

Ville Arffman, Ville Nousiainen

Johdatus nykyaikaiseen ajovalotekniikkaan

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

22.3.2017

Tekijät Otsikko	Ville Arffman, Ville Nousiainen Johdatus nykyaikaiseen ajovalotekniikkaan
Sivumäärä Aika	54 sivua + 1 liitettä 22.3.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Jälkimarkkinointi
Ohjaajat	Lehtori Heikki Parviainen Toimittaja Jari Pitkäjärvi, Tekniikan Maailma
<p>Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan uusimpia ajovalotekniikoita sekä tuotetaan niistä verkko-opetusmateriaalia ammattikoulujen käyttöön. Työn tilaaja on HMY-systems. Työn tavoitteena on perehdyttää lukija ymmärtämään erilaisten ajovalojärjestelmien teknisiä eroavaisuuksia sekä toimintoja. Työssä käytetyt tiedot on koottu uusimmista valmistajien koulutus- sekä markkinointimateriaaleista, oppikirjoista, lainsäädännön säännöksistä sekä asiantuntijan haastattelusta.</p> <p>Ajovalotekniikka on kehittynyt viime vuosina todella paljon, perinteisten lähi- ja kaukovalojen rinnalle on tullut erilaisia kaarrevalotoimintoja sekä mukautuvia ajovalojärjestelmiä, joiden tarkoituksena on parantaa ajomukavuutta sekä turvallisuutta. Työssä tutustutaan ajoneuvojen ajovalotekniikan kehitykseen, pääpainopisteenä käsitellään kehittyneiden etuvalaisinjärjestelmien rakenne ja toiminta. Työssä kuvataan kaukovaloavustimien eri toteutuksia, kääntyviä ajovalotoimintoja, mukautuvaa etuvalaisinjärjestelmää sekä led- ja laser-ajovalaisimia. Eri valotoimintoihin tutustutaan havainnollistavien käytännön esimerkkien kautta.</p> <p>Uusien valojärjestelmien tekniset ratkaisut ovat vaatineet myös lainsäädännöltä monia uusia säännöksiä ajovalojen hyväksynnöissä. Lainsäädännön osalta työssä kuvataan ajovalaisimien tyyppihyväksyntämerkinnät sekä niihin liittyvät oleelliset asiat.</p> <p>Työssä osoitetaan valojen suuntauksen merkitys valokuvioon sekä tarkastellaan eri valaisinjärjestelmien huolto- ja tarkistustöiden eroja. Lisäksi käsitellään ajovalojen valotehoon vaikuttavia ulkoisia asioita.</p> <p>Työ on kokonaisuutena laaja kuvaus nykyaikaisten ajovalojärjestelmien toiminnasta, rakenteesta ja niiden säätämiseen liittyvistä asioista. Työn pohjalta tehtiin tiivistelmä sen käsittelemistä asioista tilaajalle verkko-opetusmateriaalin pohjaksi.</p>	
Avainsanat	Ajovalo, AFS, LED, laserajovalot

Authors Title	Ville Arffman, Ville Nousiainen An introduction to Modern Headlight Technology
Number of Pages Date	54 pages + 1 appendix 22 March 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Aftersales
Instructors	Heikki Parviainen, Senior Lecturer Jari Pitkälä, Reporter, Tekniikan Maaailma
<p>The purpose of this thesis was to research and build material of the latest advanced headlight systems for education. The thesis was assigned by HMV-systems. The objective of the thesis was to help the reader to understand the differences between the latest headlight technologies and their operating principles. Used source materials were gathered from manufacturers' training and marketing materials, textbooks, the provisions of the legislation and expert interviews.</p> <p>Technical solutions in headlights have advanced a lot in recent years. Along with standard low beams and high beams, new cornering light functions and adaptive front lighting systems have been developed to enhance driving comfort and safety. The thesis introduces the development of the vehicle headlight techniques, focusing on the structure and functions of the advanced systems. The thesis deals with different implementations of beam assistants, cornering lights, adaptive headlight system functions, led and laser headlights. The various light functions are explained through illustrative practical examples.</p> <p>The technical solutions for new advanced lighting systems have required several new regulations of the legal headlight approvals. Regarding the legislation this thesis deals with the type approval markings of the headlight systems and materials and relevant issues about headlight systems.</p> <p>This thesis examines the significance of the light beam alignment pattern. Thesis also deals how maintenance and inspection work differences in different systems. In the end of the thesis, there are examples how external matters can affect the headlight light intensity.</p> <p>This thesis is an extensive description of modern headlight system functions and structure. The thesis describes also required adjustment processes. On the basis of the thesis material also a summary was written, and it will be used as education material by the company that assigned this thesis.</p>	
Keywords	Headlight, AFS, LED, laser headlight

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yleistä ajovaloista	2
2.1	Valon perusteita	2
2.2	Ajovalotyypit	3
2.2.1	Paraboloidi	3
2.2.2	Monimuotoheijastin ajovalot (FF)	5
2.2.3	Polyelliptiset ajovalot (DE)	5
2.2.4	Super DE	6
2.3	Umpion rakenne ja osat	7
2.4	Heijastimen koko ja muoto	10
2.5	Umpion linssi	11
2.6	Valokuvio	12
3	Ajovalojen valonlähteet	13
3.1	Halogeeni	13
3.2	Kaasupurkausvalot	14
3.3	Led	17
3.4	Laser	22
3.5	OLED	24
4	Lainsäädäntö	26
4.1	Merkinnät	26
4.2	Ajovalojen määräykset	27
4.2.1	Lähivalot	28
4.2.2	Kaukovalot	28
4.2.3	Etusumuvalot	29
4.2.4	Kulmavalaisin	30
4.2.5	Kytkenät	30
5	Mukautuvat ajovalojärjestelmät	30
5.1	AFS-toiminnot	31
5.2	Mukautuva kaukovaloavustin	34
5.3	Kaukovaloavustin mukautuvalla varjostimella	34

5.4	Kulmavalaisin	36
5.5	Staatinen ja dynaaminen kaarrevalo	37
6	Huolto	39
6.1	Polttimon vaihto	39
6.2	Valojen suuntaaminen	39
6.3	Valojen korkeudensäätö	45
6.3.1	Manuaalitoiminen korkeudensäädin	45
6.3.2	Automaattinen korkeudensäädin	46
7	Valoteho	47
7.1	Kaasupurkausvalon valotehon heikkeneminen	47
7.2	Jännitteen vaikutus ajovaloihin	48
7.2.1	Kaasupurkausvalot	48
7.2.2	Led	49
7.2.3	Halogeeni	49
7.3	Likaisuus	50
8	Pohdinta	51
	Lähteet	53

Lyhenteet

AFS	Adaptive Front Lighting System, mukautuva etuvalaisinjärjestelmä
ORM	Object-relational mapping. Oliomallin mukaisen esityksen kuvaus relaatiomallin mukaiseksi esitykseksi
LED	Light emitting diodes eli hohtodiodi. Puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirta
TraFi	Liikenteen turvallisuusvirasto
UNECE	YK:n Euroopan talouskomissio
HID	High Intensity Discharge. Kaasupurkausvalot tai ksenonvalaisimet.
lm	Luumen. SI-järjestelmän mukainen valovirran yksikkö.
lx	Luksi. Valaistusvoimakkuuden SI-järjestelmän mukainen mittayksikkö.
K	Kelvin. SI-järjestelmän lämpötilan mittayksikkö.
cd	Kandela. SI-järjestelmän mittayksikkö valovoimalle.

1 Johdanto

Nyky aikaisten henkilöautojen ajovalot ovat kehittyneet lähivuosina todella paljon, ensiksi otettiin merkittäviä kehitysaskelita polttimoiden ja umpioiden osalta ja näiden lisäksi viimeisimmät valaisinjärjestelmät sisältävät paljon uutta automaatiotekniikkaa. Tekniikan kehittyminen on vaikuttanut sekä turvallisuuteen että ajomukavuuteen positiivisesti. Ajovalojen automaatiotekniikka on tuonut paljon lisätoimintoja perinteisten lähi- ja kaukovalojen rinnalle, hyväksytystä valaisimesta tulee löytyä hyväksymismerkinnät kaikille järjestelmän sisältämille toiminnoille. Alalla työskentelevän on tärkeää tuntea eri valotekniikat ja niiden toiminnot. Työssä käsitellyt valaisimet ja tekniikat on pyritty jaottelemaan tämänhetkisten valomääräysten määrittelyjen mukaan.

Opinnäytetyön tilaaja on H MV-systems. Työn tarkoituksena on tehdä kattava ja perehdyttävä tietopaketti autoalalla opiskeleville oppilaille ajoneuvon ajovalojärjestelmistä. Perehdytysmateriaali käsittelee ajovaloille asetettua lainsäädäntöä, valaisimien rakennetta, huoltamista sekä valojen toiminnan tarkastamiseen liittyviä asioita. Pääpainopisteenä ovat uusimmat ajovalotekniikat ja kehittyneet ajovalojärjestelmät. Työssä käydään läpi valojen oikeaoppinen suuntaaminen ja sen vaikutus valotehoon. Lisäksi työ käsittelee asioita valaisimien valotehoon vaikuttavista ulkoisista tekijöistä.

Työssä käsitellään valaisimien rakenne, ajovaloja tyypeittäin, mukautuvat etuvalaisinjärjestelmät, kaukovaloavustimien eri toteutukset sekä kääntyvät ajovalaisintoiminnot. Nykyaikaiset ajovalojärjestelmät ovat erittäin kehittyneitä ja paljon tekniikkaa sisältäviä kokonaisuuksia. Järjestelmäkokonaisuudet voivat sisältää kehittyneiden ajovaloumppioiden lisäksi esimerkiksi useita ohjainlaitteita, antureita sekä kameroita. Myös auton navigointijärjestelmä voi olla mukana ohjaamassa valojen käyttöä. Työssä on pyritty antamaan lukijalle selkeä kuva jokaisesta toiminasta ja sen sisältämästä tekniikasta kuvina ja käytännön esimerkkeinä.

Kehittyneet ajovalot luovat haasteita mekaanikkojen arkeen järjestelmän monimutkaisuuden ja toiminnallisten vikojen myötä. Ilman kehittyntä suuntaus- ja diagnoosilaitteistoa vianmääritys ja valojen suuntaus ovat haasteellisia.

Lopuksi työn pohdinnassa käymme läpi uusien toimintojen tuomia etuja ja haittoja sekä mahdollisia tulevaisuuden kehitysaskelia valotekniikassa. Työssä käytetyt tiedot on

koottu uusimmista valmistajien koulutus- sekä markkinointimateriaaleista, oppikirjoista, lainsäädännön säännöksistä sekä asiantuntijan haastattelusta.

2 Yleistä ajovaloista

Tässä luvussa käsitellään valon peruskäsitteitä, erilaisia ajovalotyyppejä, umpion rakennetta ja valokuviota. Perustiedot ovat tärkeitä valotekniikan toiminnan ymmärtämiselle.

2.1 Valon perusteita

Luksi ja luumen ovat SI-järjestelmän mukaisia yksiköitä, jotka kertovat omilla tavoillaan valotehosta. Luumen ilmaisee valovirran suuruutta, eli kuinka paljon näkyvää valoa valonlähde säteilee kokonaisuudessaan. Iso määrä luumeneita on hyvä asia, mutta niiden pitää olla oikein suunnattuja. Luksilla tarkoitetaan yhden luumenin valovirtaa yhdelle neliömetrille jakautuneena. Ajovaloissa on tärkeää, että valoa suunnataan edessä näkyvälle tielle oikealle korkeudelle.

Referenssiluku on kaukovalojen rajaava arvo. Yhteenlaskettu referenssiluku saa olla 100, joka vastaa 300 000 kandelan valovoimaa. Kandela on SI-järjestelmän pistemäisen valonlähteen valovoiman yksikkö.

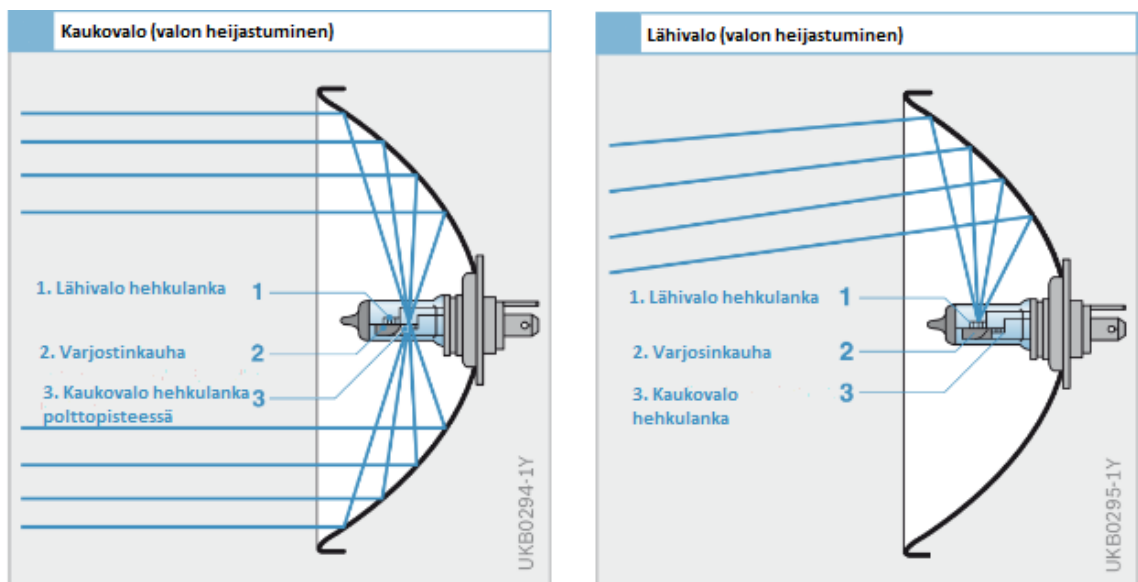
Valon väri voisi olla periaatteessa mitä tahansa näkyvän valon spektrillä, mutta ajovalot on määrätty lainsäädännössä tuottamaan ”valkeaa” valoa. Toiset valot ovat valkoisempia kuin toiset. Valo on sitä valkoisempaa, mitä tasaisemmin eri aallonpituudet jakautuvat spektrillä. Vitivalkoisessa valossa ovat mukana kaikki värit. Oletuksena on, että led- ja ksenonvalaisimien päivänvaloa muistuttava valkoisempi valo on silmän erottelukyvyn suhteen parempaa kuin vanhemman halogeenivalaisintyyppin tuottama kellertävä valo. Tämä on kuitenkin enemmän psykologiaa, sillä valkoinen neljän luksin valo liikkuvan kohteen havaitsemisen kannalta on huonompi asia kuin kellertävä viiden luksin valo. [1, s. 26–30.]

2.2 Ajovalotyypit

Henkilöautojen umpiotekniikka perustuu muutamaan päätyyppiin, joista autonvalmistajat ovat tehneet muunneltuja versioita ajovalotekniikan kehittyessä. Niiden toimintaperiaate on kuitenkin pysynyt samankaltaisena. Tässä luvussa käsittelemme päärakennetyyppejä sekä toimintaperiaatteita yleisimmin käytetyistä toteutuksista.

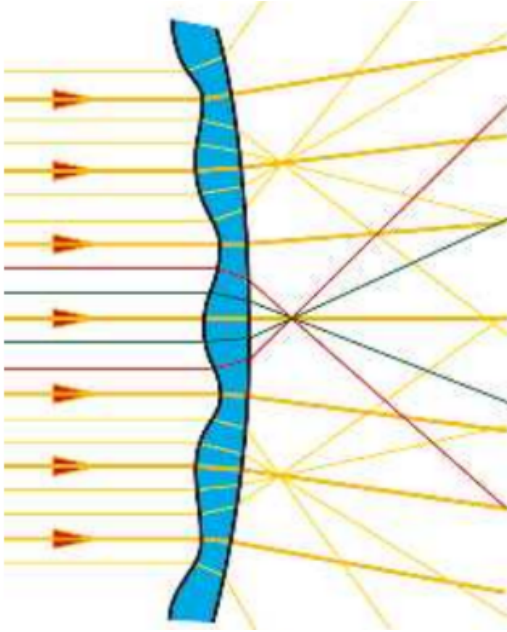
2.2.1 Paraboloidi

Paraboloidivaloissa heijastinpinnan muoto on paraabelin pyörähdyspinta. Kun polttimon asettaa paraboloidin polttopisteeseen, heijastin suuntaa valonsäteet keskiakselinsa suuntaisesti. Kuvassa 1 havainnollistetaan kauko- ja lähivalojen toimintaa paraboloidisella heijastimella. Kaukovalojen hehkulanka on sijoitettu heijastimen polttopisteeseen, jotta valonsäteet kantavat kauas. Lähivalojen hehkulanka on taas polttopisteen edessä, jotta valot suuntautuvat ajoneuvon eteen. H4-polttimossa on lähivalon hehkulangan alapuolella varjostinkauha, mikä estää valonsäteiden heijastumisen heijastimen alareunaan. Tämä estää vastaantulevien ajoneuvojen häikäistymisen. Polttimon oikea asento on erittäin tärkeä, jotta lähivalot toimivat oikealla tavalla. Oikea polttimon asento saadaan asettamalla polttimossa olevat ohjainlovet umpiossa oleviin vastaaviin loviin. [2, s. 303–304.]



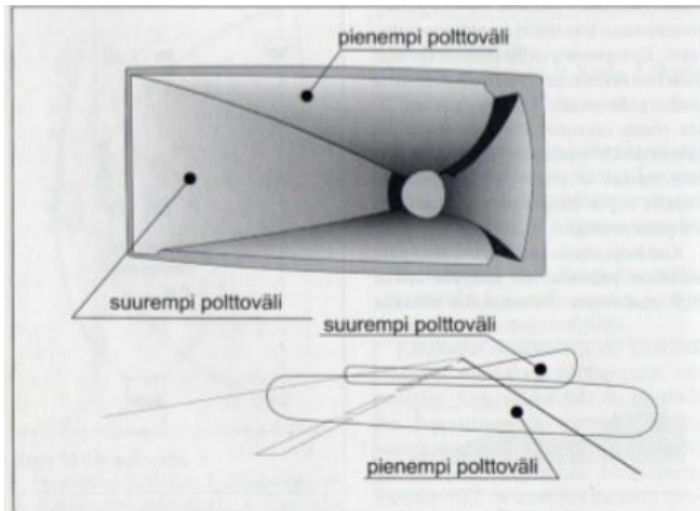
Kuva 1. Paraboloidi valaisimen valojen heijastuminen [3, s. 36].

Heijastinpinnalta valonsäteet muodostavat liian kapean keilan, jotta valoa sellaisenaan voidaan käyttää tien valaisimiseen. Valonsäteet muotoillaan sopiviksi umpion kuvulla, joka toimii hajottimena. (Kuva 2.) Hajottimen oikein optisesti muotoiltu lasi leventää ja korkeussuunnassa madaltaa valokeilaa. Hajotin toimii myös suojana heijastinpinnalle ja polttimolle.



Kuva 2. Valonhajottimen periaate [4, s. 195].

