

# SKYACTIV-D

## A Mazda új dízelmotorja

A Mazda a dízelmotor új generációját alkotta meg, a Skyactiv-D az Euro 6-os normát SCR vagy NSC nitrogén-oxid-katalizátor és kisnyomású kipufogógáz-visszavezetés nélkül teljesíti. A 14:1 kompresszióviszonyú motor égésfolyamat-irányítása optimalizált, kétfokozatú feltöltéssel és csökkentett sűrűlési veszteséggel növelték a hatásfokot, fogyasztását 15-20%-kal mérsékeltek.



Susumu Niinai a Skyactive G&D program programmenedzsere a Mazda Motor Corporation hajtáslánc-fejlesztési részlegénél

### Technikai koncepció

Amennyiben a mechanikus és a termodinamikai veszteségeket csökkentjük, a belső égésű motor hatásfoka javul. Ebben a főbb meghatározó tényezők a kompresszióviszony, a politropikus kitevő értéke, az égéstartam, a gyulladási időpont, a fojtási veszteségek. Ezen tényezők közül a Skyactiv-D motorok fejlesztésénél a gyulladási időpontra és a mechanikus veszteségek csökkentésére koncentráltak. Fejlesztési cél volt, hogy a motor teljesítse az Euro 6-os normát  $\text{NO}_x$ -redukciós utókezelés nélkül, illetve feloldják az  $\text{NO}_x$  égésfolyamati képződésének és a jó motorhatásfok közötti ellentmondást. A dízelmotor előnyeit még jobban kihasználva törekedtek a FHP környezetében létrejövő égésre, és így

a nagyobb expanziós viszony által a maximális munka elérésére. A FHP közelében létrejövő égésnél a tüzelőanyag-levegő keverék fokozottan inhomogén, ez nagy korom- és  $\text{NO}_x$ -képződéssel jár. Hatásos ellenintézkedésként szolgál a lehetőség, hogy az égéskezdetet részterhelésnél késleltessék, mely egy lassabb égésfolyáshoz vezet.

A Skyactiv-D a dízelmotor korlátait az alábbi technikai koncepcióval tudta legyőzni.

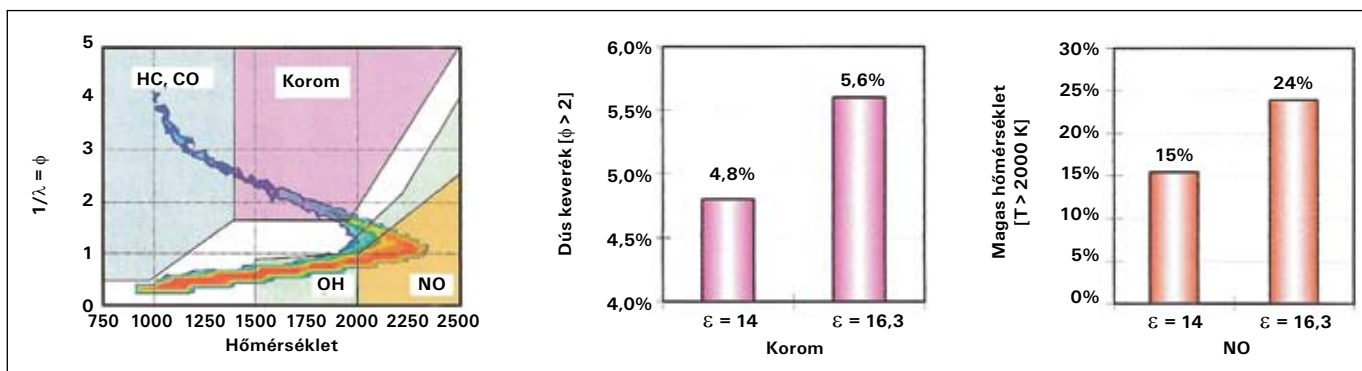
- A kompresszióviszony csökkentése, mely a tüzelőanyag-levegő keverék homogén elkeveredéséhez ad lehetőséget, így mérsékli a korom és az  $\text{NO}_x$ -képződést a FHP közeli égés ellenére.
- Optimalizált égéstérforma a tüzelőanyag-levegő átkeveredésének javítása érdekében.

