



Dízel hibrid a versenypályán

Audi R18 e-tron quattro

A '90-es évek közepe óta újabb és újabb autósport kategóriában mutatkoztak be a dízelmotoros versenyautók, s tegyük hozzá, általában igen sikeresen. Ezek közül is kiemelkedik a Le Mans-i 24 órás, a világ talán leghíresebb megbízhatósági autóversenye, ahol 2006 óta verhetetlenek a gázolajosok. Idén júniusban – csakúgy, mint az ezt megelőző két évben – az Audi R18 bizonyult a leggyorsabbnak. A pályaversenyzéstől igen szokatlan dízel-hibrid-négykerék-hajtás kombinációt felvonultató autó igazi mérnöki remekmű.

Le Mans hagyományosan nagy teret enged a technikai újdonságoknak – sőt, a szervezők igyekeztek mindig olyan szabályokat alkotni, mellyel nemcsak követték, hanem diktálták is az előrelépést – így a 2000-es évek közepén a szabályok az autóiipari trendeknek megfelelően nyitottak a dízeltechnika felé. Először az Audi csapott le a kínáló lehetőségre, és miután a 3,4 literes, V8-as TFSI-motorú – azaz turbós, közvetlen befecskendezéses – R8-cal, illetve az azonos műszaki alapokon nyugvó Bentley Speed8-tel az ezredforduló óta verhetetlenek voltak, gondoltak egy merészet, és megalkották az R10 TDI-t. Így az 1949-ben bemutatkozó Delettrez után másodszor száguldott dízelautó a francia klasszikuson. A V12-es, iker-turbós, 5,5 literes motorú Audi három évig utolérhetetlen volt, s mint az első gázolajos győztes, örökre beírta magát a 24 órás

történelemlékönyvébe. Az utód V10-es R15 először még vereséget szenvedett a nagy ellenfél 908 HDi FAP Peugeot-tól, de 2010-ben a változtatható geometriájú turbónak is hála, sikerült visszaülni a négykarikásoknak a trónra.

A 2011 óta alkalmazott, jelenleg is érvényben lévő szabályok amellett, hogy lehetővé tették hibrid autók nevezését, elsősorban a „downsizing” jegyében születtek. A motorok csökkenő méretei (immár 3,7 liter a maximum a dízeleknek) új kihívásokat jelentettek mindenkinek. Az ingolstadtiai válasza a V6-os, monoturbós R18 volt, mellyel azóta is verhetetlenek Le Mans-ban, ráadásul az elmúlt két évben a hibrid verzióval, az e-tron quattro-val nyertek. Ezzel kétszeresen is beírták magukat a verseny történelemlékönyvébe, mivel így az első hibrid és az első négykerék-hajtású diadal is az ő nevükhöz

fűződik, és nem mellékesen, az éppen most életre hívott hosszú távú világbajnokság (WEC) elsőségét is bezsebelték vele.

A karosszéria

Az R18 legszembevetőbb változása az elődökhöz képest a zárt karosszéria volt. A német márka hagyományosan a nyitott karosszériát preferálta, de az új szabályok miatt a jó fogyasztás, a gazdaságosság is előtérbe került, ezt pedig a kisebb légellenállást biztosító kupéval könnyebb volt elérni. Nem hanyagolhatóak el a biztonsági szempontok sem, hiszen az elmúlt években számos olyan baleset történt az autóversenyzésben, amikor egy leszakadó alkatrész a következő, nyitott autót vezető pilóta fejének, sisakjának csapódva okozott komoly sérülést. Az Audi azonban már itt sem a hagyományos

utat választotta: a korábban széleskörűen alkalmazott, két részből készült zárt prototípusok karosszériájával ellentétben az R18 karbonváza egy darabból van, amely megoldás csökkenti a tömeget és növeli a merevséget. Az új utascella **1** rögtön az első évben bebizonyította jóságát, miután Allan McNish és Mike Rockenfeller is sértetlenül szállt ki az autójából a két, igen emlékezetes baleset után.

