



EA211 TSI evo

A VW BENZINES VILÁGMOTORJA

A VW 2005-ben mutatta be a TSI motorkonstrukciót, mely a világban is a közvetlen befecskendezésű, turbófeltöltött motorteknikában az élvonalas volt. A VW ezen az úton halad tovább a benzines motorépítésben. Az EA211 TSI motorcsalád 1,5 literes evo változata a konszern egyik alapmotorja lesz, mely a jövőre nézve is nemcsak minden környezetvédelmi előírásnak megfelel, de hatásfoka, motorfogyasztása jelentősen kedvezőbb, mint az 1,4 literes modellé, melynek felváltására készült. Írásunk az R4 1,5 literes evo műszaki újdonságait mutatja be. Ezzel az Otto-motorral nagyon gyakran fogunk találkozni, mert a VW szűkített motorpalettáján ez lesz az egyik leggyakrabban beépített erőforrás.



DR. NAGYSZOKOLYAI IVÁN

Ma a dízel kontra Otto-motor összevetésében az Otto-motor piaci megítélése kedvezőbb. A VW-konzern is újragondolta motorépítési, gyártási stratégiáját, melyben a dízel kissé háttérbe szorul és a benzinesek, gázosok, elsősorban a CNG és a villanymotor kerül előtérbe. Ennek szellemében született meg a továbbfejlesztett EA211-es sorozat „evo” tagja. Tekintsük át a TSI-generációkat és motorépítési jellemzőiket!

2005 – EA211

Ebben három motor volt.

R4 1,4 TC (kettős feltöltéssel – TwinCharger),

R4 1,4 és az R4 1,2 (egyturbós feltöltés, integrált közbenső hűtés, szűrkeöntvény hengerhüvelyek; az

1,2 literes kétszelepes, elektromos beavatkozával működtetett wastegate töltőnyomás szabályozású, turbótöltője rad-ax turbinageometriájú)

2011 – EA111

Ebben is három motor volt.

R4 1,4 - R4 1,2 – R3 1,0 (ACT-hengerlekapcsolás, könnyűépítés – 21 kg, integrált kipufogó-gyújtócső, blokkra közvetlenül felcsavarozott segédberendezések, élettartam fogazott szíjhajtás)

2016 – EA211 evo

R4 1,5 literes lökettérfogó, várhatóan többféle motorváltozat lesz (TSI evo elégetési eljárás, a világon az első nagyszériájú Otto-motor geometriás turbótöltővel (Honeywell VNT™), APS hengerbevonat, termomenedzsment modul).

Az „evo” motor főbb szerkezeti egységeit szemléltethetjük az ❶ ábrán.

FEJLESZTÉSI CÉLOK

Az EA211 evo az EA211 jól bevált alapjaira épül, de növelt lökettérfogattal (1,5 dm³), teljesítménye 96 és 110 kW. Ez a motor váltja fel lépésről lépésre az EA211 R4 1,4 motort és lesz az egyik legnagyobb darabszámban gyártott VW-erőforrás. A motort

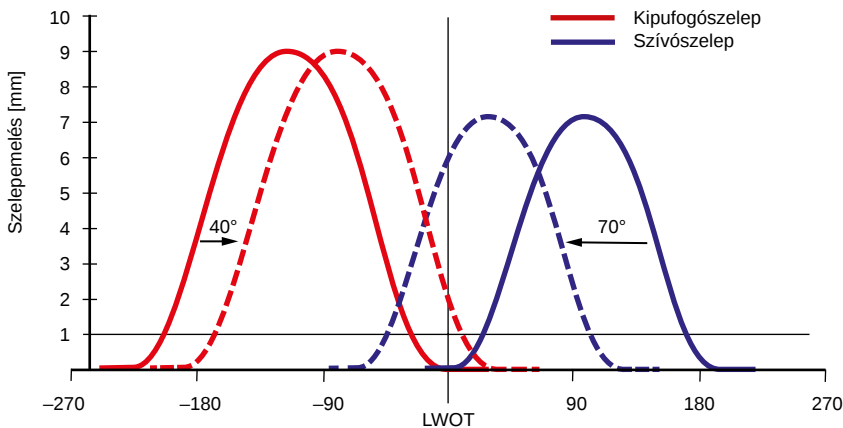
2016 negyedik negyedévében kezdik gyártani és fokozatosan cseréli le az 1,4 literes változatot. A motort 2020-ban a világ 14 helyén fogják gyártani, igazi világmotornak szánják (habár ezt a szót a VW nem használja). A „Global Produktion” Európában Salzgitter, Chemnitz, Mlada Boleslav és Győr, Kínában Changchun, Quingdao, Chengdu és a legnagyobb gyártóbázis Loutang. Ezen kívül Mexikóban Silao, Brazíliában Saó Carlos és Oroszországban Kaluga.