- Növelt frisslevegő-töltésfok, a nem elhanyagolható kipufogógáz-visszavezetés mellett is. Azért, hogy a tüzelőanyag-fogyasztást, a károsanyag-kibocsátást és a teljesítményt egyaránt javítsák, célszerű volt a motor kompresszióviszonyát a hagyományos értékű  $\epsilon = 16,3$ -ról 14-re csökkenteni. Mint ahogy az **1. ábrán** is látszik, a javított keverékképzés a korom- és az  $\text{NO}_x$ -keletkezést leSORítja.

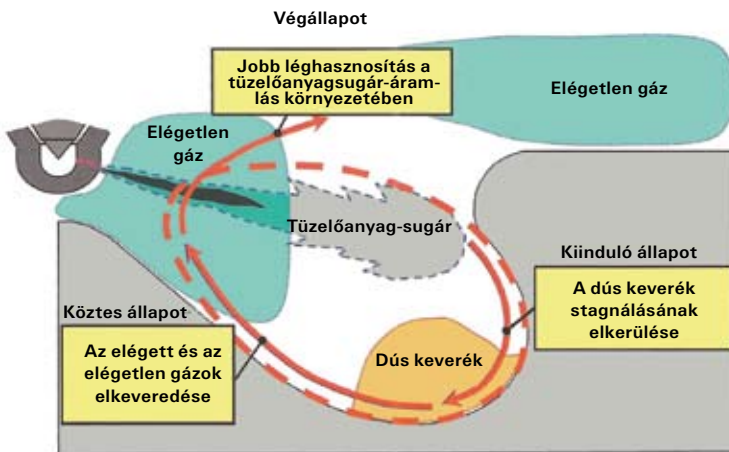
Azért, hogy a keverékképzést a dugattyúkambrában tökéletesítsék, a kamra geometriáját és a tüzelőanyag-sugár-áramlás környezetében a léghasználtságot kellett módosítani.

Az égéstér megváltoztatásával az alábbi célokra törekedtek:

- vertikális falforma, mely meggátolja, hogy a keverék a kinetikus energiáját elveszítse, mikor az vele szemben visszaverődik.



1. ábra



2. a ábra

2. b ábra

- sugárterelés, mely kiegyensúlyozott elkeveredést, ugyanakkor a keverék nagy részében kinetikus energiát ad, amikor a falak mentén függőleges örvénnyel áramlik.
- domború középrész, amely révén az áramlás a homogenizált keveréket felemeli, de egyúttal az erős örvénylését megtartja és terelt tüzelőanyag-sugár-áramlással az egész égéstérben elosztja.

Ezekkel a javításokkal úgynevezett tojásformájú égésteret alakítottak ki, mely egy többfuratos befeckendező használatával a koromképződést csökkenti (**2. ábra**).

A hatékony feltöltés eléréséhez kétfokozatú turbótöltőt alkalmaznak (**3. ábra**), hogy a koromképződést elkerüljék az Euro 6-os szigorú határérték teljesítéséhez szükséges, kifejezetten nagy mennyiségű kipufogógáz-visszavezetés mellett. A kipufogógáz-visszavezető rendszer ún. nagynyomású, tehát a kipufogógázt a turbótöltő turbina előtti csatornából veszik el.

