

AALTO-YLIOPISTO  
SÄHKÖTEKNIIKAN KORKEAKOULU

Elektroniikan laitos  
Valaistusyksikkö

Antti Rantakallio

Suomen tieverkko, nykyaikaiset valaistusvaihtoehdot ja käyttäjätutkimus  
ledivalaistukselle

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 11.03.2011.

Työn valvoja Professori Liisa Halonen

Työn ohjaaja TkT Marjukka Puolakka

Tekijä: Antti Rantakallio	
Työn nimi: Suomen tieverkko, nykyaikaiset valaistusvaihtoehdot ja käyttäjätutkimus ledivalaistukselle	
Päivämäärä: 11.03.2011	Sivumäärä: 7+100
Elektroniikan laitos, Valaistusyksikkö	
Professori: Valaistustekniikka ja sähköinen talotekniikka	Koodi: S-118
Työn valvoja: Professori Liisa Halonen	
Työn ohjaaja: TkT Marjukka Puolakka	
Tiivistelmäteksti: <p>Tievalaistus on tärkeää pimeän ajan liikenneturvallisuudelle. Eco-design direktiivi vaikuttaa juuri nyt tievalaistuksen ratkaisuihin ja johtaa valaisinhankintoihin. Ulkovalaisinvalikoiman ledituotteet eivät ole vielä perinteisten purkausvalaisimien tapaan tunnettuja. Ledivalaisimista muotoutuneet energiatehokkaimmat tievalaistuksen ratkaisut jo lähitulevaisuudessa, mutta valaisimien käyttöönotossa on vielä haasteita.</p> <p>Moderneista tievalaisinmalleista tarvitaan lisää tietoa, jotta niistä osataan valita sopivimmat jokaiseen kohteeseen. Uusien ledivalaisimien yleistä hyväksyttävyyttä tulisi selvittää koehenkilöiden asennuksista antaman palautteen avulla. Tässä työssä pyritään hankkimaan ratkaisuja näihin ongelmiin tutustumalla nykyaikaisiin valaistusvaihtoehtoihin laboratoriossa ja valaistusasennuksissa sekä selvittämällä vuonna 2010 tehtyjä ledivalaistusasennuksia ja kevyen liikenteen suhtautumista sellaisiin.</p> <p>Työssä kartoitetaan ensin Suomen tieverkon rakenne ja pituus sekä selvitetään käytetty päällyste ja valaistut osuudet. Kevyen liikenteen väylästä ominaisuudet selvitetään. Suomessa vuonna 2010 tehdyt lediulkovalaistusasennukset kartoitetaan. Seuraavaksi työssä tutkitaan erilaisia tievalaisimia ja mitataan niiden ominaisuuksia. Erilaisilla ja erikäisillä ratkaisuilla toteutettujen tievalaistusasennusten valaistustulokset mitataan ja tuloksia verrataan valaistusluokkien vaatimukseen. Lopuksi käydään läpi työhön toteutettu kevyen liikenteen ledivalaistusta arvioiva käyttäjätutkimus ja sen tulokset.</p> <p>Uusien leditekniikalla toteutettujen ulkovalaisinasennusten määrä kasvaa jatkuvasti ja kartoituksessa selvitettyt ovat aikaisempaa suurempitehoisia. Myös valon värilämpötila on noussut edellisistä selvityksistä. Mitattujen ledivalaisimien valotehokkuus vaihteli suurpainenatriumvalaisimien kanssa kilpailukykyisen ja merkittävästi niitä huonomman välillä. Toiset ledivalaisimet pärjäävät ominaisuuksiltaan jo nyt moderneille purkauslamppuvalaisimille. Mittauksissa uudet eivätkä vanhat katuvalaistusasennukset täytyä tiealueidensa valaistusteknisiä vaatimuksia. Asennukset, joilta mitattiin estohäikäisy, selvisivät AL-luokan vaatimuksesta eikä niitä pidetty häikäisevinä käyttäjätutkimuksessa. Koehenkilöiden arvioimat ominaisuudet olivat lediasennuksilla verrattavia tai jopa merkittävästi parempia kuin suurpainenatriumlamppuvalaisinasennuksella. Mieltymyseroja 6000 ja 3000 K valkoisen valon välillä ei huomattu. Lediasennukset olivat keskimääräisen tunnistusetaisyyden osalta vertailuasennukseen nähden tasoissa tai parempia.</p>	
Avainsanat: Suomen tieverkko, tievalaistus, LED, ledivalaisin, asennuskartoitus, kevyt liikenne, jalkakäytävä, käyttäjätutkimus	

Author: Antti Rantakallio

Name of the thesis: Finnish road network, modern lighting options and user study for  
LED lighting

Date: 11.03.2011

Number of pages: 7+100

Department of Electronics, Lighting unit

Professorship: Illumination engineering and electrical building services

Code: S-118

Supervisor: Professor Liisa Halonen

Instructor: D.Sc Marjukka Puolakka

Abstract:

Road lighting is important for night-time road safety. Eco-design Directive affects road lighting solutions now and leads to lighting purchases. LED-products for outdoor lighting are not yet known like the traditional discharge lamps. LED-luminaires will become the most energy efficient road lighting solutions in the near future, but still have their challenges.

More information is needed on modern road luminaires so that the most appropriate ones for each project can be chosen. Public acceptability of new LED-luminaires should be studied. This study aims at providing information of modern lighting options, lighting installations, as well as exploring the LED-luminaire installations made in the year 2010 in Finland and how pedestrians react to those.

Finnish road network structure and length are mapped, and pavement and usage of lighting are researched. Pedestrian way network characteristics are analyzed. LED-outdoorlighting installations made in the year 2010 in Finland are mapped. Next a variety of luminaires are examined and their properties measured. Road lighting installations of different ages and solutions are measured and the results compared to the requirements of the lighting classes. The evaluative user study on LED-lighting and its results are shown.

New outdoor LED-lighting installations are implemented in growing numbers and are more powerful than earlier. Also, the color temperature of light has risen since previous studies. Measured luminous efficacies of LED-luminaires ranged between competitive and considerably worse than the high pressure sodium lamp luminaires. Some LED-luminaires have properties comparable to modern discharge lamp luminaires. Measurements of the new and the old street lighting installations show problems in complying with the requirements of lighting classes. Installations, which had their disability glare measured, complied with the AL-class requirement and were not considered glaring in the user study either. The test subjects evaluated the characteristics of installations with LED-luminaires from comparable to significantly better than with high pressure sodium lamp luminaires. Preference differences between 6000 and 3000 K white light was not noticed. LED-installations were comparable or better than the reference installation in recognition distance average.

Keywords: Finnish road network, road lighting, LED, LED-luminaire, installation mapping, measurement, pedestrian, sidewalk, user study

## Esipuhe

Tämä diplomityö toteutettiin työsuhteessa Aalto-yliopiston Sähkötekniikan korkeakoulun Valaistusyksikössä osana EkoValo projektia. Haluan esittää esimiehelleni ja työn valvojalle, professori Liisa Haloselle, suurimmat kiitokset mahdollisuudesta tehdä tämä mielenkiintoinen ja ajankohtainen diplomityö. Innostuneista, ammattitaitoisista ja hyödyllisistä neuvoista sekä kommentteista haluan kiittää myös työni ohjaajaa, tohtori Marjukka Puolakkaa. Kiitokset lisäksi kaikille haastatteluihin ja kysymyksiini vastanneille.

Kiitokset kuuluvat myös Valaistusyksikön henkilökunnalle. Työpaikan ilmapiiri oli loistava, sain hyviä ideoita diplomityötäni varten ja apua niin työn tekemiseen kuin mittauksiinkin. Lisäksi haluan kiittää käyttäjätutkimukseen osallistuneita henkilöitä ja muita ystäviäni, jotka tukivat ja auttoivat minua monipuolisesti diplomityöni edetessä. Panoksenne oli arvokasta kuin Lily-show.

Lopuksi haluan kiittää koko sukuani monipuolisesta tuesta ja kannustuksesta koko koulu-urani ajalta.

Espoossa, 11.03.2011

Antti Rantakallio

# Sisällysluettelo

Esipuhe .....	iv
Sisällysluettelo .....	v
Symboli- ja lyhenneluettelo .....	vii
1 Johdanto .....	1
2 Suomen tieverkko ja sen valaistus .....	3
2.1 Maantiet.....	3
2.2 Kadut .....	9
2.3 Yksityistiet .....	12
2.4 Kevyen liikenteen väylät.....	14
2.5 Yhteenveto .....	16
3 Lediulkovalaistusasennukset Suomessa.....	20
3.1 Lediulkovalaisinten käyttö aiemmin .....	20
3.2 Lediulkovalaisinasennukset 2010 .....	20
3.3 Yhteenveto .....	24
4 Ulkovalaisinmittaukset.....	26
4.1 Mittausstandardit lediulkovalaisimille .....	26
4.2 Mittalaitteistot .....	26
4.3 Mitatut valaisimet.....	27
4.4 Valo- ja sähkötekniset ominaisuudet.....	33
4.5 Valonjako-ominaisuudet .....	36
4.6 Tievalaisinten tyyppihyväksyntä .....	40
4.7 Yhteenveto .....	41
5 Ulkovalaistusasennusten mittaukset.....	43
5.1 Mittaaminen kuvantavalla luminanssimittarilla .....	43
5.2 Asennusten valaistustekniset vaatimukset .....	47
5.3 Mittaukset Espoon Otaniemessä .....	49
5.3.1 Tietotie - Ruud Lightingin LEDWAY Road 60 .....	50
5.3.2 Tietotie - HR Lightin HR 150.....	51
5.3.3 Tietotie - LedZed Internationalin LedZed 120 .....	51
5.3.4 Tietotie - iGuzzinin Archilede 84.....	52
5.3.5 Tekniikantie - Vanha valaisin - suurpainenatriumlamppu 110 W.....	52
5.3.6 Vuorimiehentie - Lumi Groupin Lumi R .....	52
5.3.7 Vuorimiehentie - Siteco SC100 - suurpainenatriumlamppu 100 W.....	53
5.3.8 Vuorimiehentie - Vanha valaisin - suurpainenatriumlamppu 110 W.....	54
5.3.9 Jämeräntaival - Sitecon SQ100 - induktiolamppu 85 W .....	55
5.3.10 Jämeräntaival - Vanha valaisin - suurpainenatriumlamppu 110 W.....	55
5.4 Mitattujen asennusten vertailu .....	56
5.5 Yhteenveto .....	58
6 Käyttäjätutkimus: Jalkakäytävän ledivalaistus .....	60
6.1 Tutkimukseen valitut tieosuudet .....	60
6.2 Tutkimusmenetelmät .....	64
6.3 Kyselylomakkeen kehitys .....	68
6.4 Tutkimuksen toteutus .....	70
6.5 Tutkimustulokset.....	71

6.5.1	Perustiedot .....	71
6.5.2	Sanalliset kommentit valaistuksen tärkeydestä .....	72
6.5.3	Hahmontunnistus .....	73
6.5.4	Valaistuksen riittävyys .....	75
6.5.5	Valon tasaisuus .....	77
6.5.6	Valaistuksen häikäisy .....	77
6.5.7	Valon väri .....	78
6.5.8	Turvallisuuden tunne .....	79
6.5.9	Yleisarviot valaistukselle.....	80
6.6	Yhteenveto .....	80
7	Johtopäätökset .....	82
	Lähdeviitteet.....	86
	Liitteet .....	91
Liite A:	Uudet Suomessa vuonna 2010 tehdyt lediulkovalaistusasennukset .....	91
Liite B:	Mitattujen valaisimien ominaisuudet.....	93
Liite C:	Mitattujen valaisimien valon suhteelliset spektrijakaumat.....	94
Liite D:	Mitattujen valaisimien yhteenvetokortit .....	95
Liite E:	Käyttäjätutkimuksen kyselylomake.....	99

## Symboli- ja lyhenneluettelo

A	ampeeri, virran yksikkö
°C	celsiusaste, lämpötilan yksikkö
E	valaistusvoimakkuus
$E_m$	keskimääräinen valaistusvoimakkuus
I	virta
K	kelvin, SI-järjestelmän yksikkö lämpötilalle
km	kilometri, $1 * 10^3$ m
$L_{av}$	keskimääräinen luminanssi
lm	luumen, valovirran yksikkö
lx	luksi, valaistusvoimakkuuden yksikkö
m	metri
P	sähköteho
$T_c$	valon väriämpötila
U	jännite
$U_1$	luminanssin pitkittäistasaisuus
$U_o$	luminanssin yleistasaisuus
V	volti, jännitteen yksikkö
$V(\lambda)$	silmän suhteellinen spektriherkkyyshätköfunktio (fotooppinen)
$V'(\lambda)$	silmän suhteellinen spektriherkkyyshätköfunktio (skotooppinen)
W	watti, sähkötehon yksikkö
$\eta$	hyötysuhde, valotehokkuus, lm/W
$\Phi$	valovirta
CCT	correlated color temperature, ekvivalentti väriämpötila
CFL	compact fluorescent lamp, pienloistelamppu
CRI ( $R_a$ )	yleinen värintoistoindeksi
ELY(-keskus)	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristö(keskus)
HPS	high pressure sodium, suurpainenatrium (lamppu)
HG	elohopea, elohopealamppu
LED	light emitting diode, loistediodi, ledi
QL	induction lighting systems, induktiolamppu
SR	surround ratio, ympäristön valaistuksen suhdeluku
TI	threshold increment, estohäikäisy

# 1 Johdanto

Tie- ja katuvalaistuksen avulla parannetaan liikenneturvallisuutta ja ennaltaehkäistään pimeän ajan onnettomuuksia. Valaisemattomalla tieosuudella pimeällä ajettaessa onnettomuusriski kasvaa jopa kolminkertaiseksi. (RIL 2006) Liikennevirasto määrittelee valolle ja valaistukselle kolme päätehtävää, jotka ovat näkyvyyden parantaminen, hahmottamisen helpottaminen sekä ilmapiirin muokkaus. Tieliikenteen toimintojen valaiseminen sekä ympäristön selkeyttäminen valolla lisäävät turvallisuutta liikenteessä. Samalla lisätään yleistä turvallisuudentunnetta alueella ja parannetaan tieympäristön tunnelmaa. (Tiehallinto 2006a)

Myös Liikenneviraston omissa selvityksissä on käynyt ilmi onnettomuusriskin kasvavan selvästi valaisemattomilla teillä pimeän aikaan. Samalla onnettomuuksien seuraukset muuttuvat vakavammiksi, ja erityisesti jalankulijaonnettomuuksien riski kasvaa. Mäkelän ja Kärjen selvityksestä käy ilmi, että tievalaistuksella saadaan vähennettyä pimeän ajan onnettomuuksia 20–40 %. Selvityksen mukaan pimeän ajan henkilövahinko-onnettomuudet vähenevät valaistuksen myötä jopa 45–55 %. Valaistuksen myötä koko vuorokauden vakavien onnettomuuksien sekä jalankulijaonnettomuuksien osuus pienenee keskimääräistä enemmän. Kaikki onnettomuudet vähenevät noin 11 %, henkilövahinko-onnettomuudet noin 17 % ja kevyen liikenteen onnettomuudet noin 18 %. (Mäkelä & Kärki 2004)

Useissa kunnissa pyritään säästämään katuvalaistuksen yösammutuksella, himmentämisellä tai osittaisilla valaisinten sammutuksilla. Valaistuksen sammuttaminen kasvattaa kuitenkin aina onnettomuusriskiä, ja Liikenneviraston selvityksestä käykin ilmi, että valaistuksen vähentämisestä saatavat säästöt ovat pienemmät kuin onnettomuuksien lisääntymisen aiheuttamat kulut. Tievalaistuksen lisääminen päteille ei myöskään selvityksen mukaan vaikuttanut ajonopeuksiin. (Mäkelä & Kärki 2004) Valaistuksen luomaa parantunutta tien hahmottumista sekä optista ohjausta ei ulosmitata ajonopeuden nostolla, minkä ansiosta onnettomuudet eivät muutu vakavammiksi. Ajoympäristö on yöaikaan selvityksen teillä haastava, joten valaistuksen tuoma hyöty vaikuttaa suoraan turvallisuuteen sekä ajomukavuuteen. (Häkkinen & Luoma 1991, Anttila 2010) Mäkelä ja Kärki arvelivat selvityksessään itsekin, ettei valaistus luo ajoympäristöön edellytyksiä nostaa ajonopeuksia.

Tievalaistus on muutoksen keskellä, sillä voimaan saatettu Eco-design direktiivi vähentää ja lopulta poistaa energiatehokkuudeltaan huonoimmat ulkovalaistusratkaisut. Etenkin Suomessa runsaasti käytetyt elohopeavalaisimet olisi vaihdettava lähivuosina. Päätäjien on valittava niiden tilalle korvaavat tuotteet, eikä tehtävä ole helppo. Päätöksessä on otettava huomioon ja punnittava eri valaisintuotteiden hintaa, käyttökustannuksia, valon laatua ja sopivuutta kohteeseen, kestävyyttä ja esimerkiksi valaisimien sopivuutta suoraan olemassa oleviin valaisinpylväisiin.

Ulkovalaisinvalikoiman uusimmat tulokkaat, ledituotteet, eivät vielä ole perinteisten purkausvalaisimien tapaan tunnettuja. Ne eroavat jo valaisimien rakenteen kannalta monin tavoin perinteisistä tie- ja ulkovalaisimista. Ledivalaisimista on mahdollista muotoutua energiatehokkaimmat tievalaistuksen ratkaisut jo lähitulevaisuudessa, mutta uudentyyppisten valaisimien käyttöönotossa on kuitenkin vielä haasteita. Nykyisiltä hyvin kirjavilta ledivalaisinmarkkinoilta oikean mallin löytäminen on hankalaa, valaisimien olennaisia tietoja jätetään ilmoittamatta tai ne on ilmoitettu epäselvästi, ja jo tehdyt koeasennukset ovat tuottaneet välillä epätoivottuja tuloksia. Tulevaisuudessa



päättäjillä on mahdollisuus tehdä perustellumpia päätöksiä, kun ledivalaisimia ja niiden ominaisuuksia tutkitaan ja raportoidaan enemmän.

Uusilla mittalaitteilla on mahdollista selvittää ledivalaisimien usein ongelmalliseksi mainittua häikäisyä, ja käyttäjätutkimuksella mittaustulosten paikkansapitävyyttä. Ledivalaisimien valovirran ohjauksen erilaiset ratkaisut mahdollistavat tarkemman valonjaon ja täten valaistusluokan mukaisen tievalaistuksen aikaisempaa pienemmällä valovirralla. Tarkka valaistun osuuden rajausta saattaa kuitenkin aiheuttaa tilanteen, jossa kevyt liikenne kokee valaistuksen huonontuneen ympäristön valon vähennyttä. Käyttäjätutkimuksella voidaan selvittää, koetaanko alue ahdistavammaksi, jos valaistun liikkumisosuuden ympärillä on entistä pimeämpää. Ekrias et al. (2010) huomasivat ympäristösuhteen määritelmän olevan kuitenkin nykyisellään riittämätön ja mittauksissa ei siksi paneuduta tienvalaistuksen ympäristösuhteeseen.

