



Az Audi R8 LED-fényszórója

A 2007-es modellévű Audi R8-as volt a világon az első képviselője az újgenerációs autófényszóróknak, melyben fényforrásként kizárólag világítódiódákat (LED-eket) alkalmaztak. Az Automotive Lighting és az Audi igazi úttörőmunkát végeztek a design, a technika, a beépítés és a hatósági engedélyezés területén. A LED-ek a gépjárművekben is a jövő fényforrásai az alacsony energiafogyasztásuk, a hosszú élettartamuk és az egyszerű elektromos modulációjuk miatt.

1. BEVEZETÉS

A LED-ek legelső alkalmazása fényszórókban jelzőfényként történt, amikor az első hibrid modellek, pont 10 évvel ezelőtt, 2004-ben megjelentek (Audi A8L W12 stb.). Előtte egy évszázadon keresztül minden funkciót az izzólámpákkal valósítottak meg, egészen a késő '80-as évekig, amikor megjelentek a gázkisülésvilágítók, az úgynevezett xenonlámpák, melyek a tompított és a távfényt valósították meg.

A LED-fényforrások tulajdonságai alapvetően különböznek az izzólámpákban alkalmazott volfrámszáltól, és a xenonlámpákban létrejövő plazmától, mint fényforrásoktól. A nyitóirányú feszültség rákapsolása után a félvezetőből fényt emittál a LED. A fényszínt a valencia- és a vezetési sáv távolsága egyértelműen meghatározza. A sárga fényt az Alumínium-Indium-Galliumfoszfid (AlInGaP) félvezető közvetlenül állítja elő. A leghatásosabb út a fehér fény létrehozására, mely fényszóróban alkalmazhatóvá teszi a LED-et, az a foszforkonverzió: a kéken világító dióda, melyet Indium-Gallium-Nitrit (InGaN) félvezető állít

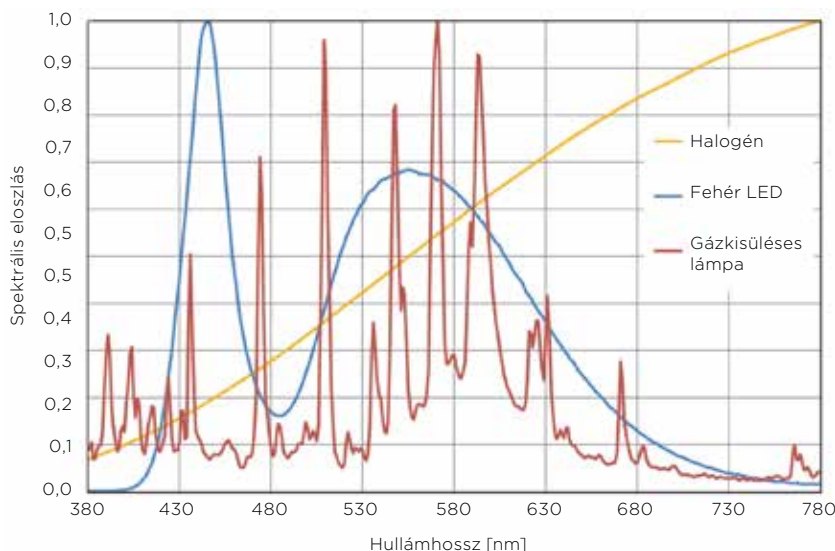
elő, tokozásába foszfort kevernek. Így a sárga és a kék fény keverékéből áll elő a fehér fény. Ez az 1. a ábrán is jól látszódik, ahol is a fehér fényű LED spektrális eloszlása látható. Ebben az ábrában fel van tüntetve a gázkisülésvilágítás („xenon”) és a halogén fényforrások spektrális eloszlása is. A b ábrán a különböző hullámhosszokhoz tartozó színek láthatóak az emberi szem érzékenységével, az úgynevezett láthatósági függvénnyel együtt (ez a függvény adja a magyarázatot a láthatósági mellyén színének megválasztásához is).



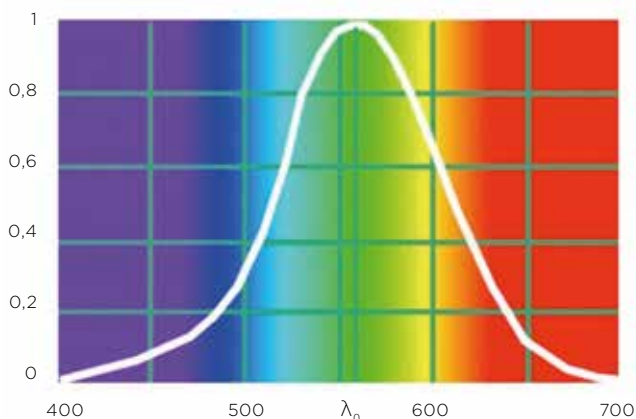
SZARKA JÁNOS

2. LED ÉS ÚJ KIALAKÍTÁSI LEHETŐSÉGEK

Az autógyártók vágyát egy összetéveszthetetlen gépjármű- és éjszakai megjelenést támogatják a kicsi félvezető-fényforrások pozitív tulajdonságai. A félvezetőknél nem tapasztalható mechanikus elhasználódás: a gépjármű élettartamához viszonyítva korlátlan élettartam az eredmény. Ez ismét csak új lehetőségeket nyújtott és nyújt a gépjármű orrkialakításában és motorterében, mivel nem szükséges szerviznyílásokat kialakítani, pl. az izzócseréhez.