Matalassa henkilöautossa parabolisella heijastimella ei välttämättä saada riittävää valaistuskuviota lähivaloilla. Mataliin henkilöautoihin voidaan soveltaa parabolisia kaksoisheijastimia, jotka on tehty kahdesta parabolisesta osaheijastimesta. Tässä molemmilla heijastimilla on yhteinen polttopiste, mutta polttovälit ovat erikokoiset. H4-polttimolla lähivalon hehkulangasta saadaan osaheijastimen avulla lähivalojen kuvion yläosa ja pienemmän polttovälin osaheijastimella suunnataan valoa lähemmäksi ajoneuvon eteen ja sivuille. [2, s. 303–304]



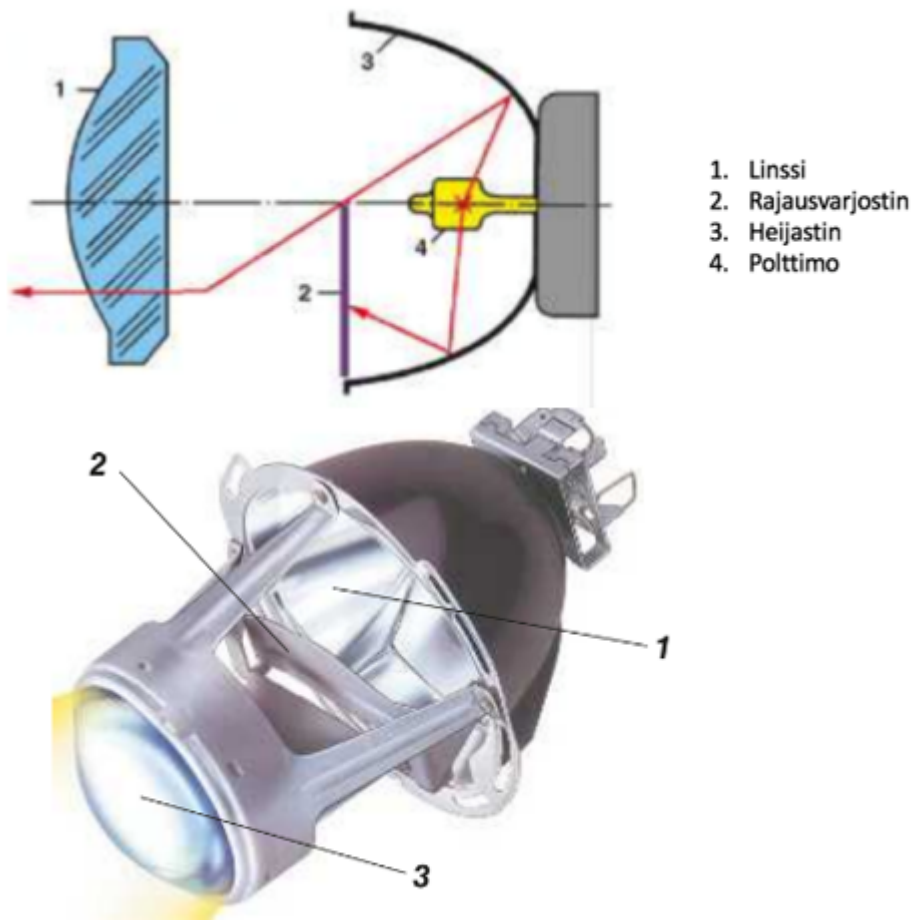
Kuva 3. Parabolinen kaksoisheijastin ylempänä takaapäin kuvattuna ja alempana valaisukuvio kuljettajan silmin [2, s. 304].

2.2.2 Monimuotoheijastin ajovalot (FF)

Monimuotoheijastinvaloista käytetään myös lyhennettä FF, joka tulee sanoista free form. Tässä tyypissä valokuvio on luotu ilman varjostimia muotoilemalla heijastinpinta optimaalisesti. Heijastintyyppin suurena etuna on voida hyödyntää koko heijastimen pintaa. [5]

2.2.3 Polyelliptiset ajovalot (DE)

Polyelliptisissä ajovaloissa on ellipsin pyörähdyspinnoista muodostuva heijastin, rajausvarjostin ja moniosainen linssi. Rajausvarjostimella ja linssillä rajataan valokuviota, leveyttä ja korkeutta. Tätä toteutusta voidaan myös kutsua projektorivaloksi, sillä samanlaista tekniikkaa käytetään diaprojektorissa ja piirtoheittimessä. Heikkoutena on, että kaukovalot tässä järjestelmässä tarvitsevat oman valaisimen. [6]

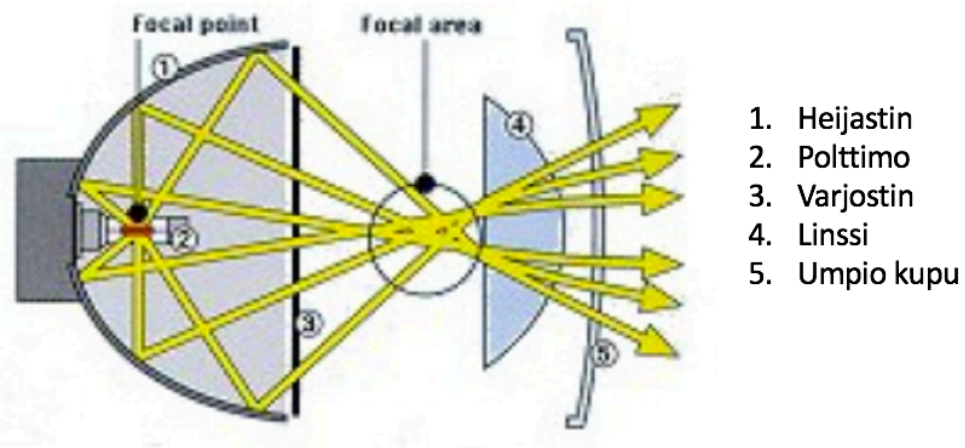


Kuva 4. Polyelliptisten ajovalojen toiminta (ylempi) ja rakennekuva (alempi) [4, s. 198].

2.2.4 Super DE

Super DE -ajovalojen rakenne on hyvin samanlainen kuin polyelliptisissä ajovaloissa. Super DE -ajovaloissa on heijastin, rajausvarjostin ja linssi. Heijastimen rakenne on samanlainen kuin monimuotoheijastimessa.

Monimuotoheijastimen on tarkoitus heijastaa mahdollisimman paljon valoa polttimolta rajausvarjostimen yli. Polttoalueelta valo heijastuu linssille, mikä projisoi valon tielle. Monimuotoheijastinta käytetään Super DE -valoissa, jotta valon hajonta ja teiden varsien valaistus ovat mahdollisimman laajoja. Etuna myös, että valo voidaan keskittää lähelle rajausvarjostinta, jolloin maksimoidaan ajovalojen kantama. [7]

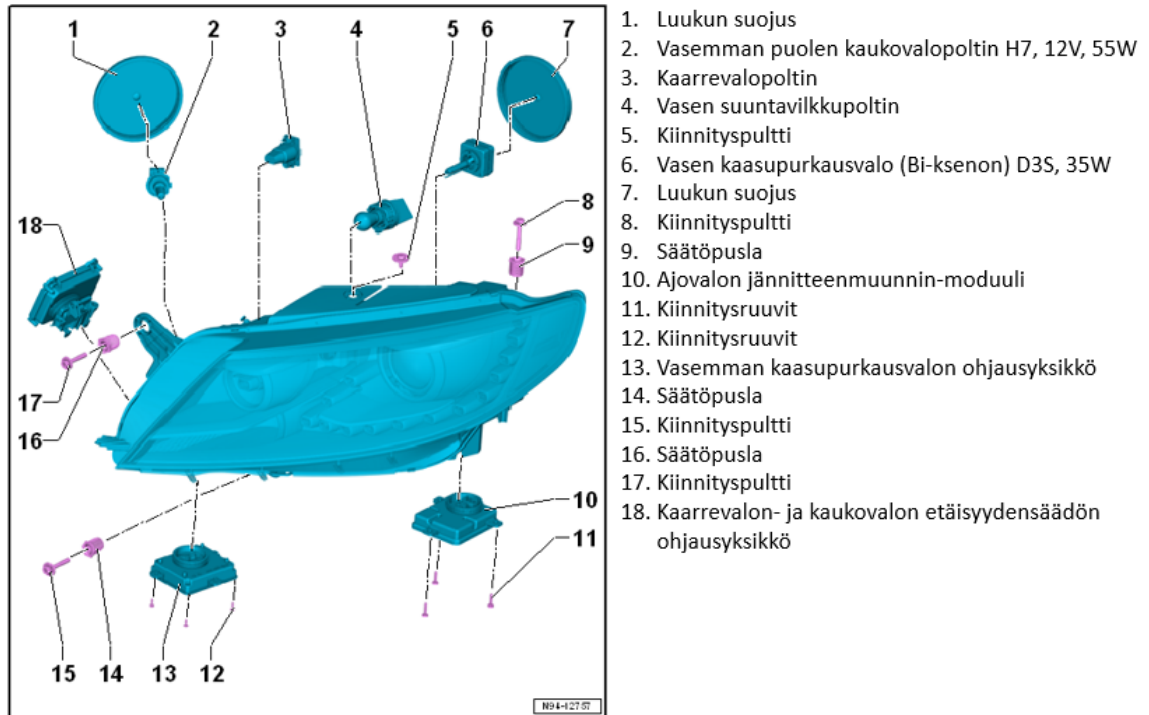


Kuva 5. Super DE:n rakenne ja toiminta [7].

2.3 Umpion rakenne ja osat

Tässä luvussa käsitellään ajovaloumpion rakennetta. Valaisimen valonlähdetypistä riippumatta nykyaikainen valaisin sisältää polttimot, heijastinpinnat, rungon, suojaavan lasitai muovikuoren, valoheilan korkeudensäätöjärjestelmän, kiinnitykset suuntauksen säätimiseen ajoneuvon runkoon sekä huoltoluukut kansineen. Uudet mukautuvat ajovalo järjestelmät voivat sisältää näiden lisäksi linsskejä, ohjainyksiköitä, jännitteenmuuntimia, tuulettimia, antureita, kameroita ja säätömoottoreita erilaisille lisätoiminnoille.

Merkkikorjaamoilla on usein hyvät oman merkkinsä tietojärjestelmät, joista löytyvät kaikki auton rakenteeseen, huoltoihin ja toimintojen tarkastamiseen liittyvät toimintaohjeet sekä yhteys tehtaalte lisätietojen saamista varten. Pienemmillä monimerkkikorjaamoilla on usein käytössä jonkinlainen tietojärjestelmä, johon on koottu samankaltaisia ohjeita kuin merkkikorjaamoilla, mutta hieman suppeammin. Kuvassa 6 on Alldata-järjestelmästä osien räjäytyskuva Volkswagen Passat CC vm. 2012 vasemman puolen kulmavalolla varustetusta kaksoisakselisesta ajovaloumpioista. Korjaamoiden tietojärjestelmät sisältävät usein merkkikohtaiset ohjeet ajovaloumpion rakenteesta, komponenttien sijainnista, sekä huolto ja tarkastusohjeita ja listauksen tarvittavista työkaluista.

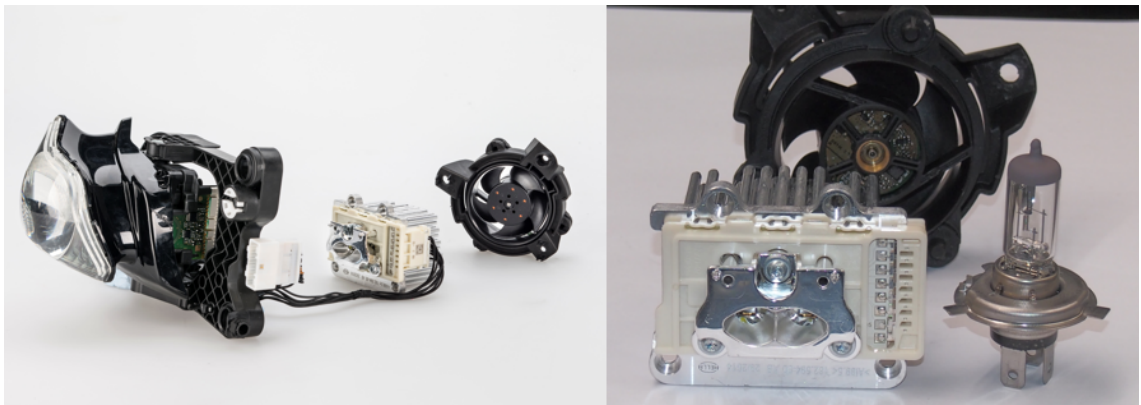


Kuva 6. VW Passat CC (35) -kaksoisksenonvaloumpion osien räjäytyskuva [8].

Uudet valaisintekniikat ovat tuoneet paljon uusia komponentteja valaisinjärjestelmään. Kuvassa 7. Räjäytyskuva Mercedes-Benz W212 ajovaloumpiosta. Umpion suojakupu on tehty kiinteäksi rakenteeseen ja se on irrotettu leikkaamalla. Tämän umpion sisäiset osat eivät ole tarkoitettuja vaihdettaviksi. Kuvassa toisella rivillä vasemmalla on lähi- ja kaukovalojen linssi ja vasemmalla taaempänä led-päivä- ja huomiovalonauha. Kuvassa takana näkyvässä rungossa on kiinni valojen korkeudensäätömoottorin komponentteja ja oikealla näkyy kulmavalo.



Kuva 7. Mercedes-Benz W212 -ajovaloumpion räjäytyskuva [9].



Kuva 8. W212:n osakuva linssi- ja led-moduulista sekä järjestelmän tuulettimesta. [9]

Kuvassa 8 on vasemmalla lähi- ja kaukovalonlinssi, led-moduuli ja tuuletin. Oikealla on suurempi kuva led-moduulista ja sen heijastinpinnasta. Komponentit ovat itsessään pienikokoisia, mutta ledin vaatima jäähdytysyksikkö tarvitsee tilaa. Komponentin takaa näkyy alumiininen jäähdytinosa. H4-halogeenipoltin on otettu kuvaan koon vertailun vuoksi.

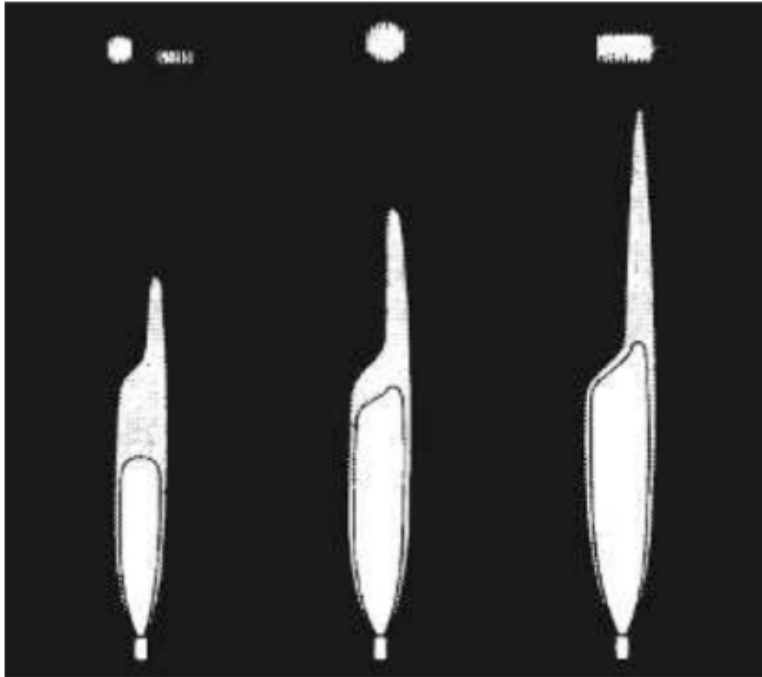
Kaikki osat eivät välttämättä ole kertakäyttöisiä uusissakaan umpioissa. Kuvassa 9 on Passatin irrotettavia ja vaihdettavaksi tarkoitettuja komponentteja.



Kuva 9. VW Passatin B8-ajovaloumpion vaihdettavia komponentteja [9].

2.4 Heijastimen koko ja muoto

Lähivalon valaisuteho on sitä parempi, mitä suurempi heijastin on. Korin muotoilu rajoittaa kuitenkin valonheittimen kokoa. Yleensä nykyautojen ajovalot ovat melko matalia korkeussuunnassa, joten kokoa voidaan käyttää hyväksi vain sen leveyssuunnassa. Heijastimen leveys määrää valovoiman suuruuden ajoradan pinnan suunnassa, näin ollen heijastinpinnan leventäminen antaa tehokkaamman valon. [4, s. 196]



Kuva 10. Valonheittimen koon vaikutus valojakaumaan [4, s. 196].

Heijastinpinnat ovat herkkiä lialle ja kosteudelle. Niihin ei tule koskea tai niitä ei tule pyyhkiä millään. Haalistuneen heijastimen heijastus pienentää valotehoa oleellisesti.

2.5 Umpion linssi

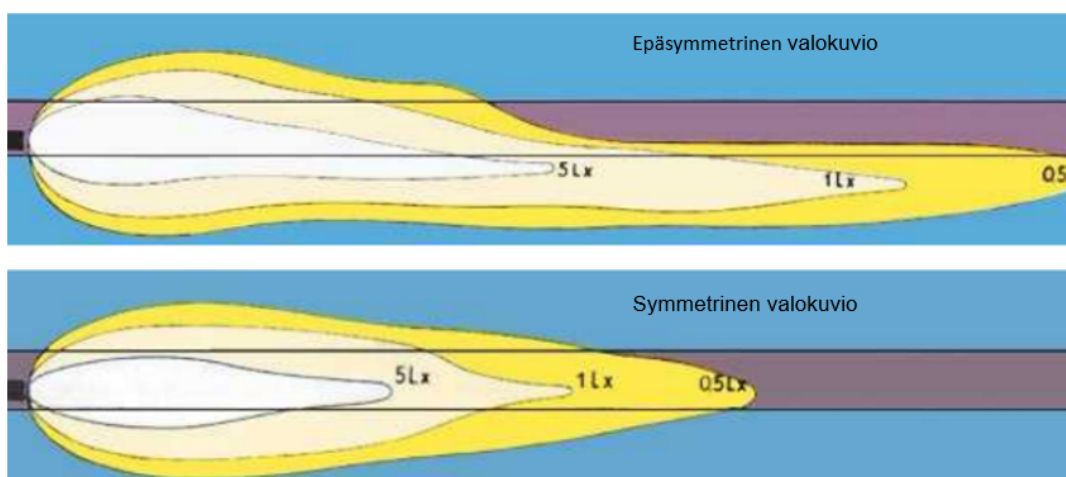
Ajovaloumpioita valmistetaan muovista ja lasista. Muovisen umpiolinssin merkintänä käytetään tunnusta PL. Uudemmissa autoissa umpiot on valmistettu pääsääntöisesti muovista. Muovipintaisen umpion etuna on sen keveys, iskunkestävyys ja muotoilun mahdollisuudet. Huonona puolena taas on naarmuttuminen, korjattavuus ja haalistuminen. Muoviumpio ei kestä hankausta, joten sen kanssa käytetään korkeapainepesureita pyyhkijän sijaan. Haljennut muovista valmistettu ajovaloumpio ei käytännössä ole korjattavissa, vaan se täytyy vaihtaa. Lasisen umpion etuna on mahdollisesti lasin vaihdettavuus ja muovista umpiota parempi hankauskestävyys. Umpioiden tulee olla mahdollisen tiiviitä, jottei niiden sisälle pääse kosteutta. Umpion sisälle päässyt kosteus huurtaa umpion sisäpuolelta ja heikentää valotehoa ja voi häikäistä vastaantulevaa liikennettä. Polttimon lämmittäessä umpiota kosteus voi poistua höyrystymällä ja hävitä sieltä kokonaan, mutta liiallinen kosteus voi rikkoa heijastinpintoja ja olla vahingollinen polttimolle, erityisesti led-polttimoille. Suoranainen vesi on ledille myrkyä, ja ledin fosfori reagoi hana-kasti esimerkiksi suolasumun sisältämien kemikaalien kanssa, mikä tuhoaa ledin. [9]

Umpion kunto vaikuttaa olennaisesti valotehoon ja ajovalojen valokuvioon. Ajovaloumpiot ovat auton keulalla riskialttiilla paikalla likaantumiselle ja talviolosuhteissa myös jäätymiselle, eteenkin led-tekniikalla varustetut ajovalot, koska ledien tuottama lämpö ei välttämättä riitä sulattamaan jäätä valoumpion pinnalta. Kirkkaiden ajovalojen kanssa korostuu hyvin umpion pitäminen puhtaana ja koko umpion ulkopinnan pesevät ajovalojenpesurit.