Moderneista tievalaisinmalleista tarvitaan lisää tietoa, jotta niistä osataan valita sopivimmat jokaiseen kohteeseen. Tehtyjä asennuksia kartoittamalla saadaan vinkkejä jatkossa tehtäviin asennuksiin. Tutkimalla modernien tievalaisinten käyttäytymistä todellisissa ympäristöissä on mahdollista selvittää tietoa, jota ei ole saatavilla valaisinvalmistajilta. Uusien ledivalaisimien yleistä hyväksyttävyyttä taas on mahdotonta selvittää ilman koehenkilöiden asennuksista antamaa palautetta. Tässä työssä pyritään hankkimaan ratkaisuja näihin ongelmiin tutustumalla nykyaikaisiin valaistusvaihtoehtoihin laboratorioissa ja valaistusasennuksissa, selvittämällä vuonna 2010 tehtyjä ledivalaistusasennuksia ja kevyen liikenteen suhtautumista sellaisiin sekä kartoittamalla lisäksi Suomen tieverkon rakennetta.

Työssä kartoitetaan ensin Suomen tieverkon rakenne, pituus ja jakautuminen eri osiin sekä selvitetään käytetty päällyste ja valaistut osuudet. Lisäksi kevyen liikenteen väylästä ominaisuudet selvitetään. Lisäksi Suomessa vuonna 2010 tehdyt lediulkovalaistusasennukset kartoitetaan ja asennusten ominaisuudet listataan. Seuraavaksi työssä luodaan poikkileikkaus nykyaikaisiin tievalaistusratkaisuihin. Erilaisen ja eri tekniikoilla tehtyjen tievalaisimien ratkaisuja tutkitaan ja ominaisuuksia mitataan sekä verrataan keskenään. Erilaisilla ja eri-ikäisillä ratkaisuilla toteutettujen tievalaistusasennusten luomat valaistustulokset mitataan ja mittaustuloksia verrataan valaistusluokkien vaatimuksiin. Lopuksi käydään läpi työhön toteutettu kevyen liikenteen ledivalaistusta arvioiva käyttäjätutkimus ja sen tulokset. Näiden selvitysten pohjalta tehdään johtopäätöksiä ja luodaan ajatuksia tulevasta.

## 2 Suomen tieverkko ja sen valaistus

Liikennevirasto ilmoittaa maamme tieverkon kokonaispituuden olevan noin 454 000 kilometriä. Tiestö jaetaan maanteihin, jotka valtio omistaa, katuihin ja kaavateihin sekä yksityisteihin. Teiden jako eri luokkiin on hallinnollinen, joten tien laadusta ei voi aina päätellä sen luokkaa. Maanteitä kutsuttiin vuoteen 2005 asti yleisiksi teiksi. Liikenneviraston hallinnoimien maanteiden kokonaispituus on 78 161 kilometriä, kun taas kunnilla on katuja ja kaavateitä noin 26 000 kilometriä. Yksityisteitä Suomessa on 350 000 kilometriä. Liikennevirasto arvioi tieverkon Suomen aluerakenteeseen ja odotettaviin muutoksiin nähden varsin kattavaksi. (Liikennevirasto 2010a)

Tässä luvussa käsitellään omissa alaluvuissaan Suomen maantiet, kadut, yksityistiet ja kevyen liikenteen väylät. Näissä käsitellään tiestön pituuksia, teiden jakautumista maantieteellisesti, liikennetiheyksiä sekä valaistuksen ja päällysteiden tilaa eri alueilla. Lopuksi luodaan yhteenveto tiedoista.

### 2.1 Maantiet

Valtion omistamat maantiet muodostavat Suomen tieverkon rungon. Entisen Tiehallinnon, nykyisen Liikenneviraston hallinnoimien maanteiden kokonaispituus on 78 161 kilometriä. Liikennevirasto hallinnoi lueteltujen teiden lisäksi 1 110 kilometriä rampeja sekä 61 kilometriä lauttavälejä. (Liikennevirasto 2010a)

Maantiet luokitellaan merkityksen mukaan useaan eri alaluokkaan, joita ovat valtatie, kantatie, seututie ja yhdystie. Valtatiet palvelevat valtakunnallista pitkän matkan liikennettä yhdistäen suuria keskuksia ja maan eri alueita. Kantatiet taas yhdistävät seutukuntia sekä pienempiä keskuksia ja palvelevat täten enemmän maakuntamatkaajia. Liikenne- ja viestintäministeriö määrää mitkä tiet ovat maantieverkon rungon muodostavia valtateitä ja mitkä valtatieverkkoa täydentäviä kantateitä. Liikennevirasto päättää mitkä jäljelle jäävistä maanteistä kuuluvat tärkeämpiin seututeihin. Loput maantiet muodostavat yhdystieverkon. (Grönroos 2010)

Liikennevirasto jakaa toimintaansa viiteentoista ELY- eli Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukseen. Niitä ovat Etelä-Pohjanmaan-, Etelä-Savon-, Hämeen-, Kaakkois-Suomen-, Kainuun-, Keski-Suomen-, Lapin-, Pirkanmaan-, Pohjanmaan-Pohjois-Karjalan-, Pohjois-Pohjanmaan-, Pohjois-Savon-, Satakunnan-, Uudenmaan- sekä Varsinais-Suomen ELY-keskus. Laajemmalla aluejaolla näitä yhdistetään yhdeksäksi toimialueeksi. Maakuntien jakautuminen eri ELY-keskuksiin on esitelty taulukossa 1. (ELY 2010) Maantiekilometrit jakautuvat näille toimialueille taulukon 2 mukaisesti. Kaksi kolmasosaa Suomen maanteistä on yhdysteitä. Tiekilometriä prosentuaalinen jakautumisen alueittain ja luokittain on esitelty taulukossa 3. (Liikennevirasto 2010a)

**Taulukko 1: Laajemman aluejaon ELY-keskukset, niihin kuuluvat 15 ELY-keskusta sekä näiden sisältämät maakunnat (ELY 2010)**

ELY: Laajempi aluejako	ELY: Aluejako	Maakunta
Etelä-Pohjanmaa	Etelä-Pohjanmaa	Etelä-Pohjanmaa
	Pohjanmaa	Keski-Pohjanmaa Pohjanmaa
Kaakkois-Suomi	Kaakkois-Suomi	Etelä-Karjala Kymenlaakso
Keski-Suomi	Keski-Suomi	Keski-Suomi
Lappi	Lappi	Lappi
Pirkanmaa	Pirkanmaa	Pirkanmaa
Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu	Pohjois-Pohjanmaa	Pohjois-Pohjanmaa
	Kainuu	Kainuu
Pohjois-Savo	Pohjois-Savo	Pohjois-Savo
	Etelä-Savo	Etelä-Savo
	Pohjois-Karjala	Pohjois-Karjala
Uusimaa	Uusimaa	Itä-Uusimaa Uusimaa
	Etelä-Häme	Kanta-Häme Päijät-Häme
Varsinais Suomi	Satakunta	Satakunta
	Varsinais-Suomi	Varsinais-Suomi

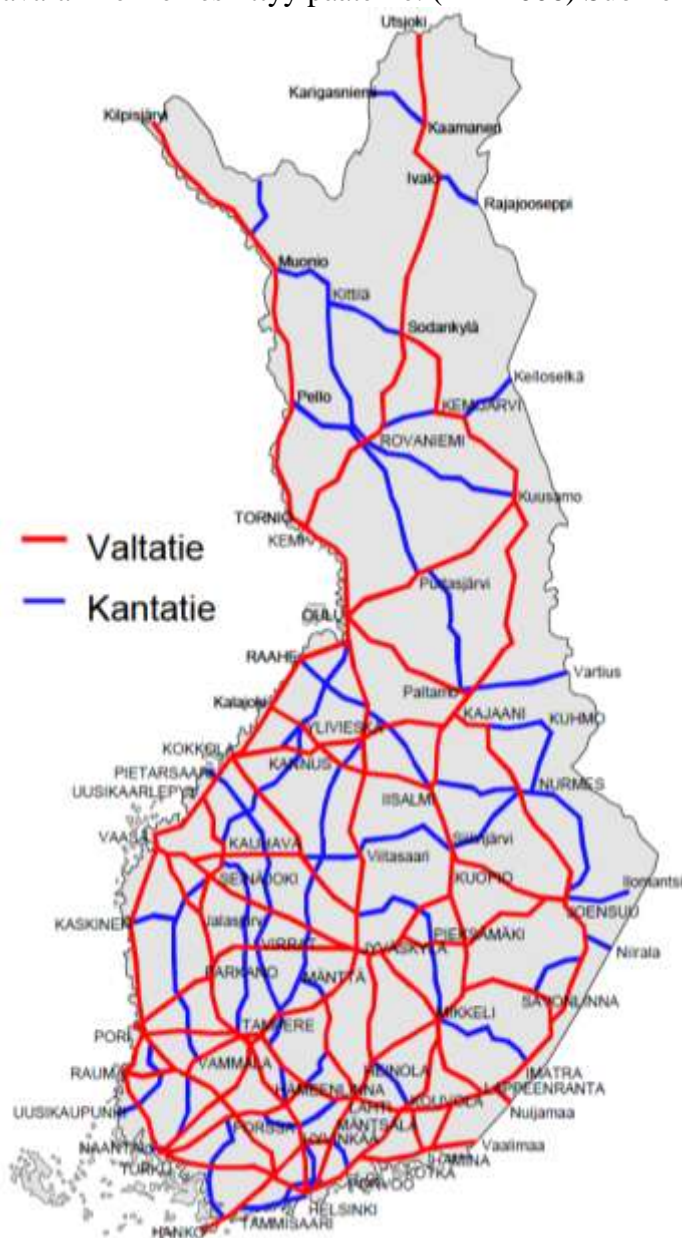
**Taulukko 2: Suomen maanteiden pituudet alueittain 1.1.2010 (Liikennevirasto 2010a)**

ELY-keskus	Valtatiet [km]	Kantatiet [km]	Seututiet [km]	Yhdystiet [km]	Yhteensä [km]
Uusimaa	1068	402	1438	6227	9134
Varsinais Suomi	718	345	1023	5931	8017
Kaakkois-Suomi	584	88	657	2844	4172
Pirkanmaa	533	300	771	3403	5008
Pohjois-Savo	1293	905	2884	10864	15945
Keski-Suomi	688	348	886	3395	5317
Etelä-Pohjanmaa	922	577	1368	5814	8682
Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu	1497	775	2367	8160	12799
Lappi	1265	1021	2143	4658	9087
<b>Koko maa</b>	<b>8568</b>	<b>4760</b>	<b>13537</b>	<b>51295</b>	<b>78161</b>

**Taulukko 3: Suomen maanteidenkilometrien jakautuminen alueittain 1.1.2010 (Liikennevirasto 2010a)**

ELY-keskus	Valtatiet	Kantatiet	Seututiet	Yhdystiet	Yhteensä
Pohjois-Savo	15 %	19 %	21 %	21 %	20 %
Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu	17 %	16 %	17 %	16 %	16 %
Uusimaa	12 %	8 %	11 %	12 %	12 %
Lappi	15 %	21 %	16 %	9 %	12 %
Etelä-Pohjanmaa	11 %	12 %	10 %	11 %	11 %
Varsinais Suomi	8 %	7 %	8 %	12 %	10 %
Keski-Suomi	8 %	7 %	7 %	7 %	7 %
Pirkanmaa	6 %	6 %	6 %	7 %	6 %
Kaakkois-Suomi	7 %	2 %	5 %	6 %	5 %
<b>Koko Maa</b>	<b>11 %</b>	<b>6 %</b>	<b>17 %</b>	<b>66 %</b>	<b>100 %</b>

Suomen pääteiksi kutsutaan valtateiden ja kantateiden verkkoa. Noin kaksi kolmasosaa maanteiden liikenteen suoritteesta, ajetuista kilometreistä, keskittyy pääteille. Etenkin tavaraliikenne keskittyy pääteille. (RIL 2006) Suomen päätiet on merkitty kuvaan 1.



**Kuva 1: Suomen päätiet (Vehviläinen 2009)**

Moottoritiet ovat pelkästään moottoriajoneuvoliikenteelle suunniteltuja nopeaan liikkumiseen tarkoitettuja teitä. Liikenne- ja viestintäministeriö voi määrätä tien moottoritiekseksi, mikäli tie täyttää tietyille asetetut vaatimukset. Näitä ovat muun muassa ajoratojen erottaminen toisistaan kaiteella tai keskikaistalla. Vaatimuksiin kuuluu myös liikenteen ohjaaminen moottoritielle ja sieltä pois liittymien tai moottoritien päiden kautta. Suomessa moottoritietä oli vuoden 2010 alussa 765 kilometriä. Moottoritiekilometrien jakautuminen alueittain on eritelty taulukossa 4. Samassa taulukossa on eritelty myös alueittain moottoriliikennetiekilometrit sekä maantieverkon ramppiosuudet. (Liikennevirasto 2010a) Suomen tieverkon moottoritieosuudet on havainnollistettu kuvassa 2. Valtatiet on merkitty kuvaan punaisella ja kantatiet keltaisella värillä. Maanteiden moottoritieosuudet on korostettu vihreällä värillä.

**Taulukko 4: Suomen moottoriteiden, moottoriliikenneteiden sekä ramppien pituudet alueittain (Liikennevirasto 2010a)**

ELY-keskus	Moottoriteitä [km]	Moottoriliikenneteitä [km]
Uusimaa	421	42
Varsinais Suomi	104	1
Pirkanmaa	89	19
Pohjois-Savo	42	3
Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu	36	17
Kaakkois-Suomi	27	17
Lappi	17	7
Keski-Suomi	14	2
Etelä-Pohjanmaa	11	1
<b>Koko maa</b>	<b>765</b>	<b>110</b>



**Kuva 2: Suomen moottoritiet on merkitty karttaan vihreällä, muut valtatie punaisella ja kantatiet keltaisella. (Migro 2009)**

Liikenneviraston selvityksestä käy ilmi, että Suomen maanteistä 12 402 kilometriä on valaistu. Tämä on maantieverkoston kokonaispituudesta 16 %. Tällä tieosuudella on kaikkiaan valaisimia 230 000 kappaletta (Sippola 2010, Tekniikka&Talous 2010). Valaistus jakautuu epätasaisesti painottuen vilkasliikenteisemmille maanteille. Valta- ja kantateilla onkin siksi suhteessa enemmän valaistuja osuuksia verrattuna seutu- ja yhdysteihin, 28 % niiden pituudesta. (Liikennevirasto 2010a) Myös jälkimmäisiin tieryhmiin kuuluu tiheästi liikennöityjä tieosuuksia, kuten esimerkiksi seututiet 101 ja

102 eli Kehä I ja Kehä II. Kehä III sen sijaan on kantatie numero 50, jonka 2007 valmistunut jatke, Vuosaaren satamatie, on seututie 103.

Liikenneviraston tievalaistuksen painottumiseen valta- ja kantateille vaikuttaa myös Suomen Kuntaliiton ja Liikenneviraston periaatesopimus kustannusvastuun jaosta tienpidossa. Sen perusteella valta- ja kantateiden tievalaistuksen omistaa aina Liikennevirasto. Seutu- ja yhdysteillä Liikennevirasto omistaa valaistuksen vain silloin, kun se pitää valaistusta tarpeellisena. Loput näille teille rakennettavat tievalaistukset ovat kunnan omistuksessa ja vastuulla. Poikkeuksena ovat asemakaava-alueiden yhdystiet, joille ei voida osoittaa liikennealuetta asemakaavasta. (Tiehallinto 2006b)

Valaistuja maantiekilometrejä on eniten Uudenmaan ja Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksissa. Molempien alueiden maanteistä on valaistu noin neljäsosa. Suuret vuotuiset liikennesuoritteet ja päivittäiset ajoneuvojen määrät ovat selkeästi syitä Uudenmaan valaistujen tiekilometrien suurimpaan prosentuaaliseen osuuteen. Etelä-Pohjanmaan suurta tievalaistuksen määrää ei voi numeroiden pohjalta perustella niin selkeästi. Liikennesuorite alueella eroaa Uusimaata lukuun ottamatta lasketun vuotuisen liikennesuoritteen keskiarvosta vain 2,7 % suurempana. Vuorokausittainen keskimääräinen automäärä alueen teillä on jopa 8 % pienempi kuin ilman Uusimaata laskettu Suomen teiden keskiarvo. Etelä-Pohjanmaan teiden valaistus perustuu muihin syihin, kuten keskimääräistä haastavampiin tieosuuksiin, paikalliseen ajokulttuuriin tai päättäjien prioriteetteihin alueella. Tarkemmat arvot valaistuksen sekä liikenteen jakautumisesta alueittain on merkitty taulukkoon 5. (Liikennevirasto 2010a)

Liikennevirastolla on myös valaistuja ramppoja. Valaisemattomalla moottori- ja moottoriliikennetiellä valaistaan rampit, ja valaistulla eritasoliittymien rampit. Muilla maanteillä rampit valaistaan normaalisti vilkasliikenteisten valta- ja kantateiden keskinäisten valaistujen liittymien yhteydessä. Tarkempia tietoja valaistujen ramppien osuudesta suhteessa kaikkiin ei ole, mutta ramppien kokonaispituudet on kuitenkin vertailun vuoksi merkitty valaistujen maantiekilometrien tietojen yhteyteen taulukkoon 5. (Tiehallinto 2006b)

**Taulukko 5: Valaistujen tiekilometrien, liikennesuoritteen ja teiden keskimääräisen vuorokausiliikenteen jakautuminen alueittain Suomessa (Liikennevirasto 2010a)**

ELY-keskus	Maantiet [km]	Joista valaistu [km]		Rampeja [km]	liik.suor. [milj. km]	vuorok.liik. [autoa]
Uusimaa	9134	2331	25,5 %	492	10428	3128
Varsinais Suomi	8017	1641	20,5 %	132	4449	1520
Kaakkois-Suomi	4172	691	16,6 %	68	2029	1333
Pirkanmaa	5008	967	19,3 %	135	3203	1752
Pohjois-Savo	15945	1355	8,5 %	123	4497	773
Keski-Suomi	5317	737	13,9 %	40	2301	1186
Etelä-Pohjanmaa	8682	2114	24,3 %	35	3265	1030
Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu	12799	1496	11,7 %	56	3851	824
Lappi	9087	1183	13,0 %	28	1845	556
<b>Koko maa</b>	<b>78161</b>	<b>12402</b>	<b>15,9 %</b>	<b>1110</b>	<b>35870</b>	<b>1257</b>

Liikennevirasto on ilmoittanut käyttävänsä Suomen maanteiden valaisemiseen noin 230 000 valaisinta (Sippola 2010). Kun nämä jaetaan valaistuille noin 12 400 kilometrille, saadaan keskimääräiseksi pylväsväliksi 53,9 metriä. Arvoa vääristävät keskipylyvasennukset joissa on kaksi valaisinta jokaista pylvästä kohti.

Teitä päällystetään jotta ajo-ominaisuudet niillä paranisivat ja jotta teiden ylläpito olisi edullisempaa ja vaivatonta. Asfalttipinta on verrattaessa päällystämättömään tiehen kantavana ja kestäväenä pitkäikäistä sekä vaatii vähemmän huoltoa. Lumen ajo asfalttipinnalta on talvisin helppoa. Tien päällystäminen ei kuitenkaan kannata vähän

liikennöidyillä osuuksilla päällysteen ympäristötekijöistä johtuvan luonnollisen kuluman takia. Päällystetty tie vaatisi siksi hiljaisissa ajoympäristöissä liikaa kunnossapitoa päällystämällä saavutettuun hyötyyn nähden.

