőhenger L hosszának ismeretében K fajlagos fényelnyelési együtthatóra számítják át:

$$K = \frac{1}{L} \ln \left(1 - \frac{N}{100} \right) \quad [K] = \text{m}^{-1}$$

Az összefüggésben teljes kipufogógáz-áramot mérő berendezések esetén L értéke egyenlő a kipufogócső átmérőjével (többnyire 10 cm); részáramot mérő berendezéseknél nem kötött, leggyakrabban 430 mm.

Az ELR vizsgálat három ciklusban – az ESC vizsgálatokhoz meghatározott A, B és C fordulatszámok mindegyikén háromszor 10 és 100 %-os terhelés között változtatva a motor

terhelését – méri a fényelnyelést (26. ábra). Ezt követően a mérő személyzet által kiválasztott fordulatszámon és terheléslépcsőn végzendő 4., ellenőrző ciklus.



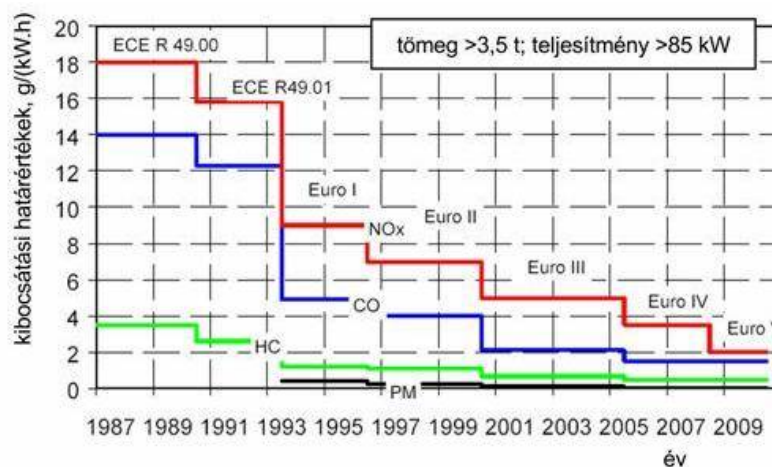
26. ábra. ELR vizsgálati program

Egy-egy ciklus átlagos fajlagos fényelnyelési együtthatójából az eredő a következő súlyozással számítandó:

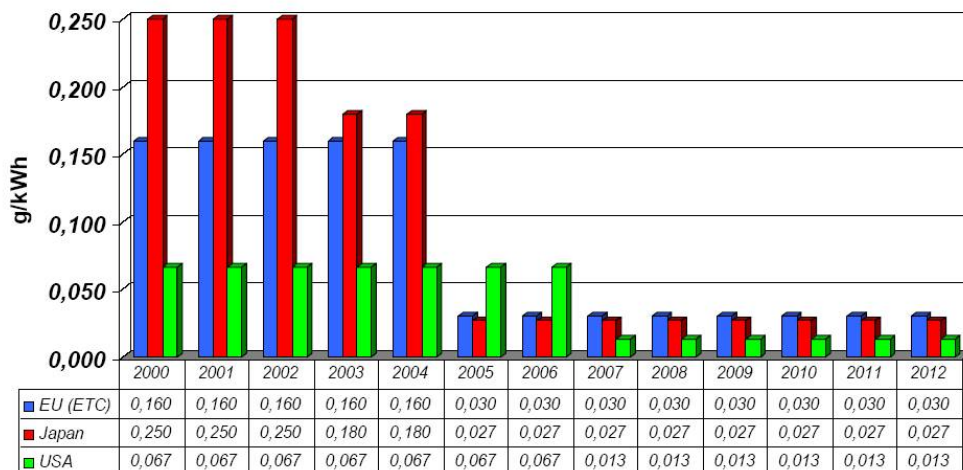
$$K_{\text{átlag}} = 0,43 \cdot K_A + 0,56 \cdot K_B + 0,01 \cdot K_C$$

Az ily módon számított átlag nem lehet nagyobb, mint a 3. táblázatban megadott határérték.

A nehéz haszonjárművek károsanyag-kibocsátás alakulását a 27. és 28. ábra szemlélteti.