2.6 Valokuvio

Valokuvion muodosta on olemassa tarkat lakisäädökset ja määräykset, suomessa lainsäädännön määräyksiä käsittelee TraFi ja Euroopan laajuisesti niitä säätää UNECE. Valokuviot voidaan jakaa kahteen eri ryhmään, epäsymmetrisiin ja symmetrisiin. Valokuvion tärkeys korostuu lähivaloissa, sillä niitä käytetään monesti ympäri vuorokauden eikä niitä kytketä pois päältä kohdattaessa vastaantulevaa liikennettä. Lähivalot eivät saa häikäistä muita liikenteessä liikkuvia.

Määräyksen mukaan lähivalon tulee olla epäsymmetrinen. Tällä tarkoitetaan, että lähivalo valaisee tien oikean puoleista pientareen reunaa huomattavasti pidemmälle kuin keskustaa ja vastaantulevien kaistaa. Symmetrinen valokuvio oli aikaisemmin käytössä lähivaloissa. Symmetrinen valokuvio saadaan aikaan estämällä valon pääsy heijastimen keskiön kautta kulkevan vaakatason alapuolelle. (Kuva 11.) Valo suunnataan heijastimella viistosti alaspäin ja se leviää tasaisesti auton eteen. [4, s. 197]



Kuva 11. Epäsymmetrinen ja symmetrinen valokuvio [4, s. 196].

3 Ajovalojen valonlähteet

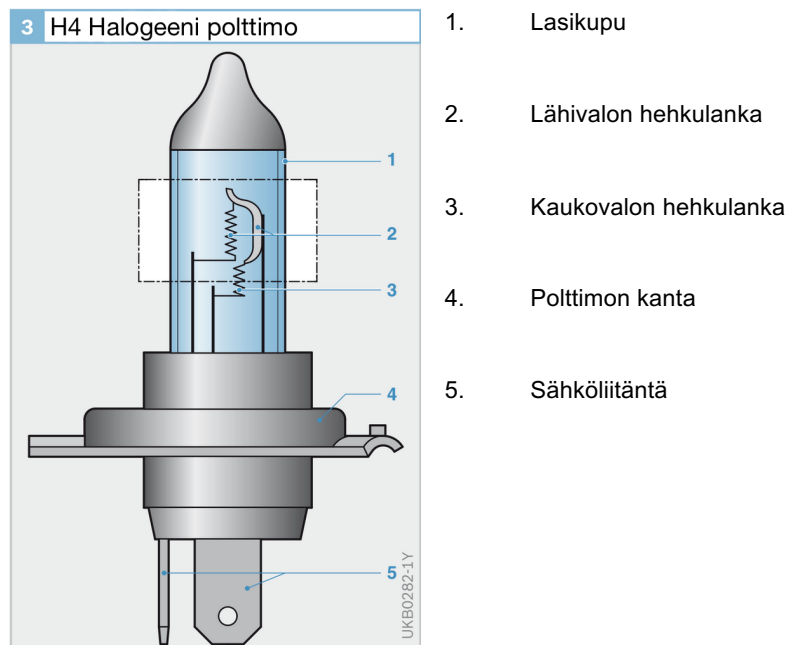
Tässä osiossa tarkastellaan erilaisten valonlähteiden toteutustapoja. Tarkastelun pääkohteina ovat toimintaperiaatteet ja erityispiirteet halogeenipolttimoiden, ksenon-kaasupurkausvalojen, led-ajovalo järjestelmien sekä laservalojen toiminnasta.

3.1 Halogeeni

Halogeenivalot ovat hyvin hehkulampun kaltaisia valonlähteitä. Halogeenilamppu on pitkäikäisempi kuin tavallinen hehkulamppu. Siltikin halogeenilampun polttoikä on kohtalaisen lyhyt, tavallisesti noin 100–200 tuntia. Halogeenilamppu on herkkä käyttöjännitteen vaikutukselle. Halogeenilamput on hyödynnetty halogeenikaasuja, jotka useimmiten ovat jodi tai bromi. Kuvun kuumen seinämän läheisyydessä höyrystynyt volframi yhtyy täytteenä olevan kaasun kanssa muodostaen volframihalogenidia. Hehkuvasta volframlangasta höyrystyy aina käytettäessä vähän ainetta. Volframhöyryn tavoittaessa lasikuvun sisäpinnan se kiinnittyy lasiin tummentamalla lasipintaa. Tästä syystä halogeenipolttimon valoteho heikkenee käytössä. [2, s. 298]

Halogeenipolttimoja on kahdenlaisia, joko yhdellä volframihehkulangalla tai kahdella volframihehkulangalla varustettuja. Halogeenipolttimoista H1, H2, H3, H7, H8, H9, H11, HB3, HB4 ja HIR2 toimivat yhdellä volframihehkulangalla. Näitä yksilankaisia halogeenilamppuja käytetään lähi-, kauko- ja sumuvaloissa. Tämä tarkoittaa, että yksilankaisia halogeenipolttimoita voi käyttää vain yhteen tarkoitukseen kerrallaan. Kaksilankaisissa H4- ja H13-polttimossa on kaksi volframihekulankaa, minkä ansiosta niitä voidaan käyttää samanaikaisesti lähi- ja kaukovalopolttimoina. H15 on yhdistetty huomio- ja kaukovalopolttimo. H4:n uudistettu versio tulee olemaan H19. H4:ssa ja H13:ssa palaa joko lähi- tai kaukovalolanka. Yhtä aikaa ne eivät ole käytössä. H4 kestää kyllä yhtäaikaista lankojen polttamista, mutta sitä ei ole suunniteltu käytettäväksi niin. Halogeenilamppujen kuvut on tehty pääsääntöisesti kvartsilasista, joka suodattaa matalataajuisia UV-säteilyä, mutta poikkeuksena löytyvät esimerkiksi Philipsin valmistamat Plus-kovalasiversiot. Halogeenilampun kuvussa on volframihekulangan lisäksi jodi- tai bromikaasua. Niiden avulla voidaan hehkulanka kuumentaa miltei sen sulamispisteeseen saakka (noin 3400 °C). Korkea lämpötila auttaa saavuttamaan suuren valotehon. Kuumen kuvun seinämällä höyrystyneet volframipartikkelit yhtyvät kupuun täytetyn kaasun kanssa, mistä syntyy

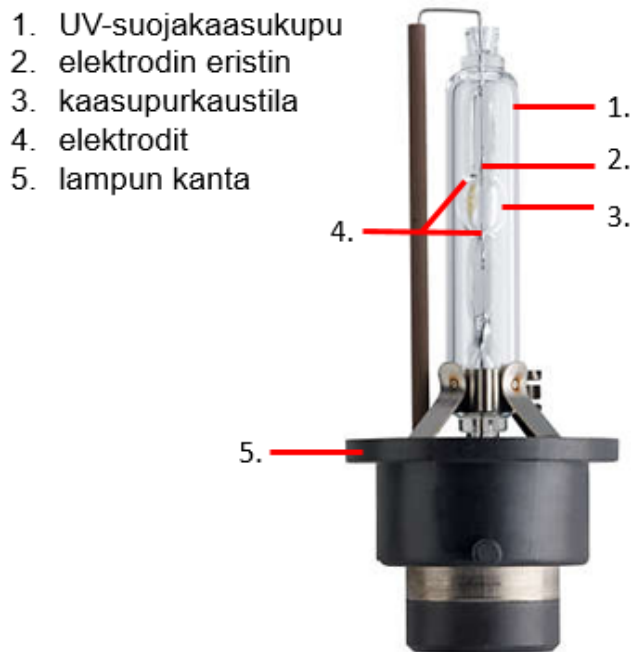
volframihalogeenidia. Volframihalogeenidia pysyy vakaana 200 – 1400 °C:n välisessä lämpötilassa. [2, s.298; 3, s. 32–33]



Kuva 12. H4-halogeenipolttimon rakenne [3, s. 33].

3.2 Kaasupurkausvalot

Autojen kaasupurkauspolttimot toimivat käytännössä samalla tavalla kuin kotitalouksissa käytetyt loisteputket. Polttimon säiliö, jonka molemmissa päissä on elektrodit, on täytetty ksenonkaasulla. Kaasun sekaan on myös sekoitettu muita aineita, joiden avulla kaasun ominaisuuksia voidaan säätää sopivammaksi käytön mukaan. Kahden elektrodin välille muodostetaan jännite-ero, minkä seurauksena elektrodien väliin muodostuu valokaari, joka hehkuu kirkasta valoa.



Kuva 13. Ksenonajovalopoltin Philips D2S 85 V 35 W [10].

Kaasuseos sytytetään noin 25 000 voltin jännitteellä, minkä jälkeen jännite lasketaan noin 85 volttiin. Korkeista jännitteistä johtuen valaisinkomponentteihin ei tulisi koskea valojen ollessa päällä. Syttyessä kaasupurkausvalo ei heti tuota lopullista valomäärää, mutta täyden valomäärän tuottaminen polttimolta kestää vain muutamia millisekunteja. Valo on kuitenkin kirkkaampi jo syttyessään, kuin halogeenipolttimon tuottama valo. Kaasupurkausvalon värilämpötila vaihtelee 4000 ja 6000 kelvinin välillä, mutta yleisin tehdasvalmisteisen kaasupurkausvalaisimen värilämpötila on noin 4300 kelviniä. Puhtaan valkoisen valon värilämpötila on noin 6 000 kelviniä.

Taulukko 1. Värilämpötila ja sävyt [11].

Värilämpötila	Väri	Valo- virta
4300 K	Kellertävä/valkoinen	3200 lm
5000 K	Valkoinen/kellertävä	3000 lm
6000 K	Valkoinen/sinertävä	2600 lm

Ksenonajovalopolttimoita on useita eri malleja ja niiden rakenne poikkeaa toisistaan. 35 W:n polttimoita ovat D1S, D1R, D2S, D2R, D3S, D3R, D4S ja D4R. 25 W:n polttimot ovat merkinnältään D5 ja D8.

Koska kaasupurkausvalon sytyttämiseen ja valon ylläpitämiseen käytetään eri jännitteitä kuin ajoneuvossa normaalisti käytetään (12 V ja 24 V), on kaasupurkausvaloissa muuntajat eli ballastit. Ballastissa sytytin ja muuntaja on integroitu samaan koteloon. Kun ajoneuvo käynnistetään lähettää ballasti lyhyen korkeajännitteisen impulssin, mikä sytyttää valokaaren elektrodien välille. Valokaaren syttyessä ballasti laskee jännitteen käyttöjännitteeksi sopivalle tasolle.



Kuva 14. Ballasti [11].

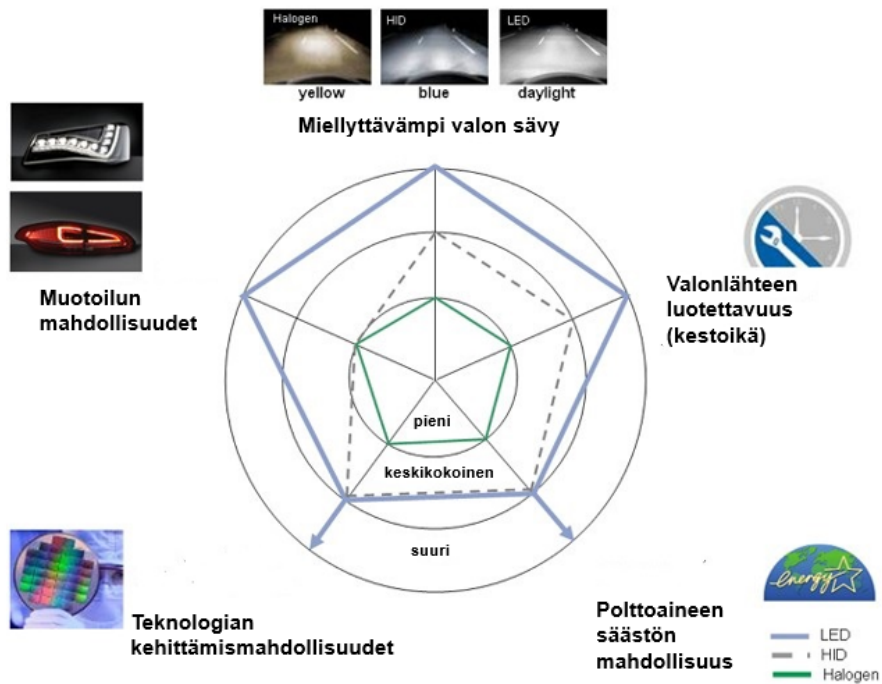
Kaasupurkausvaloista voidaan myös käyttää nimityksiä ksenonvalaisimet tai HID (high intensity discharge). Kaasupurkausvalojen suuri etu halogeenipolttimoihin nähden on, ettei niissä ole tärinälle herkkää hehkulankaa. Kaasupurkausvaloissa on myös halogeenipoltinta suurempi valoteho. Kaasupurkausvalon keskimääräinen käyttöikä on noin 3000 tuntia. [11]

Huomioitavaa kaasupurkausvalojen jälkiasennuksissa tehtäessä on, että kaikissa kaasupurkausvaloissa tulee olla ajovalojen pesuri, 1995 vuosimallista eteenpäin vähintään manuaalinen ajovalojen korkeudensäätö ja 2000 vuoden jälkeen automaattinen korkeudensäätö. Pesuria ja automaattista korkeudensäätöä ei kuitenkaan tarvita, mikäli auton

valovirta on alle 2000 lm. Toisena poikkeuksena sallitaan automaattisen korkeudensäädön puuttuminen, jos auton alustassa ei tapahdu kuormitusmuutoksia, esimerkkinä Citroen C5:n kaasunestejousitus. Alle 2000 lm:n polttimoita ovat 25-wattiset D8 ja D5. Tärkeää on myös tarkistaa, että umpio on hyväksytty kaasupurkausvaloille. Umpion hyväksyntämerkintöjä ksenonpolttimoille ovat DC lähivalolle, DR kaukovalolle ja DCR molemmille. [12, s. 8–9.]

3.3 Led

Led-tekniikkaa alettiin käyttää ajoneuvojen valaisimissa 1990-luvun alussa lisäjarruvaloissa. Nopean kehityksen huippu ovat tällä hetkellä mukautuvat led-ajovalojärjestelmät. Led-valojen rakenne on monimutkainen ja niiden kustannukset ovat yhä melko suuret verrattuna tavanomaisiin tekniikkoihin. Tästä syystä led-ajovalaisimia sai ensimmäisenä vain Premium-luokan autoihin, mutta nyt tekniikka on yleistymässä. CO₂-päästöjen pienentäminen on ollut paljon esillä julkisessa keskustelussa ja politiikassa, minkä seurauksena energiatehokkaiden valojärjestelmien kehittäminen massatuotantoautoihin on yleistynyt. Led-tekniikan etuina ajovaloissa ovat pieni sähkönkulutus, pitkä käyttöikä sekä parempi ajomukavuus päivänvalon kaltaisen värinsä ansiosta. Led-tekniikan ansiosta ajovalaisimiin on saatu paljon enemmän muotoilumahdollisuuksia, ja ne tarjoavat ajoneuvon valmistajille mahdollisuuden tehdä tuotteelleen erottuvan ilmeen. [13] (Kuva 15.)



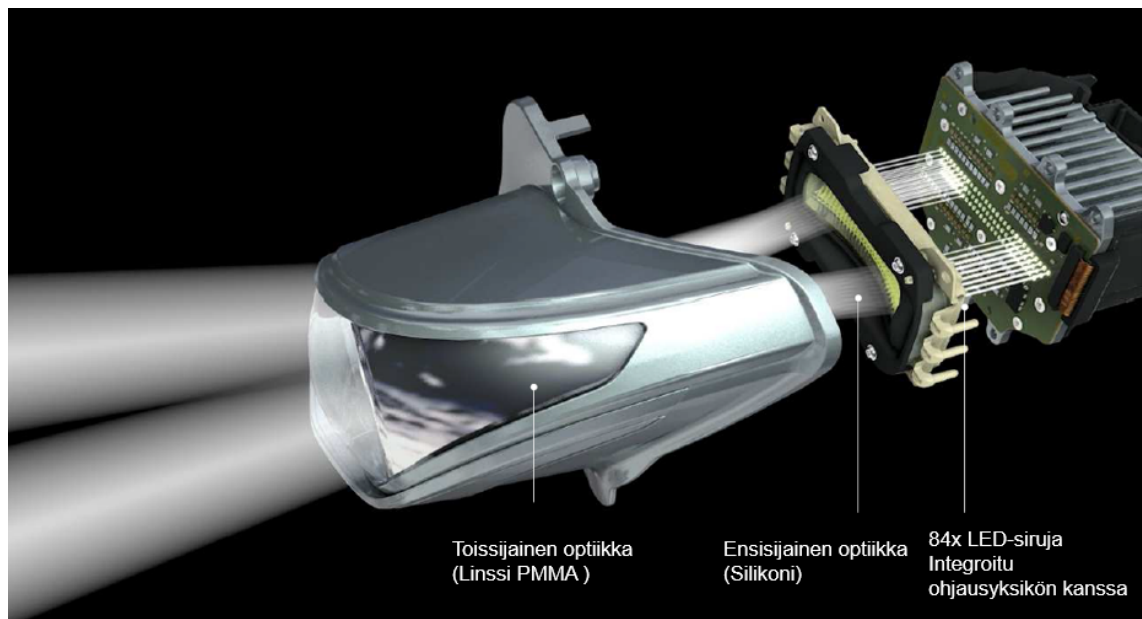
Kuva 15. Led-valaisimen etuja [13].

Led-ajovaloissa valotoiminnot perustuvat puolijohteeseen, jota stimuloidaan elektroni-
sesti tuottamaan valoa. Valo jakautuu kerrostamalla eri linssimoduulien valo tiettyyn ku-
vioon. Led-ajovalot on suunniteltu erityisesti jakamaan valoa vapaamuotoisten FF-lins-
sien kautta, jolloin eri lähteiden tuottama valo tuottaa yhdessä halutun vaikutelman. Edel-
lytyksenä led-valon pitkäkestoiselle toiminnalle on oikea lämpötila. Tästä syystä led-ajo-
valoumpiot on yleensä varustettu tuulettimella (kuva 8, s. 9) sekä lämpötilaa mittaavilla
antureilla hyvän lämmönhallinnan varmistamiseksi. Led-valaisimien haittapuolena kor-
keamman hinnan lisäksi on niiden olematon valon tuottama lämpö. Vaikka itse valo ei
juuri tuota lämpöä on led-valaisimissa ongelmana niiden komponenttien kuumeneminen.
Komponenttien liiallinen kuumeneminen on kuitenkin korjattu automatiikalla, joka laskee
led-sirun tehoa tai sammuttaa sen kokonaan tarvittaessa. Pienestä lämmöntuotosta on
haittaa varsinkin kylmissä olosuhteissa, sillä se ei sulata valoumpioden päälle keräänty-
vää lunta ja jäätä. Lämpöä alentava puhallin toimii myös toisinpäin. Puhallin siirtää mo-
duulien tuottaman lämmön valoumpion lasille ehkäisten lasin huurtumista. [13]

Vianilmaisin on led-valaisimen pakollinen varuste. Jos valaisimen valovirta ylittää 2000
luumenia, sen täytyy olla varustettu lisäksi ajovalon puhdistuslaitteella [12, s. 9].