Egy év után a mérnökök további diétára fogták az autót. Ennek legjobb példája, hogy az Audi teljesen karbonszálas váltóházat fejlesztett az R18-hoz. Ilyen egyes részeiben korábban is volt, de ettől kezdve a felfüggesztés elemei is ehhez kapcsolódnak, nem alkalmazva külön egy vékonyfalú fémlémezt erre a célra a karbon alatt. Az F1-ben már évek óta használják ezt a megoldást, de Le Mans-ban eddig nem volt rá szükség, illetve a megbízhatóság sokkal fontosabb volt, ezt pedig a hagyományos fémházzal könnyebb volt elérni, mivel jobban bírta a nagy hőmérsékletet és a kerekektől érkező terhelést. 2011 óta szinte mindegyik LMP1-es (Le Mans Prototype 1) kategóriában versenyző csapat a szélesebb hátsó kereket szereli előre is, a nagyobb mechanikai tapadás elérése miatt. Ahhoz azonban, hogy a széles „papucsok” adta előnyök kihasználhatóak legyenek, nagyobb súlyterhelést kellett az autó elejébe helyezni. Amikor az Acura (Honda) az amerikai Le Mans szériában 2009-ben megkezdte ezt a trendet, hasonlóan gon-



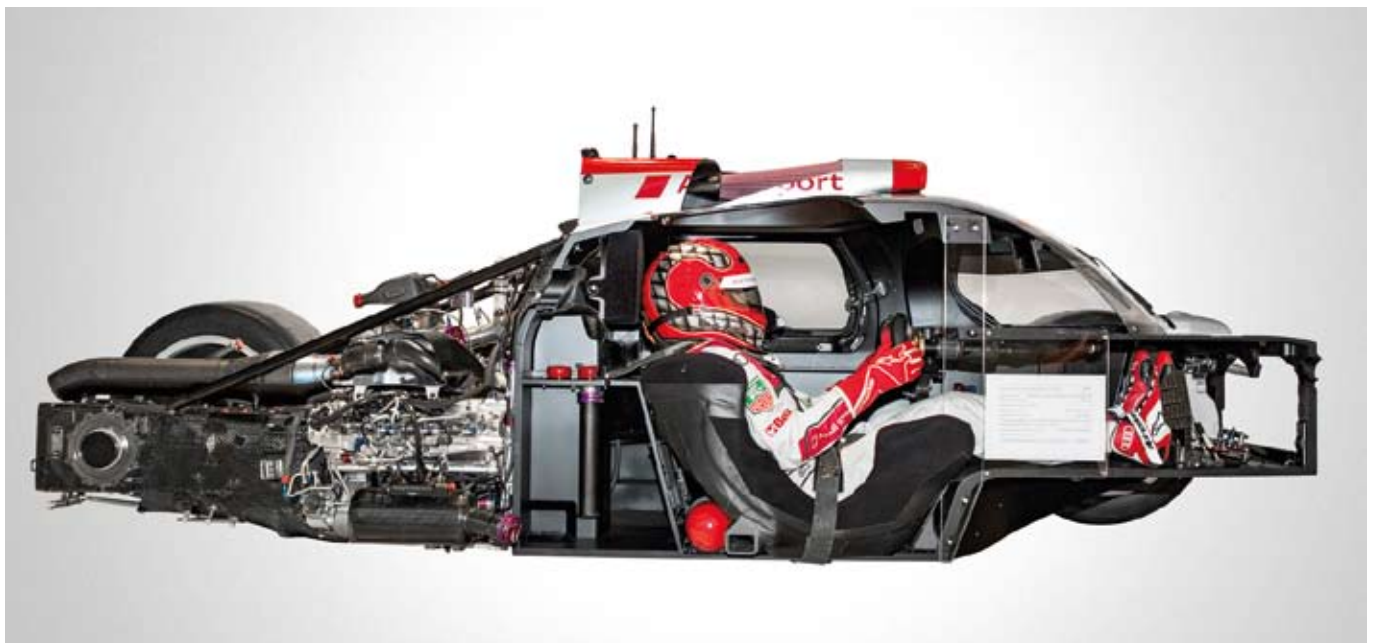
2 Quattro módban a hátsó kerekeket a belső égésű motor, az elsőket az elektromotorok hajtják