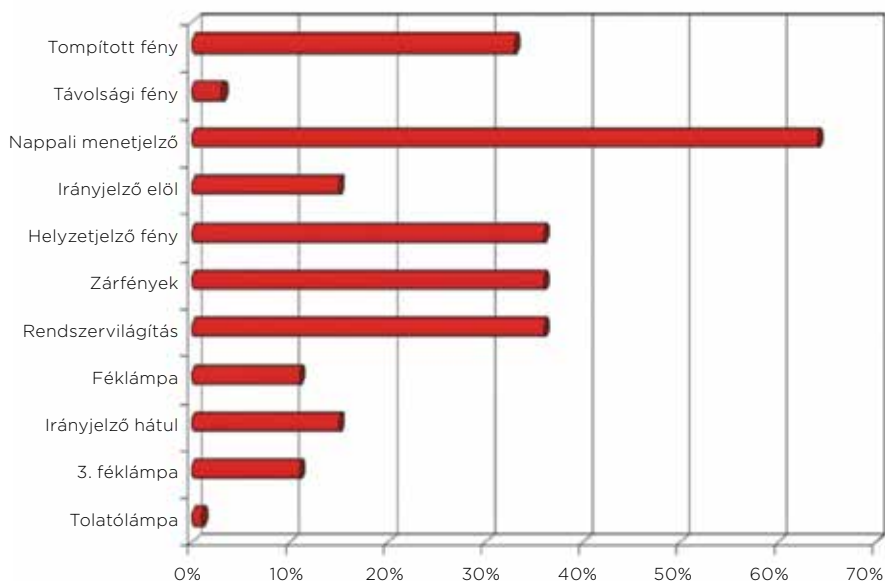
1a A jelenleg használatos fényforrások spektrális eloszlása, a hullámhossz függvényében



1b Az emberi szem érzékenységét megadó láthatósági függvény az adott hullámhosszokhoz tartozó színekkel



2 A LED új lehetőségeket nyitott a gépjármű- és márkaimázs kifejezésére



Új technológiákat csak akkor lehet sikeresen bevezetni, ha azt a piac elfogadja. A LED-ek vonzóvá teszik a gépjármű megjelenését, és egy igen jó felismerhetőséget kölcsönöznek. Az Automotive Lighting-nek és az Audinak sikerült közösen egy olyan technikai koncepciót kifejleszteni, mellyel az R8-as a teljes LED-világítás által egy újszerű, addig még nem látott érdekes megjelenést kapott 2.

3. A GÉPJÁRMŰ-VILÁGÍTÁS TELJESÍTMÉNY- ÉS ENERGIAIGÉNYE

3.1. Teljesítményfelvétel

A LED-ekkel egy addig nem látott potenciál jelent meg a teljesítményfelvétel csökkentésében. A gépjárműgyártóknak nem elhanyagolható teljesítményeket kell biztosítaniuk a világító és fényjelző berendezéseik számára. Különösképpen a hagyományosan kialakított gépjárművekben a megkívánt áramerősség akár az 50 A-t is elérheti. Ez nagy ráfordítást követel meg az egyes fényfunkciókat ellátó vezérlők alkatrészeitől. Az 1. táblázat képet ad az átlagos teljesítményfelvételtől és az azokból származó maximális teljesítményfelvételtől, melyet egy vezérlőegységnek ki kell adnia. Mint ahogy az 1. táblázatban látható, LED-del kb. 480 W-ot lehet megspórolni, ami kb. 36 A-t jelent 13,2 V-nál. Ez a fedélzeti vezérlőegységek kb. 75%-os teljesítményfelvétel-csökkenését jelenti. Nemcsak a vezérlőegységeknek kell ezt a teljesítményt bírniuk, hanem a generátort is a halogénrendszerhez kell kialakítani. A rézben kialakuló veszteségek, valamint demagnetizálás miatt a hatásfok $\eta < 0,7$, ami a generátornál sem elhanyagolható megtakarítási potenciálhoz vezet.