Asfalttibetoni on tienpinnan kulutuskerroksen materiaali liikennemäärältä ja kuormitukselta suurissa kohteissa. Pehmeä asfalttibetoni on vähemmän kulutusta kestävä, mutta joustavampi päällyste ja mukautuu siksi asfalttibetonia paremmin pohjan rakenteen muutoksiin. (NCC 2010) Liikennevirasto käyttää kestopäällystettä, asfalttibetonia, pääosin tieosuuksilla, joilla keskimääräinen vuorokausiliikenne on 1000–6000 kulkuneuvoa. 25 % maanteistä on kestopäällyste. Vuorokausiliikenteen jäädessä keskimäärin 300 ja 1500 kulkuneuvon välille on päällyste usein öljysoraa tai muuta vastaavaa kevytpäällystettä. Näihin lukeutuvat pehmeä asfalttibetoni ja soratien pintausta. Pehmeää asfalttibetonia on käytetty 38 prosentissa maanteistä, soratien pintausta 2 prosentissa. Alle 200 kulkuneuvon keskimääräisen vuorokausiliikenteen maantiet ovat pääosin sorapäällysteisiä. 35 % maanteistä on sorapäällysteisiä. (Liikennevirasto 2010a)

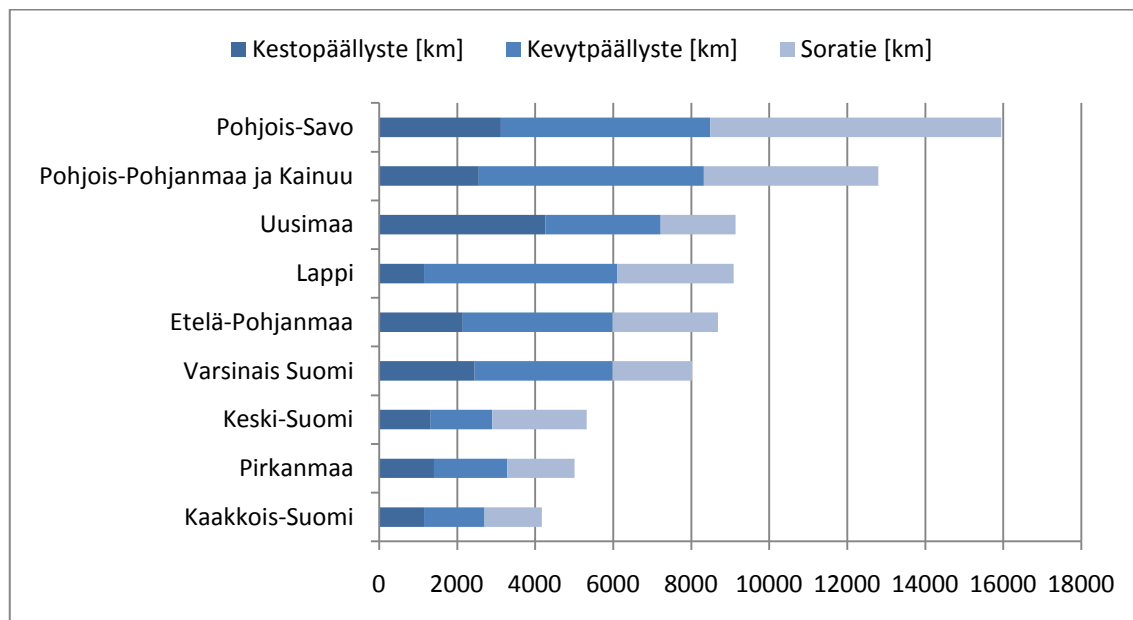
Taulukossa 6 on kestopäällyste-, kevytpäällyste- ja soratiekilometrien jakautuminen eri maantietyyppien välillä. Samaan taulukkoon on liitetty lisäksi myös maantietyyppiin liittyvä valaistut kilometrit. Maanteillä käytetty päällyste on jaoteltu alueittain taulukkoon 7. Lukujen havainnollistamiseksi kilometrit on esitetty myös kuvassa 3.

**Taulukko 6: Tiepäällysteiden jakautuminen eri maantietyypeille ja maantietyyppeihin liittyvät valaistuskilometrit (Liikennevirasto 2010a)**

Tieluokka	Kestopääll. [km]		Kevytpääll. [km]		Soratie [km]		Yhteensä [km]	Josta valaistu [km]	
Valtatiet	7774	91 %	794	9 %	0	0 %	8568	3022	35 %
Kantatiet	2990	63 %	1770	37 %	0	0 %	4760	923	19 %
Seututiet	4400	33 %	8661	64 %	476	4 %	13537	2558	19 %
Yhdystiet	4365	9 %	20231	39 %	26700	52 %	51295	6012	12 %
<b>Koko maa</b>	<b>19530</b>	<b>25 %</b>	<b>31455</b>	<b>40 %</b>	<b>27176</b>	<b>35 %</b>	<b>78161</b>	<b>12515</b>	<b>16 %</b>

**Taulukko 7: Tiepäällysteiden jakautuminen eri alueittain ja alueelliset valaistut kilometrit (Liikennevirasto 2010a)**

ELY-keskus	Kestopääll. [km]		Kevytpääll. [km]		Soratie [km]		Yhteensä [km]	Josta valaistu [km]	
Uusimaa	4256	47 %	2961	32 %	1917	21 %	9134	2331	26 %
Varsinais Suomi	2447	31 %	3540	44 %	2030	25 %	8017	1641	20 %
Kaakkois-Suomi	1147	27 %	1551	37 %	1474	35 %	4172	691	17 %
Pirkanmaa	1404	28 %	1882	38 %	1722	34 %	5008	967	19 %
Pohjois-Savo	3118	20 %	5366	34 %	7461	47 %	15945	1355	8 %
Keski-Suomi	1308	25 %	1586	30 %	2423	46 %	5317	737	14 %
Etelä-Pohjanmaa	2140	25 %	3845	44 %	2696	31 %	8682	2114	24 %
Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu	2556	20 %	5770	45 %	4473	35 %	12799	1496	12 %
Lappi	1153	13 %	4955	55 %	2979	33 %	9087	1183	13 %
<b>Koko maa</b>	<b>19530</b>	<b>25 %</b>	<b>31455</b>	<b>40 %</b>	<b>27176</b>	<b>35 %</b>	<b>78161</b>	<b>12402</b>	<b>16 %</b>



**Kuva 3: Tiepäällystekilometrien jakautuminen alueittain. (Liikennevirasto 2010a)**

Tieyhdistys pitää Suomen maantieverkon laajuutta ja kattavuutta riittävänä, mutta kritisoi pienempien maanteiden teknistä tasoa. (Suomen Tieyhdistys 2010a) Liikennevirasto myöntää, ettei kaikkia alimpaan hoitoluokkaan kuuluvia vähäliikenteisiä teitä pystytä pitämään toivotussa kunnossa, mutta kertoo sorateiden heikosta kunnosta johtuvien kelirikon aiheuttamien rajoitusten vähentyneen. (Liikennevirasto 2009) Maanteistä oli 1980-luvulla kelirikon alaisina keskimäärin 5 990 kilometriä, 1990-luvulla 4 530 ja 2000-luvulla keskimäärin enää noin 1 580 kilometriä. Suhteutettuna kaikkiin maantiekilometreihin on kelirikko-osuuksien prosentuaalinen osuus vähentynyt vielä nopeammin. Kelirikko-osuudet kattoivat 2000-luvulla keskimäärin 2,02 prosenttia maanteistä. (Liikennevirasto 2010a)

## 2.2 Kadut

Kadut ovat kuntien ja kaupunkien hoitamia teitä. Ne täydentävät maantieverkkoa keskustoissa ja siellä missä on teollisuutta tai asutusta. Kadut rakennetaan asemakaavan mukaisesti, ja ne kulkevat usein rakennustonttien välissä. Maankäyttö- ja rakennuslaki määrittää, että ”katualue käsittää asemakaavassa osoitetun katualueen maanalaisine ja maanpäällisine sekä yläpuolisine johtoineen, laitteineen ja rakenteineen, jollei asemakaavassa ole toisin osoitettu.” Ajouradan viereen, katujen reunoille on usein erotettu korotuksella jalkakäytävä. (Eduskunta 1999)

Suomen Kuntaliitto on kuntien muodostama yhdistys. Kuntaliitto toimii edunvalvojana ja palveluiden tuottajana sekä kehittäjänä. Se pyrkii näin parantamaan jäseniensä toimintaedellytyksiä, yhteistyötä ja tulevaisuudennäkymiä niiden asukkaiden hyväksi. Suomen Kuntaliiton toiminnassa on mukana Suomen kuntien lisäksi muun muassa maakuntien liitot, sairaanhoitopiirit sekä eri alojen kuntayhtymät. (Suomen Kuntaliitto 2010)

Tilastokeskus kokoaa vuosittain kuntien ilmoittamien tietojen pohjalta Kuntien ja kuntayhtymien talous- ja toimintatilaston. Tätä tilastoa lähteenä käyttäen Kuntaliitto rakentaa oman vuotuisen päivityksen aikasarjaansa kuntien liikenneväylistä. Uusimmassa versiossa kerrotaan kaikkien kuntien katujen, kevyen liikenteen väylien, kuntien kunnossapitämien yksityisteiden ja muiden pysyvää asutusta palvelevien



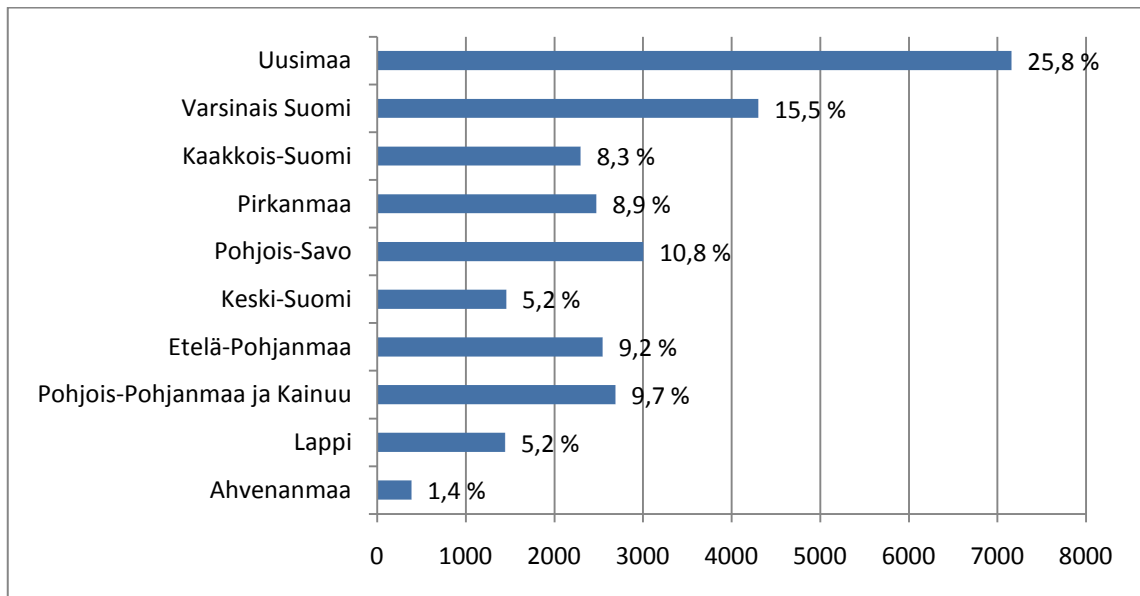
yksityisteiden pituudet vuoden viimeisenä päivänä ajalta 1997–2008. Kuntaliitossa on aikasarjaa koottaessa myös korjattu joitain selkeästi suuruusluokaltaan väärin ilmoitettuja tietoja. (Suomen Kuntaliitto 2009)

Suomen Kuntaliiton kokoamassa taulukossa tiedot ovat kunnittain. Taulukossa kunnan kunnossapitämät kadut ja näiden luonteiset tiet kaava-alueilla annetaan kilometrin tarkkuudella vuoden viimeiseltä päivältä. Kilometritiedot jaotellaan, jotta niiden hahmottaminen sekä vertailu olisi helpompaa. Selkeämpi taulukko luodaan siirtämällä kuntien tiedot yhdeksän ELY-keskuksen alle, vastaamaan Liikennevirastonkin ryhmittelyä. Ahvenanmaan kadut on lisätty omaksi ryhmäkseen. Koska Liikenneviraston kuntalistaus on vuoden 2010 kuntanimien mukainen, oli kuntaliitoksia suorittaneiden kuntien kilometrit rakennettava vanhoja 2008 kuntien tietoja yhdistämällä. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut lopputuloksiin. ELY-keskuksiin ryhmittelyn avulla saadut tulokset ovat taulukossa 8. (Suomen Kuntaliitto 2009)

**Taulukko 8: Suomen katujen pituudet alueittain 31.12.1997 - 2008 (Suomen Kuntaliitto 2009)**

ELY-keskus	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Uusimaa	6127	6244	6340	6249	6323	6279	6427	6568	6684	6890	7012	7157
Varsinais-Suomi	3256	3402	3423	3434	3540	3575	3662	3751	3846	3950	4310	4299
Kaakkois-Suomi	2070	2086	2098	2116	2137	2137	2167	2200	2222	2243	2297	2296
Pirkanmaa	2042	2030	2044	2114	2137	2169	2208	2258	2309	2364	2437	2472
Pohjois-Savo	2608	2650	2679	2740	2755	2806	2842	2869	2921	2953	2954	3003
Keski-Suomi	1330	1326	1332	1342	1372	1375	1392	1411	1433	1434	1454	1455
Etelä-Pohjanmaa	2109	2145	2145	2188	2214	2256	2302	2361	2439	2468	2504	2544
Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu	2259	2305	2334	2359	2369	2445	2474	2477	2543	2605	2649	2689
Lappi	1291	1321	1322	1339	1343	1358	1378	1409	1423	1405	1426	1443
Ahvenanmaa	334	334	338	336	346	346	346	393	393	395	399	385
<b>Koko maa</b>	<b>23426</b>	<b>23843</b>	<b>24055</b>	<b>24217</b>	<b>24536</b>	<b>24746</b>	<b>25198</b>	<b>25697</b>	<b>26213</b>	<b>26707</b>	<b>27442</b>	<b>27743</b>

Suomessa oli katuja vuoden 2008 lopussa yhteensä 27 743 kilometriä. Kadut, kuten maantietkään, eivät jakaudu maantieteellisesti tasaisesti. Jakauma on havainnollistettu kuvassa 4. Alueen teiden prosentuaalinen osuus katuverkosta on lisätty kuvaajaan. Yli neljäsosa kaikista kaduista on Uudenmaan ELY-keskuksen alueella. Suuret kaupungit nostavat Uudenmaan keskuksen katukilometrien osuutta, sillä neljä kaupunkia kahdeksasta eniten katukilometrejä ylläpitävästä kunnasta tai kaupungista on tästä keskuksesta. Varsinais-Suomen keskuksestakin löytyy kaksi kaupunkia kahdeksan suurimman katuylläpitäjän joukosta. 15 eniten katukilometrejä ylläpitävää kuntaa tai kaupunkia on merkitty taulukkoon 9. Taulukosta näkyy myös mihin ELY-keskukseen ne kuuluvat. (Suomen Kuntaliitto 2009)



**Kuva 4: Suomen katukilometrien jakautuminen alueittain ja prosentuaalinen osuus Suomen koko katuverkosta 31.12.2008. (Suomen Kuntaliitto 2009)**

**Taulukko 9: 15 Suomessa eniten katuja ylläpitävää kuntaa tai kaupunkia ja keskuskeskukset, joihin ne kuuluvat (Suomen Kuntaliitto 2009)**

Kunta	Katuja [km]	ELY-keskus johon kuuluu
Helsinki	1050	x Uusimaa
Pori	852	x Varsinais-Suomi
Vantaa	745	x Pirkanmaa
Tampere	657	x Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu
Espoo	623	x Kaakkois-Suomi
Oulu	584	x Lappi
Turku	575	x Pohjois-Savo
Lahti	450	x Keski-Suomi
Lappeenranta	377	x Etelä-Pohjanmaa
Rovaniemi	341	
Kuopio	339	
Jyväskylä	338	
Kotka	322	
Imatra	307	
Vaasa	307	

Kuntien katuvalaistusratkaisuista tai -päällysteistä ei Suomen Kuntaliitolla ole käytössään kattavaa kollektiivista tietokantaa. (Kämpö 2010) Tämä on ymmärrettävää Suomen kuntien suuren määrän takia. Sippola (2010) arvioi eri lähteiden avulla Suomen kunnissa olevan noin 0,2 ulkovalaisinta asukasta kohti. Suomen väkiluvulla kertomalla nousee Sippolan arvio Suomen kaikkien kuntien ulkovalaisinten yhteenlasketuksi lukumääräksi 1,066 miljoonaan kappaleeseen.

Suomen kuntien valaisemista tiekilometreistä ei ole tilastotietoa. Suuntaa antavia lukuja olisi mahdollista arvioida, jos esimerkiksi maan keskimääräinen valaisinpylväiden väli kunnissa tiedettäisiin. Selvittämällä usean yksittäisen kunnan valaistusten kilometrien määrä ja valaisinluku olisi mahdollista laskea koko Suomen katuvalaistuksesta kilometriarvio. Tästä ei kuitenkaan olisi tarkaksi ratkaisuksi, koska arvoon sisältyisi muun muassa kaupunkien koristevalaistuksen ja tien molemminpuolisen valaisemisen vaikutukset. Riittävä data tähän laskuun ei pystytty työn puitteissa kokoamaan.

Saaduilla tiedoilla laskemalla Suomen arvioitujen valaistujen katukilometrien pituus oli tuhansia kilometrejä enemmän kuin katuja on kokonaisuudessaan olemassa.

Suomen katujen päällysteistä ei ole tilastotietoa, jonka avulla voitaisiin muodostaa kattavan arvion katupäällysteiden nykyisestä jakaumasta.

### **2.3 Yksityistiet**

Suomen yksityiset tiet, tai yksityistiet ovat yksityistielain (Eduskunta 1962) mukaisten tiekuntien ylläpitämiä. Maamme yksityistieverkon pituutta on vaikea määrittää tarkasti, mutta Suomen Tieyhdistyksen hiussuonistomaiseksi kutsumaa yksityistieverkoston on noin 350 000 kilometriä, eli yli kolme neljäsosaa valtakunnan tiekilometreistä. (Suomen Tieyhdistys 2010a) Suomen Tieyhdistys on tie- ja liikennealan asiantuntija-, etu- ja yhteistyöjärjestö. Sen jäsenenä on noin sata kaupunkia ja kuntaa, ja yhdistys toimii monipuolisissa tehtävissä tieliikenteeseen sekä tieväyliin liittyen.