dolkodott: tömegcsökkentés mindenhol, vékonyfalú váltóház, majd egy 100 kilós acéllemez az autó orrában alul. Az Audinak nem volt ennyire könnyű dolga, hiszen a benzineseknél jóval nehezebb V6-os dízel ólomként nehezedett az autó farában, s ráadásul emellé kellett az R18-ba betuszkolni a kb. 80 kilós hibrid hajtást is. Itt látszott meg igazán a mérnökök zsenialitása, hiszen az autót a kezdetektől fogva úgy tervezték, hogy a hibrid hajtás százszázalékig illeszkedjen a versenygéphez, miközben a széles első kerekek problémáját is kezelni kellett. A tálcán kínálgató megoldás az első kerekek

villanymotoros hajtása lett, melyek így plusz súlyként is nehezedtek az első kerekekre. Az Audi ráadásul egy igen jól csengő márkanevet is bevezethetett Le Mans-ba, hiszen itt is bemutatkozhatott az Audi specialitása, a „Quattro” **2**

Hibrid hajtás

A hibrid hajtást az R18 a testvérmárka Porschétól örökölte. Még 2010-ben, a 911 GT3 R Hybrid verziójában mutatkozott be a Williams F1 csapatának 2009-re fejlesztett (de nem használt) KERS-rendszere. Ennél a



1 A félbevágott R18-nál jól látszik a pilótákat védő vastos A oszlop. Öröm az örömben, hogy a látószöveget nagymértékben kitakaró elemnek „hála”, több kisebb baleset okozói voltak az Audi pilótái az elmúlt években



3 Az autó szíve a 120°-os hengersizögű, VGT monoturbós V6 TDI. 2011-ben az év versenymotorjává választották

rendszerénél a vezető mellett található elektromechanikus, olajhűtésű lendkerék tárolja a fékezéskor visszatáplált energiát, melyet gyorsításkor az első kerekeknél lévő kettő (azokhoz bolygóművel és tengelykapcsolóval csatlakozó), egyenként 80 kW-s vízűtéses elektromotorok használnak fel. A fő elemek között egy nagyfeszültségű vezeték teremt kapcsolatot, illetve mindkét részegységnél van egy-egy vezérlőelektronika is. Igazi kuriózum a lendkerék, melyet a hagyományos elektromos géphez képest kifordítottak, azaz az állórész van belül, a forgórész pedig kívül. A forgórész fékezés során percnként 40 000-es fordulatra pörög fel, s teszi mindezt légüres térben, így hosszú ideig tudja tárolni az energiát nagyobb veszteségek nélkül. A forgórész lelket pedig egy felmágnesezett kompozit adja, amely technológiát urándúsító üzemekhez fejlesztették ki Nagy-Britanniában.

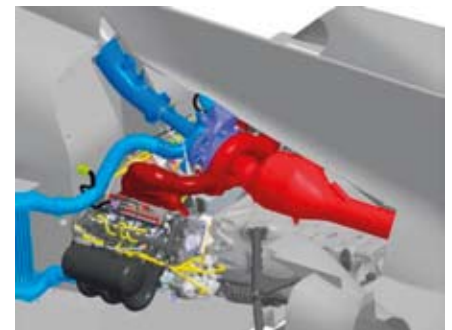
A hibrid rendszert illetően az Audi kezét a szabályok is kötik. Minden versenypályán előre meghatározzák azokat a pontokat, ahol az energia-visszatáplálással élni lehet. Ez jellemzően azokat a féktávokat jelenti, ahol az autó legalább 2 g-vel lassul, és ez az állapot legalább 1 másodpercig fennáll. Le Mans-ban hét ilyen féktáv is van, ezeken a pontokon lehet feltölteni maximálisan 500 kJ energiával a megengedett kapacitással bíró energiatárolókat. Innen kiszámítható ($t=E/P$), hogy egy-egy kigyorsításnál maximum 3,125 mp-ig segít be a 160 kW-os