3 A külső világítás relatív használat-tartama per átlagos vezetett kilométer

**3.2. A gépjármű-világítás
használatartama**

Függetlenül a beépítési ráfordításoktól, a fényfunkciók kétségtelenül erősen különböző mértékben vannak használva. Az 1. táblázatban szereplő teljesítményfelvételek és a 3. ábrában szereplő átlagos használatartam alapján megállapítható a statisztikus átlagos energiafogyasztás per vezetett kilométer. A statisztikus kiértékelésnél látható, hogy a vezetett kilométerek 33%-a éjszakai, 67%-a nappali vezetéshez tartozik.

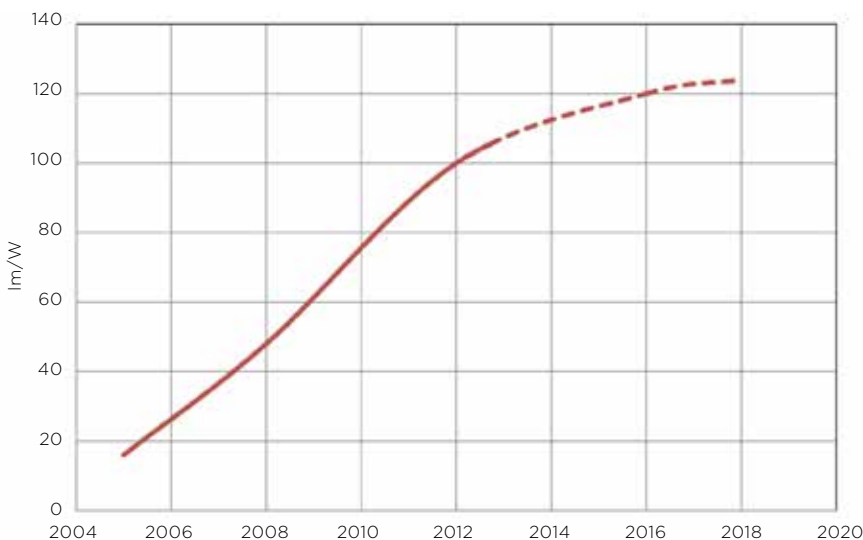
A 2. táblázatban látható adatok az átlagos energiafogyasztást mutatja per vezetett kilométer, ahol egy hagyományos technikájú gépjármű átlagos energiafogyasztása 130 W. Ezzel szemben egy LED-technikát alkalmazó gépjármű átlagos energiafogyasztása csupán 38 W/km, és így 92 W/km energiát takarít meg. Ez átszámítva 2,4 g/km CO₂, vagy kb. 70%-kal kevesebb primerenergia-ráfordítást jelent egy átlagos gépjárműnél és sebességnél. Egyedül ezzel a technológiával Európában 5,8x10⁸ l tüzelőanyag takarítható meg 6,3x10¹¹ éves szinten levezetett kilométer mellett.

TELJESÍTMÉNYFELVÉTEL WATT PER JÁRMŰ 13,2 V-NÁL		
Funkció	hagyományos	LED 2012
tompított fény	136	66
távolsági fény	136	40
nappali menetfény	50	14
helyzetjelző fény	14	2
irányjelző elöl	50	10
oldalhelyzetjelző	14	2
oldalhelyzetjelző	14	2
irányjelző hátul	50	10
rendszámvilágítás	24	2
tolatólámpa	50	4
3. féklámpa	50	4
féklámpa	50	10
zárfények	14	2
összesen	652	168
Különbség	Δ=484 W (74%)	

1. táblázat: a gépjármű külső megvilágítás villamos fogyasztóinak vizsgálata, a maximális teljesítményfelvétel alapján: a teljesítményfelvétel gépjárműtípusonként változhat; hatása van az izzótípusnak, a kialakításnak, az áramfelvételnek, a LED-ek számának

	HAGYOMÁNYOS	LED 2012
Teljesítményfelvétel	130 W	38 W
CO ₂ -kibocsátás	3,4 g/km	1 g/km
Különbség	Δ=2,4 g CO ₂ /km	

2. táblázat: a fényfunkciók fogyasztásának kiértékelése, figyelembe véve a használatartamot és a megadott teljesítményeket



4. LED-ek hatásfokának fejlődése az elmúlt években

3.3. LED-hatásfok

A LED-ek ezen a téren nem összehasonlíthatók a hagyományos fényforrásokkal. A hatásfok erősen függ a környezeti hőmérséklettől, illetve a chip-re megengedett áramerősségtől és melegeledéstől. Ezen túlmenően az egyes LED-ek különböznek gyártmányban és a meghajtó áramerősségben is. Így adható meg alkalmazásonként 2 vagy több különböző érték hatásfok szempontjából. Azonban a hatásfok további növelése garantált, ami a LED-technológiát még érdekesebbé teszi 4.