Led-valaisimien suurimpia etuja hehkulamppuun verrattuna on sen kyky tuottaa maksimi valoteho alle millisekunnissa. Tavallisella hehkulampulla tämä kesää noin 200 millisekuntia. Esimerkiksi jarruvaloissa käytettynä led-valo pystyy välittämään jarruvalon avulla jarrutusviestin aikaisemmin kuin hehkulamppu. Led-valojen etu muihin lamppeihin verrattuna on myös niiden pitkäikäisyys, minkä takia led-valoja käytetään myös usein ohjaustaulussa. Led-valoja on myös mahdollista saada erivärisinä. Led-valon sävy riippuu käytetystä materiaalista tai sen päällystyskalvon sävystä. Led-valon aallonpituus riippuu puolijohdteesta käytetystä materiaalista. Yleisimmin käytetyt puolijohdemateriaalit ovat galliumyhdisteet. [3, s. 35.]

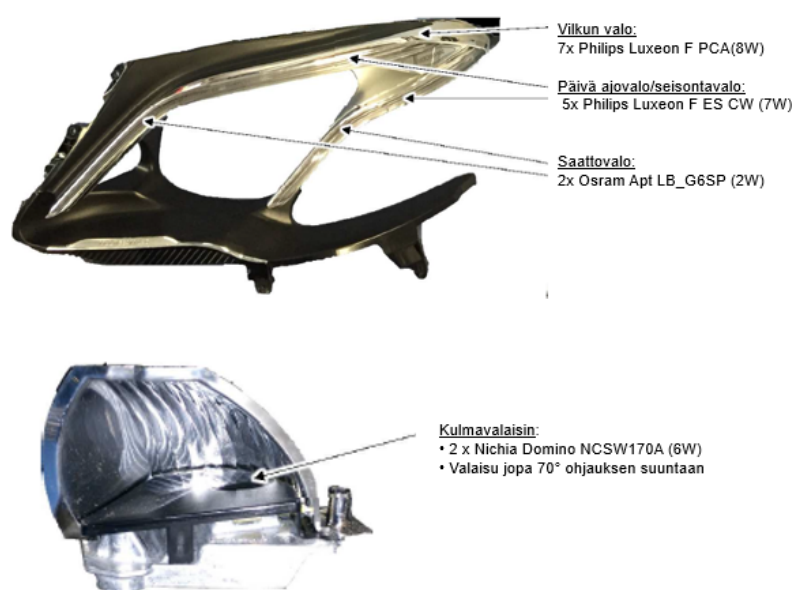
Rakenteen osalta led-ajovalot voidaan jakaa karkeasti kahteen eri ryhmään. Osassa rakenteista led-moduulit on sijoitettu perinteisen linssiumpion tapaan, jolloin valotoimintoja voidaan mukauttaa dynaamisesti kääntämällä mukautuvien kaasupurkausvalojen tapaan. Toisissa rakenteissa led-moduulit ovat kiinteästi sijoitettuja. Tämän tyyppisissä ajovaloissa ajotilanteen mukaan mukautuvia ja kääntyviä valotoimintoja ohjataan kytke-mällä ja sammuttamalla yksittäisiä led-siruja.



Kuva 16. Mukautuva Mercedes-Benz W213 -led-valojärjestelmä, jossa ei ole liikkuvia osia [14, s. 9].

Mercedes-Benz on tuonut markkinoille älykkään led-valaisinjärjestelmän, joka on toteutettu ainoastaan led-siruilla. Multibeam-järjestelmän 84:ää erillistä, kolmeen riviin järjestettyä led-sirua voidaan ohjata tarkasti yksitellen. Tämä tarkoittaa, että

ajovalaisimissa on lähes rajaton määrä mahdollisuuksia valita miten 168 lediä käytetään. Järjestelmällä mahdollistetaan kuljettajalle hyvä näkyvyys kaikenlaisissa ajotilanteissa ja sääolosuhteissa häikäisemättä kuitenkaan vastaantulevaa liikennettä. Lisäksi Multibeam-valaisinjärjestelmään on kytketty muutakin elektroniikkaa kuten 100 kuvaa sekunnissa kuvaava kamera, joka tunnistaa mm. liikennemerkit, muut ajoneuvot ja tiellä liikkujat. Navigointijärjestelmän paikkatietoja hyödynnetään tunnistamaan tietyyppi, nopeusrajoitukset, kaistojen määrä ja tien muodot, minkä avulla voidaan valaista paremmin risteysalueita tai liikenneympyröitä taajamissa.



Kuva 17. Rungon kansi ja kulmavallo Mercedes-Benz W213 [14, s. 5].

Ulommaisena valaisimen umpiossa on monitoiminen kuitu-optinen valonauha päivävaloille, suuntavilkuille, pysäköinti- sekä saattovaloille. Järjestelmässä on automaattisesti aktivoituva kaarrevalo.



Kuva 18. Osarakenne Mercedes-Benz W213 [14, s. 8].

Sisempänä rakenteessa päivävalokehysten takana on lähi- ja kaukovalojen linssi, johon kuva heijastetaan led-pikselimoduulista. Poiketen Mercedes-Benz W212 -ajovalojen rakenteesta järjestelmästä puuttuu liikkuva varjostin.

Multibeam-järjestelmässä on molemmilla puolilla 84 led-sirua, joista jokaista voidaan käyttää yksittäin. Yläriivin led-sirut toimivat kaukovalotoiminnoissa. Yksittäisiä led-siruja ohjataan sytyttämällä ja sammuttamalla. Häikäisemätön valokuvio tehdään sammuttamalla U-muotoinen alue edessä ajavan tai vastaantulevan ajoneuvon kohdalle. Keskirivin 24 led-sirut tuottavat osittaisesti moottoritien kaukovalot sekä toimivat adaptiivisissa kaukovalotoiminnoissa. Keskirivin led-siruja hyödynnetään maantievalotoiminnoissa, jolloin saadaan lähivaloja kirkkaammin ja laajemmin valaiseva valokuvio. Näin mahdollistetaan kuljettajalle parempi näkyvyys ja reagointiaika. Alimman rivin led-sirut toimivat lähivalotoiminnoissa.

Kuvan 19 numeroidut laatikot kuvaavat yksittäin ohjattuja led-siruja Multibeam-järjestelmässä. Järjestelmä toimii automaattisesti, kuljettajan ei tarvitse vaihtaa valoja pitkien ja lyhyiden ajovalojen välillä. Järjestelmän ohjainyksikkö laskee parhaan valokuvion 100 kertaa sekunnissa tunnistaen vastaantulevan liikenteen stereokameran avulla ja ohjaa led-sirujen toimintaa. [14, s. 10.]

BMW:n mukaan i8:ssa olevista laservaloista saadaan 170 luumenia wattia kohden, kun taas led-valoissa vastaava luku on 100 luumenia wattia kohden. Jäähdytystarpeesta huolimatta laservalot säästävät ledeihin verrattuna energiaa, tämä vähentää myös auton energiankulutusta. [17]

Kaukovalaisimen ydin on valolähteenä toimiva laseryksikkö, joka on tehtävältään verrattavissa perinteisen umpion polttimoon. Alkulähteenä järjestelmässä on laserdiodilla tuotettu valosäde. Diodin koko on merkittävästi pienempi kuin normaali ledi, joten tilantarve on vähäinen ja kalliista puolijohdemateriaalista saadaan useampia komponentteja.

Laseryksikössä on kolme laserdiodia, joiden yksiväriset, siniset säteet kohdistetaan peilien ja kokoojalinssin kautta fluoresoivalle fosforipitoiselle välilinssille. Yhteen koottu koherentti ja lyhytaaltainen lasersäde sytyttää linssissä fluoresenssi-ilmiön, myös loisteputket toimivat tällä periaatteella. Ilmiössä fluoresoivaa ainetta pommittava valo virittää aineen elektronit korkeammalle energiatasolle, ja virityksen purkautuessa pääosa vapautuvasta energiasta säteilee pidempiaaltoisena valona. Fosforilinssistä säteilevä valo on näkyvää ja vaarattomaksi hajaantunutta. Tämän jälkeen valo kohdistetaan umpion heijastimella halutulla tavalla tielle. Valmistajien mukaan fosfori ei kulu laserin pommituksessa, joten valojärjestelmän luvataan pysyvän vakaana koko auton eliniän.

Valonsävy on päivänvalon kaltainen. Vertausta on käytetty jo ksenonvalojen yhteydessä, mutta laserkaukovalo on valomääräysten rajoissa jopa ledivaloja valkoisempaa eli väriämpötilaltaan kylmempää. Laservalon sävy koetaan miellyttävänä, ja pimeällä kohteet erottuvat sen valaisemana hyvin. [18]



Kuva 20. Laservalaisimen rakenne BMW i8 [18].

3.5 OLED

OLED eli "organic light emitting diode" ovat litteitä valonlähteitä, toisin kuin led-valot, jotka ovat pistemäisiä valonlähteitä. Yhdessä OLED-yksikössä on kaksi elektrodia, joista toisen on oltava läpinäkyvä. Elektrodeissa on käytetty ohuita kerroksia orgaanisia puoli-johdemateriaaleja. Nämä kerrokset aktivoituvat ja valaisevat 3–4 voltin tasavirtajännitteellä. Näiden orgaanisten kerrosten paksuus on 100–150 nanometriä. Molekyyli rakenne valonlähteessä määrittää valon värin.

OLED-valojen etuina ovat tehokkuus, keveys, yhtenäinen ja tasainen valo eivätkä ne tarvitse jäähdytystä. OLED-valot voi myös himmentää portaattomasti ja jakaa pieniin segmentteihin, joissa voi olla erilaisia kirkkaustasoja. Tulevaisuudessa yleistyvät OLED-valoissa muovifilmit, mikä mahdollistaa materiaalien joustavuuden ja kolmiulotteiset muodot. OLED-valaisimet eivät myöskään tarvitse heijastinpintoja, valonohjaimia tai vastaavia komponentteja. [19, s. 58 – 66]

OLED-valoja on käytössä vasta jarruvaloissa ja suuntavilkuissa. Esimerkkinä BMW Iconic lights concept, missä BMW:n M4 takavalot on korvattu OLED-valoilla. Aktivoimalla eri OLED-segmenttejä voidaan luoda erilaisia kuvioita tai efektejä ajotilanteen mukaan. Esimerkiksi asettaessa auto sport-asetukselle muuttuvat takavalot kapeammaksi ja tervämmäksi.



Kuva 21. BMW Iconic light concept OLED-takavalot [20].

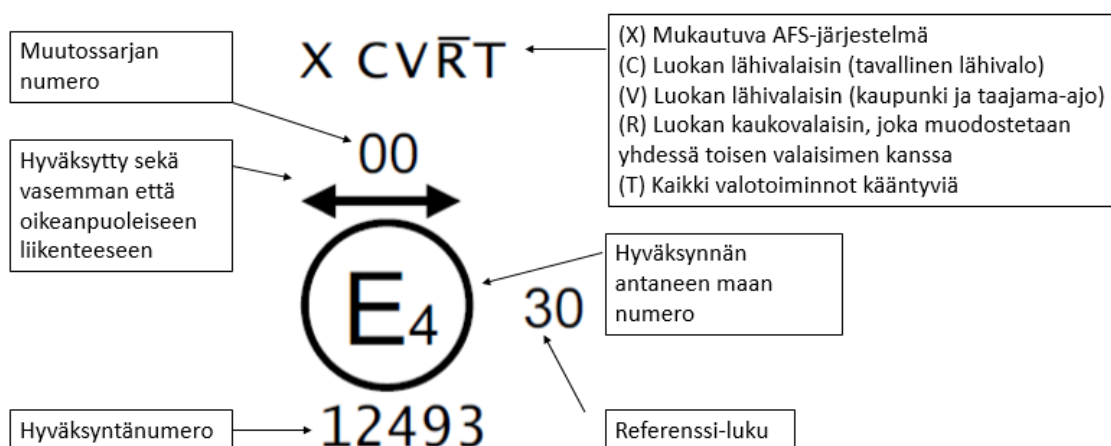
OLED-valojen heikkous on niiden heikompi valoteho verrattuna LED-valoihin. OLED-valojen valoteho on noin kolmannes led-valaisimiin verrattuna. Toistaiseksi OLED-valaisimilla on myös lyhyt käyttöikä, mikä johtuu valoissa käytettyjen polymeerimateriaalien herkkyydestä hapelle ja kosteudelle. Tämä kuitenkin tulee paranemaan suojakalvojen kehityksen avulla. [21]

4 Lainsäädäntö

Tässä luvussa käsitellään ajoneuvojen ajovalojärjestelmiä koskevaa lainsäädäntöä. Ajoneuvojen valaisimia koskevat ajantasaiset tekniset vaatimukset on annettu voimassa olevissa UNECE:n ajovaloja koskevista E-säännöissä sekä TraFi kansallisissa säädöksissä. Tähän työhön on koottu oleellisia säädöksiä ja huomioitavia seikkoja ajovalojen osalta.

4.1 Merkinnot

Hyväksytyjen ajovalojen tulee olla EU-direktiivien mukaiset ja siitä on merkinä suorakulmion ympäröimä pieni e-kirjain ja numero. Numero ilmaisee maan, jossa hyväksyntä on tehty. Valaisimen hyväksymismerkintä voi olla myös ympyröity iso E-kirjain, joka tarkoittaa, että valaisin on hyväksytty vuonna 1958 Genevessä tehdyn sopimuksen mukaan. Merkinnot täytyy olla helppolukuisessa paikassa siten, ettei merkintää voi poistaa valaisimesta. Kansainvälisesti hyväksytyissä valaisimissa on näiden merkintöjen lisäksi merkitty valaisintyyppiä tai toimintoja kuvaavat kirjaimet, valovoiman vertailu- eli referenssiluku, merkintä siitä minkä E-säännön ja sen muutossarjan mukaan kyseinen valaisin on hyväksytty sekä symbolit, jotka osoittavat onko valaisin hyväksytty oikean- ja/tai vasemmanpuoleiseen liikenteeseen. [12, s. 16]



Kuva 22. Esimerkki AFS-ajovalaisimen hyväksyntämerkinnästä [12, s. 16].

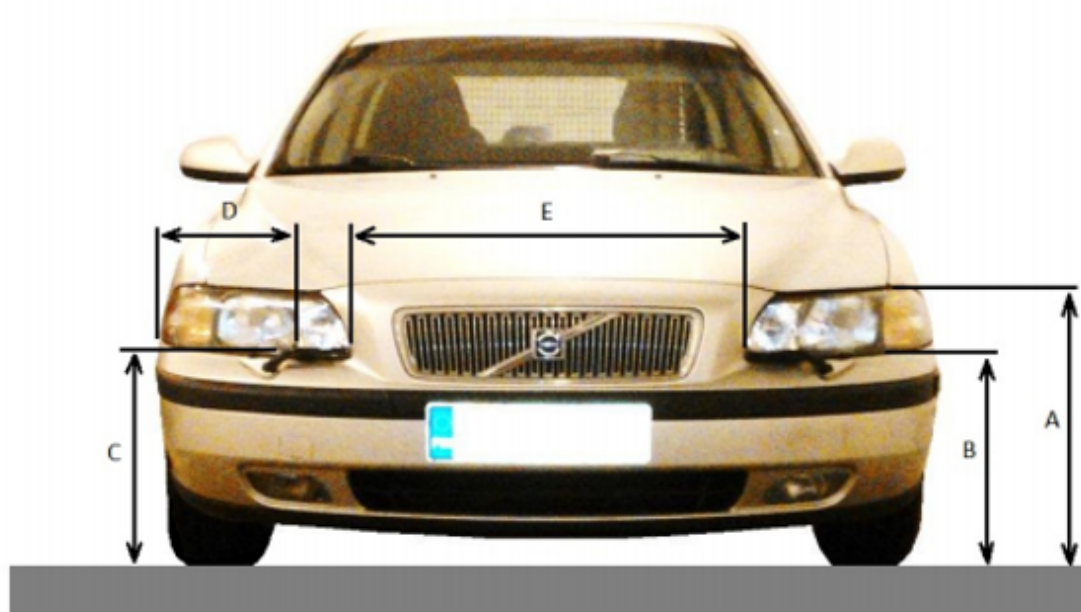
Kuvassa on esimerkki AFS-ajovalaisimen hyväksyntämerkinnästä. Valaisimen hyväksyntä on tehty Alankomaissa (4) numerolla 12493. (00) tarkoittaa ajovalaisimen olevan

hyväksytty E123 säännön mukaisesti. Tyyppihyväksynnän E123 sääntö koskee mukautuvien etuvalaisujärjestelmien (AFS-järjestelmien) tyyppihyväksyntää. Kirjain X on mukautuva AFS-järjestelmän tunnus. Tunnukset C ja V kertovat, että järjestelmässä on tavalliset C-luokan lähivalot sekä V-luokan kaupunki- ja taajama-ajovalot. R-luokan kaukovalomerkin pään päällä on viiva tarkoittaa, että kaukovalot on toteutettu useammalla kuin yhdellä ajoneuvon etukulmaan sijoitetulla valaisinyksiköllä eli valaisimella. Valotyyppimerkintöjen perään merkattu T-tunnus ilmaisee, että kaikki valaisinyksikön valot täyttävät myös kääntyviin valoihin sovellettavat määräykset.

Referenssiluku 30 on vertailuluku, joka ilmaisee kaukovalon enimmäisvoimakkuuden. Nuoli, joka osoittaa oikealle ja vasemmalle, ilmaisee että valaisin on hyväksytty sekä oikean- että vasemmanpuoleiseen liikenteeseen. Jos merkinnässä olisi nuoli oikealle, valaisin olisi hyväksytty vain vasemmanpuoleiseen liikenteeseen. Oikeanpuoleiseen liikenteeseen tarkoitetussa ajovalaisimessa ei tarvita nuolia ollenkaan. [22, 1–16.]

4.2 Ajovalojen määräykset

Ajoneuvoissa tulee olla, edessä kummallakin puolella yksi lähi- ja kaukovalon käsittävä valonheitin. Useimmiten lähivaloja saa olla enintään kaksi ja kaukovaloja neljä. Kaikkien eteenpäin suunnattujen ajovalojen yhteenlaskettu valovoima ei saa ylittää 300 000 cd (kandelaa). Valovoima saadaan laskettua kertomalla valonheittimen referenssiluku (100) 3000:lla. Lähi- ja kaukovalojen tulee antaa valkoista valoa. Kellertävän ja sinertävän ajovalopolttimen katsotaan antavan valkoista valoa. Polttimoita tulee käyttää pareittain ja värin tulee olla samankaltainen molemmin puolin. [4, s. 192.]



- A = Etusuuntavalaisimen suurin korkeus
 B = Etusuuntavalaisimen pienin korkeus
 C = Lähivalaisimen pienin korkeus tehollisesta valaisupinnasta
 D = Kaukovalaisimen etäisyys reunasta
 E = Kaukovalaisimien välinen etäisyys

Kuva 23. Valaisimen sijainnin mittaaminen [12, s. 4].