Laiissa yksityisistä teistä käsitellään teitä, joita muutkin, kuin vain tien haltija, ovat oikeutettu käyttämään. Yksityisiä teitä, joilla kaikilla on oikeus ajaa, mutta joihin kenelläkään ei ole pysyvää käyttöoikeutta, on paljon. Ne ovat verraten muihin tietyyppisiin liikennemääriltään pieniä, mutta haja-asutusalueen liikenteen kannalta välttämättömiä. Nämä tiet voivat saada valtion- ja kunnanavustuksia kunnossapitoon ja parantamiseen, jos ne ovat paikkakunnan liikenteen kannalta huomattavan merkittäviä, tai ne täyttävät ehdot liittyen tien varrella olevaan pysyvään asutukseen. (Eduskunta 1962)

Noin 55 000 kilometriä yksityisteistä on oikeutettu valtion apuun. Jo yksin valtion apuun oikeutettujen teiden varrella on lähes 190 000 kesämökkiä. (Suomen tieyhdistys 2010b) Pysyvää asutusta palvelevia yksityisteitä oli vuoden 2008 lopussa noin 89 600 kilometriä. (Suomen Kuntaliitto 2009) Osa näistä teistä on katumaisia taajamateitä. Maaseudulla yksityisteiden varressa asuu puoli miljoonaa suomalaista ja niiden varrella on suurin osa Suomen 400 000 kesämökistä. (Suomen Tieyhdistys 2010a)

Yksityisteiden jakautuminen erityyppisiin ryhmiin on esitetty taulukossa 10. Pysyvää asutusta palvelevat yksityistiet on jaettu kuntien kunnossapitämiin ja tieosakkaiden ja -kuntien kunnossapitämiin teihin, joista viimeisistä valtionavustusta saa suurin osa. Rakennettuja metsäautoteitä ja muita autoilla ajokelpoisia metsä- ja mökkiosuuksia on Suomen koko 450 000 kilometrin tieverkosta todella paljon. Jäljelle jäävät tiet ovat kiinteistöjen omia teitä, erilaisia ajouria ja muita vastaavia osuuksia. Tarkempaa kattavaa tietoa vakituisen asutuksen piiriin kuulumattomista yksityisteistä ei ole saatavilla.

**Taulukko 10: Suomen yksityisten teiden jakautuminen eri ryhmiin ja ryhmiin kuuluvat tiekilometrit (Suomen Kuntaliitto 2009, Suomen Tieyhdistys 2010b)**

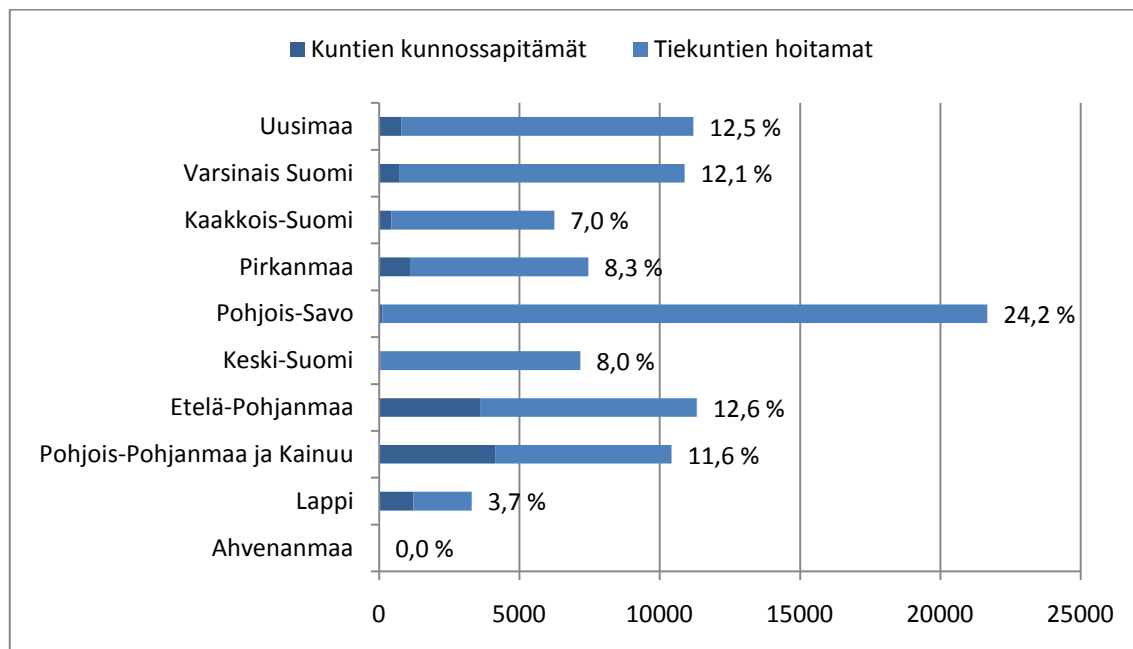
Yksityisteitä n. 350000				
Pysyvää asutusta palvelevat 89631		Rakennettu metsäautotie n. 120000	Ajokelpoinen metsä- tai mökkitie n. 110000	Ajourat, pihatiet, yms. jäljelle jäävät n. 30000
Kuntien kunnossapitämät 12127	Tiekuntien tai - osakkaiden kunnossapitämät 77504			
Joista valtion- avustusta saa n. 55000				

Pysyvää asutusta palvelevat yksityistiekilometrit on merkitty Suomen Kuntaliiton julkaisuun tarkasti. Nämä yksityistiet on jaettu kahteen ryhmään, joista kunnan kunnossapitämät tiet sisältävät yksiselitteisesti vain kuntien itsenäisesti hoitamat tiet. Tiekuntien hoitamien teiden kunnossapidosta vastaavat tiekunta tai tieosakkaat. Kunnan avustamat yksityistiet luetaan jälkimmäiseen ryhmään. Tarkat kilometrimäärät vuoden 2008 lopusta on merkitty alueittain taulukkoon 11. (Suomen Kuntaliitto 2009)

**Taulukko 11: Vakituista asutusta palvelevien yksityisteiden jakautuminen Suomessa alueittain ja niiden prosentuaalinen jakauma (Suomen Kuntaliitto 2009)**

ELY-keskus	Kuntien kunnoss. [km]		Tiekuntien hoit. [km]		Yhteensä [km]	
Uusimaa	798	6,6 %	10394	13,4 %	11192	12,5 %
Varsinais Suomi	710	5,9 %	10172	13,1 %	10882	12,1 %
Kaakkois-Suomi	436	3,6 %	5802	7,5 %	6238	7,0 %
Pirkanmaa	1092	9,0 %	6364	8,2 %	7456	8,3 %
Pohjois-Savo	114	0,9 %	21558	27,8 %	21672	24,2 %
Keski-Suomi	32	0,3 %	7131	9,2 %	7163	8,0 %
Etelä-Pohjanmaa	3594	29,6 %	7727	10,0 %	11321	12,6 %
Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu	4133	34,1 %	6282	8,1 %	10415	11,6 %
Lappi	1218	10,0 %	2074	2,7 %	3292	3,7 %
Ahvenanmaa	0	0,0 %	0	0,0 %	0	0,0 %
<b>Koko maa</b>	<b>12127</b>	<b>100 %</b>	<b>77504</b>	<b>100 %</b>	<b>89631</b>	<b>100 %</b>

Huomattava osuus tiekuntien hoitamista pysyvän asutuksen varrella olevista yksityisteistä on Pohjois-Savon ELY-keskuksen alueella, kuva 5. Vastaavista kuntien kunnossapitämistä yksityisteistä kolmasosa on Etelä-Pohjanmaan, Pohjois-Pohjanmaan sekä Kainuun keskuksen alueella. Ahvenanmaalla ei ole pysyvää asutusta palvelevaa yksityistietä lainkaan.

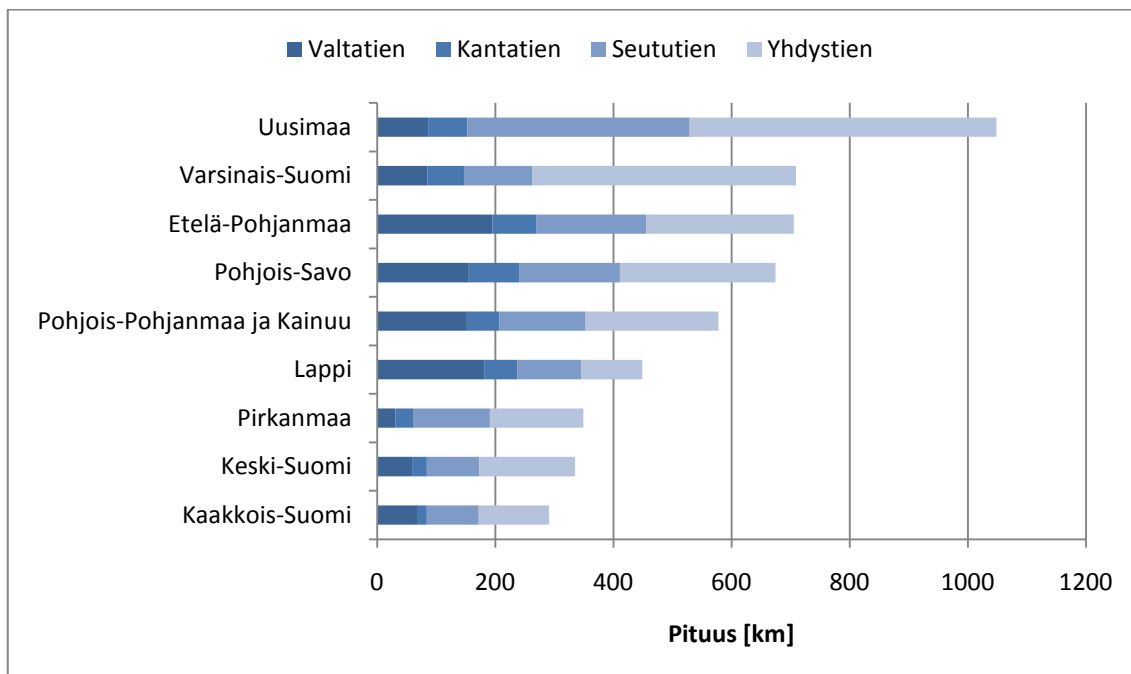


**Kuva 5: Vakituista asutusta palvelevien yksityisteiden jakautuminen Suomessa alueittain, ja alueen pysyvää asutusta palvelevien yksityisteiden prosentuaalinen osuus kaikista Suomen pysyvää asutusta palvelevista yksityisteistä. (Suomen Kuntaliitto 2009)**

Yksityisteiden valaistuista tai päällystetyistä osuuksista ei ole tilastotietoa. Tämä johtuu teiden ylläpidon ja rakentamisen kustannusten jakautumisesta tiekunnille. Valtio tai kunnat määrittelevät yksityisteiden valaisemisen tai päällystämisen niin kutsutuksi ylikunnon hakemiseksi, eivätkä täten tue tämänlaista kunnostusta. Suurten rakennuskustannusten takia niin valaistus kuin asfalttipäällysteetkin ovat yksityisteillä jääneet erittäin vähäisiksi. Joitain poikkeustapauksia ovat esimerkiksi päällystetty tie kunnalliselle jätepiestelle saakka tai suuri yritys, joka on itse rahoittanut tien päällystykseen ja valaistukseen. (Kasteenpohja 2010)

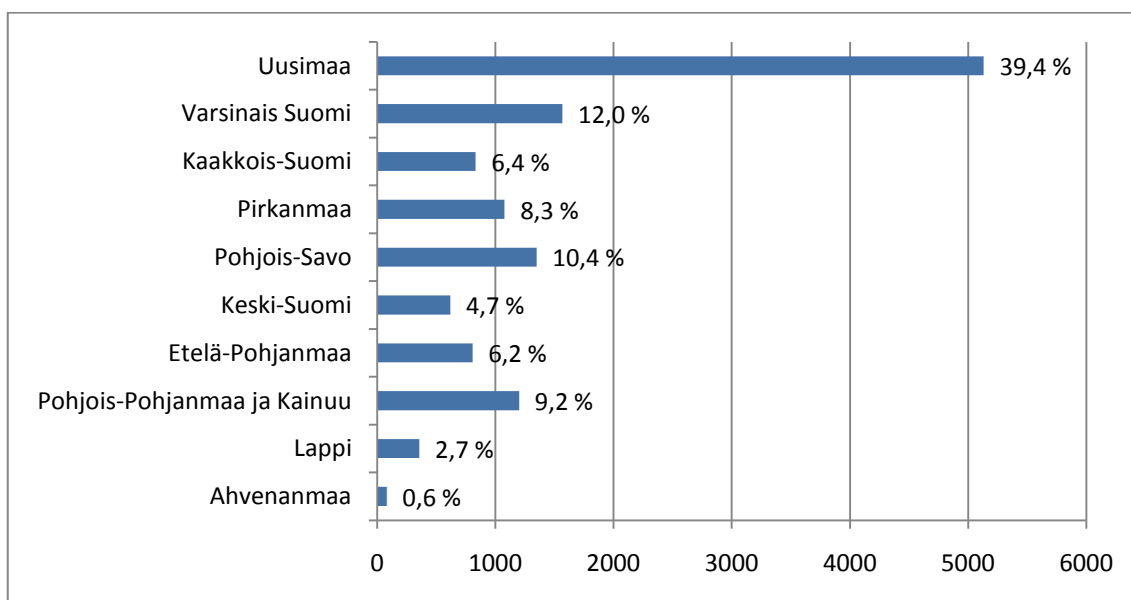
## 2.4 Kevyen liikenteen väylät

Maanteiden varsilla liikkuu kävelijöitä, pyöriä ja mopoja, joidenka turvaksi tarvitaan kevyen liikenteen väyliä. Liikenneviraston maanteillä olevat kevyen liikenteen väylät on tilastoitu käyttämällä niiden tieosuuksien pituuksia, joiden varrella kevyen liikenteen väylät ovat. Yhteensä Liikennevirastolla on Suomessa 5 138 kilometriä kevyen liikenteen väyliä. Suurin osa, eli 44 %, 2 245 kilometriä, kevyen liikenteen väylistä on yhdysteiden varrella. Myös seututeiden varrella on huomattavasti kevyen liikenteen väyliä, 1 408 kilometriä, mikä on 27 % kaikista kevyen liikenteen väylistä. Kantateiden varrella oleva 470 kilometrin osuus vastaa vain 9 % koko Liikenneviraston kevyen liikenteen väylistä. Liikenneviraston kevyen liikenteen väylien maantieteellinen jakautuminen on esitetty kuvassa 6. (Liikennevirasto 2010a)



**Kuva 6: Maantien varrella olevien kevyen liikenteen väylien maantieteellinen jakautuminen ja jako väylään liittyvien maantietyyppien mukaan 1.1.2010. (Liikennevirasto 2010a)**

Kevyen liikenteen väyliä tarvitaan myös kaupungeissa ja kunnissa niin virkistäytymis- kuin työmatkakäyttöönkin. Suomen Kuntaliiton liikenneväylät -aikasarjaan on merkitty kevyen liikenteen väylien pituudet kunnissa. Kuntien kunnossapitämiä kevyen liikenteen väyliä, joihin lasketaan myös maanteihin liittyvät kuntien pysyvästi kunnossapitämät osuudet lukuun ottamatta jalkakäytäviä, oli vuoden 2008 lopussa yhteensä 13 010 kilometriä. Kuvasta 7 nähdään, että kaksi viidesosan kuntasektorin kevyen liikenteen väylistä asettuu Uudellemaalle. Taulukossa 12 on listattu kunnat, jotka tarjoavat eniten kevyen liikenteen väyliä. Helsinki vie ensimmäisen sijan huomattavasti muita kuntia ja kaupunkeja pidemmällä kevyen liikenteen verkolla. Vain vuotta aikaisemmin, 2007 lopussa, Helsingissä oli kevyen liikenteen väyliä kuitenkin 2 050 kilometrin sijaan ainoastaan 630. (Suomen Kuntaliitto 2009)



**Kuva 7: Kuntien kunnossapitämiä kevyen liikenteen väylien alueellinen jakautuminen. (Suomen Kuntaliitto 2009)**

**Taulukko 12: 15 eniten kevyen liikenteen väyliä [KLV] Suomessa ylläpitävää kuntaa tai kaupunkia ja keskuskeskukset, joihin ne kuuluvat (Suomen Kuntaliitto 2009)**

Kunta	KLV [km]	ELY-keskus johon kuuluu	
Helsinki	2050	x	Uusimaa
Vantaa	602	x	
Oulu	520	x	Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu
Tampere	502	x	Pirkanmaa
Espoo	499	x	
Turku	334	x	Varsinais-Suomi
Jyväskylä	317	x	Keski-Suomi
Kuopio	283	x	Pohjois-Savo
Joensuu	282	x	
Pori	259	x	
Hämeenlinna	249	x	
Hyvinkää	191	x	
Lappeenranta	180	x	Kaakkois-Suomi
Vaasa	167	x	Etelä-Pohjanmaa
Seinäjäki	158	x	

Kevyen liikenteen väylät pyritään usein sijoittamaan lähelle autoliikenteen ajorataa. Tätä ratkaisua puoltavat kaavoituksellisten syiden lisäksi myös valaistustekniset seikat. Kevyen- ja autoliikenteen väylät pyritään valaisemaan kustannustehokkaasti samalla valaistuksella. Kohteissa, joissa kevyen liikenteen väylälle tarvitaan valaistus, mutta päätien valaistuksella ei saada aikaan riittävää lopputulosta, käytetään erillistä valaistusta. Jos liikenne kevyen liikenteen väylällä painottuu kesä- ja päiväsaikaan tai on vähäistä, ei Liikennevirasto näe erillistä valaistusta tarpeelliseksi (Tiehallinto 2006b). Kevyen liikenteen väylän valaistus ei saa haitata ajoradan optista ohjausta. Tästä syystä autotien varressa kulkeva kevyen liikenteen väylä voidaan harvoin valaista, jos muuta valaistusta ei ole jo olemassa. (RIL 2006) Liikennevirasto on linjannut, että kevyen liikenteen väylillä olevat alikulkukäytävät valaistaan päivisin, mikäli niiden pituus on yli 25 metriä, tai ne ovat yli kuusi kertaa pidempiä kuin leveitä. Öisin valaistus on päällä kaikissa käytettävissä alikulkukäytävissä. (Tiehallinto 2006b)

Suomen kevyen liikenteen väylien päällysteistä ei ole tilastotietoa.

## 2.5 Yhteenveto

Suomen noin 454 000 kilometriä pitkä tieverkko jaetaan maanteihin, katuihin sekä yksityisteihin. Tarkimmat saatavilla olevat tilastotiedot koskevat Liikenneviraston kunnossapitämiä maanteitä sekä katujen pituuksia alueittain ja kunnittain. Liikennevirasto (2010a) arvioi Suomen maanteiden vuoden 2009 liikennesuoritteeksi 35 870 miljoonaa autokilometriä ja vastaavasti katujen sekä yksityisteiden yhteenlasketuksi liikennesuoritteeksi 17 480 miljoonaa autokilometriä. Yksityisteistä ainoastaan vakituista asutusta palvelevien ja kuntien ylläpitämien osuukien pituudet on kartoitettu. Tämä vajaan 90 000 kilometrin osuus on vain neljäsosa maamme noin 350 000 kilometristä yksityisteistä.