A VW Otto-motor palettaszűkítés az EA211 családban azt jelenti, hogy az MPI-motorokból a 4-ből kettő, ezek az 1,0 és az 1,5 literesek, míg a TSI motorcsalád is csak két tagból fog állni, ez az 1,0 literes és az 1,5 literes evo. Az új motor megadja a további fajlagos teljesítménynövelés lehetőségét, továbbá a hibrid járművekben való alkalmazást és a CNG-változat kialakítását is.

Az „evo” változat megalkotását, mint a világ minden motorgyártójánál, az egyre szigorodó CO₂-előírások indokolják. A VW meghatározó piacain a szén-dioxid-kibocsátási flottakövetelmények évenként kb. 4–5%-kal szigorodnak, szintjük csök-



❶



2

ken (2020-tól 95 g/km a célérték). Ma az EU28-ban a gyártói átlaga 119,6 g CO₂/km. Ennek teljesítése a belső égésű motoroknál erőteljes fejlesztésével és ezzel egyidejűleg az elektromos hajtás fokozott piaci megjelenésével lehetséges. A szik-

hatósági mérések feltételei is szigorodnak (RDE), így valóságosabb adatokat fogunk látni az adattáblákon, prospektusokban.

AZ ALAPKONCEPCIÓ

A VW számtalan eljárást megvizsgált a fogyasztáscsökkentés lehetőségei közül. Saját technikai adottságait is figyelembe véve (például az AVS szelepvezérlést), a Miller-ciklus egy speciális alkalmazását találta a leginkább célravezetőnek a fogyasztáscsökkentésben. A Miller-ciklusról tudjuk, hogy a szívási, illetve a henger friss levegővel való feltöltésének eljárása különbözik a hagyományostól.

„A Miller-ciklus termodinamikai körfolyamat, melyet négyütemű motorral valósítanak meg. Ralph Miller amerikai mérnök az 1940-es években fejlesztette ki a Diesel-ciklus módosításával. Célja az volt, hogy a nagy kompresszióviszonyú feltöltés Diesel-gépekben résztöltés révén korlátozza a túlságosan nagy csúcshőmérséklet kialakulását, amely a kenőolajfilm leégését, ezzel a motorok élettartamának csökkenését okozza. A résztöltést a szívószelep nyitási idejének korlátozásával oldotta meg. 4 ütemű Otto-motorok esetén szintén

megvalósítható a Miller-ciklus, amely a szelepvezérlés módosításával éri el a hatásfok javulását.” – olvashatjuk a Wikipédián.

A VW és az Audi konstruktőrei a Miller-elvelet és vezetőlapát-állítást (VTG, VNT) turbótöltés-szabályozást kombináltak, hogy a kompressziómunkát csökkentsék és az expanziós viszonyt növeljék. A motor részterhelésen korai szívószelepzárással működik, tehát a szívószelep az alsó holtpont előtt zár. Ezt követően még az alsó holtpont felé halad a dugattyú és így növeli a már zárt hengerteret, ebbe munkát fektet be, nyomáscsökkenést hoz létre. Az AHP után viszont a dugattyúra ható légköri (kartertéri) levegőnyomás viszszaadja az előbbi „ritkítási” munkát és a valódi kompresszió csak a korábbi szívószelep zárási szöghelyzetben, szimmetrikusan az AHP-ra kezdődik. Így tehát hiába nagy a motor geometriai kompresszióviszonya (12,5:1), a tényleges kompresszióviszony lényegesen kisebb. Ezzel a kompresszió végnyomás is csökken, mely számos előnnyel jár. A szívószelep nyitási tartománya 150° főtengely, de nyitási és zárási szöghelyzete attól függ, hogy a vezértengely-fá-



3

ragyújtású motoroknál a kipufogógáz szennyezőanyag-emisszió egyedül a részecske kibocsátás visszafogásában jelent nehézséget.