hibrid hajtás. További fontos megkötés, hogy négykerék-meghajtású hibrid esetén az első tengelyek hajtása csak 120 km/h felett léphet be. Ez normál körülmények között nem jelent igazi hátrányt, mivel a 13,5 kilométeres Le Mans-i pályán mindössze három olyan pont található, ahol ez alá esik a sebesség. Nedves vagy esős körülmények között azonban könnyen a vezetést segítő rendszerré lehetne várnálni az elektromos hajtást (mint ahogy tették azt a Porsché-ban), hatalmas előnyhöz juttatva az ellenfelekkel szemben az R18-at. A szóban forgó szabály egyébként az egykori nagy ellenfél Peugeot-nak köszönhető, aki erősen lobbizott ezért a reguláért, jól ráérezve, hogy az Audi milyen megoldást tervez majd az autójába. Szintén fontos, hogy az ACO (l'Automobile Club de l'Ouest – a versenyrendező és szabályalkotó) a jelenlegi hibrid szabályoknál a közúti alkalmazást is figyelembe vette: az ERS (Energy Recovery System) nem előzésre szolgál („push to pass”) mint az F1-ben, hanem, mint egy átlagos autóban, a vezető külön kérése nélkül segíti a gyorsulást (vagy a gazdaságosság növelését). Itt érdemes megemlíteni, hogy Le Mans-ban is jól látszik a hibrid fajták sokfélesége, a kezdeti útkeresés, mivel az eddigi megoldások mind-mind eltértek egymástól. A Hope Racing teljesen mechanikusan (Flybrid), az Audi elektromechanikusan, a Peugeot versenyig sosem jutó hibridje akkumulátorokban, a Toyota autója pedig kapacitásokban tárolta a visszanyert

energiát. A négykerék-hajtás azonban nem csak előnyökkel jár. Mivel az első kerekeket már nemcsak kormányozzák, hanem hajtják is, a gumik nagyobb és összetettebb igénybevételnek vannak kitéve. A pilótáknak is figyelniük kell, mert a világbajnokság kanyargósabb pályáin, egy-egy kanyarban, ahol az első kerekek tapadása már egyébként is a hátrón van, akkor a hirtelen belépő plusz hajtás még egy kicsit többet követelne tőle, de mivel a gumiban már nincs tartalék, az autó megcsúszik. Ezt a káros hatást elsősorban a versenymérnökök tudják megelőzni, mivel a rendszert minden pályára külön-külön lehet hangolni. További hátrány, hogy meghibásodás esetén az egész rendszer egy fölösleges nehezék lesz az autóban, sokkal rosszabbul elhelyezve, mintha az csak egy egyszerű balasztsúly lenne.

A motor

Az Audinál minden bizonnyal az autó dízelmotorjára a legbüszkébbek. Le Mans-ban a motorral szemben támasztott főbb követelmények közé tartozik a nagy nyomatké széles fordulatszám-tartományban, a kis fogyasztás, és természetesen a hihetetlen magasfokú megbízhatóság. Csak összehasonlításképpen: 2012-ben egy F1-es autó húsz futam alatt 6095 km-t tett meg nyolc motorral, míg a győztes Le Mans autó 24 óra alatt megközelítőleg ennek 85%-át, 5151 km-t, természetesen egyetlen motorral. A korábbi években azonban, amíg kevesebb F1-futam szerepelt a versenynaptárban, a P1-es versenyautók jellemzően több versenykilométert tettek meg egy nap alatt, mint F1-es társaik egész évben! A hosszú verseny miatt a pilóták komfortja érdekében az alacsony zajszint és a rezgések csökkentése is nagyobb szerepet játszik, mint más versenyágakban. Van még egy érdekes Le Mans specifikus szabály, mely az erőforrás-



4 „Hot side inside” elrendezés. A kipufogórendszer részecskeszűrőt is kapott

soknak különleges igénybevételt jelent: a motorokat a boksza állásakor, a kerékcseré és a tankolás, vagy bármilyen szerelés idejére ki kell kapcsolni, majd elindulásakor újra beindítani (ez 1925 óta van érvényben, ekkor ugyanis a szervezők kötelezővé tették az elektromos indítómotorok alkalmazását, elősegítve ezzel ezen eszközök fejlesztését). A motor alapkonceptiója egy kompakt V6-os TDI alkalmazása volt. A széles, 120°-os hengersizög egység súlypontja a nagy löket miatt ugyan még így is magasabban van mint egy V8-as, 90°-os motoré, de a kisebb motortömeg, és a közel 20%-kal rövidebb beépítési hossz az Audi számára kedvezőbbnek tűnt.