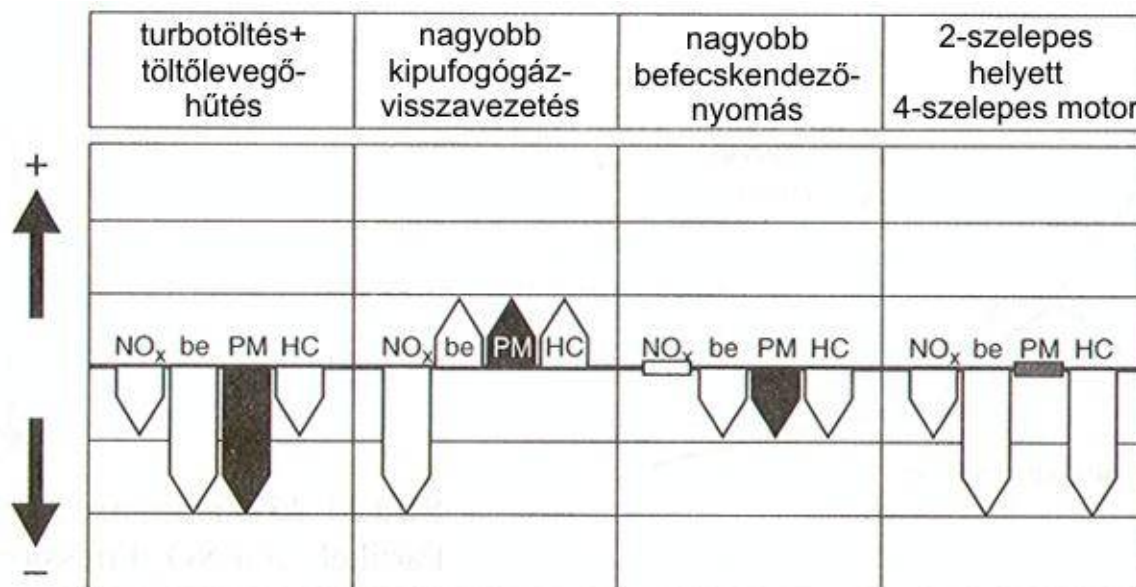
27. ábra. Nehéz haszon-járműmotor károsanyag-kibocsátását korlátozó határértékek változása 1987...2010 között



28. ábra. Nehéz haszonjárművek részecske-kibocsátási határértékek.

A motoron belüli emisszió-csökkentési lehetőségeket a 29. ábra szemlélteti. Az táblázatban látható négy lehetőségen kívül a következő konstrukciós kiépítések is rendelkezésre állnak:

- változtatható szelepvezérlés
- változtatható szívócsőhossz
- többszörös befecskendezés stb.



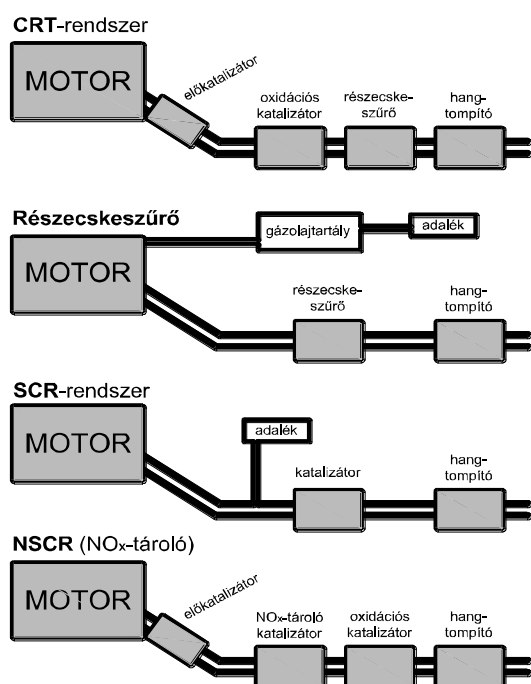
29. ábra. Dízelmotoron belüli emisszió-csökkentési lehetőségek:

Az NO_x és a részecske-kibocsátás

Kipufogógáz-utókezelő rendszerek.

Az Euro 4-es és a Tier 2-es normák teljesítéséhez elengedhetetlen valamilyen kipufogógáz-utókezelő rendszer alkalmazása. A szabályozott komponensek között a dízelmotorok károsanyag-kibocsátásában legkritikusabb a részecske- és a nitrogén-oxid kibocsátás. A probléma komplexitását növeli, hogy bizonyos fejlettségi szint fölött az egyik érték további javulása már csak a másik érték romlása mellett érhető el. (A kis részecske-kibocsátásnak a nagy égési hőmérséklet kedvez, ez viszont nagyobb nitrogén-oxid kibocsátást okoz.) Ezért a későbbi szigorúbb határértékek elérését illetően két út látszik körvonalazódni.