4. NAPPALI MENETJELZŐ FÉNY

4.1. Közlekedésbiztonság és költség-haszon arány

Sok országban nappal is kötelező a fényszórót bekapcsolni (pl. Skandináviában, Csehországban, lakott területen kívül Olaszországban, Magyarországon). Alternatívaként alkalmazni lehet külön jelző fényeket, ún. nappali menetjelző fényeket (Tagfahrlicht, Daytime Running Lamp: DRL) az ECE 87-es szabályozásban foglaltaknak megfelelően (ECE: Economic Commission for Europe, Európai Gazdasági Bizottság).

Több tanulmányt hoztak nyilvánosságra a közlekedésbiztonság növelése érdekében, és hoznak nyilvánosságra ma is. Egyes tanulmányok arról értekeztek a 2000-es évek közepén, hogy a kötelezően bevezetendő nappali menetjelző fény (DRL) 5 és 15%-kal csökkentené a súlyos balesetek, és 40%-kal a több résztvevős balesetek számát.

Az egyik releváns hátránya a nappali menetjelző fény kötelezővé tételének az volt, hogy ezzel növekszik a tüzelőanyag-fogyasztás, és ezáltal a CO₂-kibocsátás is nő. Egy EU-s tanulmány szerint azonban az összköltsége a károsanyag-kibocsátásnak, a tüzelőanyagának és az izzóelhasználódás-

nak 17 és 30 millió euró közé tehető. Ezzel szemben a balesetekből kifolyó költségek 40–50 millió euróval csökkenthetők. LED alkalmazásával tehát a költség-haszon arányt jelentősen lehetett javítani. Emiatt is 2011. február 7-e óta kötelező újonnan forgalomba helyezett gépjárművet nappali menetjelzővel ellátni (természetesen a törvény nem írja elő, hogy ezt milyen fényforrással kell biztosítani).

A tisztán gazdasági érveken túlmenően a LED-es nappali menetjelző fénnel a gépjárműnek új stilisztikai megkülönböztetést lehetett adni. Azaz, ha a nappali menetjelző fényt éjszaka csökkentett fényerővel helyzetjelző-

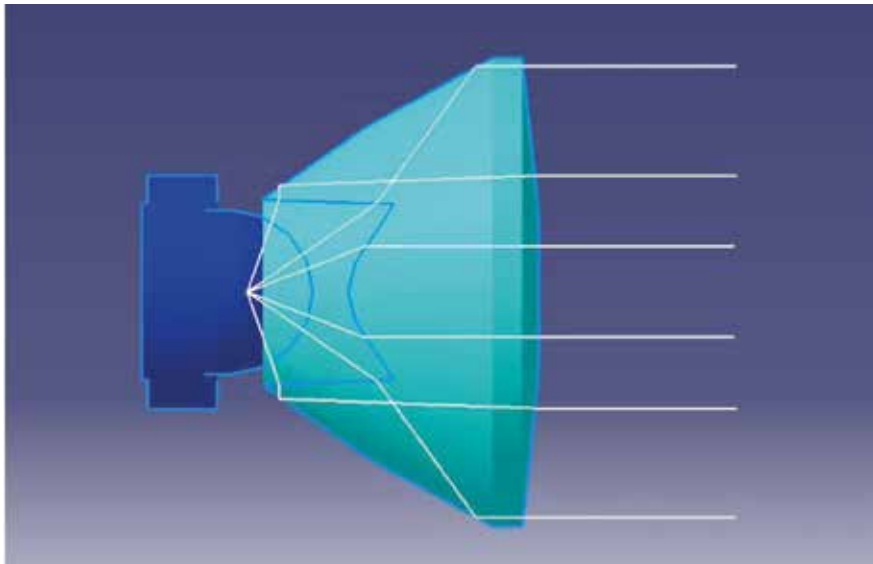
ként alkalmazzák, akkor a gyártónak először nyílik lehetősége egy olyan specifikus jelzés kialakítására, mely éjjel és nappal egyformán megkülönbözteti a gépjárművet a többi gépjárműtől ⑤.

4.2. Nappali menetjelző fény optikai kialakítása

A nappali menetjelző fény LED-jeit a fényszóró alsó részén helyezték el, követi annak formáját, melyet „szárnykontúrnak” hívnak. Az R8-as megjelenésekor bi-xenon fényszórókat kapott, de a nappali menetjelző fényeket már 12 db LED oldotta meg. A LED-fényszóróban is ugyanígy



⑤ Audi R8 menetjelző fényei bi-xenon (bal) és LED- (jobb) fényszóróval



6 A fényeloszlás létrehozásának elve az optikában

helyezték el a fényforrásokat, de ott már 24 darabot. Nyitóirányú feszültségük 3,6 V, meghajtó áramerősségük 140 mA. Az egymáshoz lényegesen közelebb került fehér Osram Advanced Power TopLED-ek egy műanyag optikás szabadtérformájú lencsén keresztül világítanak a vastag fényvezetőbe, így hozva létre a kívánt fényeloszlást 6. Az optika hatásfoka megközelítőleg 85%, így majdnem párhuzamos fény jut a fényvezetőbe 7. Ezt a nagy értéket azért tudták elérni, mert a LED-ek csak a féltérbe világítanak, így az egész kisugárzott fényt hasznosítani tudják. A bi-xenon fényszórónál csak a LED-ek és az optikák vannak beépítve. Ez nem a teljes hatásfoka a rendszernek, mert nincs figyelembe véve a fényszóróbura és egyéb tényezők. Ennek ellenére egy olyan nagy értéket kaptak a fejlesztők, melyet izzóval nem lehet elérni.