4.2.1 Lähivalot

Ajovalojen tulee olla sijoitettuna autoon niin, että leveyssuunnassa ajovalon ulkoreunasta on enintään 40 cm auton suurinta leveyttä sivuavasta pystysuuntaisesta pystytasosta ja korkeus minimissään 50 cm maanpinnasta ja maksimissaan 120 cm. Ajovalojen välisen etäisyyden tulee olla vähintään 60 cm, paitsi jos auton leveys on alle 1300 cm saa ajovalojen välinen etäisyys olla kuitenkin maksimissaan 40 cm. [23, s. 3.]

4.2.2 Kaukovalot

Kaukovalojen tarkoitus on valaista ajorataa pitkälle eteenpäin. Kaukovalot voidaan kytkeä päälle pareittain tai yhtäaikaaisesti. Lähivaloille siirryttäessä pitää kaukovalojen sammuttaa yhtäaikaisesti. Lähivalot saavat palaa yhtäaikaisesti kaukovalojen kanssa. Kaukovalojen päällä oloa ilmaiseva merkkivalo on pakollinen kaikissa ajoneuvoissa.

Kaukovaloissa on erittäin tärkeää, että ne on suunnattu eteenpäin ja niistä tuleva valo ei saa häiritä suorasti tai epäsuorasti heijastumalla kuljettajaa. Maksimi valovoimakkuus kaukovalojen ollessa yhtäaikaaisesti päälle kytkettyinä on 300 000 cd. Tätä vastaava referenssiluku on 100. Kaukovalaisimen on oltava tyyppihyväksytty E-säännön mukaisesti. Ajoneuvoon saa asentaa lisäkaukovalot, kunhan ne täyttävät määräykset symmetriasta ja maksimi valovoimasta. Lisäkaukovalot saa asentaa myös ajoneuvon katolle, huomiotavana asiana kuitenkin on, ettei valaisimen aiheuttama hajavallo saa osua kuljettajan näkökentässä oleviin auton osiin, kuten esimerkiksi konepelltiin, etusuojaajärjestelmään tai tuulilasiin. Aiemmin maakohtainen säännös kielsi kaukovalojen asentamisen etuakselin takapuolelle. Uutena säännöksenä 6/2017 astuu mahdollisesti voimaan, että ajoneuvoon saa asentaa yksittäisen tai kolmannen kaukovalaisimen, tämä sallii led-sauvamaallisen lisävalon käytön esimerkiksi rekisterikilven yläpuolella. [23, s. 6.]

4.2.3 Etusumuvalot

Etusumuvalojen tarkoitus on parantaa ajoradan valaisemista sumussa, rankkasateessa ja lumisateessa. Etusumuvalot eivät ole pakollisia. Sumuvalon vaadittu alenema on 2 prosenttia. Etusumuvalaisimen tulee olla hyväksytty E-säännön 19 mukaisesti.

Etusumuvaloja tulee niitä olla kaksi, ja niiden tulee olla suunnattu eteenpäin siten, että ne eivät häikäise tai häiritse vastaan tulevaa liikennettä. Etusumuvalojen valon värin tulee olla valkoinen. Etusumuvalot saa sijoittaa maksimissaan 400 mm etäisyydelle ajoneuvon uloimmasta reunasta ja vähintään 250 mm maanpinnasta. Etusumuvalon mikään valaiseva piste ei myöskään saa olla korkeammalla kuin lähivalojen korkein piste. Etusumuvalot eivät tarvitse merkkivaloa, mutta on suositeltavaa, että merkkivalo olisi autossa. [23, s. 10.]

koska sumuvalon aleneman täytyy olla 2 prosenttia ja niiden täytyy olla sijoitettuna alle 400 mm:n korkeudelle, ne näyttävät maksimissaan 20 metrin päähän. Tästä syystä sumuvaloja tulee käyttää vain sään sitä vaatiessa. Ne eivät korvaa lähivaloja. Koska sumuvalojen valokuvio on suunnattu alenemaan 2 prosenttia, ne voivat aiheuttaa heijastumaa märästä asfaltista ja häikäistä vastaantulevaa liikennettä.

4.2.4 Kulmavalaisin

Kulmavalaisimen merkintä on K-kirjain. Kulmavalaisimia saa olla ajoneuvossa kaksi kappaletta ja niiden sijoituskorkeuden tulee olla 250–900 mm:n korkeudella maanpinnasta. Näkyvyyskulman tulee olla 10 astetta ylös- ja alaspäin sekä 30–60 astetta ulospäin. Kulmavalot saavat kytkeytyä päälle ainoastaan lähi- tai kaukovalojen ollessa päällä. Sisäkaarteiden puoleisen kulmavalon päälle- ja poiskytkentä voi tapahtua ohjauskulman kääntämisen ja/tai suuntavalon mukaan. Kulmavallo saa toimia ainoastaan nopeuksissa alle 40 km/h. Molemmat kulmavalaisimet saavat syttyä yhdessä peruutusvalon kanssa peruuttaessa ja silloin toiminnolle ei ole rajoitteita nopeuden tai kääntökulman suhteen. [24, s. 103–104.]

4.2.5 Kytkennät

Ajoneuvon etu- ja takavalaisimien, rekisterikilven ja mahdollisten ääri- ja sivuvalaisimen sähköliitännöiden tulee olla kytkettyjä niin, että valaisimet voidaan kytkeä päälle ja pois vain yhtäaikaaisesti. Vaatimusta ei kuitenkaan tarvitse noudattaa, mikäli sivu-, etu- ja takavalaisimia on yhdistetty edellä tarkoitettuihin valaisimiin pysäköintivalaisimina. Sähköliitännöissä tulee myös huomioida, että lähi-, kauko- tai sumuvalaisimet voidaan kytkeä päälle vain, jos aikaisemmin mainitut valaisimet on kytketty päälle. Poikkeuksena tästä ovat kuitenkin lähi- tai kaukovalaisimet, jotka on tarkoitettu antamaan varoitusvalomerkkiä. Kaikki valaisimet saavat olla kätkevässä, lukuun ottamatta lähi-, kauko- ja sumuvalaisimia. Kytketyt valaisimet tulee pystyä siirtämään käyttöasentoon ja päälle yhdellä hallintalaitteella. [23, s. 2.]

5 Mukautuvat ajovalojärjestelmät

Tässä luvussa käsitellään autojen mukautuvia ajovalojärjestelmiä. Tarkasteluun on otettu myös järjestelmään liittyviä lainsäädännöllisiä määräyksiä ja säädöksiä. Lisäksi toimintoihin tutustutaan käytännön esimerkkien kautta.

Mukautuvassa etuvalaisinjärjestelmässä eli AFS-ajovaloissa (adaptive front lighting system) valokuvio säätyy automaattisesti ajotilanteen mukaan. Lähivalojen ja mahdollisesti kaukovalojen valokuvion kantama, leveys ja korkeus sopeutuvat eri ajotilanteisiin par-

haiten sopivaksi. Valokuvion edistyksellistä sopeuttamista täydentävät ajovalojen korkeuden säätö, kääntymisvalotoiminto ja ajovalojen dynaaminen kääntymistoiminto (kaar-revalotoiminto). Kun kaikki nämä toiminnot yhdistyvät, ajorata saadaan aina valaistua mahdollisimman hyvin ja turvallisesti. Ihmiset ja esteet on huomattavasti helpompi havaita.

5.1 AFS-toiminnot

AFS-järjestelmässä lähivalotoimintoja voidaan tuottaa usealla eri valaisinyksiköllä. AFS-järjestelmän valokuviot on jaettu viiteen eri pääluokkaan valaisutoiminnoiltaan. Järjestelmän on tuotettava luokan C lähivalot sekä yhdet tai useammat joidenkin muiden luokkien lähivalot. AFS-järjestelmän tulee olla tyyppihyväksytty E-säännön 123 mukaisesti. Pakollisena varusteena järjestelmän kanssa on E-säännön 45 vaatimustenmukainen pesulaite sekä AFS-järjestelmän vianilmaisin. Automaattinen ajovalojen korkeudensäätö vaaditaan samoilla perusteilla kuin muissakin ajovalojärjestelmissä. [12, s. 15.]

AFS-järjestelmän valaisutoimintojen automaattisen muutoksen tulee olla toteutettu niin, että tielle saadaan kunnollinen valaistus, joka ei haittaa kuljettajaa eikä muita tienkäyttäjiä. Kuljettajan on voitava kytkeä järjestelmä neutraaliin asentoon ja takaisin toimintaan, toisin sanoen tilaan, jossa se tuottaa luokan C peruslähivalot. [24, s. 112.]

AFS-järjestelmä on pystyttävä muuttamaan myös toisen puolen liikenteen mukaiseksi kuin mihin se on hyväksytty tai sen toimintaa on muutettava niin, ettei se aiheuta muulle liikenteelle haittaa. Muutos täytyy pystyä tekemään ilman erikoistyökaluja. [22, s. 12.]

C-lähivalo -toimitilassa maantieajossa auton edessä oleva valokeila vastaa lähiajovalojen suuntausta. Ajoneuvon C-lähivalojen tulee olla kytkettynä myös valojärjestelmässä, silloin kun ajoneuvo on paikallaan. Näin ollen lähivalojen valokuvio voidaan tarkastaa tavalliseen tapaan katsastuksessa tai huollossa. [24, s. 112.]

E-luokan moottoritie -toimitilassa valokeila suunnataan auton eteen niin, että kuljettaja ehtii ajoissa reagoimaan esteeseen tai muuhun vaaraan. Valojakauman kantama on suunniteltu leveille kaarteille suurissa nopeuksissa. Toimitila kytkeytyy aktiiviseksi noin 100 km/h nopeudesta lähtien. [24, s. 113.]

Automaattisesti toimiva adaptiivinen kaukovaloavustin valaisee tietä koko ajan kaukova-
loilla häikäisemättä vastaantulevaa liikennettä. Järjestelmä leikkaa vastaantulevia autoja
häikäisevän valokeilan pois käytöstä.

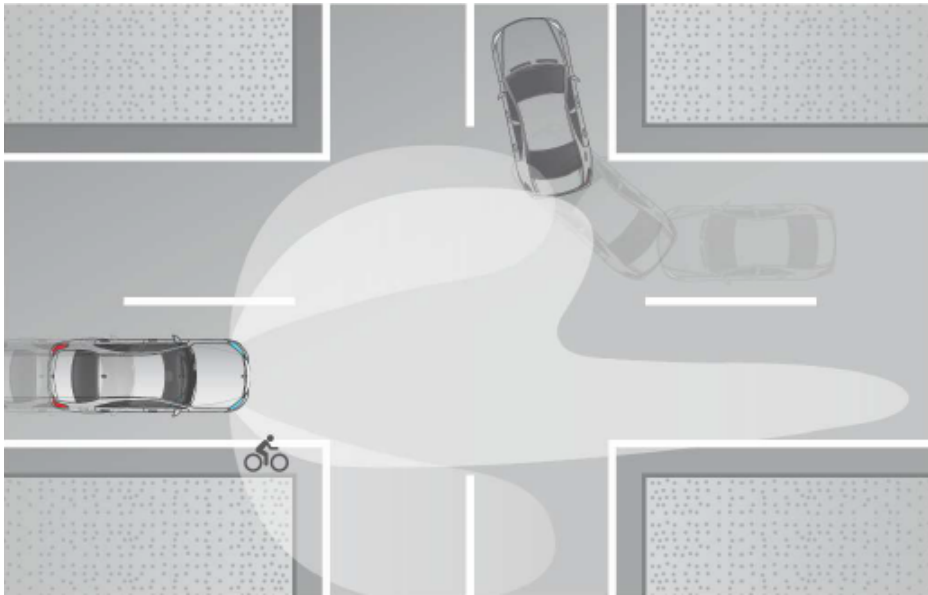
W-luokan huonon sään toimitilassa valokeila suunnataan auton eteen niin, ettei vastaan-
tuleva ajoneuvo ei häikäisty sateella. Toiminto tuottaa leveämmän valon hajasäteilyn,
jolloin näkyvyys paranee sateella, sumussa tai lumessa. Oman häikäistymisen vähentä-
miseksi tämä toiminto myös vähentää kaukovalaisua. Toimitila aktivoituu nopeusalueella
50–90 km/h ja jos lasinpyyhkimet ovat olleet käytössä yli 2 minuuttia keskeytyksettä.
Toiminto kytkeytyy pois päältä, kun lasinpyyhkimet ovat olleet pois käytöstä yli 8 minuut-
tia. Etusumuvalot eivät saa olla kytkettyinä samanaikaisesti tämän toimitilan kanssa. [24,
s. 113; 25, s. 13.]



Kuva 24. Huonon sään valotoiminto [14, s. 13].

Esimerkiksi Mercedesen Multibeam-järjestelmässä huonon sään valotoiminto aktivoi-
tuu päälle, kun pyyhkijät ovat olleet päällä yli 2 minuuttia. Tämä toteutetaan himmentä-
mällä valitut ledit pikselimoduulissa. Toiminnon etuna on, että sillä vältetään vastaan-
tuloa häikäisevä valaisu epäsuoralla valaisulla.

V-toimitilassa valokeila suunnataan auton eteen niin, että se valaisee paremmin esimer-
kiksi risteysaluetta, jalkakäytävää tai suojatietä. V-toimitilan valokuviossa on vaakasuora
kirkas pimeäraja, joka vähentää häikäisyä muille tiellä liikkujille Toimitila on aktiivisena
nopeuksissa alle 50 km/h. [24, s. 113,]



Kuva 25. Esimerkkinä Mercedes-Benzin risteys ja liikenneympyrä -valaisutoiminto [14, s. 14].

Mercedes-Benzillä tämän toiminnon aktivoituminen perustuu navigointitietoihin. Valaisu sovitetaan sopivaksi risteysiin. Etuna on parempi valaisu risteyksissä sekä liikenneympyröissä. Toiminto aktivoituu ennen risteystä, t-risteyksissä ja liikenneympyröissä ilman nopeusrajoitusta ja x-risteyksissä nopeuksissa alle 30 km/h. [14, s. 14.]

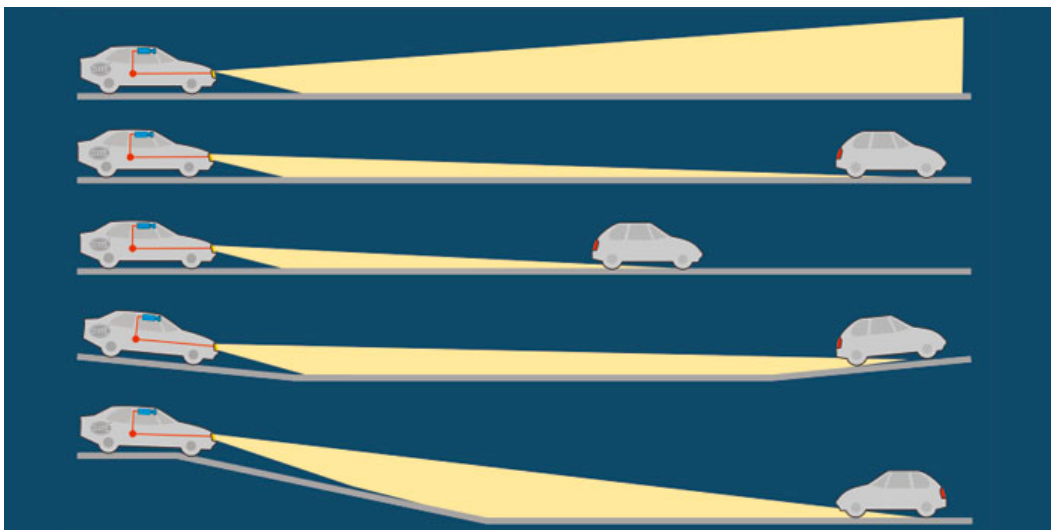
T-kaarreaajovalotoiminnossa valokeila suunnataan auton eteen ohjauskuiman mukaiseksi niin, että ajorata pysyy valaistuna myös kaarteiden alueella. Tämä toiminto on aktiivinen nopeudesta 10 km/h lähtien sekä kaikkien AFS-toimitilojen aikana. [24, s. 113–114.] Alla olevasta taulukosta (taulukko 2) löytyvät kaikki merkinnät ja niiden toimintojen kuvaukset.

Taulukko 2. AFS-järjestelmän toimitilamerkinnät ja toiminnot

Mer- kintä	Toiminto
X	Mukautuva AFS-järjestelmä
C	C-luokan lähivalo (tavallinen lähivalo)
V	V-luokan lähivalo (kaupunki- ja taajama- ajo)
E	E-luokan lähivalo (maantie- ja moottori- tieajo)
W	W-luokan lähivalo (märkä keli)
T	Kääntyvä valotoiminto
R	R-luokan kaukovalo

5.2 Mukautuva kaukovaloavustin

Mukautuvan kaukovaloavustimen toiminta on samantyyppinen kuin AFS-järjestelmän. Tässä järjestelmässä tuulilasin sisäpuolelle asennettu kamera havainnoi muuta liikennettä, minkä mukaan järjestelmä säättää ajovalojen korkeutta ja suuntaa. Järjestelmä käyttää valojen suuntaamiseen samanlaista projektorimoduulia kuin AFS-järjestelmä. Lisäksi järjestelmä tunnistaa tienpinnan muotoja ja pystyy säätämään valoja riippuen ympäristöstä. Järjestelmän tehtävä on maksimoida kuljettajan näkyvyys ja estää edessä ajavien ja vastaan tulevien häikäiseminen. Hellan Adaptive Cut-off line -järjestelmän valojen pitkittäinen geometrinen säätöalue on 65 metristä 200 metriin. Mikäli järjestelmä ei havaitse muuta liikennettä, kytkee se automaattisesti kaukovalot päälle. Mukautuvalla kaukovaloavustimella on merkkivalo kojelaudassa. Sen symbolina on kaukovalojen merkki, jonka sisällä on iso A-kirjain. [13]



Kuva 26. Mukautuva kirkas-pimeäraja [13].

