



## Audi V8-TDI

# Tanuljunk újdízelül!



DR. NAGYSZOKOLYAI IVÁN

A dízelmotor jövőjéről – az M1-es kategóriában a kicsikről és a nagyokról egyaránt – ma sok szó esik. Ennek alapját a dízel-emissziós törvényszegések és az e motor iránti szükség adja. Az első, sajnálatos tény. Az azonban bizonyosság, hogy a dízelmotor kipufogógáz-tisztítása minden belátható jövőbeni előírásnak meg tud felelni, igaz, ennek ára van. A másik, amelyik egyelőre maradásra bírja a dízelt, a személygépkocsinál, az új Otto-motoroknál is kedvezőbb fogyasztása. A 2020-ban életbe lépő gyártói flotta-fogyasztást dízelek nélkül – ma úgy látszik – a gyártók teljesíteni nem tudják. Kevés még az alternatívát adó elektromos, hibrid vagy hidrogéncellás gépjármű. Az előírások N1 kategóriában most szeptemberben szigorodnak. Az M1-ben pedig már elfogadott az RDE és a WLTC. Az RDE (Real-Driving Emissions) reális városi, elővárosi menetállapotokra terjeszti ki a fedélzeti emissziómérést, a WLTC pedig szigorúbb, azaz nagyobb motorterhelést ad a görgőspadi vizsgálatokhoz. Mindehhez szigorodik a fedélzeti felügyeleti rendszer, az OBD is. Egy további indok a dízelek megtartásáért, a vevői igény: sokan keresik az erős, az autónak fokozott dinamikát adó dízelt, a prémiumszegmens SUV modelljeiben pedig szinte kiválthatatlan. Mit tehetnek a gyártók? Fejlesztenek.

Az Audi V8-TDI motorja 1999-ben debütált, tehát már egy régen létező dízel (a korábbi V8-asok lökettérfogata 3,3; 4,0 és 4,2 liter volt), melyet most alapos revízió, szinte teljes áttervezés alá vetettek, új generációnak kellett születnie. A cél a dinamikus viselkedés további erősítése és a fogyasztás, valamint a szennyező emisszió csökkentése volt. Ez utóbbi minden újonnan hatályba lépő és már ismert, új, a közeljövőben hatályosuló követelménynek való megfelelést jelent.

Az új Audi V8-TDI, melyet csak Győrben gyártanak, számos újdonságot, köztük világújdonságot is tartalmaz:

- a motor ún. HSI (Heisse Seite innen) építésű, tehát a meleg oldal, a kipufogó és a turbótöltők a V-motor ágyában foglalnak helyet,
- a turbótöltés regiszter kapcsolású, aktív és passzív töltőből áll,
- kipufogószelep-működés kikapcsolás (dízelmotoron először alkalmazták az AVS-technikát),
- szívószelepek emelése változtatható (AVS-technika),
- villanymotor-hajtású, centrifugál kompresszor (EAV) segít rá a turbótöltő levegőszállítására,
- 48 V-os részhálózat, Li-ion akkumulátor,
- kétfokozatú NO<sub>x</sub>-redukálás.

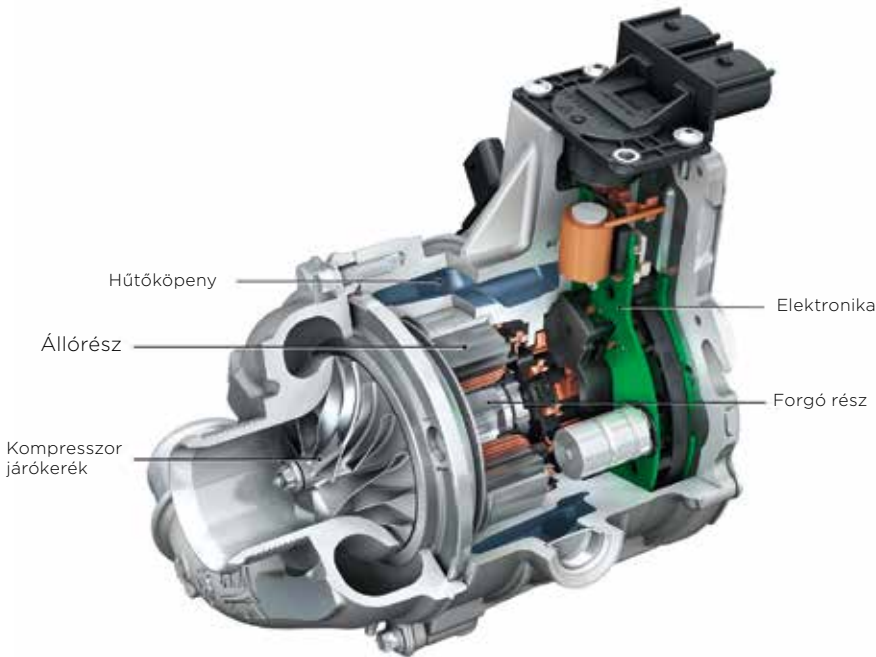
A HSI építésmód nagy helyi hőmérsékletet, hőtorlódást eredményez,