## Motorteljesítmény

A **4. ábra** mutatja a nyomatékgörbét, az  $\text{NO}_x$ -kibocsátást és a fajlagos tüzelőanyag-felhasználást. A redukált sűrítési végnyomás ellenére, mely a csökkentett kompresszióviszony következménye, a teljes üzemi tartományon nagyobb nyomatékot értek el, mint az aktuális MRZ-CD Mazda dízelmotoron. A vég fordulatszámot  $4400 \text{ min}^{-1}$ -ről  $5200 \text{ min}^{-1}$ -re emelték, valamint a nyomatékot az alsó fordulatszám-tartományban 40%-kal növelték, így intenzív gyorsulás érhető el a teljes üzemi tartományban.

A kisebb kompresszióviszony következtében csökkent a mechanikai súrlódás, és ez lehetővé tette a FHP-i gyulladást és ennek megfelelően a nagy expanzióviszonyt. Mindkettő hozzájárul a tüzelőanyag-felhasználás csök-

kenéséhez is. A szigorú emissziós előírások ellenére a Skyactiv-D 15–20%-kal kevesebbet fogyaszt, mint az aktuális motor.

## Emisszió és tüzelőanyag-felhasználás

Hagyományos dízeleknél a gyulladási időpont késleltetése csökkenti a korom és  $\text{NO}_x$ -képződést, azonban rontja a termikus hatásfokot. A kicsi kompresszióviszony és a nagy feltöltés miatt az  $\text{NO}_x$ -képződést a Skyactiv-D csökkenti anélkül, hogy koromképződés lépne fel. Ezenkívül a Mazda az  $\text{NO}_x$ -értéket az Euro 5-ről Euro 6-ra mérsékelte anélkül, hogy a gyulladási időpontot késleltetné, jóllehet a mérnökök ugyanazt a kipufogógáz-visszavezető rendszert alkalmazták.

A **5. ábrán** látható, hogy az égéskezdet előrébb tolása lehetővé teszi a nagyobb expanzióviszonyt. Az aktuális, nagy kompresszióviszonyú motorral szemben az égéstartam csökkent. Mindkét intézkedés a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás csökkenéséhez vezet.