A fejlesztők a motorfogyasztás csökkentésére fókuszálnak, céljuk a hatásági mérési és a valóságos forgalmi viszonyok közötti fogyasztás nagy különbségének csökkentése. Várhatóan, sőt ez már biztos is, a



4



nyitott helyzetű. Mindehhez szükség volt egy nagyon gyorsan és pontosan szabályozható töltőnyomás-beállításra. Ezért esett a választás a nagysorozatú Otto-motor-gyártásban először elektromos állítású „geometriás” turbótöltőre ③, ④. A turbótöltőt a Honeywell szállítja, ahol az ún. „geometriás” állítás megnevezése VNT™ (variable nozzle turbine). Természetesen a töltőlevegő-visszahűtés (közberső hűtő, intercooler) itt is indirekt, tehát a motorra szerelik a töltőlevegő/víz visszahűtőt. Az előd motorhoz képest (EA211 1,4 liter) az elhelyezésen változtattak: a kompresszorból kilépő levegő közvetlenül a közberső hűtőbe lép be és utána találjuk a fojtószelepegyeséget ⑤.

Közbevetés: az Audi 2,0L-TFSI-Motor-Gen.3-MLBevo motorja – melynek bemutatását következő számaink egyikébe tervezzük – szintén a Miller-elv szerint működik, de ennél a motornál nincs hengerlekapcsolás, így a Miller-ciklusban AVS-váltással kétféle szívóbütyökkel tud dolgozni.

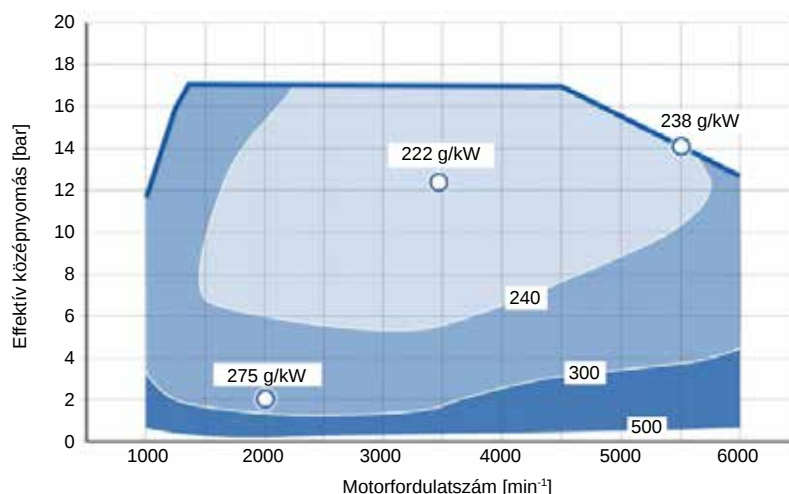
AZ EREDMÉNY MEGGYŐZŐ!

A motor a teljes terhelési tartományban $\lambda=1$ légviszony-tényezőjű keverékkel üzemel. A motor fajlagos tüzelőanyag-fogyasztása ⑥, annak mi-

ziszállítási hová helyezi. Tudjuk, hogy a szívó vezértengely szögállítása 70° ft tartományú, a kipufogóé 40° ft. Rajzról leolvasva ② a szívószelep nyithat az FHP előtt 55° ft-nél, illetve 15° ft az FHP után, ennek megfelelően a szívószelep zárhat az AHP előtt 85° ft helyzetben, illetve 15° ft helyzetben. Tehát a szívószelep az alsó holtpontban minden esetben zárva van! Ennek ma használt angol rövidítése EIVC (early intake valve closing), azaz korai szívószelep-zárás. A munkaütem ún. expanzióviszonya a kompresszióviszonnyal geometriailag azonos. A valóságban a tényleges kompresszió-, illetve expanzióviszonyt zárt terek között állapítjuk meg. Mindenesetre a valóságos expanzióviszony a Miller-motornál, így az „evo”-nál is jóval nagyobb, mint a tényleges kompresszióviszony.