5 A Garrett turbóképe

A nagy hengersizögnek köszönhetően a turbó a hengersorok közé kerülhetett **4**, s mivel a zárt karosszéria miatt a beömlő a pilótafülke tetejére került (ez aerodinamikailag kedvezőbb, mint az oldalsó beömlők), a friss levegő a lehető legrövidebb és legsimább utat kapta a kompresszorig. A kipufogócső szintén rövidre és egyenesre készíthetett, tehát a gázok ugyanolyan minimális áramlási veszteséggel távoznak a motorból, mint ahogy érkeztek. Az egyetlen turbó alkalmazása **5** a csökkentett motorméreték miatt válhatott olyan versenyképessé, mint az ikerturbós megoldás (jóval kisebb a szükséges levegő tömegárama). A jó reakcióképességet pedig változtatható geometriájú turbina vezérlőlapátózással érték el (VTG), illetve azzal, hogy a turbinára a két hengerről külön-külön csatornákon, közvetlenül áramlik a kipufogógáz a lapátokra. A maximális turbónyomást a szabályok határozzák meg 2,8 bar-ban.

A „V” elrendezés miatt teljesen teherviselő motor blokkja alumíniumból készült **6**, a

hengerek felületét pedig Nikasil-eljárással kezelték. Az omega égésterű dugattyúk a nagy terhelések miatt acélból készültek. A nagy égési csúcsnyomás miatt a mechanikai igénybevétel nagy, s a nagy méretek miatt pedig a hő elvezetése volt kulcskérdés, utóbbi egy-egy dugattyú hűtéséről ket-tő olajsugár is gondoskodik. A szintén acél hajtórudakon át jut az erő a nagy merevségű főtengelyre, onnan pedig a hatfokozatú váltóhoz. Az alumínium hengerfejekben hengerenként négy szelep található, a common-rail befecskendezőrendszer maximális nyomása 2800 bar.

De mennyi is az annyi? A motor legnagyobb teljesítménye a hivatalos források szerint 490 LE (kb. 4500 min⁻¹ fordulatszámon), de a valóságban ez vélhetően jócskán meghaladja az 500 LE-t, míg a nyomaték 850 Nm feletti (3500 min⁻¹). A benzines ellenfelek nyomatéka 380 Nm körül található, de az eltérő fordulatszámok miatt a kerekeken átadódó, az autót gyorsító vonóerő nagyjából megegyezik. Az autó végsebessége 320 km/h, a verseny átlagsebessége a sok hosszú egyenes szakasznak köszönhetően nagy, 200 km/h körüli. Ezekhez a mutatókhoz viszont félelmetesen jó fogyasztási adatok tartoznak. A 2013-as versenyről még nincs hivatalos információ, de a 2012-ben győztes Audi 33,5 l/100 km-es fogyasztása több mint tiszteletre méltó!

A 24 órás egyik „romantikája”, hogy bár az első helyhez manapság már hibátlan verseny szükségeltetik, egy-egy nagyobb szerelés