A részletes kialakításban ez azt jelenti, hogy közelebb vannak az egyes LED-ek és az optikák egymáshoz. Összesen 216 fénypont keletkezik a megfigyelő számára. A megfigyelési távolság növekedésével egyre több fénypont olvad össze, és így jön létre a fényvonal. A „szárnykontúr” éjszaka is világít a

tompított világitással együtt. Ilyenkor helyzetjelző fényként működik, csökkentett teljesítménnyel.

5. IRÁNYJELZŐ

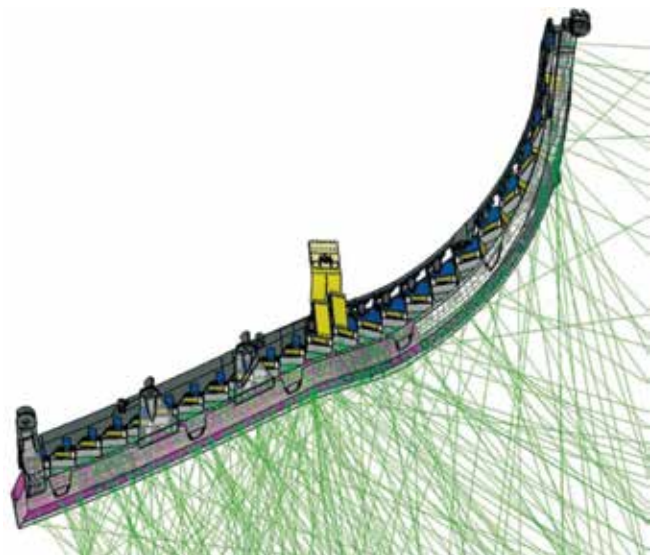
Az irányjelző is hasonlóan van kialakítva. Itt 8 darab sárga Luxeon K2 LED-et használtak fel, melyeknek nyitóirányú feszültsége 3,2 V, meghajtó áramerőssége 350 mA. A fényszóró

belső, felső részén helyezték el. Az optika hatásfoka 70% 8.

6. A FŐFÉNY FUNKCIÓK OPTIKAI KIALAKÍTÁSA

6.1. Tompított fény létrehozása

Bármely kialakításnak követnie kell a peremfeltételeket, melyeket egy már meglévő fényszóró méretei, illetve periferiái határoznak meg. Ezért nem nézhet ki máshogy, valamint a megadott helyre be is kell, hogy férjen. Hagyományos fényszórók esetében a fénynyalábot vagy vetítő vagy tükröző rendszerrel hozzák létre. Az R8-ban e két rendszert együtt alkalmazzák a tompított fény előállításához, melyben egy egységbe van ágyazva a tartó- és a hűtőmodul. Az alsó és felső rész tükröző rendszerű, a középső rész vetítő rendszerű 9. Alkalmazásra a Lumileds Automotive Front Lighting Source (LAFLS) LED-ek kerülnek, melyek nagy teljesítményű komplex fényforrások a Philips Lumileds-től. Egy további innovációs kihívást adott maga a tény, hogy a 3 különálló fényforrás egységes fényeloszlást hozzon létre. Ez további kiegészítő művelete-



7 Nappali menetjelző fény optikai kialakítása: a vastag fényvezető és a vékony kontúrvonal 24 LED-ből 3D-effekttel

ket jelent a készre szerelésnél. Az alsó és a felső rész tükröző rendszerű, melyek mint ködfényszórók a fényt szimmetrikusan nagy területen terítik szét a gépjármű előtt (40°, 10 lux). Ezekben az egységekben 2 Multichip-LED-et alkalmaznak 4 világítódiodával. A középső rész vetítő rendszerű, melyben 3 Multichip-LED van 2 világítódiodával. Ez a rész felel a sötét-világos határvonalért, melyet blendével állítanak elő, valamint azért, hogy a fény a gépjármű előtt a távolban világítsa meg az utat (10°, 40 lux) 9. Az összeszereléskor az egyes elemeket úgy állítják be a világos-sötét határvonalnak megfelelően, hogy ezek után az összeszerelő cellát egy ellenőrzött készre szerelt egység hagyja el.