Már csak a legnehezebb kérdést kell megoldani: a mindenkor motormunkaigénynek (melyet a vezető támaszt a menetvezérlő pedállal, „régén” ezt gázpedálnak neveztek) megfelelő levegő-

mennyiséget kell a hengertérbe juttatni. És ami még nagyon fontos: amennyire csak lehetséges, nem a gáz- (bocsánat, a menetvezérlő) pedál állásával, tehát fojtással, hanem a turbótöltő szállításával, a vezértengely-fázisállítással érjük el. Ha nem a gázpedállal vezérlünk, a töltetcsere munka csökken, ezzel nő a hatásfok. Az EA211 terhelési jellegző nagy tartományában a fojtószelep



nimális értéke (222 g/kWh) és kedvező fajlagos fogyasztási mezőinek területe az Otto-motorral és ezzel a technikával az elérhető legjobb. A szokásos nemzetközi összehasonlítási pontban (2000 min⁻¹ és 2 bar effektív középnyomás) a fajlagos fogyasztás 275 g/kWh.

Ha a turbótöltő pozitív munkaterületét is megnézzük **7**, akkor azt látjuk, hogy a töltetcsere munka jelentős tartományban pozitív, tehát a töltőlevegő a töltésnél nyomja a dugattyút lefelé és ez a munka nagyobb, mint amit a kipufogó üzemben, a gázkitolásnál pluszba kell befektetni. Ez is hozza a „konyhára”.

Ezek után nézzük meg az eredményt **8** a korábbi 1,4 literes TSI-motorhoz viszonyítva, a javulás %-os értékei az egész terhelési jellegmezőben jelentkeznek. A kis motorterhelésnél mutatkozó nagy %-os javulás nem az ACT-nek tudható be, mert azt az előd motornál is alkalmazták. Az ACT a hengerüzem-lekapcsolás, tehát kis motorterhelésnél csak két henger, az 1-es és a 4-es dolgozik. A 2-es és 3-as szelepeit az AVS büttyök-váltó mindkét hengernél zárva hagyja. Mindezekből a gépjárművezető kb. 1 liter/100 km fogyasztásjavulást érez a korábbi 1,4 literes motorhoz viszonyítva. A gyártónak pedig kb. 10% CO₂-ki-bocsátás-csökkenést hoz.

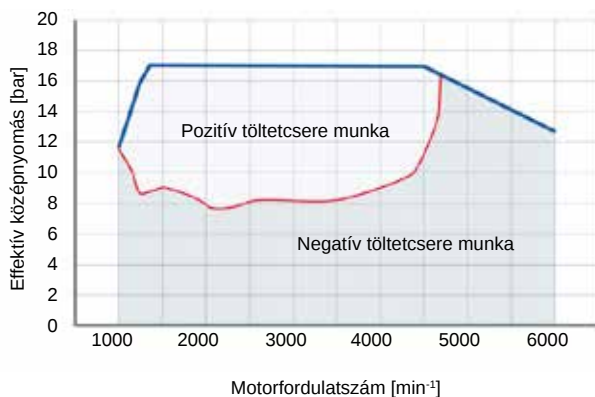
A benzinbefecskendező rendszer a VW közvetlen befecskendezés 4. generációja. Ezt is common rail néven említi a szakma. Most először éri el a maximális

MOTORADATOK

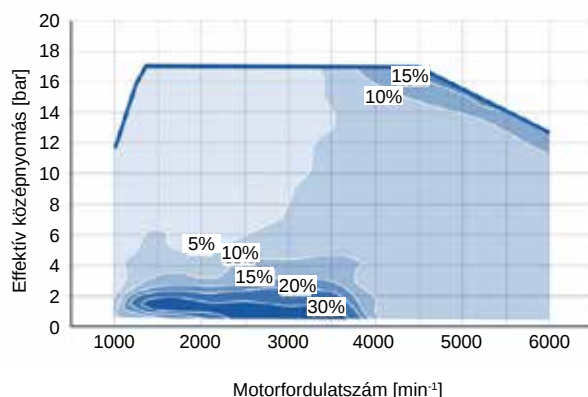
Megnevezés	EA211 1,5 dm ³ TSI evo
Teljesítmény	96 kW / 4750–5500 min ⁻¹
Maximális forgatónyomaték	200 Nm / 1300–4750 min ⁻¹
Lökettérfogat	1498 cm ³
Motorelrendezés/hengerszám	soros, 4 henger
Furat	74,5 mm
Löket	85,9 mm
Löket/furat viszony	1,15
Geometriai kompresszióviszony	12,5:1
Szelepek száma	2–2
Szívószelep-emelés	7 mm
Kipufogószelep-emelés	9 mm
Szívószelep nyitvatartási tartomány (1 mm-es szelepemeléstől)	150 °ft
Kipufogószelep nyitvatartási tartomány (1 mm-es szelepemeléstől)	180 °ft
Szívószelepek egymáshoz vett hajlásszöge	13°
Kipufogószelepek egymáshoz vett hajlásszöge	18,9°
Szívó vezértengely fázisállítási tartomány	70 °ft
Kipufogószelep fázisállítási tartomány	40 °ft
Fázisállítás sebessége	300 °ft/s
Vezértengelyhajtás	fogasszíj
Motorblokk	könnnyűfém, APS felületkezeléssel (110 kW-os motornál)
Kipufogó-gyújtócső	hengerfejbe integrált
Közbenső hűtő visszahűtés	15 K a környezeti levegő hőmérséklet felett
Maximális befecskendezési nyomás	350 bar
Maximális kipufogógáz-hőfok	880 °C
Motorbenzin	ROZ 95 E10
Motorolaj	0W-20