Az egyik elképzelés szerint az égést úgy alakítják, hogy a nitrogén-oxid kibocsátása kicsi legyen, és az emiatt keletkező nagyobb részecske-kibocsátást a motoron kívül semlegesítik. Ennek lehetséges eszköze a CRT vagy a részecskeszűrő. A másik elképzelés szerint a részecske-kibocsátást kellene a motorban leszorítani, és a nitrogén-oxidot kellene utánkezeléssel csökkenteni. Ez utóbbira alkalmas a nitrogén-oxid-tároló katalizátor vagy az úgynevezett SCR rendszer.



- **Continuously Regenerating Trap**
Az oxidációs katalizátorban a nitrogén-oxid nitrogén-dioxidá alakul. A nitrogén-dioxid, mint oxigénhordozó hatására a korom elégése már 250 °C-tól beindul. (80...90 %-os hatékonyság)

Részecskeszűrő

A szűrő felfogja a kipufogógáz nem gáznemű alkotóit. Az összegyűjtött korom 550 °C fölött leég. Az égés beindításához melegítő berendezéseket (égőket) lehet használni, vagy adalékokkal csökkenthető a korom öngyulladás hőmérséklete. Hatékonysága 60 %.

Selective Catalytic Reduction

A kipufogógáz áramba szelektíven ható, tehát csak a nitrogén-oxidot befolyásoló redukáló anyagot fecskendeznek, mielőtt a katalizátorba jutna. A katalizátor így képes a nitrogén-oxidot nitrogénné és vízgőzzé bontani. Hatékonyság 50...60 %.

Non Selective Catalytic Reduction

A tároló katalizátor felülete megkötí a kipufogógáz nitrogén-oxid tartalmát, majd bizonyos időközönként dús keverék hatására leadja. Akár 15 %-os fogyasztástöbbletet is okozhat. 15...65 %-os hatékonyság.

30. ábra. Kipufogógáz utókezelő rendszerek:

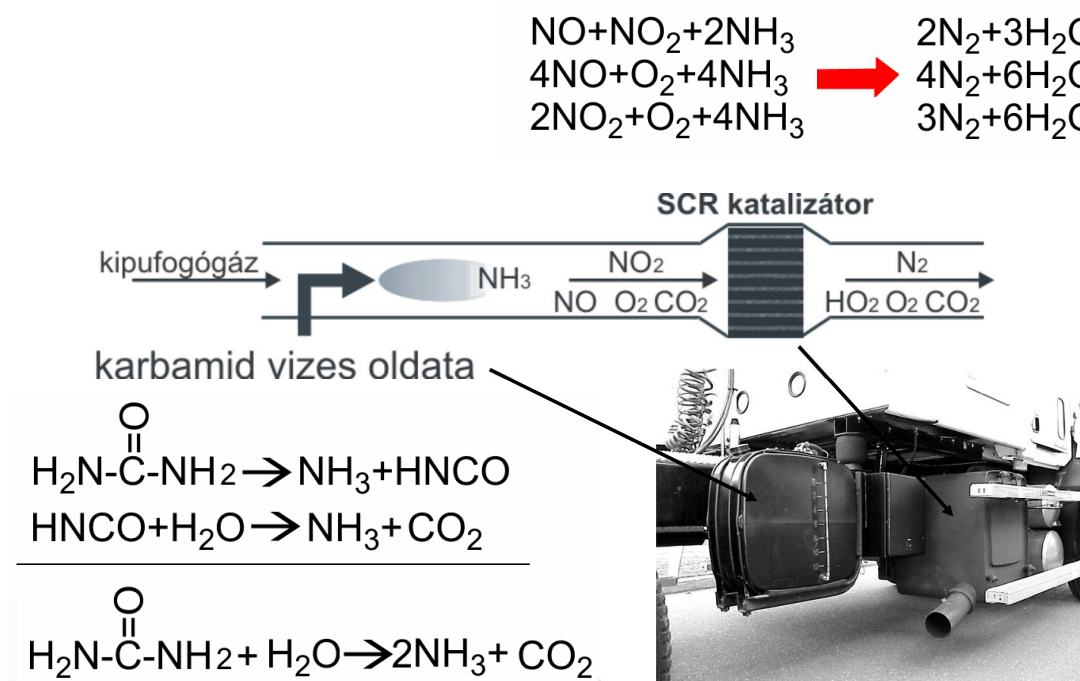
NOx-tároló katalizátor

Az NOx-tároló katalizátort más néven NSC-nek is hívják az angol "Non selective catalytic reduction", azaz nem szelektív katalitikus redukció elnevezés rövidítéseként. A név arra utal,