Hatásfoka a rendszernek 45%, szemben a bi-xenon rendszer 33%-ával, villamos teljesítmény-felvétele 44 W. Ez a hatáskülönbség is abból a tényből adódik, hogy a LED-ek csak a féltérbe világítanak, nem úgy, mint a hagyományos fényforrások, melyek az egész teret világítják be. Ez azt jelenti, hogy míg egy xenonlamps tompított fényszóróval az útfelületen 800–1000 lm fényintenzitás létrehozásához a fény-



8 Az irányjelző az R8-ban és a fényeloszlás létrehozásának elve

forrásnak 3300 lm fényintenzitást kell produkálnia, addig a LED esetében az útfelületen azonos fényintenzitás létrehozásához 1750–2200 lm fényintenzitás szükséges. Így a LED-fényszóró képességei megegyeznek a xenon-fényszóróéval.

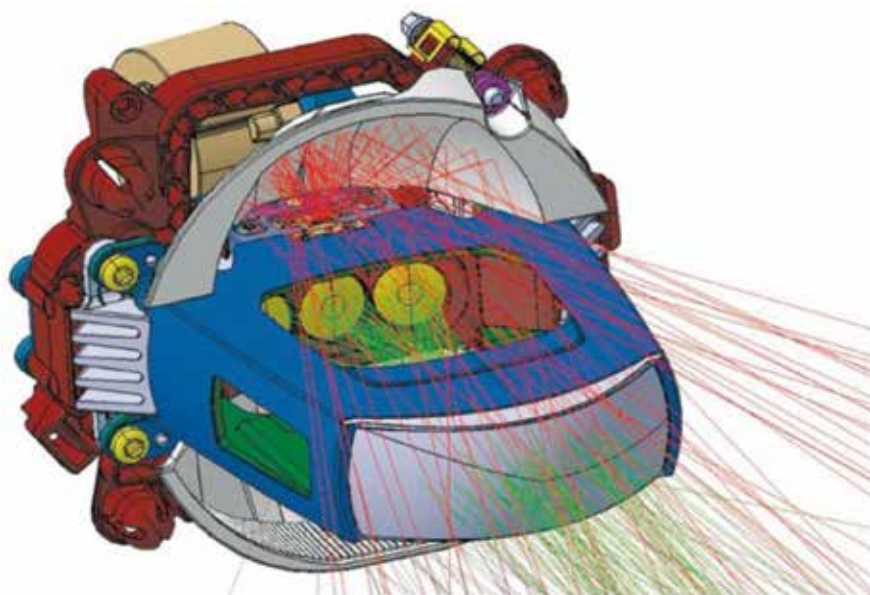
6.2. Távolsági fény létrehozása

A távolsági fényt két darab tükröcsésze állítja elő, mely az irányjelző és a tompított modul között található. Itt is Multichip-LED-eket alkalmaznak, 4 világítódiodával. A fényerő meghaladja egy bi-xenon modul fényerejét 10.

7. TERMIKUS KIALAKÍTÁS

7.1. Termikus ellenállás

A LED-ek a halogénlámpákhoz, illetve xenonlámpákhoz képest úgynevezett hideg fényt bocsátanak ki. Ez azt jelenti, hogy a befektetett energia nagyobb hányadát kapjuk vissza látható fény formájában. Számszerűleg ez 20%-ot jelent, szemben az izzók 4%-os hatásfokával. A maradék energia hővé alakul. A színhelyesség, a fényáram és a nyitóirányú feszültség értékei azonban hőmérsékletfüggők. A megengedett maximális chip hőmérséklet gyártótól és típustól függően 125 °C és



8 A tompított fény előállítására szolgáló három modul: két tükröző, egy vetítő modul

185 °C közötti. Ha ezt a hőmérsékletet átlépjük, a LED tönkremegy.

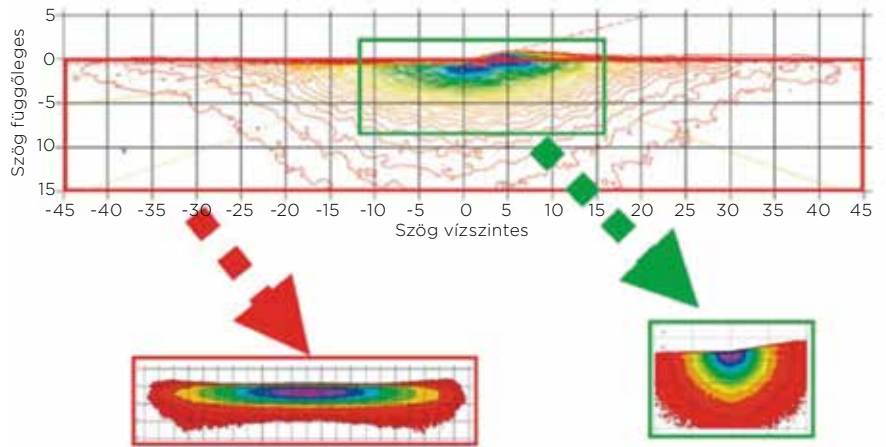
A chip a legmelegebb rész az egész rendszerben. A termikus ellenállás a chip és a LED-foglalat között nagy teljesítményű fényforrások esetén 2–4 K/W. A többi termikus ellenállás a platina, a hűtőtest és a levegő hőáramlásából tevődik össze. Ezek összegéből adódik a rendszer teljes termikus ellenállása. A hideg fény ellenére tetemes járulékos hő keletkezik. Ezeket a termikus ellenállásnál figyelembe véve kell jó hatásokkal a LED-ről elvezetni a keletkező hőt. Egy 7 K/W-os termikus ellenállású rendszernél egy 15 W-os LED 105 °C-os hőmérséklet-növekedést hoz létre, melynél az egyes LED-ek már szobahőmérsékleten tönkremennének. Ezért szükséges egy megfelelő hőcserélő és szellőztető rendszer létrehozása, beépített hűtőventilátorokkal.