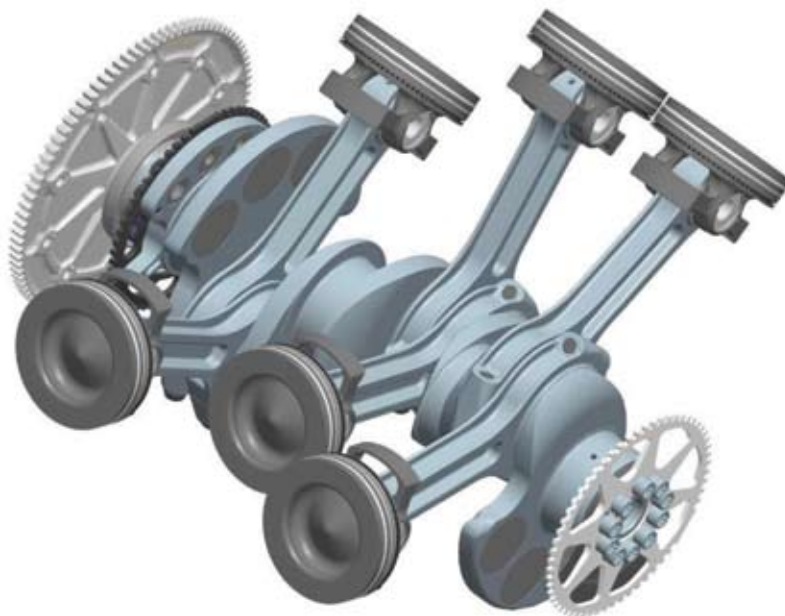


6 Motorblokk és forgattyús ház

után is bőven van idő javítani a helyezésem, és végül egy tisztes eredményt elérni. Más autóversenyekkel ellentétben itt egy félórás-órás szerelés is sokszor „belefér”, de, hogy minél rövidebb időt kelljen a bokszaiban tölteni, a tervezés során a szerelhetőségi szempontokra is oda kell figyelni. Az idei Le Mans-on a tavalyi győztes Audi-egységnek akadtak műszaki problémái: generátorcsere miatt 10 kört (kb. 30 perc) állt a bokszaiban, de a szerelők és a konstrukció kiválóságát mutatta, hogy ez idő alatt a komplett hátsó futómű-váltó egységet és a motort is kiemelték az autóból!

Az aerodinamika

Le Mans-ban a hosszú egyenesek miatt ez a terület is fontos szerepet játszik, igaz, már korántsem olyan mértékben mint 1990 előtt,



7 Forgattyús mechanizmus. Érdekes megfigyelni a dízelhez képest szokatlanul könnyed dugattyúkat



8 Csapatkép a város központjában tartott gépátvételtkor. A futamot a 2-es számú Audi és az Allan McNish, Tom Kristensen, Loic Duval pilótahármas nyerte. Kristensen az abszolút rekorder Le Mans-ban, kilenc győzelemmel

amikor a híres Mulsanne egyenest még nem osztották három részre két síkán kiépítésével. Akkoriban a hat kilométer hosszú egyenesben elért végsebesség határozta meg elsősorban a köridőt, emiatt az autók sebessége a 400 km/h-t közelítette. Ma már inkább a sebesség, leszorítóerő, fogyasztás hármas optimalizálása a fő szempont. Ehhez a zárt karosszéria a legfontosabb, de szokás mondani, hogy az ördög a részletekben rejlik. Így van ez az Audi esetében is, így következzen pár apróság, ami győztes koncepcióvá tette az R18-at. A versenydízel egyik nagy hátránya, hogy kb. 30%-kal nagyobb hűtést igényel, mint benzines vetélytársai. Hibrid autóknál pedig az elektromos egységek is plusz hűtést igényelnek, összességében tehát jóval nagyobb hűtőfelületre van szükség, ami viszont az autó aerodinamikáját jelentősen rontja. Az Audi, hogy ezt a hátrányt kiküszöbölje, kifejlesztett egy mikrocsatornás hűtrácsot, melyen 11 000 apró csövön halad át a levegő. A nyomásesés 25%-kal kisebb mint a hagyományos alumínium hűtrácsok esetén, azaz ennyivel kisebb lehetett a hűtőfelület, így végül az autó légellenállása is kedvező maradhatott. A Formula-1-ből ismerős megfűjt diffúzor is utat talált magának Le Mans-ba. Az R18 ideai versenyautóján a kipufogógázokat már közvetlenül a hátsó kerekek mellett az autó padlólemeze alá vezették. A diffúzor hatékonyságán így kétféleképpen is javítottak: egyrészt a forró gázok növelhetik a leszorítóerőt, másrészt így elválaszthatják a forgó kerekek által felkavart, örvénylő levegőt is a diffúzorban áramló légáramtól.

Az autóra nézve kettő, a biztonság szempontjából jelentős megoldás igazán szembeűnőd: az egyik a cápauszony, a másik a kerekek fölötti nyílások. Az elmúlt tíz évben sok olyan eset fordult elő Le Mans prototípusokkal, amikor nagy sebességnél az autó megcsúszott, majd a kerékjáratí ívekbe belekapó levegő az autót elemelte az aszfaltról. Az uszonyon olyan aerodinamikai nyomaték keletkezik ilyen esetekben, amely megakadályozza az autó túl magasra repülését és átfordulását a levegőben, míg a kerékjáratí ívek nyílásai már alapvetően megpróbálják lecsökkenteni a felszállás esélyeit.