hogy a nitrogén-oxid-részecskék lebontása közben más értékek alakulásába is beavatkozik. Másik hátránya, hogy csak 15...65 %-os hatékonysággal dolgozik.

A tároló katalizátor alkáli fém vagy ritka földfém-oxid felülete nitrátok képzésével megköti a kipufogógáz nitrogén-oxid tartalmát, majd bizonyos időközönként dús keverék hatására leadja azt, és a katalizátor másik része, mely úgy működik, mint egy háromutas katalizátor, az elégetlen szénhidrogénnel és a szén-monoxiddal együtt semlegesíti. A rendszer hátránya, hogy különösen érzékeny az üzemanyag kéntartalmára, illetve a mesterségesen létrehozott, dús keverék akár 15 %-os fogyasztástöbbletet is okozhat.

Mivel a tárolókatalizátor más kipufogógáz-komponensek értékeit is befolyásolja, mindig utána kell kötni egy oxidációs katalizátort is, illetve előkatalizátor alkalmazása is szükséges lehet.



31. ábra. SCR-utókezelés

A nitrogén-oxid kezelésének másik módját kínálja az SCR rendszer (Selective Catalytic Reduction – szelektív katalitikus redukció.) A kipufogógáz áramba szelektíven ható, tehát csak a nitrogén-oxidot befolyásoló redukáló anyagot fecskendeznek, mielőtt a katalizátorba jutna. A katalizátor így képes a nitrogén-oxidot nitrogénné és vízgőzzé bontani.

A legalkalmasabb ilyen anyag az ammónia lenne, de ez egészségkárosító hatása miatt nem alkalmas az autóban történő szállításra és tárolásra. Ártalmatlan viszont a karbamid vizes oldata, melyből körülbelül 40...50 literre van szükség 1000 liter gázolaj elfogyasztása során.

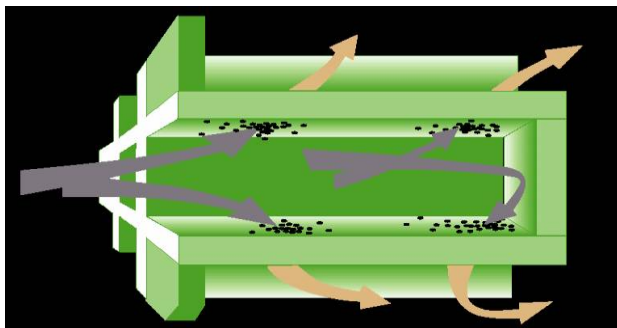
Az elérhető átalakítás-hatékonyság 50...60 %. A Siemens, a MAN és az Iveco SINOX néven már kifejlesztett egy SCR rendszert, de sorozatbevezetéséhez szükség van a karbamid infrastruktúrájának kiépítésére is.

Oxidációs katalizátor.

Az oxidációs katalizátor önmagában gyakorlatilag csak az elégetlen szénhidrogének és a szén-monoxid kibocsátás csökkentésére alkalmas. A szén-monoxidot 40...90 %-os hatékonysággal alakítja át szén-dioxiddá; az elégetlen szénhidrogéneknek pedig 50...60 %-os átalakítja vízgőzzé és szén-dioxiddá. Kis kéntartalmú (30 ppm alatti) gázolaj alkalmazása esetén a részecske-kibocsátás is csökkenthető 30...40%-kal, de sok ként tartalmazó gázolaj akár 70 %-os romlást is okozhat.

Részecskeszűrő

A részecskeszűrő feladata a kipufogógázban lévő szilárd és cseppfolyós részecskék, így elsősorban a korom kiszűrése. A kerámiából vagy szinterezett fémből készült szűrő felfogja a kipufogógáz nem gáznemű alkotóit. Egy bizonyos idő után a szűrő kezd eldugulni, amit a rendszer a nyomás megnövekedéséből észlel.