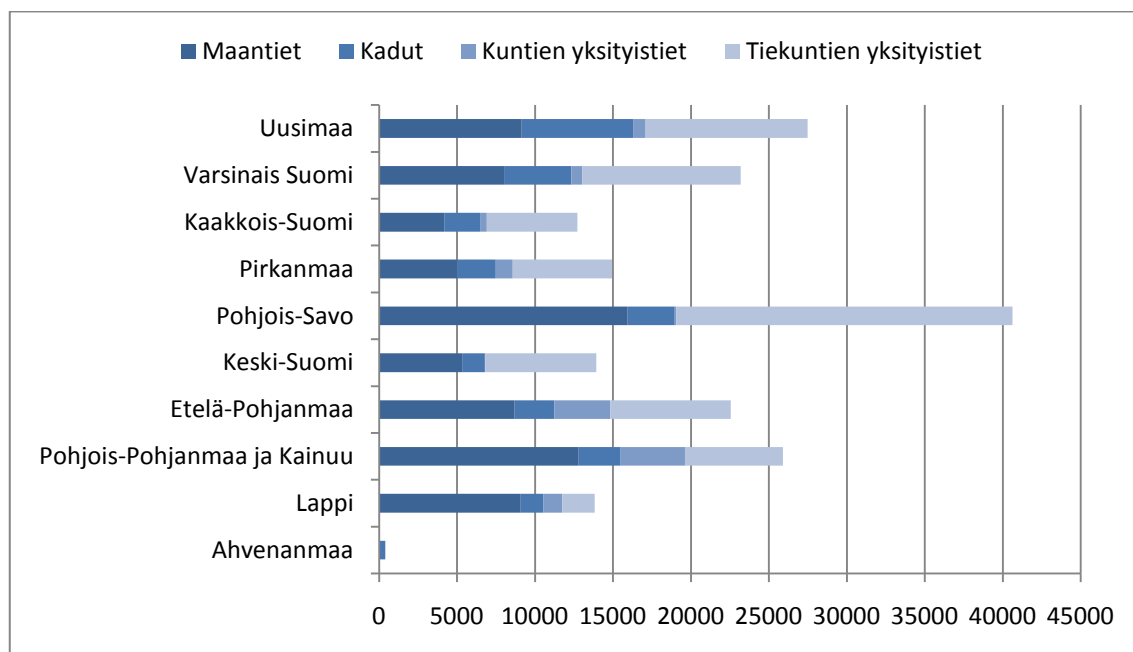
Taulukkoon 13 on merkitty tiedettyjen tiekilometrien sijoittuminen alueittain ja suhteessa maanteiden liikenteen jakautumiseen. Näiden kilometrien jakautumista liikennevirtoihin nähden voi vertailla helpommin taulukon 14 avulla. Havainnollisemmin tiekilometrien jakautuminen nähdään kuvasta 8, jossa on maanteiden, katujen ja kartoitettujen yksityisteiden kilometrit.

**Taulukko 13: ELY-keskuksittain jaetut maanteiden, katujen ja yksityisteiden alueelliset kilometrit sekä keskusten maanteiden vuotuinen liikennesuorite [milj. autokm], keskimääräinen vuorokausiliikenne [autoa] ja valaistut kilometrit (Liikennevirasto 2010a)**

ELY-keskus	Maantiet	Kadut	Yksityistiet		Yhteensä	Liikenneviraston maanteitä koskevat		
			Kuntien	Tiekuntien		Liikennesuor.	Vuorokausiliik.	Valaistuna
Uusimaa	9134	7157	798	10394	27483	10428	3128	2331
Varsinais Suomi	8017	4299	710	10172	23198	4449	1520	1641
Kaakkois-Suomi	4172	2296	436	5802	12706	2029	1333	691
Pirkanmaa	5008	2472	1092	6364	14936	3203	1752	967
Pohjois-Savo	15945	3003	114	21558	40620	4497	773	1355
Keski-Suomi	5317	1455	32	7131	13935	2301	1186	737
Etelä-Pohjanmaa	8682	2544	3594	7727	22547	3265	1030	2114
Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu	12799	2689	4133	6282	25903	3851	824	1496
Lappi	9087	1443	1218	2074	13822	1845	556	1183
Ahvenanmaa		385	0	0	385			
<b>Koko maa</b>	<b>78161</b>	<b>27743</b>	<b>12127</b>	<b>77504</b>	<b>195535</b>	<b>35870</b>	<b>1257</b>	<b>12402</b>

**Taulukko 14: Alueittain jaetut maanteiden, katujen ja yksityisteiden prosenttiosuudet sekä keskusten maanteiden vuotuisen liikennesuoritteen, keskimääräisen vuorokausiliikenteen ja valaistuksen jakauma (Liikennevirasto 2010a)**

ELY-keskus	Maantiet	Kadut	Yksityistiet		Yhteensä	Liikenneviraston maanteitä koskevat		
			Kuntien	Tiekuntien		Liikennesuor.	Vuorokausiliik.	Valaistuna
Uusimaa	11,7 %	25,8 %	6,6 %	13,4 %	14,1 %	29,1 %	249 %	25,5 %
Varsinais Suomi	10,3 %	15,5 %	5,9 %	13,1 %	11,9 %	12,4 %	121 %	20,5 %
Kaakkois-Suomi	5,3 %	8,3 %	3,6 %	7,5 %	6,5 %	5,7 %	106 %	16,6 %
Pirkanmaa	6,4 %	8,9 %	9,0 %	8,2 %	7,6 %	8,9 %	139 %	19,3 %
Pohjois-Savo	20,4 %	10,8 %	0,9 %	27,8 %	20,8 %	12,5 %	61 %	8,5 %
Keski-Suomi	6,8 %	5,2 %	0,3 %	9,2 %	7,1 %	6,4 %	94 %	13,9 %
Etelä-Pohjanmaa	11,1 %	9,2 %	29,6 %	10,0 %	11,5 %	9,1 %	82 %	24,3 %
Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu	16,4 %	9,7 %	34,1 %	8,1 %	13,2 %	10,7 %	66 %	11,7 %
Lappi	11,6 %	5,2 %	10,0 %	2,7 %	7,1 %	5,1 %	44 %	13,0 %
Ahvenanmaa		1,4 %	0,0 %	0,0 %	0,2 %			
<b>Koko maa</b>	<b>40,0 %</b>	<b>14,2 %</b>	<b>6,2 %</b>	<b>39,6 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100 %</b>	<b>15,9 %</b>

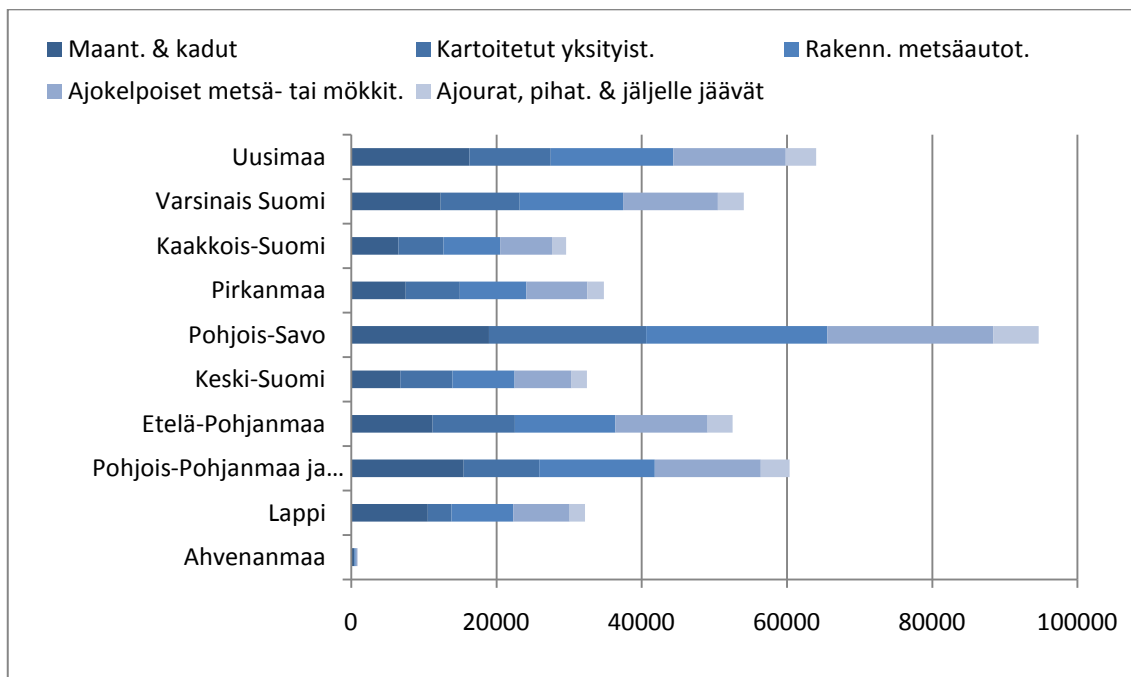


**Kuva 8: Alueittain jaotellut kartoitetut tiekilometrit. (Liikennevirasto 2010a)**

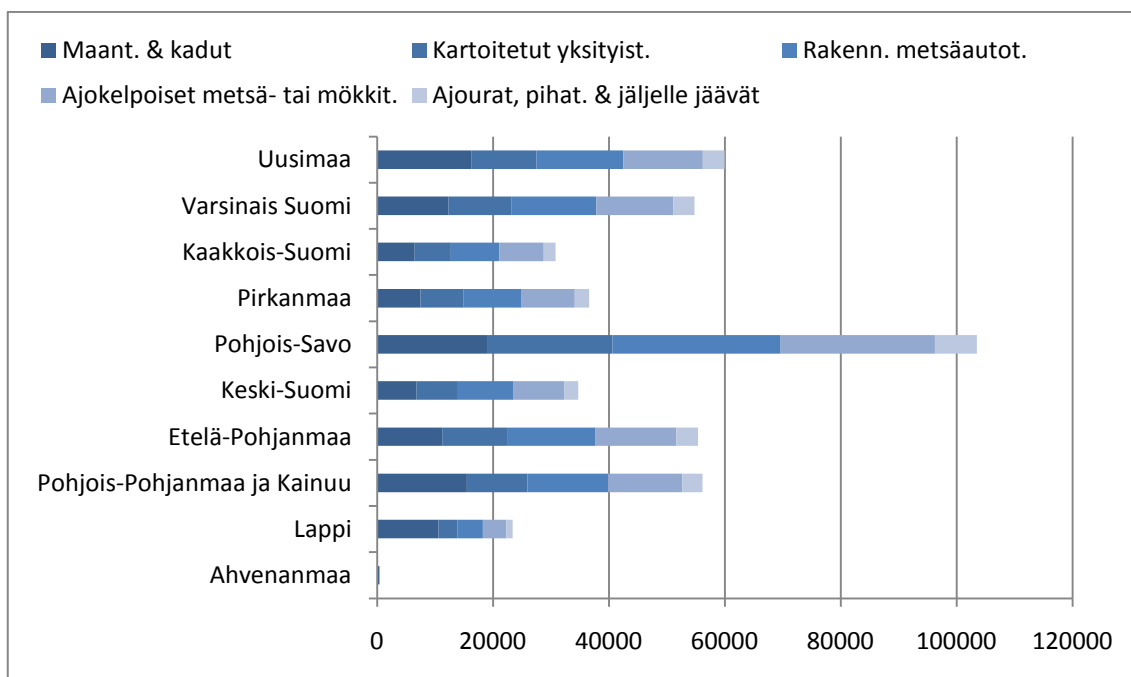
260 000 kilometristä kartoittamatonta yksityistietä noin 120 000 kilometriä siitä on rakennettua metsäautotietä, noin 110 000 ajokelpoisia metsä- tai mökkiteitä ja runsas 30 000 kilometriä ajouria, pihateitä ja muuta jäljelle jäävää yksityistietä. Näistä osuuksista ei ole saatavilla tarkkoja tietoja. Jos pyrittäisiin arvioimaan niiden



maantieteellistä jakautumista Suomessa, voitaisiin käyttää apuna tietoa olemassa olevasta tieverkosta. Kuvassa 9 on jaettu nämä yksityistieosuudet eri ELY-keskusten alle käyttämällä painottajana kaikkien teiden yhteenlaskettujen pituuksien jakautumisen alueellisia suhteita. On mahdollista, että todenmukaisempi jako kartoittamattomille yksityisteille syntyisi, jos ne jaettaisiin eri alueille painottamalla pelkästään kartoitettujen yksityisteiden pituuksia. Näin on tehty kuvassa 10.

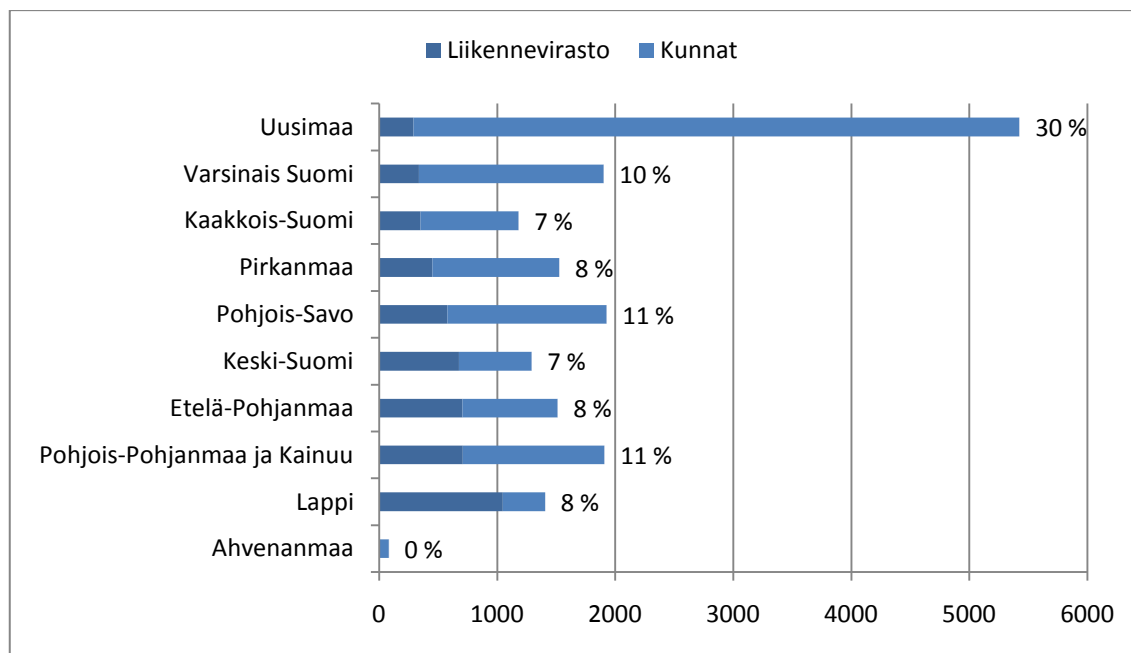


**Kuva 9: Alueittain jaetut Suomen tiekilometrit. Kartoittamattomat yksityistiet jaettu alueiden kaikkien teiden kilometrien suhteiden mukaan.**



**Kuva 10: Alueittain jaetut Suomen tiekilometrit. Kartoittamattomat yksityistiet jaettu alueiden kartoitettujen yksityisteiden kilometrien suhteiden mukaan.**

Suomen kevyen liikenteen väylät on ilmoitettu melko kattavasti Liikenneviraston ja kuntien osalta. Suomessa on yhteensä kartoitettua kevyen liikenteen väyliä 18 147 kilometriä, joista Liikennevirastolla 5 138 kilometriä ja kunnilla sekä kaupungeilla 13 009 kilometriä. Yhteenvedo kaikista kevyen liikenteen väylistä alueittain jaettuna on kuvassa 11. Helsingin kevyen liikenteen verkoston huomattava pituus, muihin suurimpiinkin kevyen liikenteen väyliä tarjoaviin kuntiin nähden, näkyy selvästi kuvaajassa Uudenmaan alueen osuudessa.



**Kuva 11: Liikenneviraston ja kuntien kevyen liikenteen väylät jaettuna alueittain. (Liikennevirasto 2010a, Kuntaliitto 2009)**

Maantieverkon päällystejakauma on kartoitettu tarkasti. Taulukkoon 15 on merkitty päällystelajien jakautuminen eri maantietyypeille. Taulukossa on myös valaistujen kilometrien osuus jokaisen tietyyppin kokonaispituudesta. Niin päällysteet kuin valaistuskin käyttäytyvät suhteessa samalla tavalla vuotuisen liikennesuorituksen ja keskimääräisen vuorokausiliikenteen nousuun. Siirryttäessä yhdysteiltä seututien ja kantatien kautta valtateille liikennesuorite ja vuorokausiliikenne kasvavat. Sen myötä soratie muuttuu kevytpäällysteeksi ja edelleen kestopäällysteeksi, ja valaistun prosentuaalinen osuus tien kokonaispituudesta kasvaa. Sujuvan ja turvallisen liikkumisen sekä yhä lisääntyvän autoliikenteen takia valaistuksen lisääminen ja tiestön tason nostaminen on välttämätöntä.

**Taulukko 15: Maanteiden päällystekilometrien jakautuminen tietyypeittäin sekä tietyyppin valaistusosuus [km], liikennesuorite [milj. autokm] ja keskimääräinen vuorokausiliikenne [autoa] (Liikennevirasto 2010a)**

	Kestopääll.	Kevytpääll.	Soratie		Yhteensä	Josta valaistu	liikennesuor.	vuorokausiliik.
Valtatiet	7774	794	0	0%	8568	3022	17946	5727
Kantatiet	2990	1770	0	0%	4760	923	4652	2710
Seututiet	4400	8661	476	4%	13537	2558	6720	1375
Yhdystiet	4365	20231	26700	52%	51295	6012	6239	345
<b>Koko maa</b>	<b>19530</b>	<b>31455</b>	<b>27176</b>	<b>35%</b>	<b>78161</b>	<b>12515</b>	<b>35557</b>	<b>1257</b>

### **3 Lediulkovalaistusasennukset Suomessa**

Tässä työssä on kerätty tietoa vuoden 2010 aikana tehdyistä lediulkovalaistusasennuksista. Jaatisen (2010) jo raportoimaa alkuvuoden asennusta ei toisteta tässä työssä. Asennuksissa keskitytään puistojen, kevyen liikenteen väylien sekä autoteiden valaistuksiin. Aiemmin monet lediasennuksista ovat olleet luonteeltaan kokeellisia, lyhyitä katuosuuksia joilla tutkitaan valaistusratkaisun tuloksia ja yleistä mielipidettä. Nyt asennukset siirtyvät jo selkeästi suunnitelmallisempaan käyttöön ja ne ovat valaisinhankinnoissa todellisia vaihtoehtoja perinteisten purkauslamppuihin perustuvien valaisintekniikoiden rinnalla. Ledivalaisimilla on korvattu vanhenevia elohopea-, halogeeni- ja suurpainelamppuasennuksia. Osa toteutetuista lediasennuksista on kokonaan uusia eikä valaistussuunnitteluun tarvinnut lähteä näin vanhan ratkaisun pohjalta.