railnyomás a 350 bart. A nagynyomású szivattyú egy munkahengerű, kipufogó vezértengelyről négy büttyökkel hajtott. Szerkezetében a növelt nyomáshoz illesztett. A befecskendezőcsúcs átmérő-

je 6 mm. Furatszama 5, a fúvókafuratok átmérője különböző és aszimmetrikus elrendezésű, egyedi sugárirányúak **9**. Az ezzel (is) elért keverékképzés révén (kisebb tüzelőanyag cseppméret) a mo-



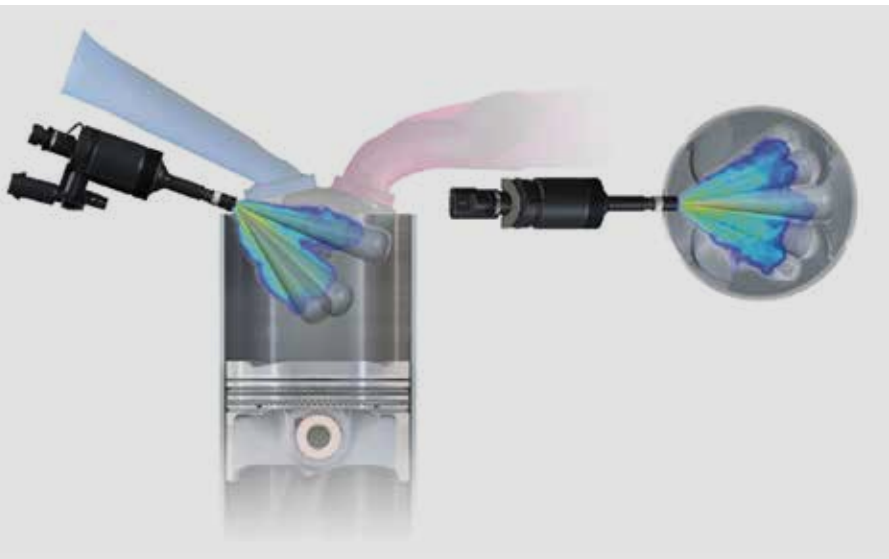
7



8

A MECHANIKAI VESZTESÉGEK CSÖKKENTÉSE

A motor mechanikai veszteségét a sűrítési veszteség és a segédberendezések hajtásának munkája határozza meg. A motor szerkezeti sűrítődásán belül a dugattyú-hengerfal-gyűrű alkatrész-csoport meghatározó. A könnyűfém motorblokk henger futófelületét a 110 kW-os motornál ún. APS-eljárással (atmosphärisches Plasmaspritzen – atmoszférikus plazmaszórás) kezelik **10**. A felületre felhordott finomszemcsés réteget **11** ehhez optimalizált hónolással alakítják a végső felületi struktúrára.