#### A MOTOR MŰSZAKI ADATAI

JELLEMZŐ	ADAT
Építési mód	90°-os hengesor szögű V8, turbótöltők a V „ágyban” (HSI építésmód)
Lökettérfogat (cm <sup>3</sup> )	3956
Löket/furat (mm)	91,4/83
Löket/furat arány	1,1
Sűrítési viszony	16:1
Hengertengely-távolság (mm)	90
Forgattyúház	féregszerű öntöttvas, anyaga: GJV450
Főtengely	kovácsolt, 5 helyen csapágyazott, a fekvő- és hajtórúdcsapok indukciósan edzve, ívei görgőzve, anyaga: 42CrMoS4
Fekvőcsap-átmérő (mm)	65
Forgattyúcsap-átmérő (mm)	60
Hajtórúdhossz (mm)	160,5
Dugattyú	könnyűfém, dugattyúcsapfurat hüvellyel, dugattyúcsap DLC-bevonatú, fejhűtött (galériás), égéstér perem újraolvasztással keményített
Dugattyúgyűrűk	korábbanál kisebb tangenciálerő, kisebb gyűrűmagasság, PVD PLC bevonat
Szívószelep- (2 db) átmérő (mm)	27,5
Kipufogószelep- (2 db) átmérő (mm)	25,5
Tüzelőanyag-befecskendezés	common rail, 2500 bar (Bosch CRS 3,25), piezoinjektor, nagy nyomású szivattyú CP4.2
Turbótöltő (2 db)	GTD 2056 (gyártó Honeywell Turbo Technology), változtatható vezetőlapát állítású („geometriás”), az állítómű elektromos hajtású
Befecskendezési sorrend	1-5-4-8-6-3-7-2
Névleges teljesítmény (kW)	320, fordulatszám-tartomány: 3750...5000 min <sup>-1</sup>
Maximális forgatónyomaték (Nm)	900, fordulatszám-tartomány: 1000...3250 min <sup>-1</sup>
Leszabályozási fordulatszám (min <sup>-1</sup> )	5200
Kipufogógáz-előírás	Euro 6
Motortömeg (DIN 70020 GZ) (kg)	266,5
Motorhossz (mm)	674
Fogyasztás (NEDC): (l/100 km) modell: Audi SQ7 TDI (5-ülékes)	7,5-7,2
Szén-dioxid-kibocsátás (NEDC) (g/km) modell: Audi SQ7 TDI (5-ülékes)	198-189



a gáz hőmérséklet eléri a 860 °C értéket, ezért a kipufogó gyújtócső és a turbinához vezető csőszakasz kialakítása komoly mérnöki kihívás mind konstrukcióban, mind anyagválasztásban. A hideg-meleg-hideg ciklusok a rövid csőszakaszokon nagy hőtágulást és ebből eredő feszültséget, valamint melegszilárdsági és korróziós problémákat okoznak. Más motorokon megfigyelték, hogy a kettősfalú, légréteggel



hőszigetelt kipufogócső belső csőve korrodál, a csőfalról részek válnak le, melyek a turbótöltő meghibásodásához vezetnek. A gyűjtőcsövek acélöntvények, a hőtágulást kompenzáló csőszakaszok veszik fel, a csatlakozók Inconel anyagból készülnek.