#### **3.1 Lediulkovalaisinten käyttö aiemmin**

Ensimmäisiä leditekniikalla toteutettujen ulkovalaisinten tieasennuksia on Suomessa tehty vuonna 2006. Ledivalaisinten laajempimittaiseen käyttöön ulkovalaistuksessa ei Sippolan selvityksen mukaan siirrytä kunnissa kuitenkaan vielä ennen kokemusten karttumista. Vuonna 2009 tehdyn kyselyn mukaan, kuntien mielestä lediulkovalaisimien heikkoudet, etenkin kustannukset, ovat vielä liian suuria valaisinten hyötyihin nähden. (Sippola 2010)

Ledien käytöstä tievalaistuksessa on saatu huonoja kokemuksia muun muassa Salossa, josta vuonna 2007 tehty elohopealamput korvannut asennus poistettiin täysin riittämättömänä. Tilalle asennettiin suurpainenatriumlamppuvalaistus. (Tekniikka&Talous 2009) Pulli (2010) jopa arvioi, että lähes kaikki ennen vuotta 2009 tehdyt lediulkovalaistusasennukset olisi purettu. Syynä olisi ollut joko valon tuoton riittämättömyys ja sen luoma turvattomuus tai pääasiassa halvempien mallien verkkohäiriöihin hajonneet elektroniikkaosat. Hän arveli kuitenkin, että nyt teknologian kehittyttyä tullaan asennuksia näkemään selkeästi enemmän.

Jaatinen (2010) on diplomityössään kartoittanut Suomessa vuoden 2009 loppuun mennessä olemassa olleita lediulkovalaistusasennuksia. Selvitetyistä valaisimista useimmat olivat teholtaan 31 W ja puolet kaikista asennuksista toteutettiin värilämpötilaltaan 3000 K lämpimän valkoisella valolla.

Liikennevirasto ei ota ledivalaisimia käyttöön ennen kuin ne täyttävät Liikenneviraston vaatimukset ja ovat tyyppitarkastuksen jälkeen tyyppihyväksytyjä. Uusimmassa 7C (Liikennevirasto 2010b) versiossa hyväksytyjen valaisimien listalla on jo useita ledivalaisimia. Liikenneviraston tyyppihyväksyntää käsitellään enemmän työn luvussa 4.6.

#### **3.2 Lediulkovalaisinasennukset 2010**

Työn tämän luvun taulukoissa 16 ja 17 on esitelty aiemmin kartoittamattomia Suomessa vuonna 2010 ledituotteilla tehtyjä teiden, kevyen liikenteen väylien, ulkoilu- ja pysäköintialueiden ulkovalaistusasennuksia. Joukossa on myös joitakin yksityisalueiden pihavalistusasennuksia. Tiedot asennuksista on saatu joko asennuttajalta tai valmistajalta. Haastatteluja ovat ystävällisesti antaneet muiden muassa Hirvonen (2010), Korkalainen (2010), Kosunen (2010), Markkanen (2010), Nummenpalo (2010), Partanen (2010), Ranta (2010), Sillanpää (2010), Soinila (2010), Tuovinen (2010) ja

Vilmi (2010). Liitteessä A olevaan taulukkoon on lisätty myös tieto asennusajankohdasta ja korvatusta valaistusratkaisuista tai uudisasennuksesta. Luettelo asennuksista ei ole kattava koska perustuu kyselyiden ja muiden lähteiden kautta saatuihin tietoihin.

**Taulukko 16: Uudet Suomessa vuonna 2010 tehdyt lediulkovalaistusasetukset osa 1**

Kohde	Ledivalaisin	Lisätiedot	Asennuksen tiedot
Espoo, JH-Talot Oy	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	1 kpl
Espoo, Kemistintie	LedZed, LedZed 120	139 W, 6660 K	2 kpl, H9,5m
Espoo, Suomenoja lintuallas, kev.liik.väylä	Philips, Mini Iridium LED	31 W, 3000 K	~25 kpl
Espoo, Tietotie	Ruud Lighting, Ledway Road 60	108 W, 3470 K	4 kpl, L~26m, H9,5m
Espoo, Tietotie	HR Light, HR 150	133 W, 3220 K	4 kpl, L~27m, H9,5m
Espoo, Tietotie	LedZed, LedZed 120	139 W, 6660 K	4 kpl, L~27m, H9,5m
Espoo, Tietotie	iGuzzini, Archilede 84	110 W, 6160 K	4 kpl, L~26m, H9,5m
Espoo, Vuorimiehentie	Lumi Group, Lumi R (1st gen)	95 W, 4660 K	4 kpl, H9,5m
Etelä-Suomi, alikulku	Valopaa, VP2221 M3	33 W, 4100 K	7 kpl
Heinola, Renet Finland Oy	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	1 kpl
Helsinki, Toivolan koti piha-alue	Valopaa, VP1302 M4	39 W, 4100 K	3 kpl, H5m
Helsinki, Toivolan koti piha-alue	Valopaa, VP1302 M2+M2	~40 W, 4100 K	3 kpl, H5m
Helsinki, Torpparinmäen koulu, pihaval.	Valopaa, VP1311 M6	55 W	1 kpl
Helsinki, Torpparinmäen koulu, pihaval.	Valopaa, VP2311 M2	22 W	1 kpl
Helsinki, Vantaanjoen Jokerisilta	Lumilab, LedGo 0.4 40LL	~25 W, 4000 K	~7 kpl
Hämeenlinna, Noatek Oy	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	4 kpl
Hämeenlinna, Noatek Oy	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	10 kpl
Iisalmen kaupunki	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	2 kpl
Jyväskylän vuokra-asunnot Oy	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	6 kpl
Kaarina & Parainen, Kirjalansalmen silta	Philips, CitySoul LED	56 W, 4000 K	18 kpl, H6m
Kaarina, kev.liik.väylä	Philips, Koffer LED	64 W, 4000 K	7 kpl, H6m
Kaarina, Talotie	Lumi Group, Lumi R10	86 W	L35m, H10m
Kellokosken sairaala	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	1 kpl
Kerava, Venlan- & Vuohenkalmantie	Powertti, Ledway Road	59 W	15 kpl
Kiiminki, Alikulku autotie	Valopaa, VP2111 M4	45 W, 4100 K	9 kpl
Kirjala, Kärkulla samkommun	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	44 kpl
Kittilä, Levin laskettelukeskus	Easy Led, Starium Dragon 60	41 W, 5600 K	64 kpl
Kuopio, AS Oy Puijonsarventie	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	1 kpl
Lappeenranta, Oikotie, Lappeenkatu	Lumi Group, Lumi R10	86 W	
Lempäälä, Rajamäentie	Lumi Group, Lumi R10	86 W, 6000 K	26 kpl, L50m, H10m
Lieksan kaupunki	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	25 kpl
Lieto, Carrus Delta Oy	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	11 kpl
Länsi-Turunmaa, Kalkkitie	Lumi Group, Lumi R10	86 W	L50m, H9m
Mikkelin kaupunki	Easy Led, Boll 400	~28 W, 4000 K	94 kpl
Muurame, Riihivuori	Easy Led, Boll 400	~28 W, 4000 K	25 kpl
Muurame, Tikkanostot Oy	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	1 kpl
Mänttä, Mänttä-Vilppulan Kaupunki	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	1 kpl
Nurmes, Kyrölään palvelukeskus	Easy Led, Swan	41 W, 4000 K	31 kpl
Nurmes, Kyrölään palvelukeskus	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	6 kpl
Ojakkala, Auto-Nyholm	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	1 kpl
Oulu, Linnanmaa alikulku kev.liik.väylä	Valopaa, VP2111 M4 (VP2111)	45 W, 4100 K	8 kpl
Oulu, Lintula alikulku kev.liik.väylä	Valopaa, VP2111 M4 (VP2221)	45 W, 4100 K	2 kpl
Oulu, Pulla-Pirtti piha-alue	Valopaa, VP1301 M6	55 W, 4100 K	6 kpl, H6m
Oulu, Saarela Liikennev. kev.liik.väylä	Valopaa, VP2301 M2	22 W	L40m, H6m
Oulu, Saarela Liikennev. kev.liik.väylä	Valopaa, VP2201 M4	46 W	~4 kpl, L40m, H6m
Oulu, VT4 Kempele-Haukipudas välin alik.	Valopaa, VP2221 M3	33 W, 4100 K	24 kpl
Oulu, VT4 Kempele-Haukipudas välin alik.	Valopaa, VP2223 M3	33 W, 4100 K	94 kpl
Oulunsalo, Finavia parkkialue	Valopaa, VP1302 M6	55 W, 4100 K	11 kpl, H5,5m
Oulunsalo, Finavia parkkialue	Valopaa, VP1302 M6+M6	110 W, 4100 K	11 kpl, H5,5m
Parkano, Sähkösuomilampi Oy	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	5 kpl
Pello, autotie	Philips, CitySoul LED	50 W, 4000 K	10 kpl, H8m

**Taulukko 17: Uudet Suomessa vuonna 2010 tehdyt lediulkovalaistusasennukset osa 2**

Kohde	Ledivalaisin	Lisätiedot	Asennuksen tiedot
Piispalan Nuorisomatkailukeskus	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	20 kpl
Piispalan Nuorisomatkailukeskus	Easy Led, Boll 400 & Boll 500	~28 W, 4000 K	9 + 13 kpl
Pirkkala, Jasperintie	Lumi Group, Lumi R10	86 W	
Porin energia	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	2 kpl
Pudasjärvi, Silta kev.liik.väylä	Valopaa, VP2301 M2	22 W, 4100 K	3 kpl
Raisio, Kuninkojankaari	Lumi Group, Lumi R10	86 W	L45m, H8m
Raisio, Nilan Suomi Oy	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	6 kpl
Riihimäki, kaupunki	Philips, Milewide LED	80 & 31 W, 4000 K	10 kpl, H8m
Rinta-Joupin Autoliike	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	6 kpl
Ristiinan kunta	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	1 kpl
Salo, Perniön Taimisto	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	1 kpl
Salon aluesairaala	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	39 kpl
Salon seudun ammattiopisto	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	1 kpl
Sotkamo, Silta kev.liik.väylä	Valopaa, VP2111 M2	22 W, 4100 K	2 kpl
Sotkamo, Silta kev.liik.väylä	Valopaa, VP1311 M6	55 W, 4100 K	4 kpl
Tampere, Sammon lukio	Philips, Koffer LED	31 W, 3000 K	30 kpl, H5-6m
Turku, Amiraalistonkatu	Lumi Group, Lumi R10	86 W	
Turku, Draken risteyks	Philips, CitySoul LED	112 W, 4000 K	H8-10m
Tuusula, AS Oy Tuusulan Sinivuokko	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	1 kpl
Tuusula, AS Oy Tuusulan Vesimies	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	4 kpl
Ulvila, Lännen Sähköpalvelu Oy	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	4 kpl
Uusikaupunki, Poraajantie	Lumi Group, Lumi R10	86 W	L35m, H9m
Vaasa, Tammikaivontie	Lumi Group, Lumi R10	86 W	L35m, H10m
Vantaa, Kivistön Sähköurakointi Oy	Easy Led, Boll 400	~28 W, 4000 K	9 kpl
Varkauden teatteri	Easy Led, Kuikka	41 W, 6500 K	7 kpl
Varkaus, KV-Automaatio Oy	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	12 kpl
Vitsiälä, Sähköurakointi Aapo Teittinen Oy	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	8 kpl
Vitsiälä, Sähköurakointi Aapo Teittinen Oy	Easy Led, Boll 400	~28 W, 4000 K	2 kpl
YIT kiinteistötekniikka Oy	Easy Led, Boll 400	~28 W, 4000 K	3 kpl
YIT kiinteistötekniikka Oy	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	17 kpl
YIT kiinteistötekniikka Oy	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	24 kpl
YIT kiinteistötekniikka Oy	Easy Led, Minnium Dragon 90	63 W, 6500 K	1 kpl
Ylöjärven kaupunki	Easy Led, Maximum D. 120 UP	82 W, 6500 K	14 kpl, L54m, H10m
Äänekoski, kev.liik.väylä	Philips, Mini Iridium LED	31 W, 3000 K	50 kpl, H5-6m

Espon Tietotielle taulukossa 16 luetellut lediasennukset on tehty koko tien pituudelta, neljän valaisimen sarjoissa valaisinmalli kerrallaan. Tietotien asennuksia käsitellään tarkemmin luvuissa 5 ja 6. Myös Espon Vuorimiehentien asennusta käsitellään lisää työn luvussa 5.

Suomessa yksiajorataisten teiden valaisu toteutetaan ensisijaisesti varsipyöväiden yksirivisenä reunasijoituksena. Kaksiajorataisilla teillä yleisin asennustyyppi on kaksirivinen keskikaista-asennus. (RIL 2006) Tiekäyttöön suunniteltujen ledivalaisinten asennukset suuntautuvat vielä pienemmille teille, kevyen liikenteen väylille tai erikoiskohteisiin, joten yleisin valaistuksen asennustyyppi näissä kohteissa on yksirivinen reunasijoitus.

Easy Led Oy:n toimittamissa valaisin-asennuksissa suosituimmat mallit ovat Lillium Dragon 30 ja Starium Dragon 60. Niitä on asennettu yleensä noin 6 m pylväisiin joissa ne korvaavat useimmiten vanhan 125 W elohopealamppuvalaisimen. Ledivalaisimilla on myös korvattu suurpainenatriumasennuksia. Esimerkiksi uudiskohteessa vasta vuoden ikäinen piha-alueen 70 W suurpainenatriumlamppuvalaistus korvattiin, koska keltaisesta valosta haluttiin eroon. Toisaalla suurpainenatriumin keltaiseksi värjäämä rakennus ei miellyttänyt tilaajaa ja lediasennus toteutettiin jotta seinät saataisi jälleen valkoiseksi. (Nummenpalo 2010)

Kirjalansalmen silta sijaitsee Kaarinan ja Paraisten rajalla ja tie 180 ylittää Saaristomeren Kirjalansalmen sitä pitkin. Vuonna 1963 rakennettu 270 metrin pituinen Kirjalansalmen silta on Suomen pitkäjänteisin riippusilta. Kaksikaistaisen sillan alkuperäinen valaistusratkaisu ei tuottanut siltaa edeltäviä teo- suuksia vastaavaa valaistustulosta ja tärinä aiheutti ongelmia vanhalle ratkaisulle. Valaistussaneerauksessa päädyttiin tärinää kestäväan ledivalaistukseen. Sillalla olleen valaistuksen pylväitä voitiin käyttää, mutta niitä pidennettiin metrillä. Jatkettujen pylväiden päähän asennettiin Philips CitySoul -valaisimet. Varsinais-Suomen ELY-keskuksen sähkövastaava Markku Ijäs kuvailee valaistuksen ulkonäön olevan onnistunut, häikäisyn pysyneen kurissa ja valaistustuloksen parantuneen ajoradalla merkittävästi uuden valaistuksen myötä. Tärinästä kärsineet vaijereiden korostusvalaisimet vaihdettiin Philips eW Graze Powercore -valonheittämiin. (Spotti 2010)

Valopaa Oy toimitti valaisimet Oulunsalossa sijaitsevalle Finavian parkkialueelle. Alueella tehtiin täysremontti, jonka yhteydessä valaistus suunniteltiin ja toteutettiin lediteknikalla. Vilmin mukaan alikäytäviin asennetut ledivalaisimet VP2221 ja VP2111 ovat energiansäästön lisäksi vanhoja valaisimia paremmin ilkevaltaa sietäviä ja mekaanisesti kestävämpiä. Oulussa Linnanmaan ja Koskelan välillä oleva, moottoritien ali menevä alikäytävä on valaistu VP2221 ledivalaisimilla. Valaisimet on asennettu uppoasennuksena alikäytävän seinään. Alikulun vanhan valaistusasennuksen yhden valaisimien teho oli noin 150 W ja korvaaviksi asennettujen ledivalaisimien noin 45 W. Oulussa Poikkimaantien alittava alikäytävä Kaukovainiolla on myös toteutettu VP2221 ledivalaisimilla. Tässä kohteessa valaisimet on asennettu uppoasennuksena alikäytävän kattoon. (Vilmi 2010, Valopaa 2010)

Ledivalaistus saa tulevaisuudessa varmasti jalansijaa kohteissa joissa valaisimelta ei vaadita jatkuvasti täyttä valotehoa. Ledivalaisinten himmennysominaisuudet toimivat katuvalaistuksen lisäksi liiketunnistimella erityisen hyvin parkkialue- ja katosvalaistuskohdeissa. Himmeä perusvalaistus nostetaan tarvittaessa toimintaa tukevalle tasolle. Esimerkkinä Spotti lehdessä (2010) esitelty Kaarinan Neste Oil - aseman katos jonka valaistus uudistettiin liiketunnistimella varustettuihin Philips Mini 300 LED valaisimiin. Valaisimet ovat normaalisti himmennettyinä 70 % tasolle, mutta liiketunnistimet käskvät valaistuksen täydelle teholle huomattuaan asiakkaan. Myös Espoon Suomenojan lintualtaan lähellä oleva kevyen liikenteen väylän ledivalaistus on varustettu koeluontoisella liikkeentunnistusjärjestelmällä. (Sillanpää 2010) Saksassa Dial4Light (2010) myy ratkaisua, jossa ulkovalaistuksen saa yöaikaan päälle halutessaan tekstiviestillä. Kunnalle säästöjä tuova palvelu on kuluttajille joko ilmainen tai maksullinen ja sopii esimerkiksi harvoin käytetyille kevyen liikenteen väylille tai urheilukentille. Tämänkaltaiset mahdollisuudet lisäävät tulevaisuudessa ledivaihtoehtojen houkuttavuutta entisestään.

Uusia elektroniikan mahdollisuuksia käyttää hyväkseen myös Lumi Group Oy (2010) Lumi R10 SL valaisimissa. Vaasan kaupungille toimitetaan asennus, jossa valaisimet on varustettu itsenäisesti toimivalla himmennystoiminnolla. Toiminto osaa madaltaa valotasoa yön hiljaisina tunteina ilman erillistä ohjausta laskemalla ajankohdat himmennykselle käyttöajan mukaan. Lumi R valaisimet ovat valon värilämpötilalta 4500–5500 K, lukuun ottamatta Lempäälän 6000 K valaisimia. (Hirvonen 2010, Korkalainen 2010, Soinila 2010)

Lediasennusten koko on tänä vuonna siirtynyt selkeästi pois koelasennusluokasta korvaamaan perinteisiä teknologisia ratkaisuja. Esimerkkinä suuresta asennuksesta iGuzzini Finland & Baltic toteutti Vaalimaan raja-aseman Venäjän puolelle 500

Archilede ledivalaisimen asennuksen. Sijainnin takia Suomen asennuksia listaavista taulukoista pois jätetty toimitus oli suurin yrityksen toimittama ledikatuvalaistusprojekti. Raja-asemalle toimitettiin 59 ledin eli noin 80 W sekä 84 ledin eli noin 110 W tehoisia valaisimia. Kaikki toimitetut valaisimet tuottivat värilämpötilaltaan 6000 K kylmän valkoista valoa. (Järvelä 2010)

Myös muiden valmistajien selvityksistä löytyy useiden kymmenien valaisinten asennuksia. Mini Iridium LED valaisimia on asennettu isommissa erissä kevyen liikenteen väylille ja Lumi R valaisinta on merkittävänä asennuksena muun muassa Lempäälässä. Easy Ledin sekä Valopaan valaisinmäärät asennuksissa ovat suurimmillaan sadan kappaleen tuntumassa. Asennusten koot ovat kasvaneet selkeästi aiempiin Sippolan (2010) ja Jaatisen (2010) selvityksiin verrattuna.