32. ábra. Részecskeszűrő

A szűrőben felgyülemlett korom eltávolítására különböző módszerek alakultak ki. 550 °C fölött a korom önmagától leég, azonban a kipufogógáz-hőmérséklet az átlagos üzemnek csak nagyon kis részében teljesül. Az égés beindításához különböző melegítő berendezéseket (égőket) lehet használni, vagy pedig adalékokkal lehet csökkenteni a korom öngyulladás hőmérsékletét. Ilyen adalékok lehetnek a gázolajhoz kevert mangán, nátrium, réz és cérium, melyek közül a cérium bizonyult a legmegfelelőbbnek. Az adalék hatására az öngyulladás hőmérséklet 450 °C-ra csökken. Amennyiben még ehhez a motorelektronika egy rövid időre szándékosan későbbre állítja a tüzelőanyag-befecskendezést, felemelve ezzel az égés és így a

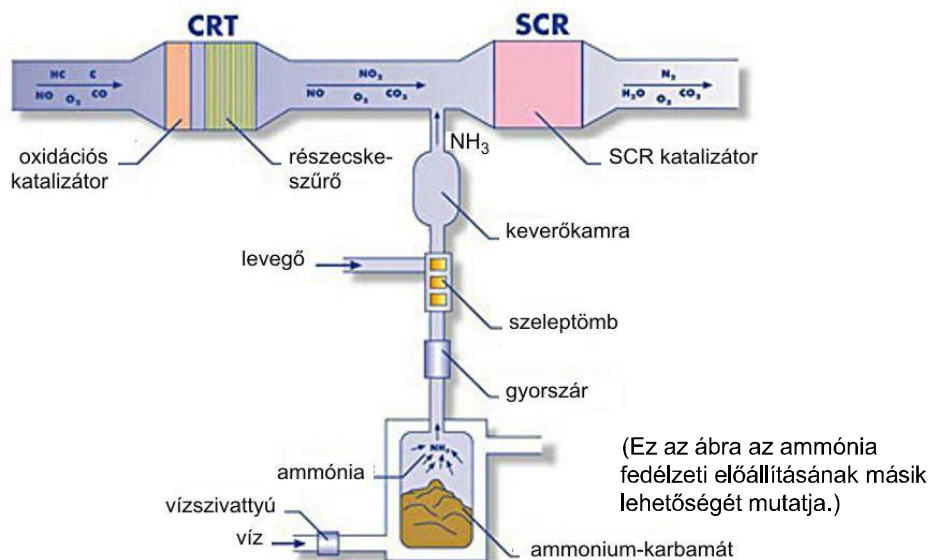
kipufogógáz hőmérsékletét. FAP (filtre à particules) néven a Peugeot ilyen rendszert alkalmazott 607-es típusán. A gyár adatai szerint 60 liter gázolajhoz 37,5 milliliter (kb. 1,9 g) szükséges, melyet külön tartályból önműködően adagol az autó. A szűrés hatékonysága 60 %.

Az adalék kiválasztásakor fontos szempont, ahogy elégetésekor ne keletkezzenek újabb környezetkárosító anyagok. A cérium esetében az égés után korom marad, a kibocsátott mennyiség azonban mindössze 1 gramm, 1 kg részecske kibocsátásának megakadályozása közben.

CRT utókezelő rendszer.

A CRT (Continuously Regenerating Trap – Folyamatosan regeneráló csapda) rendszer egy oxidációs katalizátorból és egy utána kötött szűrőből áll. Az oxidációs katalizátor speciális bevonata révén elősegíti a nitrogén-oxid nitrogén-dioxiddá alakulását. A nitrogén-dioxid oxigénhordozóként lép fel a szűrőben, így a korom elégetése már 250 °C-tól önmagától beindul. A teljes rendszer a korom mellett az elégetlen szénhidrogén és a szén-monoxid esetében is 80...90 %-os átalakítási hatékonyságú.

Hátránya, hogy kénmentes gázolajat igényel, és megnöveli a nitrogén-oxid-kibocsátást. Ez utóbbi ellensúlyozására be lehet kötni SCR-t a CRT után. Az így kialakított rendszer neve SCRT.



33. ábra. CRT+SCR=SCRT utókezelés