A forgattyúház féregszerű öntöttvas (GJV450), anyagösszetétele: C 3,6-3,8; Si 2,1-2,5; Ce 4,4-4,7; Mn 0,2-0,4; S 0,005-0,022; Mg 0,006-0,014; CeMM 0,01-0,03; Cu 0,7-1,0; Sn 0,08-0,10. A GJV450 anyag kisebb falvastagságot tesz lehetővé, így tudták a motorblokk tömegét csökkenteni.

## ELEKTROMOS HAJTÁSÚ KOMPRESSZOR

„Levegőt, sokat és gyorsan” – volt a tervezők célkitűzése. A motor igazi újdonságát a feltöltőrendszer adja. A két turbótöltő ma már igazán nem ritkaság, de annak ún. regiszter kapcsolása már nem gyakori. Mindehhez párosul a világon elsőként egy elektromos hajtású radiális (centrifugál) kompresszor. A regiszter kapcsolás azt jelenti, hogy egymás után kapcsolódik be a két töltő a szállításba. (Régebben születetteknek: a regiszter (kéttorjú) karburátor

azt jelentette – ladások előnyben –, hogy az első torok egy ideig egyedül képezi a keveréket, majd a terhelés és a fordulatszám függvényében nyit rá a második torok, és utána ketten viszik tovább az autót.)

Az elektromos hajtású töltő, az EAV (elektrisch angetriebene Verdichter) centrifugál kompresszor, majdnem olyan, mint a turbótöltő kompresszora. A lényege, hogy nagyon gyorsan „hadrendbe” álljon. Maximális fordulatszáma  $70\,000\text{ min}^{-1}$ , de ennél a gyorsulása

ejtethet ámulatba: 260 000 fordulat-szám-növekedésre képes egyetlen másodperc alatt, tehát a max. fordulatszámát kb. 250 ms alatt éri el. A villanymotor névleges teljesítménye 7 kW. A tápfeszültséget a fedélzeti 12 V-os hálózatról táplált 48 V-os elkülönített hálózatról kapja. Ennek energiatárolója 10 Ah-s Li-ion akkumulátor. A 48 V-ot DC/DC átalakító hozza létre. A 12 V-os hálózat generátora 200 amperes. A feltöltési körben helyét ábráink mutatják. Az EAV csak a motor indulásánál, kis fordulatszámról történő intenzív gyorsításnál üzemel. Az irányítóegység tudja, hogy milyen töltőnyomásnak kell lennie és mi a tényleges, ennek megfelelően kapcsolja be, illetve ki az EAV-t. Szokták mondani, hogy ezzel a megoldással a turbólyukat tüntetik el. Ez talán még részben sem igaz, hiszen a turbósok hajdanvolt megtorpanása lepadlózott gyorsításnál már régen a múlté, ilyen viselkedéssel autót ma eladni nem lehetne. Inkább arról van szó, hogy a nagy korai nyomatkéért még több levegő kell, mint amit ebben az üzemi tartományban a turbótöltő szállítani tud. Az új V8-TDI már 1000-es motorfordulaton eléri a 900 Nm nyomatékot.

Az egyesült királyságbeli Autocar autós magazin által alapított „Autocar Innovation Award 2016” kitüntetést az új Audi SQ7 TDI nyerte. A díj célja, hogy elismerje a kiemelkedő műszaki újdonságokat az autóiparban. Az Audi SQ7 TDI modell új fejlesztésű V8-as erőforrása elektromos hajtású feltöltőt is használ, amely abszolút világelső megoldás. Ez a feltöltő különösen a kisebb fordulatszám-tartományokban támogatja a két turbófeltöltő munkáját és turbólyuk nélküli maximális dinamikát garantál. A szükséges energiáról a fedélzeti elektromos hálózat 48 volt feszültségű része gondoskodik, amely az elektromechanikus aktív oldalirányú billenésstabilizálás számára elengedhetetlen energiát is szolgáltatja. Az SQ7 TDI modell az első Audi, amelyet ezzel a megnövelt teljesítményű fedélzeti hálózattal szereltek. Ennél a rendszernél a 48 volt feszültségű elektromos alhálózatot egy egyenáramú feszültségátalakító konvertálja a 12 voltos hálózatról. Az elektromos hajtású feltöltő és az elektromechanikus aktív oldalirányú billenésstabilizálás működéséhez szükséges nagy teljesítmény- és rövid távú energiaigényt a csomagterpadlózat alatt elhelyezett 48 voltos lítiumion-akkumulátor biztosítja. Ennek csúcsteljesítménye akár a 13 kW-ot is elérheti.