### **3.3 Yhteenveto**

Vuonna 2010 tehtyjen lediulkovalaistusasennusten määrä on lisääntynyt merkittävästi verrattuna vuosina 2007–2009 tehtyihin selvityksiin. Valaisinten tehot jakautuvat laajalle tarpeen ja kohteen mukaan suurimpien kartoitettujen asennustehojen ollessa 140 W luokkaa mutta pysyen useimmissa kohteissa 100 W alapuolella. Valon värilämpötiloissakin on löytynyt aiemmin suositun 3000 K tilalle uusia vaihtoehtoja. Värilämpötila oli kartoitetuissa asennuksissa muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta 4000–6500 K. On mielenkiintoista, että alhaisempi valon värilämpötila oli aikaisemmin yleinen lediulkovalaisimissa. Ledeillä tuotettu matalamman värilämpötilan valkoinen valo on teknologian takia valotehokkuudeltaan heikompi kuin korkeamman, esimerkiksi 6000 K värilämpötilan valo. Aikaisemmat valinnat kielivät päättäjien mieltymyksestä kelmeää hehkulamppumaista värilämpötilaa kohtaan. Toisaalta myös valaisintoimittajien tarjoamat valaisimet keskittyvät nykyään korkeammille värilämpötiloille, josta voisi päätellä myös tarjonnan olleen suuntautunut aiemmin matalammalle värilämpötila-alueelle.

Korkeamman värilämpötilan valkoisen valon käyttöön siirtyminen on oikea valinta myös mesooppisen näkemisen kannalta. Tutkimuksissa on todettu kylmemmän valkean valon ledin olevan tehokkaampi mesooppisen näkemisen alueella. Valonlähteiden mesooppisessa arvioinnissa käytetään skotooppisen  $V'(\lambda)$ -painotetun valovirran ja fotooppisen  $V(\lambda)$ -painotetun valovirran S/P-suhdetta. Mitä suurempi suhde on, sitä parempi valonlähteen mesooppisen alueen hyötysuhde on. Kun nykyisin suositun suurpainenatriumlampun S/P-suhde on noin 0,65, on lämpimän valkoisen ledivalon S/P arvoltaan 1,15 luokkaa ja kylmänvalkean S/P 2,15. Tulevaisuudessa mesooppisen tievalaistuksen oppien levitessä tulee lediulkovalaistus varmasti siirtymään yhä selkeämmin korkeamman värilämpötilan ledien käyttöön. (CIE 2010)

Saatujen tietojen osalta uusilla ledivalaisimilla on korvattu elohopea-, suurpainenatrium- ja halogeenilamppuasennuksi. Ikääntyviä elohopealamppuasennuksia on korvattu muun muassa voimaan tulleen Ecodesign direktiivin ansiosta. Suurpainenatriumlamppuvalaisimilla toteutettuja asennuksia on korvattu lisäksi valon laadun parantamiseksi. Espoossa on vaihdettu ledituotteisiin myös vanhoja elohopealamppuvalaisimia, joissa on korvaava suurpainenatriumlamppu. Tietoon saadut korvatut halogeenivalaisimet ovat olleet pihalla aluevalaisukäytössä tai valaisemassa kevyen liikenteen siltaa. Suurin hyöty ledivalonlähteessä tuleekin korvattaessa valotehokkuudeltaan heikkoja satojen wattien halogeenivalonheittäjiä. Uusien valaisinten myötä käyttö ja ylläpitokustannukset pienenevät merkittävästi.

Valonheittäjiä korvattaessa on lisäksi mahdollista valita kohteeseen mahdollisesti paremmin sopiva valon värisävy ja valonjako.

Ledituotteiden ongelmina ulkovalaistuskäytössä pidettiin häikäisyä, mutta myös valontuotto oli koettu joissain tapauksissa riittämättömäksi, eikä valonjaon laatuun ole oltu aina tyytyväisiä. (Jaatinen 2010, Sippola 2010) Ledien kehitys, valaisinten laadun paraneminen ja valaisimista saatavissa olevan tiedon lisääntyminen vähentävät näitä ongelmia tulevaisuudessa. Muun muassa Vantaalla (Ranta 2010) pidetään tasaisuutta jo riittävänä, mutta moititaan häikäisyä vielä ledituotteiden ongelmaksi. Helsingissä (Markkanen 2010) Jokerisillan asennusta pidetään onnistuneena. Espoossa (Sillanpää 2010) ongelmina osassa tehtyjä lediasennuksia on pidetty häikäisyä, valon liikaa jyrkkää rajautumista, vielä osittain riittämättömiä valotehoja, teknistä luotettavuutta sekä valon kylmiä värilämpötiloja.

Sillanpää (2010) kertoi ongelmalliseksi nykytilanteessa myös valaisintenvaihtobuumin myötä mukaan tulleet lyhytaikaiset toimittajat. Hän huomautti myös että valaisintoimittajista vain muutamilla oli ajateltu valaisinten päivittämistä ja korjaamista tulevaisuudessa vaihtomoduuleilla. Elektroniikan elinkaari ja lämmönhallinta mietityttää Espoossa vielä paljon ja tekninen luotettavuus on aiheuttanut jo nyt muutamia ongelmatapauksia. Sietämättömänä Sillanpää piti tilannetta jossa valmistajat jättävät tasavirtalähteiden vaatimat tehot merkitsemättä ilmoittaen vain ledien kulutuksen tai merkitsevät ottotehon merkittävästi todellista pienemmäksi. Nykyisellään on siksi mahdotonta tehdä totuudenmukaisia investointien takaisinmaksuaikojen arviointeja. Espoossa tehtyjä asennuksia Sillanpää pitää hinnan ja pienen energiansäästön takia lähinnä tiedonsaantia palvelevana.

Tulevaisuudessa vastaavan selvityksen tekeminen vaikeutuu ledeillä toteutettujen ulkovalaistusratkaisujen määrän ja myynnin lisääntyessä. Jo nyt muun muassa Philipsin (Tuovinen 2010) tuotteita välitetään paljon tukkureiden ja muiden vastaavien välittäjien kautta. Valaisinvalmistajien on siten entistä vaikeampi auttaa tehtyjen asennusten kattavaa selvitystyötä tehtäessä. Nykyisten ledituotteiden ongelmien hioutuessa pois, näyttää tulevaisuus ledivalaisimien osalta kuitenkin kaiken kaikkiaan valoisalta.



## 4 Ulkovalaisinmittaukset

Työn tässä osassa käydään läpi diplomityön kirjoittamisen aikana tehdyistä ulkovalaisinmittauksista saatuja tuloksia. Mitatut valaisimet käsittivät monella eri teknologialla toteutettuja tuotteita. Mukana mittauksissa oli erilaisia ledi-, suurpainenatrium-, elohopea- ja induktiolamppuvalaisimia sekä yksi pienloistelamppuvalaisin. Erilaisia purkauslamppuja käyttöön valaisimiin vertaamalla saadaan nykyaikaisten ledivalaisinten suorituskyvystä hyvä kuva. Lisäksi esitetään muutaman lopputyön kannalta tärkeän valaisimen vanhemmat mittaustulokset (Sippola 2010). Valaisinmittausten tulosten yhteenvetokortit on esitetty liitteessä D.

### 4.1 Mittausstandardit lediulkovalaisimille

Erityisesti ledivalaisimia ja niiden mittausta käsitteleviä standardeja ei ole montaa, mutta jo nyt olemassa oleva materiaali mahdollistaa onnistuneet mittaukset. Ennen ledituotteiden mittaamista on syytä tutustua CIE127:2007 Measurement of LEDs standardiin. Materiaali antaa ohjeita itse ledien mittauksiin, kertoo niiden ominaisuuksia ja pohjustaa muihinkin mittauksiin tarvittavia taitoja.

IES LM-79-08 IES approved method for the electrical and photometric measurements of solid-state lighting products auttaa itse valaisinten mittauksissa. Standardi antaa ohjeita ja suosituksia kattavasti moniin erilaisiin ledivalaisinten mittauksiin ja mittauksissa tarvittavien mittalaitteiden käyttöön.

Ledien ikääntyminen on perinteisistä valonlähteistä poikkeavaa. Tämän takia ledituotteen käyttöä arviointia ja mittausta varten on olemassa IES LM-80-08 IES approved method for measuring lumen maintenance of LED light sources.

### 4.2 Mittalaitteistot

Tämän diplomityön yhteydessä tutkittavat valaisimet on mitattu Aalto-yliopiston Teknillisen korkeakoulun valaistusyksikössä. Mittauksissa käytettiin kolmea eri mittalaitteistoa, integroivaa palloa, goniofotometriä sekä spektroradiometriä.

Valaisimien valovirta, värilämpötila sekä värintoistoindeksi mitattiin integroivassa pallossa. Tämä Ulbrichtin pallo ja sen mittalaitteisto on Labspheren valmistama ja halkaisijaltaan 193 cm. Ulbrichtin pallon liittyvällä mittalaitteistolla mitattiin myös valaisimien sähkötekniset ominaisuudet jännite, virta, teho ja tehokerroin. Sähkö mitattaville valaisimille otettiin Fiskarsin UPS 1.5 KK 196 akkuvarmennetusta stabiloivasta tehonlähteestä, jonka jännite on säädettävissä halutulle tasolle voltin kymmenyksen tarkkuudella. Sähkötekniset arvot mitattiin järjestelmään liitettyllä digitaalisella Yokogawa WT130 tehomittarilla. Valaisimien valon näkyvän alueen spektrien mittaamiseen käytettiin Konica Minolta CS-2000 spektroradiometriä. Goniofotometrilaitteistolla mitattiin valaisimien valonjako. Goniofotometrimittauksen tuloksena saadut valonjakokäyrät esitetään ldt-tiedostoina.

Valaisimia lämmitettiin noin 1,5 tuntia ennen integroivalla pallolla mittaamista ja noin tunti ennen valonjakokäyrien mittausta. Valaisimien annettiin stabiloitua myös ennen spektrimittausta. Kaikki valaisimet mitattiin uusina ja puhtaina, mutta joitain valaisimia on poltettu esittelykäytössä. Laboratoriomittausten aikana lämpötila oli integroivassa pallossa ja tilassa 22 ja 25 °C välillä.

### 4.3 Mitatut valaisimet

Mitatut valaisimet on esitelty kuvissa 12-24. Valaisinten mitatut sähkötekniset arvot on koottu taulukkoo 18, valotekniset arvot taulukkoon 19, spektrijakaumat kuviin 25 ja 26 sekä valonjakokäyrät kuviin 27-31.



**Kuva 12:** Ruud Lightingin valmistama Ledway Road 60. Mitattu valaisinteho  $P = 107,5$  W, valovirta  $\Phi = 6319$  lm, valon värielämpötila  $CCT = 3469$  K ja värintoistoindeksi  $CRI (R_a) = 84$ .

Kuvassa 12 on Powertti Oy:n maahantuoma Ledway Road 60 valaisin, jossa ledimoduulit on asennettu samaan tasoon. Moduulit on saatavilla eri linsisratkaisuuilla joten valaisinta voi tilata eri käyttötarkoituksiin. Valaistusyksikössä mitatun lämpimän valkoisen valon version lisäksi on saatavilla kaksi kylmemmän valkoisen valon versioita.



**Kuva 13:** HR Light Oy:n maahantuoma HR 150. Mitattu valaisinteho  $P = 133,3$  W, valovirta  $\Phi = 5280$  lm, valon värielämpötila  $CCT = 3220$  K ja värintoistoindeksi  $CRI (R_a) = 71$ .

Kuvassa 13 on HR Lightin maahantuoma HR 150 valaisin. Se on Kiinalaisen BBE LED, Shenzhen Bang-Bell Electronics Co., Ltd. yrityksen valmistama ja valmistajan omalta nimeltään LED Street Light, LU4. Valaisimesta on saatavilla versiot muutamalla eri valonjaolla ja värielämpötilalla, Valaisimessa ei ole vaihdettavia moduuleja joten moduulin rikkoutuessa koko valaisin on vaihdettava uuteen.



**Kuva 14: LedZed International Ltd Oy:n valmistama LedZed 120x1W. Mitattu valaisinteho  $P = 139,1$  W, valovirta  $\Phi = 7879$  lm, valon värielämpötila  $CCT = 6661$  K ja värintoistoindeksi  $CRI (R_a) = 83$ .**

Kuvassa 14 on LedZed Internationalin katuvalaisinmalliston keskikokoinen malli LedZed 120. Yrityksen valikoimassa on myös kahden ja kuuden ledimatriisin mallit. LedZed 120 on saatavilla kahdella valon värielämpötilalla joista kylmän valkoinen mitattiin. Valaisimen rakenne on kiinteä ilman erillisiä ledimoduuleita.



**Kuva 15: iGuzzinin valmistama Archilede 84\*1W. Mitattu valaisinteho  $P = 109,9$  W, valovirta  $\Phi = 6320$  lm, valon värielämpötila  $CCT = 6155$  K ja värintoistoindeksi  $CRI (R_a) = 71$ .**

Kuvan 15 iGuzzinin valmistama Archilede 84 eroaa muista ledivalaisimista ledien sijoituksen osalta. Ledit on asetettu koveran valaisimen sisään kaaren muotoon. Tämä mahdollistaa vähemmän monimutkaisten linssirakenteiden käytön ja saattaa vähentää häikäisyä. Valaisimessa ei ole vaihdettavia valaisinmoduuleja. Archiledeä on saatavilla useissa eri teholuokissa mitatun kylmän- tai lämpimämmän valkoisen valon ledeillä. Kylmempää valkoista valoa tuottaviin malleihin on lisäksi saatavilla valosensori.



**Kuva 16: Lumi Group Oy:n valmistama Lumi R. Mitattu valaisinteho  $P = 94,6$  W, valovirta  $\Phi = 5598$  lm, valon värielämpötila  $CCT = 4662$  K ja värintoistoindeksi  $CRI (R_a) = 80$ .**

Kuvan 16 Lumi R on muista ledikatuvalaisimista rakenteeltaan poikkeava. Valaisimen ledit on suunnattu ylöspäin ja valo ohjataan peilioptiikkaa käyttäen tielle. Valaisinta valmistetaan nykyisin eri pylväskorkeuksille suunniteltuina tehoversioina ja valon värielämpötilaksi voi valita myös kylmemmän sävyn. Valaisimen lediyksikkö sekä virtalähde on tarvittaessa mahdollista vaihtaa tai päivittää ja ledit ovat himmennettävissä. Uusiin malleihin on myös saatavilla erilaisia ohjausjärjestelmiä.



**Kuva 17: Sitecon valmistama SL10 mini sekä suurennus ledi- ja heijastinosiosta. Mitattu valaisinteho  $P = 49,9$  W, valovirta  $\Phi = 3457$  lm, valon värielämpötila  $CCT = 4637$  K ja värintoistoindeksi  $CRI (R_a) = 68$ .**

Siteco Beleuchtungstechnik GmbH:n valmistamassa SL10 mini ledivalaisimessa käytetään heijastinoptiikkaa. Tässä kuvan 17 valaisimessa ledit on kiinnitetty sen yläpintaan keskilinjalle neljään 8 kappaleen ryhmään. Kullakin lediryhmällä on hieman eri tavalla valoa suuntaava heijastinoptiikka. Valaisimesta on tulossa myös leveämpi midi-versio, joka on ulkoisesti kuin kaksi SL10 miniä olisi asetettu vierekkäin. Valaisin on saatavissa muutamalla erilaisella ohjausjärjestelmällä. Valaisimen lediosa sekä liitäntälaitte ovat tarvittaessa vaihdettavissa.



**Kuva 18:** DirectNu Energy yrityksen toimittama pienjännitevalaisin. Mitattu valaisinteho  $P = 21,8$  W, valovirta  $\Phi = 1660$  lm, valon värielämpötila  $CCT = 49121$  K ja värintoistoindeksi  $CRI (R_a) = 69$ .

DirectNu Energyn toimittama tasavirralla ja 12 sekä 24 voltin pienjännitteellä toimiva ledivalaisin on kuvassa 18. Pieni valaisin on suunniteltu asennettavaksi valaisinpylvääseen, jossa on DirectNu Energyn Hybrid Wind-Solar järjestelmä. Järjestelmään kuuluu aurinkopaneeli ja valaisinpylvään kärkeen kiinnitettävä pieni energiaa tuottava tuulimylly. Valaisin mitattiin 12 voltin jännitteellä.



**Kuva 19:** Sitecon valmistama SQ100 QL85W induktiolampulla. Mitattu valaisinteho  $P = 78,3$  W, valovirta  $\Phi = 4382$  lm, valon värielämpötila  $CCT = 3122$  K ja värintoistoindeksi  $CRI (R_a) = 78$ .

Kuvan 19 Sitecon SQ100 katuvalaisin oli mitattuna varustettu Philipsin Master QL 85W/830 induktiolampulla ja HF-Generator QL 85W 200-277V liitäntälaitteella. Mittauksissa huomattiin, että valonlähde ei ollut stabiloitunut vielä yli puolentoistakaan tunnin päästä sytytyksestä. Arvot olivat tällöin yhä hitaassa muutoksessa. Valaisin mitattiin myös alennetulla 205 V käyttöjännitteellä, koska se tullaan asentamaan alennetun jännitteen verkkoon. Valaisimen valo-ominaisuudet eivät eronneet eri jännitteillä mitattaessa. Elektroninen liitäntälaitte piti valaisimen ottaman tehon vakiona jännitteestä riippumatta muuttamalla kulutetun virran määrää.



**Kuva 20: Sitecon valmistama SC100 HPS100W suurpainenatriumlampulla. Mitattu valaisinteho  $P = 114,4$  W, valovirta  $\Phi = 6878$  lm, valon värielämpötila  $CCT = 1951$  K ja värintoistoindeksi  $CRI (R_a) = 27$ .**

Kuvan 20 Siteco SC100 valaisin mitattiin 100 W Aura Sodinette Long life suurpainenatriumlampun kanssa. Mittauksissa käytettävässä Sodinette Long life lampussa on kaksi purkausputkea ja se mahdollistaa näin huomattavan pitkän valaisimen huoltovälin. Tämä kuitenkin aiheuttaa valaisimen valonjakoon pieniä eroja sytytyskerroittain riippuen siitä, kumpi purkausputki milloinkin tuottaa valoa.



**Kuva 21: Sitecon valmistama SC100 HPS70W suurpainenatriumlampulla. Mitattu valaisinteho  $P = 88,1$  W, valovirta  $\Phi = 5021$  lm, valon värielämpötila  $CCT = 1907$  K ja värintoistoindeksi  $CRI (R_a) = 24$ .**

Kuvassa 21 näkyvä Sitecon SC100 valaisin mitattiin myös 70 W suurpainenatriumlampulla. Aura Sodinette Long life ST 70 W lamppu on varustettu E27 kannalla, joten asennuksessa käytettiin Sitecon E40/E27 reducer -sovitinta. Valaisin on varustettu 100W/70W liitäntälaitteella, joka asetettiin mittauksia varten 70 W tilaan.