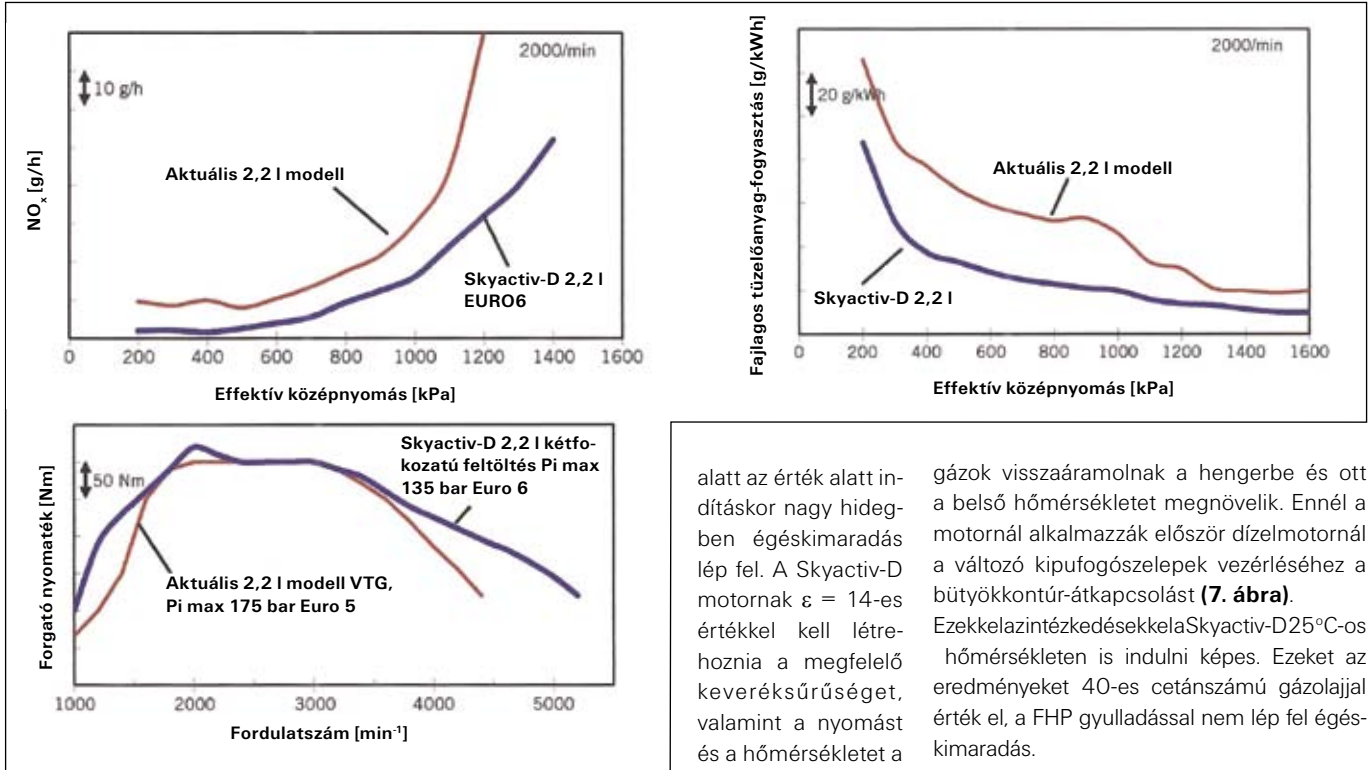
3. ábra: kétfokozatú turbótöltő

## Mechanikai súrlódás

Egy dízelmotorban a mechanikai súrlódás közel fele a forgattyús mechanizmusban keletkezik. Ez a súrlódás csökken a kis sűrítési végnyomás miatt. Ezáltal kisebb nyugócsapot (60 mm helyett 52 mm), könnyebb dugattyút stb. (**6. ábra**) alkalmaztak, úgyhogy ezeknek az alkatrészeknek a súrlódása 30%-kal csökkent. A dugattyú és a főtengely tömege 25%-kal csökkent, mely hozzájárult a vég fordulatszám  $5200 \text{ min}^{-1}$ -re történő növeléséhez. Az olajszivattyú, a vízszivattyú és a mellékberendezések súrlódásának csökkentésével a teljes motor súrlódási vesztesége 26%-kal csökkent és így megfelel a jelenlegi benzinmotorénak.

A kisebb igénybevétel következtében a hengerfőtömb anyaga alumínium lett, mely 25 kg-mal könnyebb, mint az öntöttvas hengerfőtömb. A hengerfej is könnyebb lett 3 kg-mal a vékonyabb falak alkalmazásával és az integrált kipufogócsatornákkal.





4. ábra

Csak ezekkel az intézkedésekkel 4-5%-os fogyasztáscsökkenést értek el a tesztciklus folyamán az aktuális motorhoz képest.

### Indíthatóság és égéskimaradás extrém hidegben történő indításnál

Egy személyautó-dízelmotornál a kompresszióviszony alsó határa az  $\epsilon = 15$ -nél van. Ez

- piezoinjektorok alkalmazása többfuratú porlasztócsúcsokkal ismételt többszörös előbefecskendezéssel (egy teljes ciklus alatt akár kilencszer is befecskendezhet),
- a volumetrikus hatásfokot kétfokozatú turbófeltöltéssel növelve,
- kerámia izzógyertyák alkalmazása és
- nagy maradékgáz-mennyiség a duplán nyíló kipufogószelepekkel.