7.2. Párátlanítás, tervezett légáram-vezetéssel

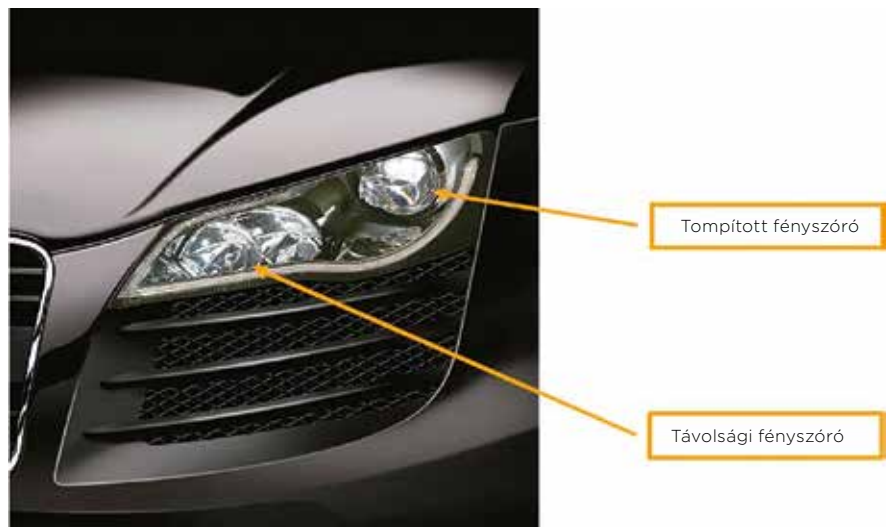
A mai fényszórók problémáját a tervezett légáram-vezetéssel lehet csökkenteni a LED-fényszóróban. A fényszóró üzem közben felmelegszik, a levegő kiáramlik, kikapcsolás után viszont kihűl, és a levegő beáramlik. Nagy nedvességtartalmú levegő esetén ez azt eredményezi, hogy a levegő nedvességtartalma kicsapódik a fényszóróburára. Ez a természetes folyamat nem vezet semmilyen technikai problémához, de ez könnyen észrevehető, és az üzemben lévő fényszórónál ezt hamar meg kell szüntetni. A szabályozott légáram-vezetés által a burra belseje hamar felszárad, valamint a burán is történik hőcsere a menetszél felé 11.

8. INTEGRÁLÁS A GÉPJÁRMŰ-ELEKTRONIKÁBA

Egy diódás fényszóró integrálása egy autóba igazi úttörőmunka volt.

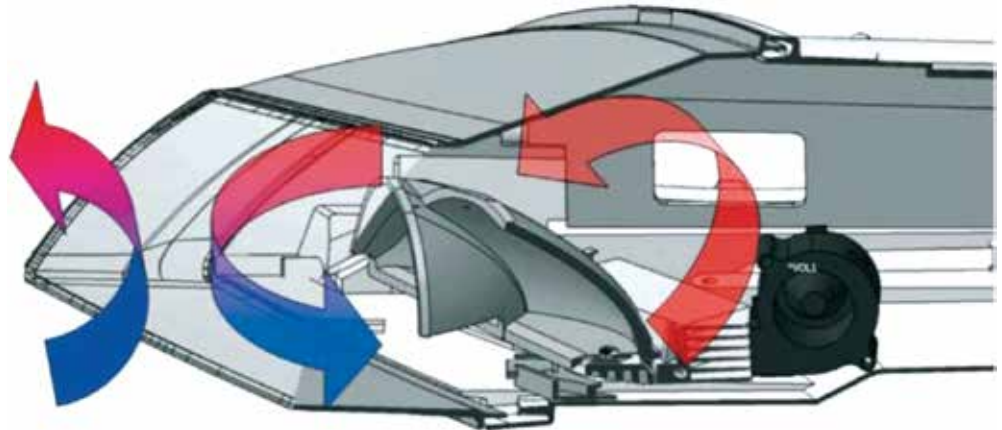


9 A fényeloszlás elvi vázlata az útfelületen – a tükröző rendszer által létrehozott eloszlás a bal oldalon alul, a vetítő rendszer által létrehozott eloszlás a jobb oldalon alul látható