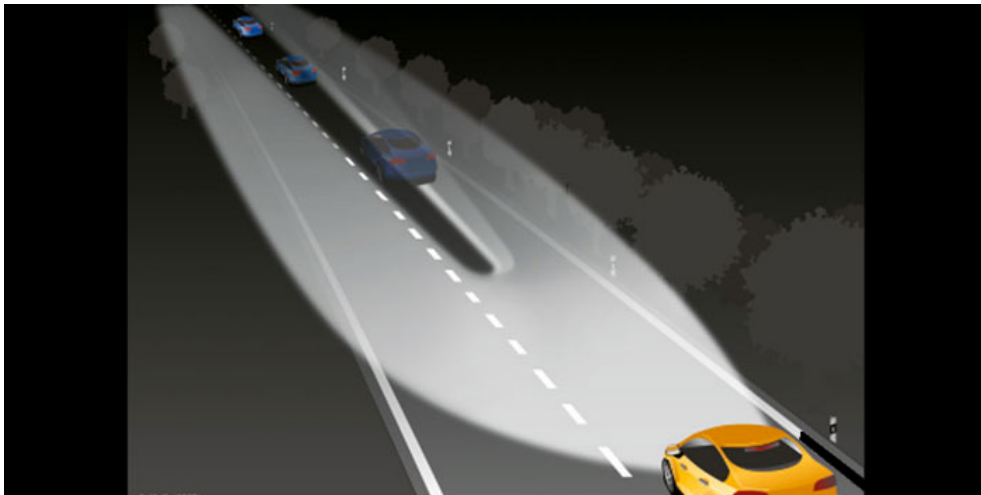
5.3 Kaukovaloavustin mukautuvalla varjostimella

Kaukovaloavustimen mukautuvalla varjostimella on tarkoituksena saada aikaan kaukovalo, joka ei häikäise edessä olevaa tai vastaan tulevaa liikennettä. Kuten mukautuvassa kaukovaloajärjestelmässä mukautuvalla varjostimella varustetussa kaukovaloavustimessa on tuulilasin sisäpuolella kamera, joka havainnoi ympäristöä ja muuta liikennettä. Kameran avulla järjestelmä osaa säätää muuttuvaa rajausvarjostinta. Tämän avulla voidaan rajata valaistuja alueita, jotta muut tienkäyttäjät eivät häikäisty. Varjostin seuraa

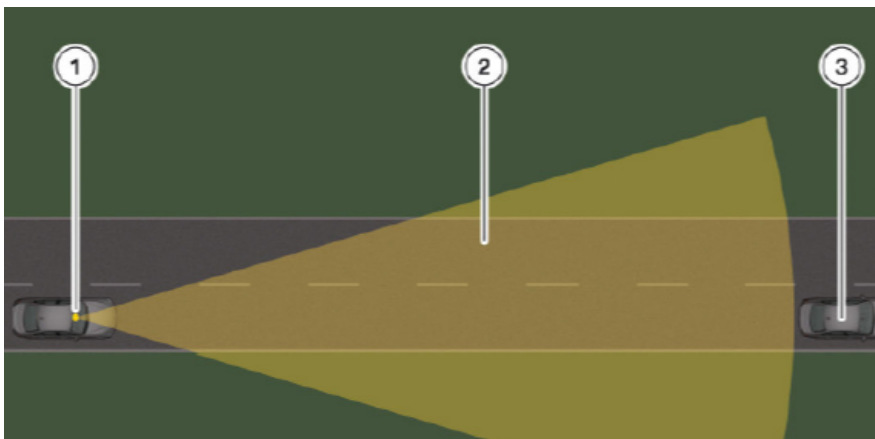
portaattomasti liikkuvaa kohdetta. Vastaava järjestelmä löytyy muun muassa BMW F30:n ajovalojärjestelmässä. [13; 26]



Kuva 27. Hellan häikäisemättömän alueen muodostava kaukovaloavustimen varjostinrulla [13].



Kuva 28. Pystysuuntainen kirkas-pimeäraja [13].



Kuva 29. BMW F30 Häikäisemättömän kaukovalon tunnistaminen (1. Kafas- tai Fla-videokamera. 2. Videokamera tunnistusalue. 3. Edellä ajava ajoneuvo) [26].

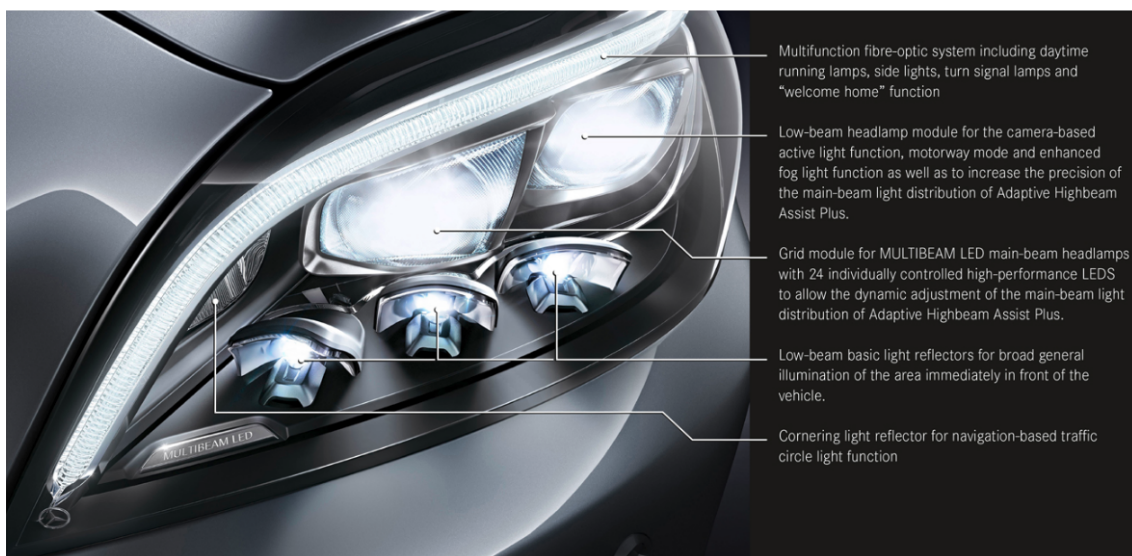
5.4 Kulmavalaisin

Kulmavalaisimella saavutetaan parempi näkyvyys kaarteissa ja risteyksissä valaisemalla ajorataa kääntymissuuntaan. Kulmavalaisin parantaa mm. jalankulkijoiden havainnointia valaisemalla tien osan, joka jäisi valaisematta perinteisellä ajovalolla. Kulmavalovo voidaan tuottaa sisäkaarteen puoleisella sumuvalolla tai ajovaloumpioon toimintoa varten sisäänrakennetulla led- tai halogeenipolttimolla. Valotoiminnon täytyy olla toteutettu siten, että se laajentaa ajovalojen valokuvioita sivusuunnassa, kuitenkin häikäisemättä muuta liikennettä. Kulmavalaisintoiminto saa olla käytössä alle 40 km/h nopeuksissa. Kulmavalon toiminnan voi tarkastaa auton ollessa paikallaan kääntämällä ohjauspyörää puolelta toiselle tai kytkemällä suuntavalon päälle, myös ajovalojen tulee olla päällä toiminnon aktivoimiseksi. [24, s. 73; 2, s. 319.]

Jos kulmavalaisin on sijoitettu lähivalaisimen asennusyksikön yhteyteen, sitä voidaan käyttää myös staattisena kaarrevalona. Tällöin kulmavalolle asetettu nopeakäyttönopeusrajoitussääntö 40 km/h ei koske staattista kulmavalotoimintoa. Rajoituksena kuitenkin on, että ajoneuvon painopisteen kulkulinjan vaakasuuntainen kaarevuussäde on enintään 500 m. [24, s. 76.]

Mercedes-Benz CLS W218 -kulmavalaisin on toteutettu led-valoilla ajovalon yhteyteen, joten se täyttää lisäksi staattisen kaarrevalon vaatimukset. Jotta kulma- tai kaarrevalotoiminto on aktiivisena, ajovalojen tulee olla kytkettynä päälle ja ajoneuvon kääntösäteen tulee olla alle 80 metriä. Kulmavalotoiminnossa vilkkuvalon tulee olla kytkettynä päälle

ja ajoneuvon nopeuden tulee olla alle 40 km/h, kaarrevalotoiminnossa nopeuden tulee olla alle 70 km/h. [25, s. 1.]



Kuva 30. Mercedes-Benz CLS W218 -led-valaisinjärjestelmä, jossa on kulmavalaisin ja navigointitietoihin perustuva risteysvalo [25, s. 2].

5.5 Staattinen ja dynaaminen kaarrevalo

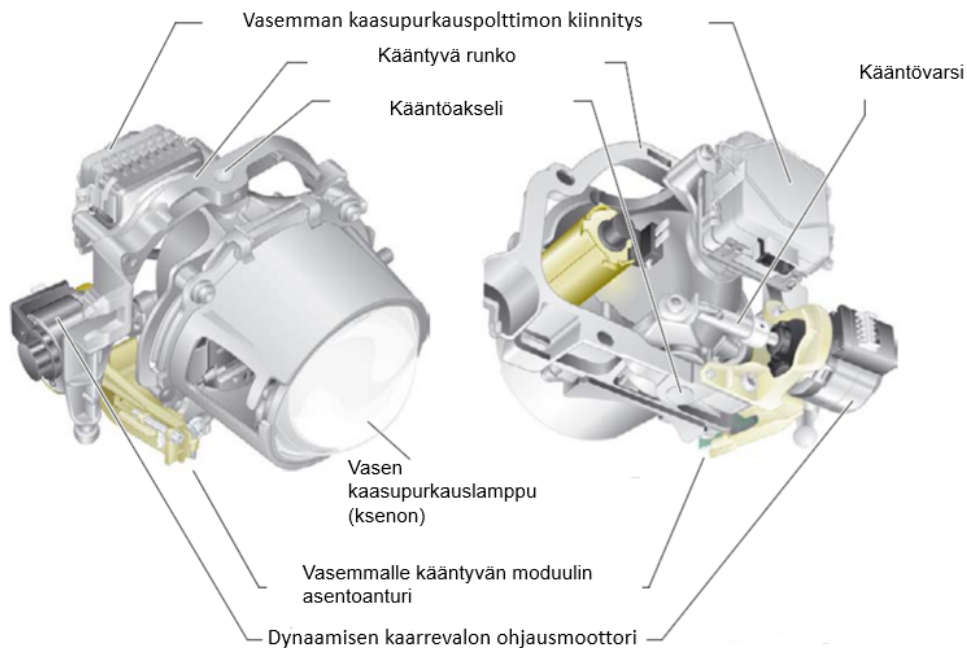
Staattinen kaarrevalo on kiinteästi asennettu valonheittämiin ja sen tuottama valokeila on kääntymissuuntaan noin 90^0 kulmassa auton pituusakseliin nähden. Kaarrevalo kytkeytyy päälle automaattisesti ajovalojen rinnalle tietyin edellytyksin, kun ajetaan mutkaista tietä tai kun vilkku kytketään päälle. Kaarrevalotoiminto on tarkoitettu toimimaan lähinnä taajamissa, joten se kytkeytyy päälle vain alle 50–70 km/h nopeuksilla. Ajettaessa moottoritiellä kaistaa vaihdettaessa toiminto ei ole käytössä. Järjestelmän elektroninen ohjainyksikkö vaatii toimiakseen ajoneuvon nopeustiedot, ohjauspyörän kääntymiskulman sekä vilkkukytkimen tilan. Staattisen kaarrevalon käyttömukavuutta on parannettu siten, että valot syttyvät sammuvat sulavasti. [2, s. 319.]



Kuva 31. Staattisen kaarrevalon toiminta risteyksessä [27, s. 12].

Dynaamisia kaarrevaloja kutsutaan myös sopeutuviksi kaarrevaloiksi. Dynaamiset kaarrevalot ovat halogeeni-, kaasupurkaus- ja led-ajovalojen lisätoiminto, jotka kääntyvät ohjauksen mukana kaarteeseen suuntaan. Ajovalojen valokeilaa käännetään valaisimeen integroidulla sähkömoottorilla ohjauspyörän kääntökulman mukaan. [2, s. 319.]

Volkswagenin dynaaminen kaarrevalojärjestelmä aktivoituu ajoneuvon nopeuden ollessa vähintään 10 km/h ja ajettaessa eteenpäin. Valojen kääntymiskulma säätyy kaarteeseen jyrkkyyden mukaan, sisäkaarteeseen puoleinen ajovalo enintään 15° ja ulkokaarteeseen puoleinen enintään $7,5^{\circ}$. Dynaamisten kaarrevalotoimintojen ohjaussignaaleja ovat ohjauspyörän kääntökulma ja kääntämisnopeus ohjauspyörän kääntötunnistimelta sekä ajonopeus ja pyörähdyskulma ABS-ohjainyksiköltä. [27, s. 10–15.]



Kuva 32. VW Touareg dynaamisen kaarrevalon osat [27, s. 15].

6 Huolto

6.1 Polttimon vaihto

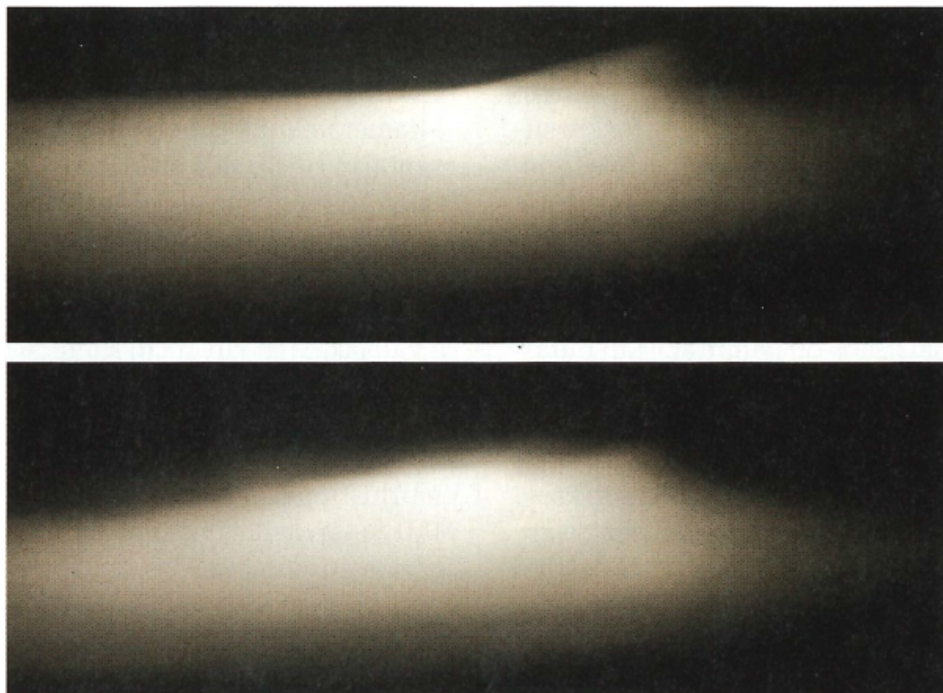
Suurin osa valaistusjärjestelmän häiriöistä aiheutuu rikkoontuneista polttimosta. Polttimon lasikupuun ei saa koskea paljain sormin. Puhtaissakin käsissä on aina rasvaa, joka tarttuu polttimon kirkkaaseen lasipintaan ja himmentää sitä. Epäpuhtaudet polttimon pinnalla saattavat höyrystyä ja kiinnittyä heijastimen pintaan vähentäen sen heijastuskykyä. Polttimo tulee aina vaihtaa pitäen kiinni sen metallikannasta. Jos sitä ei voi asentaa muuten kuin lasikupuun tarttumalla, pidetään siitä kiinni esimerkiksi lampun pakkauskotelolla. Yhtä tärkeää on huomioida, ettei koske umpion heijastinpintaan, sillä siihen tulleita sormenjälkiä ei voida poistaa. Pinta on herkkä ja vahingoittuu vähäisestäkin hankaamisesta. Polttimon vaihdon yhteydessä on aina tarkastettava myös heijastimen pinnan kunto. Ruostuneet tai rikkoontuneet heijastimet on myös vaihdettava. Ajovalojen tulee olla molemmin puolin yhtä voimakkaat ja tästä syystä ne tulee vaihtaa aina pareittain. Polttimoa käsiteltäessä on otettava huomioon, että sen lämpötila heti sammutuksen jälkeen on noin 900 °C. Polttimoa vaihtaessa ajoneuvon virran tulee olla pois kytkettynä. [2, s. 322–323.]

Polttimoiden kestoiässä on eroja, ja joissakin automalleissa polttimot palavat varsin lyhyen käyttöajan jälkeen. Syynä tähän on yleensä liian korkea jännite. Halogeenipolttimot on yleensä suunniteltu toimimaan 13,2 voltin jännitteellä, mutta jännite voi pahimmassa tapauksessa olla polttimon kannasta mitattuna jopa 14,2 voltia. Can-väylillä varustetuissa nykyautoissa polttimonjohtoon ei kaikissa tapauksissa voi asentaa jännitteenalennattajaa, joten näissä autoissa lähes ainoana vaihtoehtona polttimon kestoiän kannalta on niin sanottu Longlife-polttin. Nimensä mukaisesti Longlife-polttimot ovat kestoiältään pitkäikäisempiä kuin peruspolttimot, mutta pidemmän käyttöiän haittapuolena on kuitenkin valotehosta tinkiminen. [28]

6.2 Valojen suuntaaminen

Ajovalojen suuntaaminen on todella tärkeä asia turvallisuuden ja mukavuuden kannalta kuljettajalle sekä vastaan tulijoille. Liian korkealle suunnatut ajovalot häikäisevät vastaan tulijoita ja liian alas suunnatut taas antavat kuljettajalle huonon näkyvyyden. Vuosikatsastuksessa valojen toiminta ja kunto tarkastetaan, mutta vuodessa ehtii tapahtua paljon

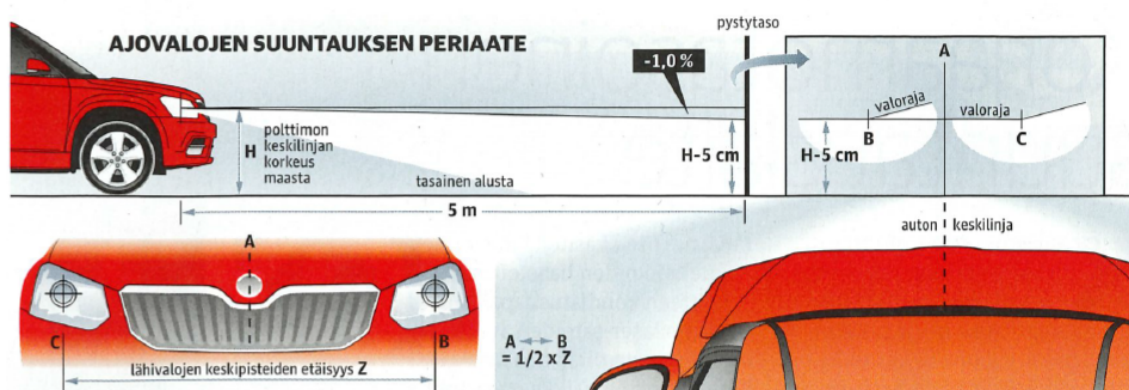
myös valojen suuntauksen kannalta. Polttimonvaihdon yhteydessä virheelliseen asentoon jäänyt polttimo ei ole harvinainen tapaus ja tämän seurauksena tie ei valaistu kunnolla ja vastaan tulijat häikäistyvät. Saman asian voi myös aiheuttaa laaduton halpa polttimo, jonka rakenne on virheellinen. Paikalleen kierrettävät, kolmella kantakynnellä varustetut HB3- ja H11- sekä ksenonpolttimot asettuvat paikalleen ainoastaan oikeassa asennossa. Aina polttimon vaihdon yhteydessä kannattaisi tarkistaa ajovalojen suuntaus väärän suuntauksen välttämiseksi. [29]



Kuva 33. (Yllä) oikeanlainen tarkka valokuvio, jonka jakaumassa erottuu 15 asteen kulmassa nouseva epäsymmetrisyys alue. (Alla) polttimo väärässä asennossa valokuvio ei valaise kunnolla ja häikäisee vastaan tulevia [29].