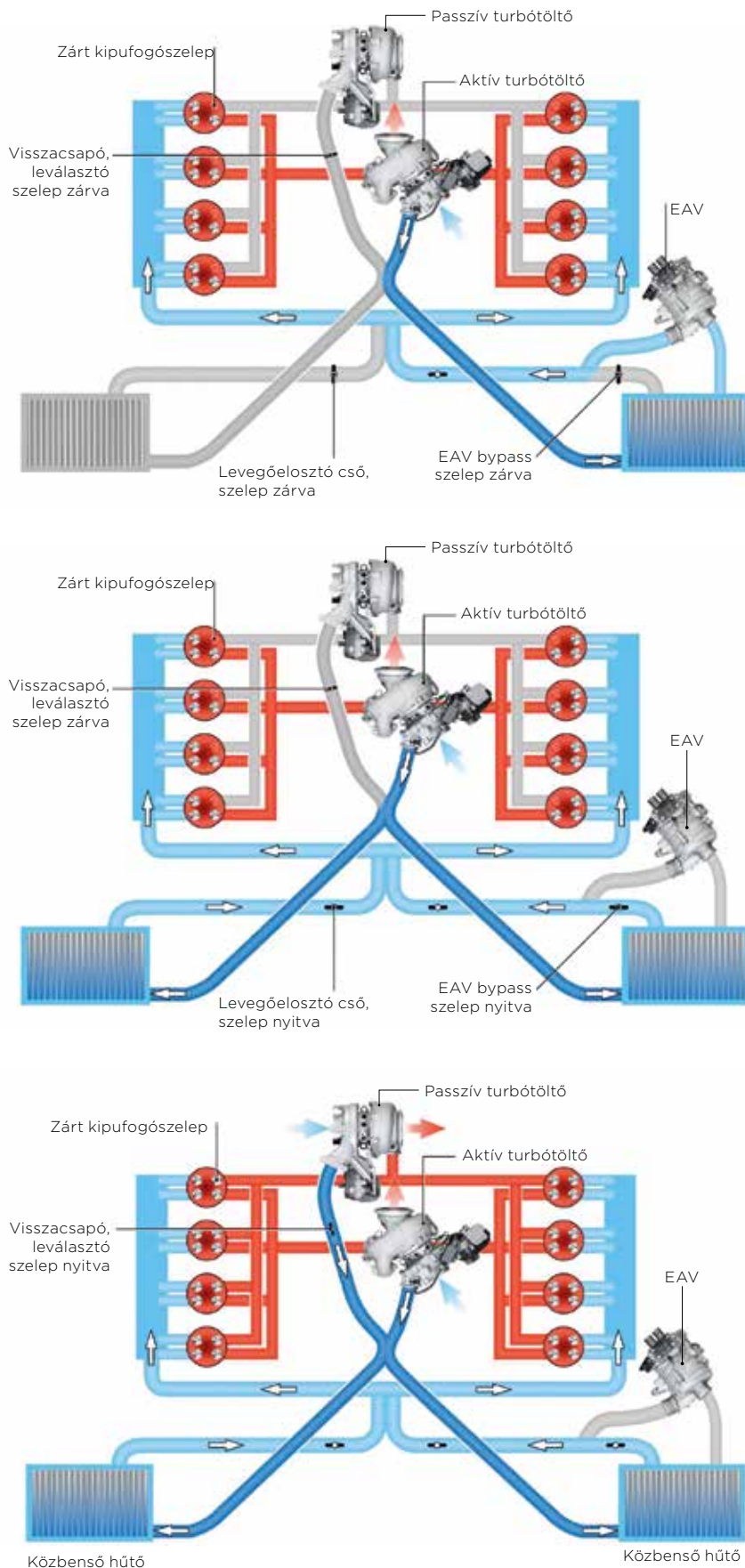
## A REGISZTER TURBÓTÖLTÉS

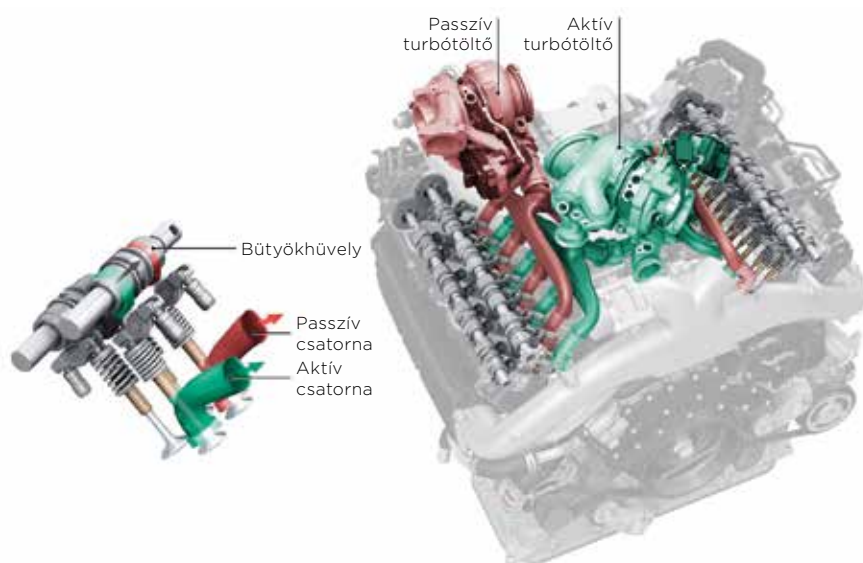
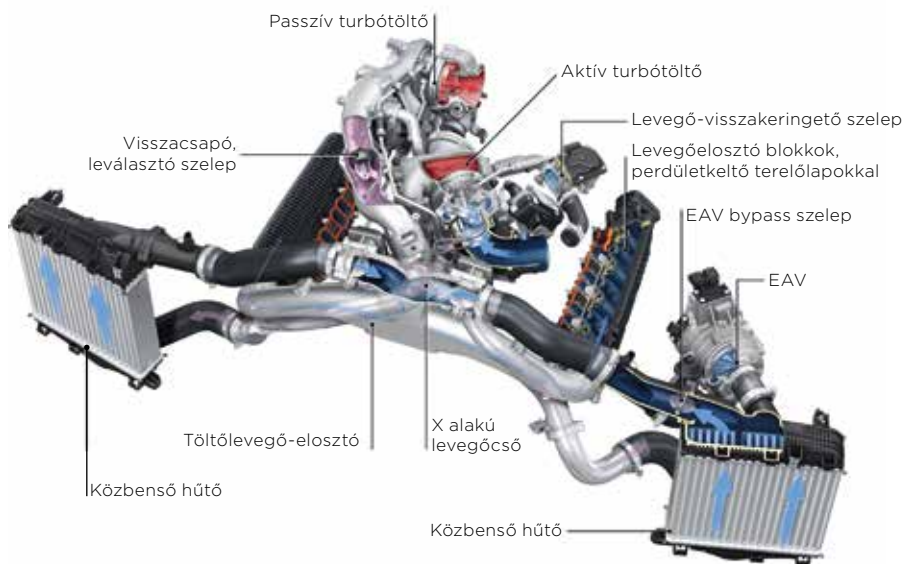
Nem hallottunk még olyan turbótöltő megnevezést, hogy aktív töltő és passzív töltő. Regiszter kapcsolási rendszerben az aktív töltő mindig forog (mono-turbó üzem). A turbina a kipufogógázt valamennyi henger egyik kipufogószelep-csatornájából, gyűjtőcsőbe egyesítve kapja, mindösszesen nyolc csatorna két gyűjtőcsőve egyesül a turbinaház előtt. A hengerek másik kipufogószelepét zárva tartják. A zárást az ismert AVS-technika (hüvelyes bütyökváltó) vezérlés teszi lehetővé: van egy bütykös eleme és egy nullkörös eleme. Ha nullkörösre áll át, a szelep nem nyit ki. Ismerjük ezt az Audi/VW hengerkapcsolási technikából.