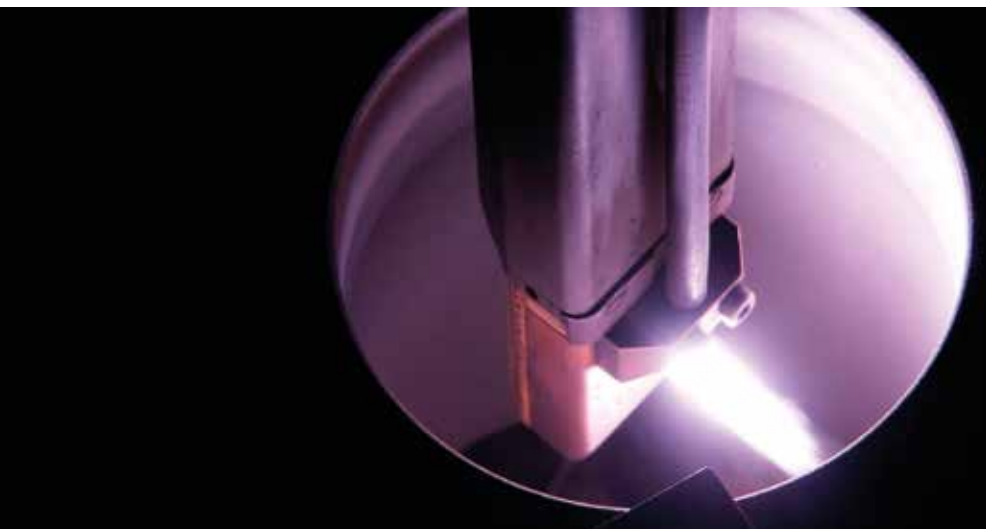


9

tor PM- (részecske) kibocsátását tudták csökkenteni. Nagy gondot fordítottak a ciklusazonos befecskendezési mennyiségek elérésére (az ún. shot-to-shot szórás csökkentése). A befecskendezőrendszer egy ciklusban 5-szörös befecskendezésre ad lehetőséget. A hengertéri levegő és keverékáramlás kialakítására is nagy figyelmet fordítottak. Ennek (és a jó hűtés) eredményeként csökkent a motor kopogási hajtama. A lángfront egyenletes határvonalú, gömbszerű terjedésű, nincsenek különálló égési góccok, lángszigetek.



10



11

Ezzel kialakulnak az olajtároló táskák, nagy lesz a kopásállóság, kisebb a gyűrűk siklási ellenállása. További előnye a jó hővezető képesség és a világ több országában kapható nem túl jó minőségű tüzelőanyagokkal szembeni ellenállóság, korrózióállóság. A motor termomenedzsmentje, valamint a kenőolaj-ellátása jellegmező vezérelt. Ez a mindenkor szükséges és elégséges folyadékszállítást jelenti. Például a motor felmelegedési fázisában nincs hűtőközeg-áramlás. A **12** ábra a hűtésvezérlő egységet, a **13** ábra a folyamatosan változtatható szállítási olajszivattyút mutatja.



12

Az első főtengely fekvőcsapágy polimer felületi bevonatú 14. A motorolaj 0W-20 besorolású (lásd az Autótechnika 2016/7. számában az erről szóló cikkünket!).

MOTORSZABÁLYOZÁS

A motor szabályozását új, kifinomult szoftvercsomagra bízta, ahogy a német fogalmaz, „teljesen új, nagy

komplexitású stratégia” kellett az elődhöz képest. A Bosch új motorECU generációt készített, egy többmagú processzorral, 4 MB-tal megnövelt flash memóriával. A programelemeket az elődhöz képest 75%-ban módosították, illetve új elemeket tartalmaz, a szabályozás nyomatékigény alapú, melyet a töltetmennyiség határoz meg. Például ezért szükséges, hogy a kipu-



14

fogási ellennyomás is ismert legyen, így a turbótöltő előtt mérik a kipufogógáz nyomását.

A pontos töltetmennyiség beállításához egyedileg ismerni kell a vezérlés jellemzőit. Ennek egyedi értékét Data Matrix Code formában a szelepfedélbe lézerrel beírják. Ennek értékét kell az új vagy a csere ECU installálásánál beolvasni.

A későbbiekben a gyakorlat fogja megmutatni, hogy az ilyen „kés élére” állított motorszabályozás mennyire fogja tolerálni az üzemeltetés nem éppen kíméletes viszonyait, milyen gyakran fog MIL-, illetve Check Engine lámpát kigyújtani. És mit tudnak ezzel majd kezdeni az autószerelők? ■

Forrás:

Dipl.-Ing F. Eichler,
dr. W. Demmelbauer-Ebner,
dr. J. Theobald, dr. B. Stiebels,
dr. H. Hoffmeyer, Dipl.-Ing. (FH) M
Kreft, Volkswagen AG: Der neue
EA211 TSI®evo von Volkswagen. 37.
Internationales Wiener
Motorensymposium, 2016.
www.volkswagen-media-services.com
<https://www.youtube.com/watch?v=Vr-vXbluHtiA> – a konferencia-előadás



13