Jos auton valonlähteen valovirta ylittää 2000 lumenia, tulee kuormauksesta riippuvan säädön olla automaattinen. Automaattisäätö ei kuitenkaan takaa oikeaa suuntausta, vaan automaatti säätölaitteisto säätää valojen korkeutta suhteessa käsin säädettyyn perussäätöön jousituksen antureilta saamien tietojen perusteella. Uuden tai juuri huollosta tulleen auton virheellinen valojen suuntaus harmittaa asiakasta eniten, koska hän ei saa rahoilleen vastinetta ksenon- tai led-valoista. Yleensä valot suunnataan huollon yhteydessä liian alas ja eri korkeudelle. Lähivalojen vaakarajojen korkeusero umpioiden välillä on aina merkki ainakin toisen puolen suuntausvirheestä. [29]

Auto tulee olla suuntauksen aikana tasaisella alustalla ja kohtisuoraan seinää tai muuta kohtisuoraa pystytasoa nähden. Suuntauksen perusmitta on kuormamattoman auton lähivalaisimien keskipisteiden korkeus maasta. Alusta on tarpeeksi tasainen, jos vasemman ja oikean puolen valaisimen korkeus on puolen senttimetrin tarkkuudella sama. Sivuttaissuuntauksen säätöä varten täytyy vielä lisäksi mitata lähivalojen etäisyys toisistaan. Joissakin umpioissa keskipiste voi olla merkattuna umpion peitelasiin ympyrä- tai ristimerkinnällä. Jos merkintää ei ole, mittaus tapahtuu polttimon keskilinjän kuvitteelliselta jatkeelta, tai jos kyseessä on linssivalo, sen keskikohdasta. Määräysten mukaan lähivaloissa on oltava vähintään 1,0 %:n alenema. Tämän voi tarkistaa umpion merkinästä. Aleneman arvona käytetään prosenttia, sillä vaakarajauksen alaspäin suuntautuva kaltevuus on suoraan suhteessa etäisyyteen. Esimerkiksi prosentin alenemalla seinässä näkyvä alenema on 5 cm, auton etäisyyden ollessa 5 metriä seinästä. Verrattavat lähtötason korkeus- ja leveysmerkinnät voidaan merkitä seinään esimerkiksi teipillä, josta alenema- tai sivuttaissiirtymää verrataan auton ollessa vertauspisteessä. [29]

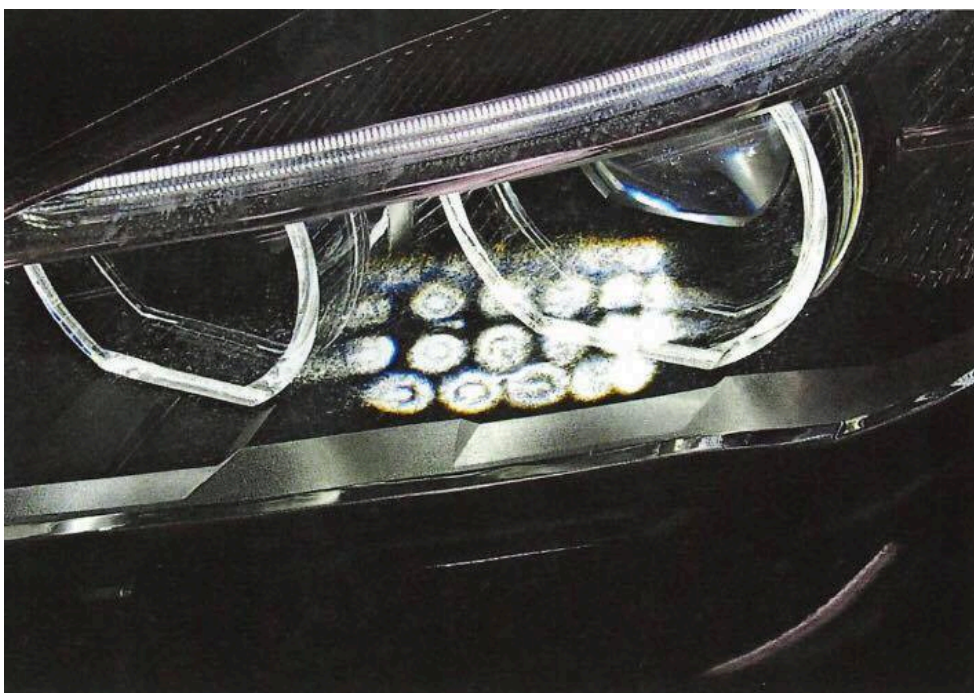


Kuva 34. ajovalojen suuntauksen huomioon otettavat mitat [29].

Suuntauksessa tulee huomioida mahdollinen valorajassa esiintyvä spektri, jonka sininen väri on usein voimakkain. Varsinainen valoraja on spektrin alla. Ksenon- ja led-valoissa epäsymmetrisyysalue on pienempi kuin halogeenivaloissa, sillä niihin on tehty vaakarajaus vastaantulevien häikäistymisen ehkäisemiseksi. Tällä ei kuitenkaan ole vaikutusta säätöön.

Katsastuksessa käytettävältä ajovalojen suuntauksen tarkastuslaitteelta vaaditaan kohdistuslaite, jalusta sekä luksimittari. Korjaamojen käytössä on yleensä samankaltaiset laitteet. Huolellisella käytöllä laitteella saa valojen suuntauksen säädettyä kohdalleen, mutta lattian on oltava tasainen tässäkin tapauksessa.

Valotekniikoiden kehittyminen on ajamassa perinteisten suuntauslaitteiden ohi. Joidenkin ksenon-valaisimien valorajassa esiintyvä spektri vaikeuttaa tarkkaa säätämistä ja viimeisimpänä haasteena on led-valaisinjärjestelmän tuottama lähivalokeilan mittausta. Monessa järjestelmässä lähivalokeila muodostetaan usean eri valonlähteen yhteistuloksena. Led-moduulit voivat sijaita erimuotoisina nauhoina tai niiden edessä voi olla yksi tai useampi kokoojalinssi. Tällaisissa tapauksissa umpion lähelle sijoitettavan suuntauslaitteen kohdistus ei ole enää yksiselitteisen selkeä. Tällaisissa tapauksissa tarvitaan laitevalmistajan mallikohtaisia suuntausohjeita. Alla olevasta kuvasta (kuva 36) pystyy helposti havaitsemaan likaisesta umpion peitelasista led-ryhmän. [29]



Kuva 35. Likainen led-ajovaloumpio [29].

Markkinoille on tullut uudentyyppisiä digitaalisia suuntauslaitteita, jotka osaavat käsitellä uusimpien valotekniikoiden tuomia haasteita. Suuntauslaitteen kohdistaminen tapahtuu edelleen lasersäteiden avulla ja mittauspaikan tulee olla tasainen. Uusien digitaalisten suuntauslaitteiden kameratekniikka helpottaa asentajan suuntaustyötä, koska hän näkee suuntauslaitteen käsittelemän kuvan erilliseltä näytöltä. Uusia digitaalisia suuntauslaitteita ovat esimerkiksi Bosch MLD 815 sekä Maha MLT 3000. [29]



Kuva 36. Valojensuuntauslaite Maha MLT 3000 - digitaalinen ajovalotesteri [30].

Digitaalinen ajovalotesteri Maha MLT 3000 on erityisesti suunnattu uusille ajovalotyypeille kuten ksenon, laser, led ja matriisi led, mutta sillä voidaan suunnata ja testata myös perinteiset halogeeni-, bilux-, projektiolinssi ja parapoliset linssivalaisinjärjestelmät. MLT 3000 -suuntauslaitteen toimintaperiaate on, että ajovalon kuva heijastetaan laitteen sisällä olevaan takaseinään Fresnel-linssin kautta. Kuva digitoidaan ja ohjelma määrittää kirkkaimman pisteen (HotSpot), jonka perusteella mittaus tehdään. MLT 3000:n sisällä on myös sähköinen anturi, joka kompensoi lattian aiheuttaman virheen. Mittayksikkö on ”kelluva” pystytangon sisällä olevan vastapainon avulla, näin ollen siinä ei käytetä lukkoja. Auto voidaan kohdistaa kolmella eri tavalla: hiusviivakohdistimella, laserviivalla (lisävaruste) tai lisäkameran avulla, jolloin laitteen näytöltä näkyy auton asento. Laitteetta käytetään 7”-n kosketusnäytöllä, ja siinä on ääniohjattu säätötoiminto, jolloin käyttäjän ei tarvitse nähdä näyttöä. [30]

Ajovalojen valaisimet on rakennettu niin, että niiden asentoa voidaan säätää pysty- ja vaakasuunnassa. Ajovaloumpiot on yleensä upotettu koriin, joten umpion päällä tai takana on säätöruuvit valokuvion säätämistä varten. Lisävalojen kiinnitys taas on tehty niin, että koko umpion asentoa voidaan muuttaa. Kaikki ajovalot täytyy suunnata siten, että ne valaisevat tietä riittävän pitkälle, mutta eivät häikäise vastaan tulevaa liikennettä silloinkaan, kun ajoneuvo on täyteen kuormattuna. Suuntaustyössä käytetään apuna suuntaustauluja ja optisia suuntauslaitteita. Korjaamot käyttävät lähes yksinomaan optisia suuntauslaitteita, jotka liikkuvat omilla pyörillään tai kiskon varassa. Toisena vaihtoehtona on pieni, käsin kannateltava laite, jolla korkeuden säätö ja tarkastaminen onnistuu, mutta sivuttaissuuntauksen säätöön tarvitaan iso, auton keskiviivan mukaan asetettava laite. Ennen valojen säätämistä tulee ottaa huomioon ajoneuvokohtaiset kuormaus- ja suuntausohjeet. [2, s. 311.]



Kuva 37. Ajovalojen säätöruuvit, jotka sijaitsevat yleensä umpion takaosassa [29].

Ennen valojen suuntauksen tarkistamista tai korjaamista oikeaksi auto pitää asettaa oikein ajovalojen suuntaamispaikkaan ja saattaa ajovalmiustilaan. Ajovalmiustila tarkoittaa seuraavaa:

- tarkistuspaikan valaistuksen tulee olla riittävän hämärä, jotta valoraja olisi selkeä
- renkaissa täyden kuorman paineet
- oikein kalibroitu auton korkeus, mukaan lukien nolla-asentosäätö ajovaloille
- mittauspaikan tulee olla tasainen ja suora
- ohjaus asetettu suoraan eteenpäin
- auton tulee olla kuormaamaton
- seisontajarru vapautettuna ja vaihde vapaalla [12, s. 8].

6.3 Valojen korkeudensäätö

Ajoneuvon kuormaaminen vaikuttaa ajovalojen suuntaukseen oleellisesti. Raskaasti kuormatun ajoneuvon ajovalojen suuntauksen huomioimatta jättäminen voi häiritä kuljettajan omaa näkemistä ajoradalle, sekä liian ylös suunnatut valot voivat häikäistä vastaan tulevaa liikennettä ja aiheuttaa vaaratilanteita. Ajoneuvojen valaisimet on varustettu joko manuaalisella tai automaattisella korkeudensäädöllä.

6.3.1 Manuaalitoiminen korkeudensäädin

Manuaalisessa järjestelmässä valojen korkeudensäätölaite sijaitsee kuljettajan istuimen läheisyydessä, josta kuljettaja voi säätää valaistusta ajoneuvon kuormituksen mukaan. Säätö ajoneuvon järjestelmässä tapahtuu joko mekaanisesti, nestepaineen, alipaineen, tai sähkömoottoreiden avustuksella. Eniten käytössä oleva järjestelmä on sähkömoottorien avulla toimiva säätölaitteisto, jossa säätömoottori on sijoitettu valoumpion takaosaan. Manuaalitoimisessa järjestelmässä korkeudensäätö tehdään kojetauluun sijoitettulla säädinrullalla, jolla valokeilaa voidaan laskea alemmaksi kuormituksen mukaan, 0-asento on ylin säätöasento. Säätö on toteutettu vastuksilla, joiden avulla ohjauselektronikka saa tiedon halutusta valojen asennosta. Vaihtokytkimen avulla ohjauspiiriin voidaan kytkeä 3–4 erisuuruista resistanssia. Lisäksi säätömoottorin yhteydessä on potentiometri, jonka liuku seuraa valaisimen liikettä, näin elektroniikka saa tiedon halutusta valojen korkeudesta ja säädinmoottorin virta katkaistaan. Ennen valojen suuntausta ja katsastustarkastusta tulee tarkistaa, että säätörulla on säädetty 0-asentoon. Valojen korkeudensäätämiseen kuormituksen mukaan löytyy yleensä ohjeet auton ohjekirjasta. [2, s. 313.]

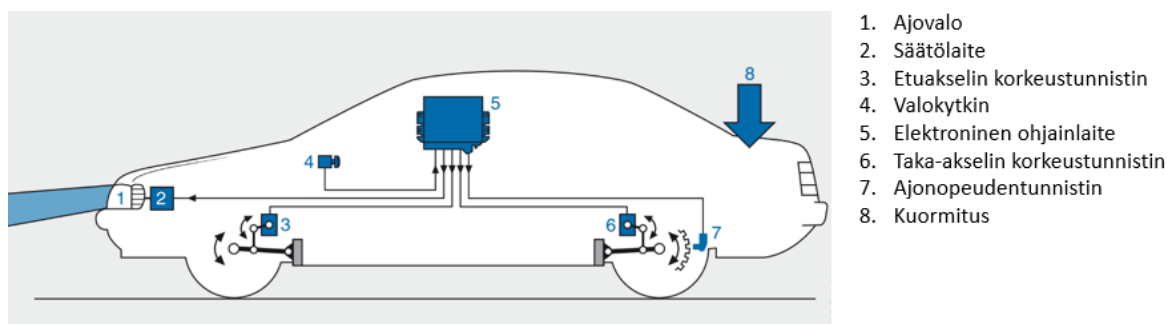


Kuva 38. Valojen korkeudensäätömoottori ja säätörulla [31].

6.3.2 Automaattinen korkeudensäädin

Uudet valaisinjärjestelmät (ksenon, led) ovat perinteisiä halogeenivaloja kirkkaampia ja tästä syystä järjestelmän täytyy olla varustettu automaattisella valojenkorkeudensäädöllä sekä valojen pesimillä. Poikkeuksena ovat autot, joiden alustassa ei tapahdu kuormitusmuutoksia. Näin estetään mahdollisimman tehokkaasti vastaantulevan liikenteen kuljettajan häikäistyminen.

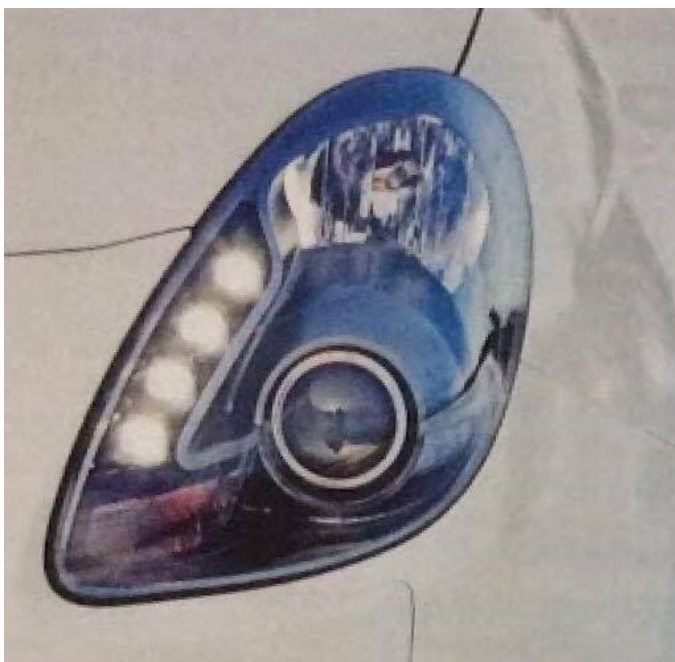
Automaattisessa korkeudensäätöjärjestelmässä on useita komponentteja, jotka valvovat ajoneuvon tilaa. Komponentteja ovat etu- ja taka-akselin korkeudentasointurit, korkeudensäädön ohjainlaite, oikean- ja vasemmanpuoleisen ajovalon säätömootorit sekä ajonopeudentunnistin. Etu- sekä taka-akselilla olevat korkeusanturit antavat ohjainlaitteelle tietoa mm. ajoneuvon kuormauksesta, kiihdytyksestä ja jarrutuksesta. Reagoiminen valojen korkeuden säätöön voidaan tehdä nopeasti (dynaaminen tila) tai hitaasti (staattinen tila). Ohjainlaite käsittelee tiedot, joiden mukaan määräytyy säätötoimenpiteen nopeus ja suuruus. Esimerkiksi jarrutuksissa ja kiihdytyksissä reagointi on nopeaa ja ajaessa tasaista nopeutta reagointi tehdään hitaammin. Ohjainlaite saa jatkuvasti tiedon valonheittimien asentojen muutoksista säätömootorien potentiometriantureilta. Säätömootorit pitävät ajovalot oikealla korkeudella, näin taataan hyvä näkyvyys kaikissa tilanteissa aiheuttamatta vastaantulevan liikenteen häikäistyminen. [2, s. 316; 3 s. 41–42.]



Kuva 39. Automaattisen valojen korkeudensäätöjärjestelmän komponentit [3, s. 41].

7 Valoteho

Valotehon vaikuttavat monet asiat valaisimen polttimotyyppin lisäksi. Vaikka uusia valotekniikoita on tullut markkinoille, niin yhdistelemällä vanhaa ja uutta voidaan saada hyvin valaiseva ja samalla uuden näköinen valoumpio. Kuvassa 40 on Alfa Romeo Giuliettan ajovaloumpio vuodelta 2010, jossa valoteho on kunnossa. Alla oleva kaksoisksenonlinssi tuottaa sekä lähi- että kaukovaloa. Päivävalot ovat toteutettu led-tekniikalla ja päällä oleva halogeeni heijastinvalaisin toimii pelkkänä kaukovalona, jolla saadaan reilusti lisää kantamaa. [1]



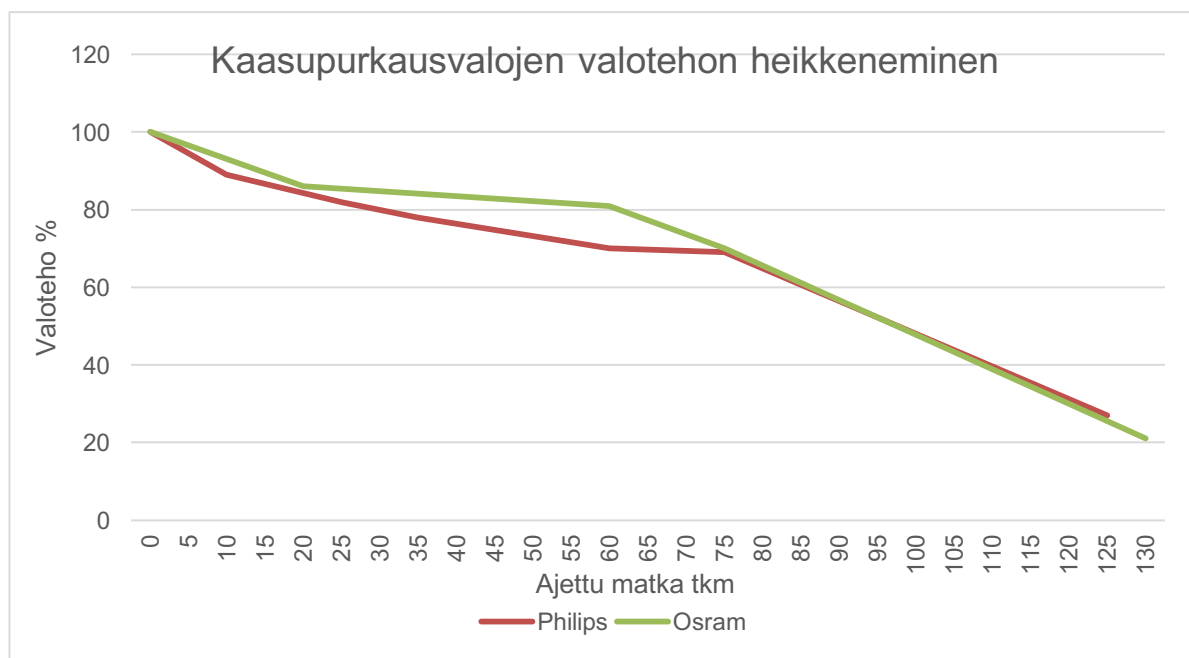
Kuva 40. Vm. 2010 Alfa Romeo Giuliettan ajovaloumpio [1].