Ha be kell lépnie a passzív töltőnek, akkor az AVS kinyitja a másik kipufogószelepet is. Így az is nyolc hengertől kap kipufogógázt. A sima üzembeállítás végett először csak két henger kipufogószelepét nyitják ki, ez felpörgeti a töltőt, majd csatlakozik hozzá a fennmaradt 6 henger kipufogógáza is. A töltőlevegő egy visszacsapó szelepet nyitva ömlik az aktív töltő csatornájába, majd az így egyesült gázáram a párhuzamosan kötött közbenső hűtőkön (intercoolerek) áthaladva jut a szívószelepekhez. A két töltő együttes üzemében a motor töltőnyomása eléri a 3,4 bar nyomást.

A szívószelepeknél is találunk AVS-beavatkozót. A szívószelepek nyitva tartása lehet a kisebb bütyökkel 163 °ft, a nagyobbal 185 °ft. A kis emelésű és nyitás szög tartományú bütyök a motor kis fordulatszámán és terhelésénél dolgozik.

Itt térjünk még egy szóra vissza az EAV-re! Az EAV az aktív turbótöltővel van sorba kötve. Az aktív töltőből a levegő átmegy az egyik közbenső hűtőn és ezután kerül az elektromos hajtású kompresszorba. A töltőlevegő mind a nyolc hengert táplálja. Az EAV-vel, padlógáznál a maximális, 3,4





szív turbótöltő 2200 min<sup>-1</sup> fordulaton kezd bekapcsolódni és kb. 2700 min<sup>-1</sup> fordulattól már bi-turbo üzemben dolgozik a feltöltés. A motor 3750 min<sup>-1</sup> fordulatszámom már leadja a névleges teljesítményt egészen 5000 min<sup>-1</sup> fordulatig. A leszályozási fordulatszám 5200 min<sup>-1</sup>.

A motortechikában igencsak szokatlan a fajlagos fogyasztási jellegző alakulása is. Általában a jellegző egy minimum ponttal, ennek megfelelően azon a ponton a legnagyobb effektív hatásfokkal rendelkeznek. A V8-TDI fajlagos fogyasztási, ún. kagylódiagram jellegzőjében, a regiszter feltöltésnek köszönhetően, két minimum pontot találunk. Az egyiknél a minimális fajlagos fogyasztási jellegző értéke <205 g/kWh (effektív hatásfok kb. 41%), a másikonál <213 g/kWh. Ez egyben azt is jelenti, hogy szinte a teljes jellegzőben kedvezőbb a fogyasztás az elődmotornál, van, ahol 30%-kal is.

**MOTORSZERKEZETEK**

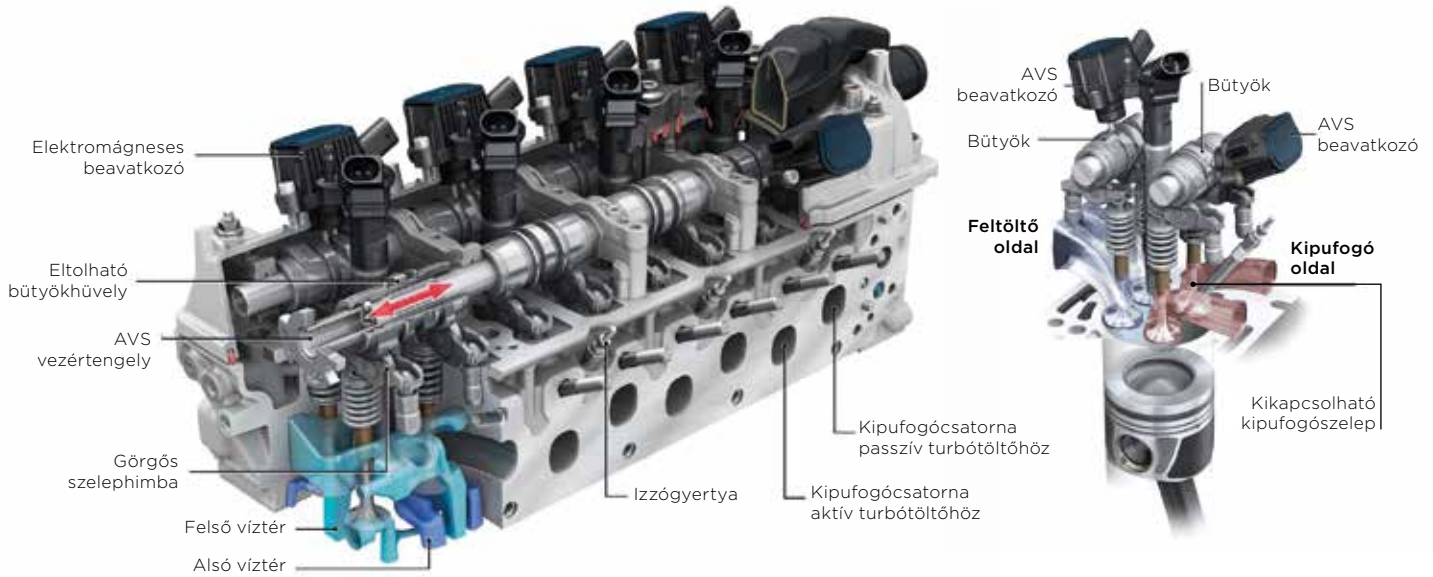
A motor termomenedzsmentje az egyes szerkezetek üzemi hőfokát nagyon pontosan képes beállítani. A motorhűtés, illetve a részegységek hűtése is, a szerkezet hőterhelés határain belül, a motorfogyasztásnak alárendelt. A hengerfej és a blokkhűtés szétválasztott, a motor bemelegedési