Jelen és jövő

A 2013-as futamot az Audi R18 egy kör előnnyel, hibátlan versenyzéssel nyerte a második helyezett Toyota TS030 előtt. Így az ingolstadtiak – mindössze 14 indulásból – 12. elsőségüket könyvelhették el Le Mans-ban, melyből 7 alkalommal nyert TDI-motoros autó. Ezzel, és a Peugeot 908 HDi 2009-es győzelmével a korszak legellentmondásosabb „ügye” lett a dízelek 2006 óta tartó dominanciája. Hiszen míg nekik 3,7 literes turbómotor engedélyezett, addig a benzines ellenfeleknek 3,4 liter a legnagyobb megengedett lökettérfogat szívómotorra és mindössze 2,0 liter turbómotorra. A versenyt szervező ACO a levegőbeömlők szűkítőinek méretével, a turbónyomás maximalizálásával, valamint a tüzelőanyagtank méreteinek meghatározásával próbált egyenlőséget te-

remteni a benzines és a dízelautók között. Ez azonban egy igen nehéz feladat, mivel az autók-klub mérnökei csak az előző évi adatokra, valamint a számítógépes szimulációkra hagyatkozva tudták a szabályokat alakítani, ám a dízelekre jellemző folyamatos fejlődéssel képtelenek voltak lépést tartani. Az egyenlőség a pályán sem igazán látszott, emiatt pedig sok kritika érte az ACO-t, mondván a gázolajos gyártóknak szándékosan kedveztek a nagyobb publicitás érdekében. Tény, ami tény, az új technológiáknak és a korábbi Audi-Peugeot kettős párharcának köszönhetően Le Mans népszerűsége igencsak megnőtt az elmúlt években.

A szabályváltás azonban megérett, és a 2014-től érvényes regulák egészen új irányt jelölnek ki az autóversenyezés számára. Le Mans egy olyan jövő mellett tette le a voksát, mely a csúcskategóriás versenyezésben páratlan. Már a 2011 óta érvényes szabályozás is a „downsizing” jegyében született, de a 2014-től bevezetendő szabályok teljesen új alapokra helyezik a Le Mans-i versenyzést: az egy kör alatt felhasználható energia mennyiségét írják benne elő csak (a karosszériára vonatkozó szabályok mellett). Ez azt is jelenti, hogy a jövő 24 óráin a motorok és az autó hatékonysága minden korábbinál fontosabb lesz, miközben a tervezőmérnökök szinte teljesen szabad kezet kapnak az alkalmazható technológiák terén. Ez egyrészt elősegíti majd az új technológiák meghonosodását a versenypályán, s „vice versa”, a 24 óra alatti megpróbáltatások nagymértékben segíthetik ezen eszközöknek az utcai autókra való fejlesztését. Másrészt, az egyéb korlátozások hiányában igen változatos megoldások szülehetnek, mely korunk autóversenyezésében (egyenmotor, egyenkarosszéria) üdítő kivételnek számítana. A csavar a történetben, hogy az új szabályok szerint viszont már egyértelműen a dízel lenne az esélyes a nagyobb határfokával, így 2014-től őket kell majd visszafogni, hogy valódi verseny alakulhasson ki a pályán. Míg a nagy ellenfelek, a Toyota és a visszatérő Porsche biztosan benzines autóval indul majd, addig az Audi várhatóan megmarad a dízeltechnológiánál, sőt, a jelenlegi V6-os motor továbbra is versenyképes lehet. Az R18 Le Mans-i pályafutása tehát idén véget ért, de a hátról három győzelemmel az Audi bebizonyította, hogy a monoturbo V6-os TDI-motor az e-tron quattro hibrid hajtással, és a végtelenségig optimalizált karosszériával, nemhogy nem volt idegen a versenypályától, de a kor legjobb Le Mans-i prototípusát eredményezte.

REPACZKY VIKTOR