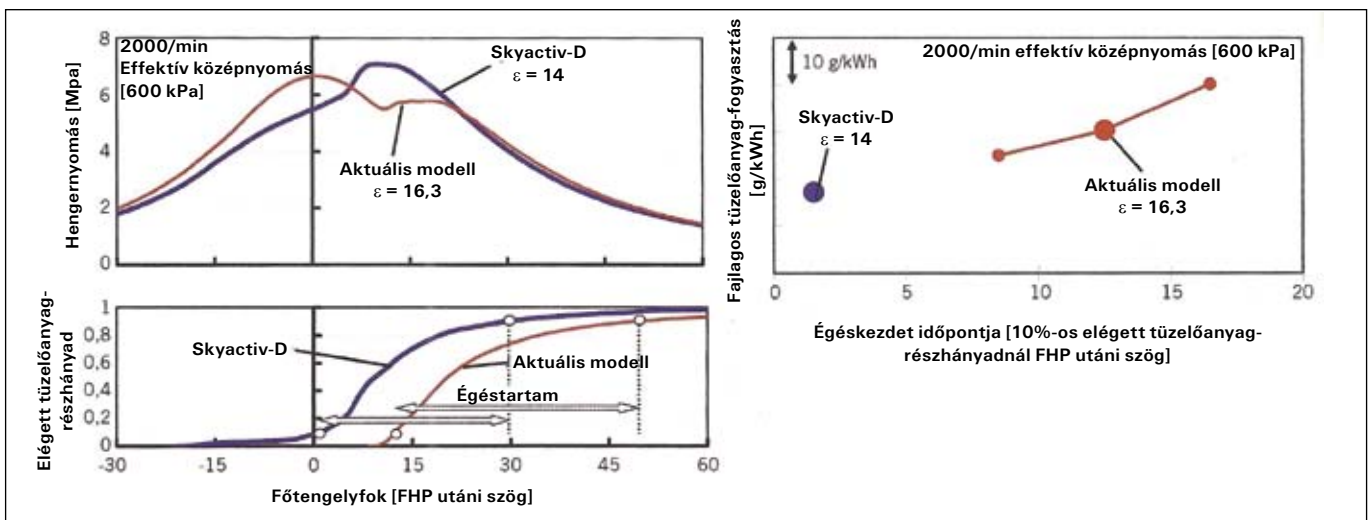
A duplán nyíló kipufogószelepek a szívó ütemben is kissé kinyitnak, így a forró füst-

gázok visszaáramolnak a hengerbe és ott a belső hőmérsékletet megnövelik. Ennél a motornál alkalmazzák először dízelmotornál a változó kipufogószelepek vezérléséhez a bütyökkontúr-átkapcsolást (7. ábra). Ezekkelazintézkedésekkel a Skyactiv-D 25°C-os hőmérsékleten is indulni képes. Ezeket az eredményeket 40-es cetánszámú gázolajjal érték el, a FHP gyulladással nem lép fel égéskimaradás.

### A gyújtásidőpont és az égéstartam vezérlése

A kompresszióviszony csökkentése erős gyulladáskésleltetéshez és hosszabb égéstartamhoz vezet. Ez különösen kis hőmérsékletnél rontja az égésszabályozást. Járulékosan nagy fordulatszámú a nyomás és a hőmérséklet a hengerben lecsökken, míg az égés befejeződik, miáltal az égéstartam tovább hosszabbodik.

Ezen nehézségek elhárítására a Skyactiv-D az alábbi intézkedéseket vezette be:



5. ábra

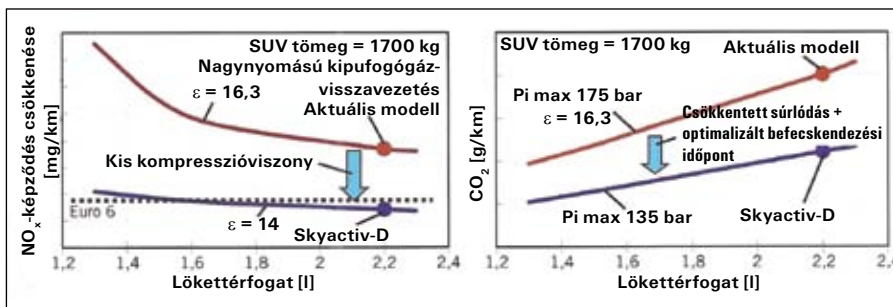




6. ábra



7. ábra: kipufogó-vezérműtengely bütyökkontúr és szelephimba



8. ábra

- biztos gyújtásstabilitás az égésfolyamat kezdetén, a diffúziós égés fázisában,
- a diffúziós égés rövidített égéstartama a javított égéstérforma miatt,
- növelt előkevert égéstartomány, valamint vezérelt befecskendezési időpont a gyulladáskésleltetés előrejelzése alapján.