bar töltőnyomást a motor 1 másodperccel előbb éri el, mint EAV nélkül. Ez járműgyorsításban azt jelenti, hogy a gyorsítás első 2,5 másodpercében az autó (SQ7) előnye az EAV nélküli változathoz képest 2,5 m. Az EAV az indulástól kezdve kb. 1,2 másodpercig üzemel. Teljes motorterhelésű, azaz padlógázos gyorsításnál a töltőnyomás 1500 min<sup>-1</sup> fordulaton éri el a 3,4 bart és ekkor már 900 Nm a forgatónyomaték. Állandósult üzemiállapotban már 1000 min<sup>-1</sup> fordulaton rendelkezésre áll a maximális nyomaték. A pasz-



Visszacsapó, leválasztó szelep





fázisában a blokk vízáramát lezárják, a motorolajhűtőn átfolyó hűtőközeg áramát is korlátozzák. A többi hűtendő egységben van hűtőfolyadék-keringetés (váltóolaj-melegítés, hengerfej, EGR-hűtés, turbóhűtés). A hengerfej hűtését is szétválasztották: a hengerfejsíkhöz közeli részek hűtése intenzívebb a felső terek hűtésénél. Az olajszivattyú szárnylapátos, folyamatos szállítás- és nyomásszabályozású.

E két közeg térfogatáram-, nyomás- és hőmérséklet-szabályozása már nem újdonság a motortechnikában, így erre itt nem térünk ki.

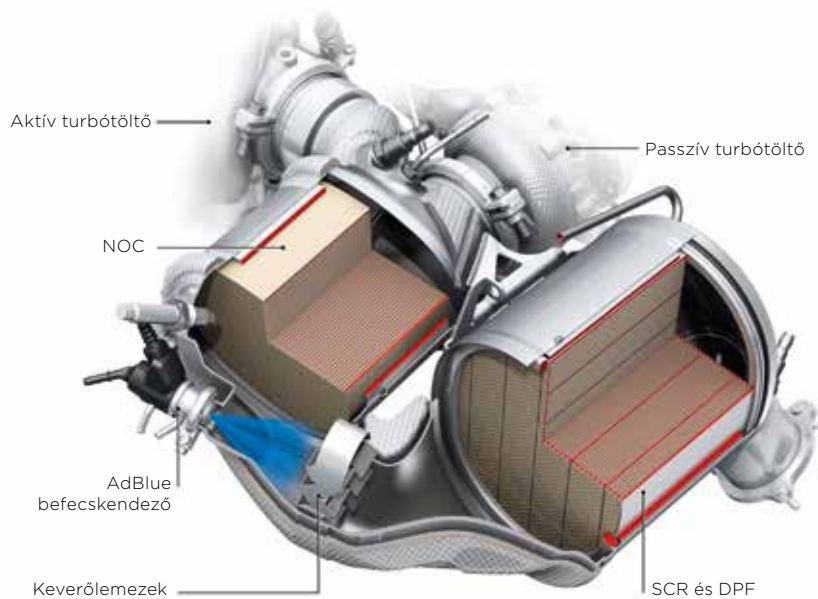
A common rail gázolaj-befecskendezés maximális railnyomása, az Audinál először, eléri a 2500 bar értéket. A piezoinjektor átfolyási értéke nagyobb lett (400-ról 430 ml/30 s). A kétdu-gattyús nagynyomású CR-szivattyú lökete 7,5 mm.