7.1 Kaasupurkausvalon valotehon heikkeneminen

Kaasupurkauspurkauspolttimon käyttöikä on noin 3000 tuntia, joka on ajokilometreinä noin 200 000 km. Polttimon valotehon vähenemiseen vaikuttaa sytytyskertojen määrä ja käyttötunnit. Vaikka itse polttimossa ei näy selviä kulumisen merkkejä valoteho hiipuu käytön myötä. Ksenon-polttimon elämänsä loppupuolella sen sävy muuttuu ensiksi sinertäväksi ja tämän jälkeen punertavaksi. Kun valokuvio on punertavan sävyinen, sen valoteho on jo olematon ja poltin tulee vaihtaa. Polttimon valmistajasta riippuen polttimon valoteho laskee 80 000 km jälkeen noin 80 %. Valotehoa arvioitaessa tulee kuitenkin

muistaa huomioida umpion kunto ja likaisuus. Kaasupurkausvalojen käyttöaikaa voidaan pidentää käyttämällä päivävaloja valoisan aikaan. [1]

Taulukko 3. Ksenon ajovalojen tehon heikkeneminen polttimona D2S [1].



7.2 Jännitteen vaikutus ajovaloihin

Oikean suuruinen jännite ajoneuvon valojärjestelmille on ensiarvoisen tärkeää, jotta säästetään haluttu valoteho. Oikea jännite pidentää myös polttimoiden käyttöikää, liian korkea jännite polttaa polttimot loppuun nopeasti ja alijännite antaa heikon valotehon.

7.2.1 Kaasupurkausvalot

Kaasupurkausvaloissa oikea jännite oikealla hetkellä on äärimmäisen tärkeää niiden toiminnan kannalta. Liian alhainen jännitteen vuoksi esimerkiksi kaasupurkausvalot eivät syty ollenkaan. Tämä johtuu siitä, että valojen sytyttämiseen käytetään korkeampaa 25 000 V:n jännitettä ja ylläpitoon 85 V:a. Jännitteen säätämiseen käytetään ballastia.

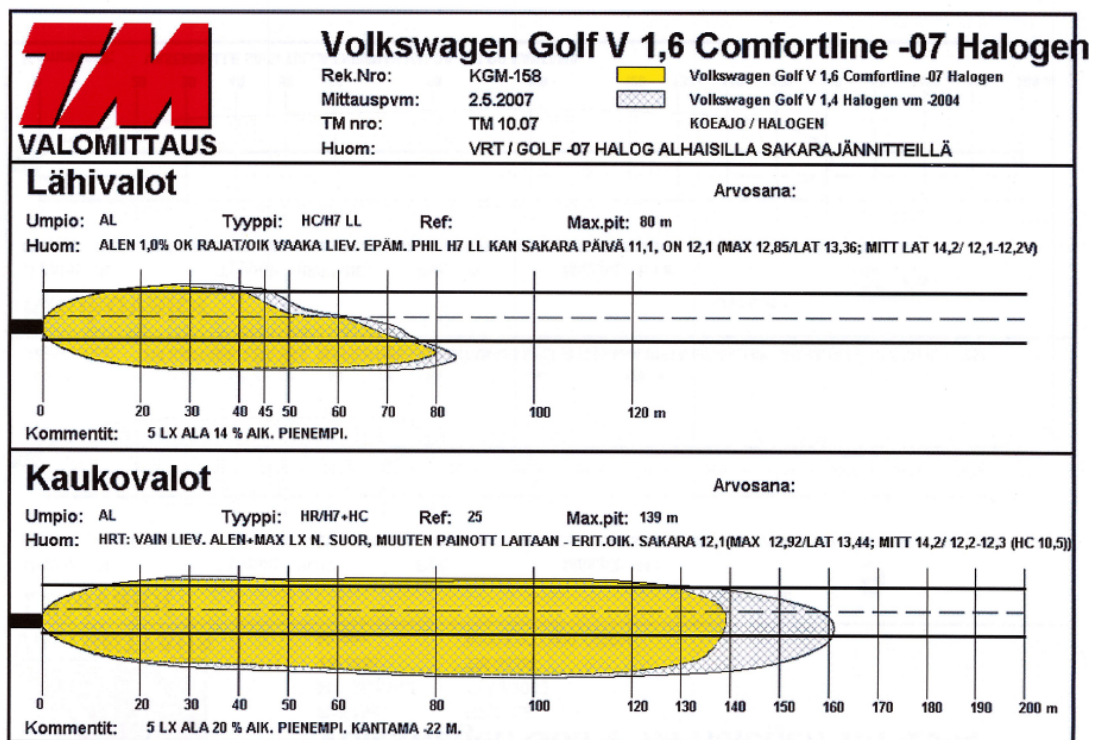
7.2.2 Led

Led-valaisimissa jännitteellä ei ole juurikaan merkitystä. led-valaisimien valoteho pysyy hyvin lähellä uuden polttimon arvoa, jos vain olosuhteet (kosteus ja lämpötila) pysyvät sille optimaalisina.

7.2.3 Halogeeni

Optimaalinen käyttöjännite halogeenivaloille on 13,2 V. Halogeenivaloissa liian suuri jännite voi katkaista hehkulangan, mikä aiheuttaa polttimon toimimattomuuden. Liian alhainen jännite voi myös aiheuttaa liian heikon valotehon.

Esimerkkinä Tekniikan Maailman valomittaus Volkswagen Golf V -henkilöautolle. Vuonna 12/2003 mitatun Golfin valot saivat hyvät arvosanat, mutta samanlaisen auton 5/2007 mittaustulokset olivat heikommat. Valaisinjärjestelmä ja valoumpiot olivat samankaltaisia, mutta polttimonkannan sakaralta mitattu tehollinen kantajännite oli muuttunut 13,2 voltista 12,1 volttiin. 1,1 voltin jännitehäviö heikensi mittaustuloksia merkittävästi. Lähivaloissa valokeilan kantama lyheni 4 metriä ja 5 lx valaiseva pinta-ala oli 14 % pienempi. Kaukovaloissa muutos oli vielä suurempi, valokeilan kantama lyheni 22 metriä ja 5 lx valaiseva pinta-ala oli 20 % pienempi. Kuvassa 23. Golfin valomittaus, keltaisella 5/2007 12,1 voltin jännitteellä ja harmaalla 12/2003 13,2 voltin jännitteellä. [9]



Kuva 41. Jännitteen vaikutus halogeenipolttimeen [9].

7.3 Likaisuus

Umpion, polttimon tai heijastinpintojen likaisuus vaikuttaa olennaisesti valotehoon ja valojen valokeilan näyttämään kuvioon. Näistä herkimmin likaantuu umpio. Tämän ehkäisemiseksi on hyvä pitää ajovalopesureiden kunnosta hyvää huolta, mikäli ne kuuluvat auton varusteisiin. Se kuinka paljon likaisuus vaikuttaa valotehoon riippuu täysin siitä, kuinka likaiset eri komponentit ovat.

8 Pohdinta

Sitä, mitä tulevaisuus tuo tullessaan, on mahdotonta sanoa, mutta joitakin viitteitä on ilmassa. OLED-tekniikan kehittyessä voidaan mahdollisesti nähdä kokonaan OLED-tekniikalla varustettuja ajoneuvoja, joissa ei perinteisiä valoumpioita enää ole. OLED-valot on sijoitettu korin pinnalle. Tämä on kuitenkin vielä kaukana tulevaisuudessa ja tulee todennäköisesti ensin kotitalouksiin.

Lähitulevaisuudessa led-ajovalotekniikka tulee yleistymään voimakkaasti ja laser-ajovalot kasvattanevat myös suosiotaan. Led-ajovalot ovat jo monen autovalmistajan vakiovarusteita tai vähintään lisävarusteena. Laserajovalot pysyvät vielä vuosia Premium autojen lisävarusteena. Laservalojen kehityksessä hintakysymyksien lisäksi kehityskohdeena on myös turvallisuusasiat.

Yhtenä led-tekniikan kehityssuuntana tulee olemaan ympäristön parempi havaitseminen ja teräväpiirron tarkka valokuvion rajaaminen. Pimeässä ajettaessa halutaan pitää kaukovalot päällä koko ajan. Vastaantulevien häikäisyn estämiseksi rajataan ainoastaan pois heidän kasvojensa kokoinen alue. Järjestelmä vaatii paljon sensoreita, tutkia ja tehokkaan tietokoneen muiden tienkäyttäjien tunnistamiseen ja antamaan tiedon teräväpiirtotasoiselle ajovalaisimelle millisekunneissa. Tällaisesta teräväpiirtotekniikasta uuti-soi ensimmäisenä Mercedes-Benz vuoden 2016 lopulla.

Valojärjestelmistä tulee entistä hienostuneempia ja näiden huoltaminen ja korjaaminen monimutkaistuvat, mikä myös lisää vaatimuksia korjaamoilla. Esimerkiksi tuulilaseihin kiinnitettävän kaukovaloavustinjärjestelmän kameran kalibrointi tulee teettämään lisää työtä tuulilasin vaihtojen yhteyteen ja tämä vaatii mahdollisesti merkkikohtaiset kalibrointityökalut. Valojärjestelmien vaatimustaso tulee myös nousemaan, sillä valojen energiatehokkuuteen ja älykkyyteen kiinnitetään entistä enemmän huomiota. Tämä johtuu siitä, että kaikki ylimääräinen energia, mikä ajovaloihin käytetään, on pois itse liikkumisesta. Samalla halutaan tehdä valojärjestelmistä mahdollisimman automaattisia, jotta kuljettaja voi keskittyä täysin itse ajamiseen.

Valotekniikoiden kehittyminen tarkoittaa kaasupurkausvalojen häviämistä. Halogeeneja kehitetään vielä, seuraava malli halogeenipolttimista on H19. Tietenkään kaasupurkausvalojen häviäminen ei tapahdu hetkessä, mutta silti se on väistämätöntä. Yksi mahdolli-

nen kehityssuunta voi myös olla ajovalojen häviäminen kokonaan, sillä autot tulevat olemaan entistä autonomisempia eikä auto välttämättä tarvitse samanlaisia valoja ympäristön havaitsemiseen kuin ihminen. Ajovalojen häviäminen kokonaan on kuitenkin epätodennäköistä, sillä tämä luo kyydissä oleville turvaa ja luottamusta ajoneuvoon, vaikka itse ajoneuvo ei niitä tarvitsisi.

Turvallisuus ja mukavuus tulevat kasvamaan tulevaisuudessa edistyneempien valaisinjärjestelmien myötä. Älykkäät valaisinjärjestelmät estävät kanssa-autoilijoiden häikäistymistä ja uudet valotekniikat, kuten laservalot lisäävät näkyvyyttä pidemmälle ajoradalla. Tällaiset ominaisuudet luovat turvallisuutta sekä mukavuutta.

Uudet ajovalojärjestelmän toiminnot kytkeytyvät automaattisesti päälle ja pois tarpeen mukaan. Automaatio huolehtii myös valojen sammuttamisen autolta poistuttaessa, vaikka ne olisi jätetty päälle. Tämä vähentää turhaa energian ja valojen kulutusta.

Kaukovalot, jotka automaattisesti huomioivat ympäristön ja muun liikenteen mahdollistavat nykyään kaukovalojen käytön tilanteissa, joissa niitä ennen ei voitu käyttää lainkaan. Tämä tulee ilmi esimerkiksi ohitustilanteissa ja vastaantulevan liikenteen lähestyessä. Joissakin automalleissa osataan valaista mahdolliset uhat, kuten tien varrella seisova hirvi. Tämä antaa kuljettajalle lisää aikaa reagoida tai jopa mahdollisesti säikäyttää hirvi pois tien varrelta. Tällä hetkellä lainsäädäntö vaatii, että ajoneuvoissa täytyy olla C-luokan perus lähivalotoiminto, mutta uudet mukautuvat järjestelmät vähentävät niiden merkitystä tulevaisuudessa.

Uusien valaisintekniikoiden pidempi valokantama antaa kuljettajalle myös arvokkaita lisäseunteja reagoida olosuhteiden vaatimalla tasolla. Uudet valaisintekniikat säästävät valaistukseen käytettävää energiaa, mikä tulee korostumaan entistä enemmän sähköautojen yleistyessä. Tämäkin voidaan ajatella turvallisuuden kannalta positiivisella tavalla, sillä mitä pidempi toimintasäde autolla on, sitä todennäköisemmin myös kuljettaja pääsee perille määränpäähensä.

Lähteet

1. Pitkäjärvi Jari. 2016. Kaukovalot eivät vastaa enää nimeään. Tekniikan maailma, 20/2016, S. 26–30.
2. Juhala, Matti, Lehtinen, Arto, Suominen, Matti & Tammi, Kari. 2005. Moottorialan sähköoppi. Autoalan koulutuskeskus. Jyväskylä: Gummerus.
3. Bosch. 2007. Automotive Electrics and Automotive Electronics. 5th edition. Plochingen, Germany: John Wiley & Sons Ltd.
4. Koivisto, Juha-Pekka, Mikkolainen, Pekka & Rantala, Jouko. 2012. Autotekniikka 5. Helsinki: Otava.
5. Free Form. Ei päiväystä. Verkkodokumentti. Dastern torque. <http://dastern.torque.net/techdocs/Archives/Hella_Systems/free_form.htm>. Luettu 4.3.2017.
6. Ellipsoidal. Ei päiväystä. Verkkodokumentti. Dastren torque. <http://dastern.torque.net/techdocs/Archives/Hella_Systems/de.htm>. Luettu 4.3.2017.
7. Super DE. Ei päiväystä. Verkkodokumentti. Dastern torque. <http://dastern.torque.net/techdocs/Archives/Hella_Systems/super_de.htm>. Luettu 6.3.2017.
8. ALLDATA korjaamojärjestelmä. 2017. Koulutusmateriaali.
9. Pitkäjärvi, Jari. 2016. Tekniikan Maailma. Sähköpostikeskustelu. 27.2.2017.
10. X-tremaVision auton Xenon-ajovalopolttimo. Ei päiväystä. Verkkodokumentti. Philips. <<http://www.philips.fi/c-p/85122XVS1/x-tremevision-auton-xenon-ajovalopolttimo>>. Luettu 5.3.2017.
11. Yleistä Xenoneista. Ei päiväystä. Verkkodokumentti. Xenonkauppa.fi. <http://www.xenonkauppa.fi/epages/Xenonkauppa.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/Xenon/Categories/Artikkelit/Yleistietoa>. Luettu 5.2.2017.

12. Auton ja sen perävaunun sekä hinattavan laitteen valaisinvaatimuksia. 2012. Verkkodokumentti. TraFi. <https://www.trafi.fi/file-bank/a/1414581753/bd7bfd1c96043fc45772f636628e90ae/15781-12423-Auton_ja_sen_peravaunun_seka_hinattavan_laitteen_valaisinvaatimuksia.pdf>. Luettu 5.2.2017.
13. Ajovalot. 2017. Verkkodokumentti. Hella. <<http://www.hella.com/hella-fi/fi/Ajovalot-204.html>>. Luettu 18.2.2017.
14. W213 Markplatz-Multibeam LED. 21.10.2015. Koulutusmateriaali. Daimler AG
15. Salmela, Joonas. Autojen valoissa huimia eroja: Näin valaisevat markkinoiden parhaat ajovalot. 2017. Verkkodokumentti. Iltalehti. <http://www.iltalehti.fi/iltvaunut/201611250125604_v1.shtml>. Luettu 5.2.2017.
16. Laser light in the car industry: Questions and answers on innovative laser technology. Ei päiväystä. Verkkodokumentti. Osram. <https://www.osram.com/osram_com/news-and-knowledge/automotive-special/trends-in-automotive-lighting/laser-light-new-headlight-technology/lasertechnology-functionality-and-advantages/index.jsp>. Luettu 5.2.2017.
17. Puolakka, Marjukka. 2014. Syrjäyttääkö laser ledit ajovaloissa? – BMW ja Audi kisaavat näkyvyydestä. Verkkodokumentti. Tekniikka & Talous. <<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/autot/2014-02-18/Syrj%C3%A4ytt%C3%A4%C3%A4k%C3%B6-laser-ledit-ajovaloissa---BMW-ja-Audi-kisaavat-n%C3%A4kyvyydest%C3%A4-3317830.html>>. Luettu 5.2.2017.
18. Pitkäjärvi, Jari 2014. Kauemmas vähemmällä. Tekniikan Maailma, 13/2014 s. 96–97.
19. Müller, Hermann. 2015. Tulevaisuus tänään. Verkkodokumentti. <http://content.audi.fi/vv-auto/audi_kampanja.nsf/audimagazine_2_2015.pdf>. 26.2.2017.

20. BMW M4 Concept Iconic Lights. 2015. Verkkodokumentti. M-Power.
<http://www.m-power.com/_open/s/editorial.jsp?id=3265&lang=en>. Luettu.
12.2.2017.
21. VTT kehitti suuren pinta-alan valaisevan muovikalvon. 2015. Verkkodokumentti.
VTT. <<http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/vtt-kehitti-suuren-pinta-alan-valaisevan-muovikalvon>> Luettu 26.2.2017.
22. Sääntö nro 123. 2010. Verkkodokumentti. UNECE. < <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:222:0001:0061:FI:PDF>>. Luettu 15.2.2017.
23. Valomääräyksiä. 2004. Verkkodokumentti. TraFi. <<http://www.trafi.fi/filebank/a/1325147177/579fb3aa935279358c96ed7a1a975d15/4771-Valomääräyksiä.pdf>>. Luettu 15.2.2017.
24. Sääntö nro 48. 2011. Verkkodokumentti. UNECE. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:323:0046:0152:FI:PDF>>. Luettu 15.2.2017.
25. W218, Function of Intelligent Light System. 2014. Koulutusmateriaali. Daimler AG.
26. F30 Avustinjärjestelmät. 2013. Koulutusmateriaali. BMW.
27. Self-study Programme 335. 2004. Koulutusmateriaali. Wolfsburg; Volkswagen AG.
28. Pentti, Oskari. 2014. Miksi ajovalojen polttimoissa on eroja?. Tuulilasi. Verkkodokumentti. <<http://www.tuulilasi.fi/testit/miksi-ajovalojen-polttimoissa-eroja>>. Luettu 12.1.2017.
29. Pitkäjärvi. Jari. 2014. Valojen omatoiminen säätäminen. Tekniikan maailma, 22/2014, s. 26–28.

30. Maha MLT 3000 digitaalinen ajovalotesteri. Ei päiväystä. Verkkodokumentti. Tecalemit. <<http://www.tecalemit.fi/tuotteet/tuote-esittely/maha-mlt-3000-digitaalinen-ajovalotesteri/839/>>. Luettu 16.2.2017.
31. Hella säädin, ajovalojen korkeudensäätö vaihtomekanismilla Valonsuuntaimella varustetuille (sähkö) kääntökytkin. Ei päiväystä. Verkkodokumentti. Topvaraosat.fi. <<https://www.topvaraosat.fi/valmistaja/hella/7130040>>. Luettu 14.2.201