A diffúziós égési tartományon belül különbség van a töltőnyomásban és a hengerfal-hőmérsékletben tranziens és stacioner üzemben. Amennyiben a környezeti hőmérséklet és a tengerszint feletti magasság jelentősen megváltozik, akkor a gyulladási instabilitáshoz vezet. Hogy ilyen üzemi feltételek mellett

is stabil gyulladást biztosítsanak, előégést hoztak létre rövid intervallumú többszörös pilotbefecskendezéssel. Így egy biztos hőmenyiség szabadul fel a főégés előtt.

Az előkeverék-égéshez egy nagy kompressziójú motor esetében nagy hányadban kell kipufogógázt visszavezetni, hogy elég idő álljon rendelkezésre az gyulladáskésleltetés eléréséhez. Ezek a visszavezetett gázok csökkentik az oxigéntartalmat és rontják a gyulladási időpont befecskendezéssel történő vezérlését, különösen nagy terheléseken. A beszívott levegő hőmérsékletének csökkentésével és a visszavezetett kipufogógáz mennyiségének csökkentésével javítható a gyulladási időpont vezérlése.

A gyulladási késedelem az előkeverék égésekor a mért beszívott oxigénkoncentrációból és a hengerhőmérsékletből van meghatározva, mely stabil égést szolgáltat a külső hőmérséklet és a magasság negatív befolyása nélkül.

## Alkalmazás gépjárműben

A dízelmotorok NO<sub>x</sub>-kibocsátását kétféleképpen lehet csökkenteni, mely lehet NO<sub>x</sub>-katalizátor vagy az égéstérben az NO<sub>x</sub>-képződés csökkentése. A Skyactiv-D az NO<sub>x</sub>-létrejöttét gátolja a kis kompresszióviszonnyal és a nagy feltöltéssel.

A nyomaték és az NO<sub>x</sub>-közötti összefüggés nem lineáris; növekvő terhelésre az NO<sub>x</sub>-kibocsátás jelentősen növekszik. Ez azzal jár, hogy ugyanabba az autóba beépített motorok közül a nagyobb hengerűrtartalmú kevesebb NO<sub>x</sub>-ot fog kibocsátani, mert üzem közben kisebb terheléssel működik.

A Skyactiv-D-nek a Mazda 2,2 l-es motort választott, mely az Euro 6-os határértéket teljesíti NO<sub>x</sub>-katalizátor vagy kisnyomású kipufogógáz-visszavezetés nélkül (8. ábra). Ezzel a kipufogógáz-utókezelő rendszer leegyszerűsödött.

A kis terhelésnek köszönhetően a tüzelőanyag-fogyasztás is csökkent, melyhez hozzájárul még a csökkentett sűrűdés és a javított gyulladási időpont. A 2,2 l-es motor ezekkel az intézkedésekkel NEFZ ciklus szerint annyit fogyaszt, mint egy 1,5 l-es dízelmotor nagy kompresszióviszonnyal és sűrítési végnomással.

SZARKA JÁNOS

Forrás:

Yasuyuki Terazawa, Eiji Nakai, Motoshi Kataoka, Takashi Sakono: Der neue Vierzylinder-Dieselmotor von Mazda, MTZ 09/2011 <http://www.mazda.com/mazdaspirit/skyactiv/engine/skyactiv-d.html> <http://www.mazda-news.eu/2011/06/01/skyactiv-d-diesel-engine/>