A vezértengely lánchajtású, melyet a lendítőkerék oldalra helyeztek. A CR-szivattyú hajtás is láncos, a vezértengely-hajtástól függetlenített. A vezértengely felső lánckerekei (vezértengelyenként egy-egy) tűgörgős csapágyazású közben-ső fogaskereket forgatnak. A közbenső kerék hajtja az egyik vezértengely fogaskerekét (itt jön létre a 2:1 áttétel) és az hajt át a másik vezértengelyre. A fogkapcsolódási zajcsökkentés végett a fogaskerekek osztottak.

#### EMISSZIÓTECHNIKA: A JÖVŐNEK IS MEGFELEL

A jövő követelményeinek is megfelelő kipufogógáz-tisztítás, azaz az emisszió-technika az Audi V6-TDI motorjánál már alkalmazott rendszer továbbfejlesztése. A V8-as motor maximális kipufogógáz-árama 1600 kg/h, ehhez kell a katalizátorok térfogatát illeszteni. A turbótöltők turbinájából kiömlő kipufogógáz közvetlenül jut a NOC-katalizátorba. Tehát a motornak csak egyágú tisztítórendszere van, nem úgy, mint a klasszikus V-motoroknak, ahol hengersonként találunk egyet-egyet. Ez az elrendezés számos előnnyel jár, a költsége is kisebb, gondoljunk csak a kevesebb jeladókra. A NOC egy oxidációs





NOC és DPF/SCR katalizátorok



Vízhűtésű AdBlue injektor

katalizátor (DOC) és egy NSC, tehát nitrogén-oxid-tároló katalizátor egyesítése, térfogata 2,37 liter. Kis motorterhelésnél a NOC szolgál a nitrogén-oxidok semlegesítésére és az oxidációra. A NOC–NSC semlegesítése hagyományos eljárással történik, ha megtelt, a dízelmotor keverékét kell rövid időre bedúsítani.

Nagyobb motorterhelésnél a  $\text{NO}_x$ -redukciót az SCR veszi át. Képeinken jól látható az AdBlue injektor elhelyezése. Az SCR egyesített a koromszűrővel, tehát a csatornák DPF-kialakításúak, térfogata 5 liter. Mindkét tisztításhoz szükséges katalizátorokat tartalmazza a gázátvezető vázkerámia. Szükség van még egy oxidációs (német megnevezéssel Sperr) katalizátorra is a gépkocsi hasa alatt, térfogata 1,7 liter. Ez oxidálja a korom kényszerregenerálásánál képződő szén-monoxidot (CO), a „túlsorduló” ammóniát ( $\text{NH}_3$ ) és a NOC-ból esetlegesen kilépő kénhidrogént ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

Az emissziótechnikai rendszer jeladói számosak. Nézzük meg, hogy egy, az USA-ba menő modellnél hányféle lehet! Kellenek gázhőmérők, szélessávú dízelszonda,  $\text{NO}_x$ -szonda, HC-szonda, nyomásmérők és diagnosztikai célú részecskeérzékelő szonda, magyarul koromszonda.

Ma minden dízelmotorgyártó messze előre néz, konstrukcióiknak meg kell felelniük az ismert, hamarosan életbe lépő előírásoknak, vissza kell szerezniük a dízelszonda kiváló tulajdonságait. A születő, ez évben már gyártásba kerülő dízelmotorok új generációt képviselnek, nekünk pedig meg kell tanulnunk újdízelül.

Forrás:  
Der neue V8-TDI-Motor von Audi, MTZ 2016/6 és MTZ 2016/7-8.; The New Audi V8-TDI engine - 37. Internationales Wiener Motorsymposium, 2016. Konzultáció a motorszimpózium Audi kiállítási standján.

Képek, fotók:  
[www.audi-mediaservices.com](http://www.audi-mediaservices.com); Nszl