10 A távolsági és a tompított fényszóró

11 Tervezett légáramvezetés a fényszóróban (az ábra jobb oldalán beépített hűtőventilátor látható)



A karosszéria-fényvezérlő (LCU – Light Control Unit) a diagnosztikai lekérdezéskor még mindig ugyanazt a választ várja, amit egy lámpa ad. A használt LED-meghajtók (LED Driver) több-kevesebb villamos tulajdonságát szimulálják egy izzónak. A teljes LED-fényszóróban az összes funkciót vezérlőegységek látják el, melyek a beépített hűtőventilátort is vezélik. Alternatív koncepciók, mint például a passzív hűtés vagy hőcsövek (heat pipes), kiválthatják a ventilátort. De az eredendően nagyobb tömeg, mely akár 1,6 kg is lehet, egy modern gépjárműben nem tolerálható. Ezért a ventilátort a következő generációkban is megtalálhatjuk majd és megtaláljuk azóta is.

A fényfunkciókat a fedélzeti hálózatról, mint például LIN- (Local Interconnected Network), CAN- (Controller Area Network), vagy PWM-egységről (Puls Width Modulation) vezérik 12. A vezérlőegységekben a PWM-mel a túlfeszültséget felfogják, mellyel az izzót 13,5 V-nál nagyobb feszültségsúcsúktól megvédik. Ugyanerre a célra a PWM jelét a LED-nél is fel lehet használni. A lüktető nagy áramerősségtől az elektromágneses összeférhetőséget szem előtt tartva, a különálló PWM-csatornákat részesítik előnyben. A gépjármű feszültségváltozásait a LED-vezérlés kiegyenlíti. Együttal a kiadott villamos teljesítményt a LED hőmérsékletével is ösz-

sze lehet egyeztetni. A hőmérsékletet érzékelőkkel közvetlenül a LED-ről le lehet venni (erre általában LED-re szerelt NTC-ellenállást használnak a gyártók, a szerk.). Extrém magas hőmérsékleti körülmények között a LED teljesítményfelvételét úgy felügyelik, hogy a tönkremenetelt elkerüljék. A normál követelmények 120%-ról 130%-osra növelésével keletkező biztonsággal a hőmérséklet-ingadozások leereagálhatók. ■

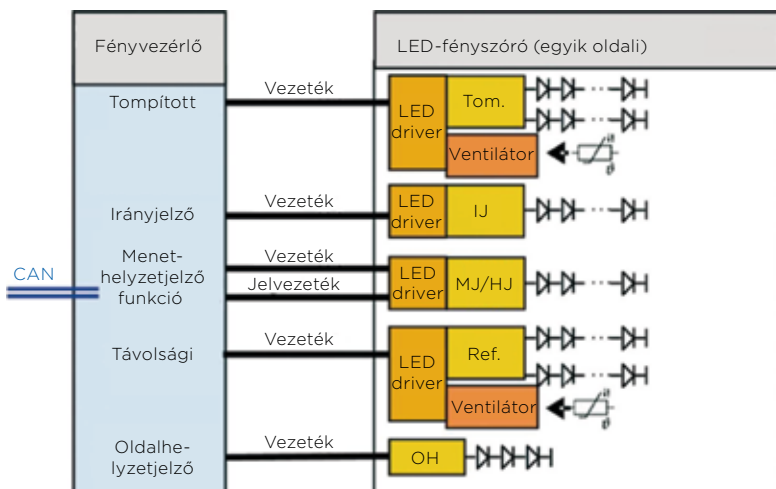
Felhasznált irodalom:
Hamm, M.: LED im Audi R8 - was ist die technische Herausforderung? http://www.al-lighting.com/neu/products_technology/headlamps/led/AL_LED_R8_Hamm.pdf (2006)

Ackermann, R.: Die Lichttechnik im Audi R8 LED Scheinwerfer. http://www.al-lighting.com/neu/products_technology/headlamps/led/AL_Lichttechnik_AudiR8_Ackermann.pdf (2007)

Hamm, M. - Ackermann, R.: Weltweit erster Voll-LED-Scheinwerfer im Audi R8. In: ATZ, Oktober 2008. 895-900.p.

Dr. Michael Kleinkes, Dipl.-Phys.-Ing. Christian Schmidt, Dipl.-Ing. Franz-Josef Kalze: Nächste Schritte in der Entwicklung von LED-Scheinwerfern. In: ATZ, November 2012. 862-867.p.

Schanda J. - Muray, K.: White LEDs: Characterization and measurement. In: Tutorial at the Intertech Phosphor Conference, Miami 2003.



12 LED-vezérlőegységek kapcsolási elve és topológiája