**Kuva 22: Strihlin valmistama Mistral HPS100W suurpainenatriumlampulla. Mitattu valaisinteho  $P = 112,9$  W, valovirta  $\Phi = 7110$  lm, valon värielämpötila  $CCT = 1957$  K ja värintoistoindeksi  $CRI (R_a) = 30$ .**

STRIHL Scandinavia AB:n valmistama Mistral on kuvassa 22. Siinä on normaalin valaisimen tiivistyksen lisäksi itsenäisesti eristetty valonlähdekammio. Lisätiivistyksen avulla pyritään vähentämään heijastimen likaantumista. Valaisin mitattiin 100 W Aura Sodinette Long life suurpainenatriumlampun kanssa.



**Kuva 23: Oikealla LoPower H 75W, E27 kierrekantainen pienloistelampuu, kiinnitettyinä vanhaan lusikka -tyyppiseen valaisimeen. Vasemmalla vastaava, jatkossa lusikka -nimellä kutsuttava, valaisin alkuperäisen kokoisella 125 W elohopealampulla.**

LoPower H-sarjan kierrekantaiset pienloistelampuu (CFL) on suunnattu korvaamaan elohopealampuuja vanhoissa ulkovalaisimissa. Niissä on sisäinen liitäntälaitte, joten ne ovat rakenteeltaan vastaavia kuin kotivalaistuskäyttöön tarkoitetut energiansäästölamput. Mitattu kuvan 23 oikeanpuoleinen lampuu oli 75 W malli spiraalimaisella putkella ja E27 kannalla. Saatavissa on myös malli E40 kannalla. Lampuu mitattiin ilman valaisinta sekä vanhassa lusikka-tyyppisessä elohopealampuille suunnitellussa tievalaisimessa. Valmistaja kertoo lampun soveltuvan korvaamaan vanha valonlähde suoraan, joten valaisimeen jätettiin kiinni alkuperäinen 125 W elohopealampulle suunniteltu kuristin. Lampuu tuotti valoa joka oli värielämpötilalta 6918 K ja värintoistoindeksiltä 82. Valaisin tuotti 1648 lm ja kulutti 61,3 W. Erikseen ilman kuristinta ja valaisinta mitattuna tuotti lampuu 62,9 watilla 4411 lm valovirran.



**Kuva 24:** Siemens 5062542 tievalaisin. Vasemmalla on vierekkäin vertailtavat valaisimet varustettuina uusitulla ja alkuperäisellä kellastuneella suojakuvulla. Oikealla päällekkäin ylhäältä lukien 125W HG vanhalla kuvulla, 125W HG uudella kuvulla ja 70W HPS uudella kuvulla.

Kuvassa 24 on Lahdessa käytettyjä Siemens 5062542 tievalaisimia. Alun perin valaisimissa on ollut 125 W elohopealamppu ja siihen tarvittava liitännälaite sekä kompensointikondensaattori. Yksi mitatuista valaisimista oli juuri tämänlainen ja se mitattiin niin vanhalla kuin uudellakin elohopealampulla. Toiseen valaisimeen oli vaihdettu uusi 70 W suurpainenatriumlamppu sekä sen tarvitsemat liitännälaite, sytytin ja kompensointikondensaattori. Elohopealamppuvalaisin mitattiin valovirran osalta sekä vanhalla jo hyvin kellastuneella että uudellakin kuvulla, suurpainenatriumvalaisin vain uudella kuvulla. Valovirran ja tehon kulutuksen erot ovat merkittäviä. Vanhalla kuvulla ja vanhalla elohopealampulla valaisinteho oli 156,5 W ja valovirta 735 lm. Vanhan elohopealampun aiheuttaman tehon ja valovirran pumppaamisen takia mittaustulokset ovat aritmeettinen keskiarvo kolmen 5 minuutin välein otetun mittauksen tuloksista. Kun lamppu vaihdettiin uuteen, pysyi teho lähes samana, mutta valovirta nousi arvoon 2936 lm, joka on 399 % käytettyyn lamppuun nähden. Kuvun vaihto uuteen nosti valovirran arvoon 3972 lm, eli kuvun vaihtaminen uuteen tuotti 35 % parannuksen. Uudella kuvulla ja suurpainenatriumlampulla valaisinteho oli 88,8 W ja valovirta 4560 lm. Suurpainenatriumlampulla valaisin siis kulutti tehoa noin 56 % elohopealamppuun verrattuna ja tuotti silti 15 % suuremman valovirran kuin elohopealamppuvalaisin uudella sekä 55 % suuremman valovirran kuin vanhalla kuvulla. Valonjako mitattiin elohopealamppuvalaisimelta vain vanhalla ja suurpainenatriumlamppuvalaisimelta uudella kuvulla.

#### **4.4 Valo- ja sähkötekniset ominaisuudet**

Taulukossa 18 on esitetty valaisinten sähköisten ominaisuuksien mittaustulokset. Taulukon tietojen avulla on valaisimien ja teknologioiden vertailu mahdollista. Valaisimen tehon kulutus kulkee käsi kädessä suunnitellun käyttökohteen kanssa. Tuotteiden tehokertoimista ei voi tehdä yleistystä teknologian mukaan. Tehokerroin on valmistaja- ja tuotekohtainen vaihdellen huonon ja hyvän välillä.



**Taulukko 18: Valaisinten mitatut sähköiset ominaisuudet. Ensimmäiset seitsemän ledivalaisimia. (\*) Pelkkä lamppu, (\*\*) Lamppu lusikka -valaisimessa, (VK) vanha kupu, (UK) uusi kupu**

Valaisin	Valovirta [lm]	Jännite [V]	Virta [A]	Teho [W]	Valotehokk. [lm/W]	Tehokerroin
Ruud Led 60	6319	230	0,48	107,5	58,8	0,98
HR Light 150	5280	230	0,61	133,3	39,6	0,95
LedZed 120	7879	230	0,62	139,1	56,6	0,98
Archilede 84	6320	230	0,50	109,9	57,5	0,97
Lumi R	5598	230	0,74	94,6	59,2	0,56
SL10 mini	3457	230	0,23	49,9	69,3	0,96
DirectNu Energy	1660	12	1,78	21,8	76,3	DC
SQ100 QL85W	4382	230	0,35	78,3	56,0	0,98
SC100 HPS70W	5021	230	0,40	88,1	57,0	0,97
SC100 HPS100W	6878	230	0,63	114,4	60,1	0,78
Mistral HPS100W	7110	230	0,52	112,9	63,0	0,94
LoPower CFL75W*	4411	230	0,28	62,9	70,1	0,98
LoPower CFL75W**	1648	230	0,27	61,3	26,9	0,99
Siemens vanhaHG VK	735	230	1,19	156,5	4,7	0,57
Siemens vanhaHG UK	969	230	1,18	156,1	6,2	0,57
Siemens uusiHG VK	2936	230	1,25	157,5	18,6	0,55
Siemens uusiHG UK	3972	230	1,25	157,8	25,2	0,55
Siemens HPS UK	4560	230	0,40	88,8	51,4	0,97

Verkkajännitteisten ledivalaisimien korkein valotehokkuus oli SL10 minin 69,3 lm/W ja matalin HR Light 150:an 39,6 lm/W. Pienjännitteisen tasavirtaa käyttävä kevyen liikenteen väylän ledivalaisimen valotehokkuus oli 76,3 lm/W. Syitä parhaaseen valotehokkuuteen voivat olla yksinkertaisemmat tarvittu liitäntälaitteet ja pienempi poistettava lämpöteho. Uusien induktio- ja suurpainenatriumlamppuja käyttävien valaisimien valotehokkuudet olivat 56,0–63,0 lm/W. LoPower pienloistelampun valotehokkuus on vanhassa lusikkavalaisimessa 26,9 lm/W eli 38 % ilman liitäntälaitteita ja valaisinta mitatun lampun valotehokkuudesta.

Tutkitun Siemensin valaisimen tulokset antavat ymmärrystä syihin joiden takia elohopealamput poistuvat käytöstä. Uudella elohopealampulla vanhan valaisimen valotehokkuus on 18,6 lm/W ja vanhalla 4,7 lm/W. Vaihdettaessa tummunut kupu uuteen parani valotehokkuus noin 34 %. Kun valaisimessa oli suurpainenatriumlamppu, kaksinkertaistui valaisimen valotehokkuus arvoon 51,4 lm/W.

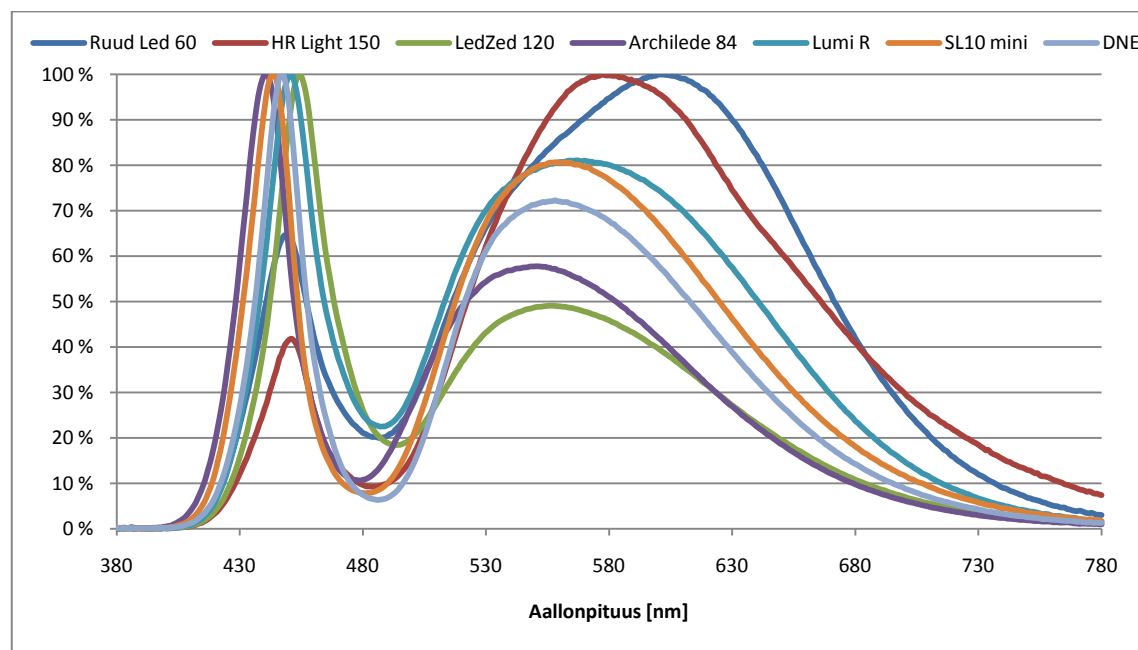
Taulukossa 19 on esitelty valaisinten mitatut valotekniset arvot. Kaikkien valaisinten tuottaman valon värilämpötilat ovat välillä 1900–6900 K, kun ledivalaisimien värilämpötilat ovat 3200–6700 K ja induktiolamppuvalaisimen 3100 K.

Elohopealamppuvalaisimen värintoistoindeksi oli uudella lampulla 53 ja vanhalla 39. Suurpainenatriumin värintoistoindeksi oli 30. Mitattujen ledivalaisimien värintoistoindeksit olivat välillä 68–85. Mitatun induktiolamppuvalaisin värintoistoindeksi oli 80 ja pienloistelampun 82. Taulukoiden 18 ja 19 sisältämät tiedot on yhdistettyä liitteessä B.

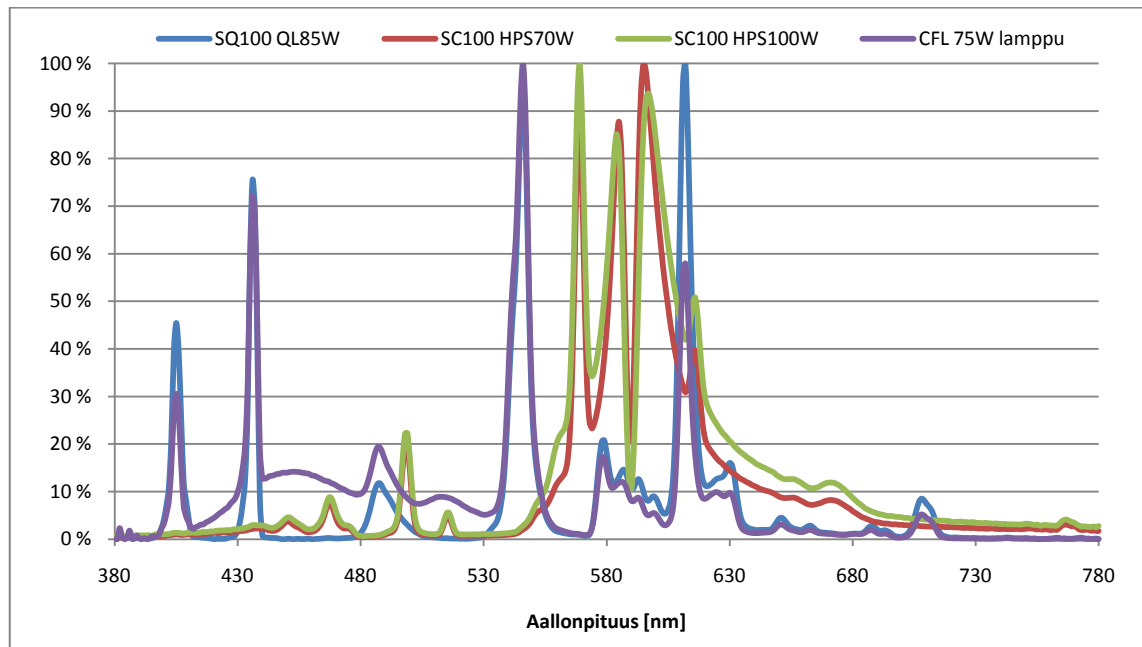
**Taulukko 19: Valaisinten mitatut valotekniset ominaisuudet. Ensimmäiset seitsemän ledivalaisimia. (\*) Pelkkä lamppu, (\*\*) Lamppu lusikka -valaisimessa, (VK) vanha kupu, (UK) uusi kupu**

Valaisin	Valovirta [lm]	Väriämpötila [K]	Värintoistind. (Ra)	Valotehokk. [lm/W]
Ruud Led 60	6319	3469	84	58,8
HR Light 150	5280	3220	71	39,6
LedZed 120	7879	6661	83	56,6
Archilede 84	6320	6155	71	57,5
Lumi R	5598	4662	80	59,2
SL10 mini	3457	4637	68	69,3
DirectNu Energy	1660	4912	69	76,3
SQ100 QL85W	4382	3122	78	56,0
SC100 HPS70W	5021	1907	24	57,0
SC100 HPS100W	6878	1951	27	60,1
Mistral HPS100W	7110	1957	30	63,0
LoPower CFL75W*	4411	6918	82	70,1
LoPower CFL75W**	1648	6588	82	26,9
Siemens vanhaHG VK	735	3758	39	4,7
Siemens vanhaHG UK	969	4221	38	6,2
Siemens uusiHG VK	2936	3069	55	18,6
Siemens uusiHG UK	3972	3417	53	25,2
Siemens HPS UK	4560	1879	21	51,4

Kuvassa 25 on esitelty ledivalaisimien suhteelliset spektrijakaumat ja kuvassa 26 Siteco SC100 sekä SQ100 valaisimien sekä LoPower CFL pienloistelampun suhteelliset spektrijakaumat. Siemens 5062542 valaisimien ja Strihlin Mistral suurpainenatriumlamppuvalaisimen spektrejä ei mitattu. Kaikkien mitattujen valaisimien spektrit on sijoitettu yhteen suurempaan kuvaan joka on liitteessä C. Kaikkien ledivalaisimien valkoinen valo tehdään sinisen ledin ja fosforin yhdistelmällä. Kuvasta näkee hyvin fosforin eri määrien vaikutuksen spektrikäyrän muotoon.



**Kuva 25: Mitattujen ledivalaisimien valon suhteellinen spektrijakauma.**

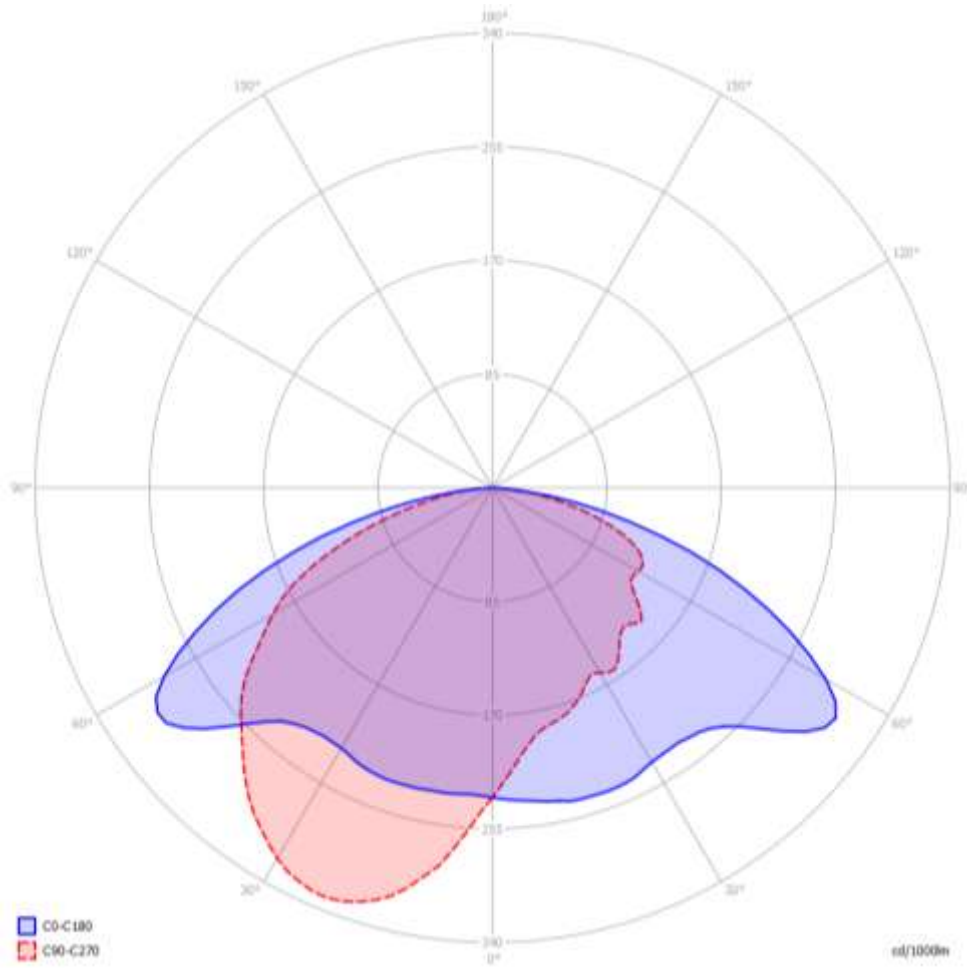


Kuva 26: Muita mitattujen valaisimien valon suhteellisia spektrijakaumia.

#### 4.5 Valonjako-ominaisuudet

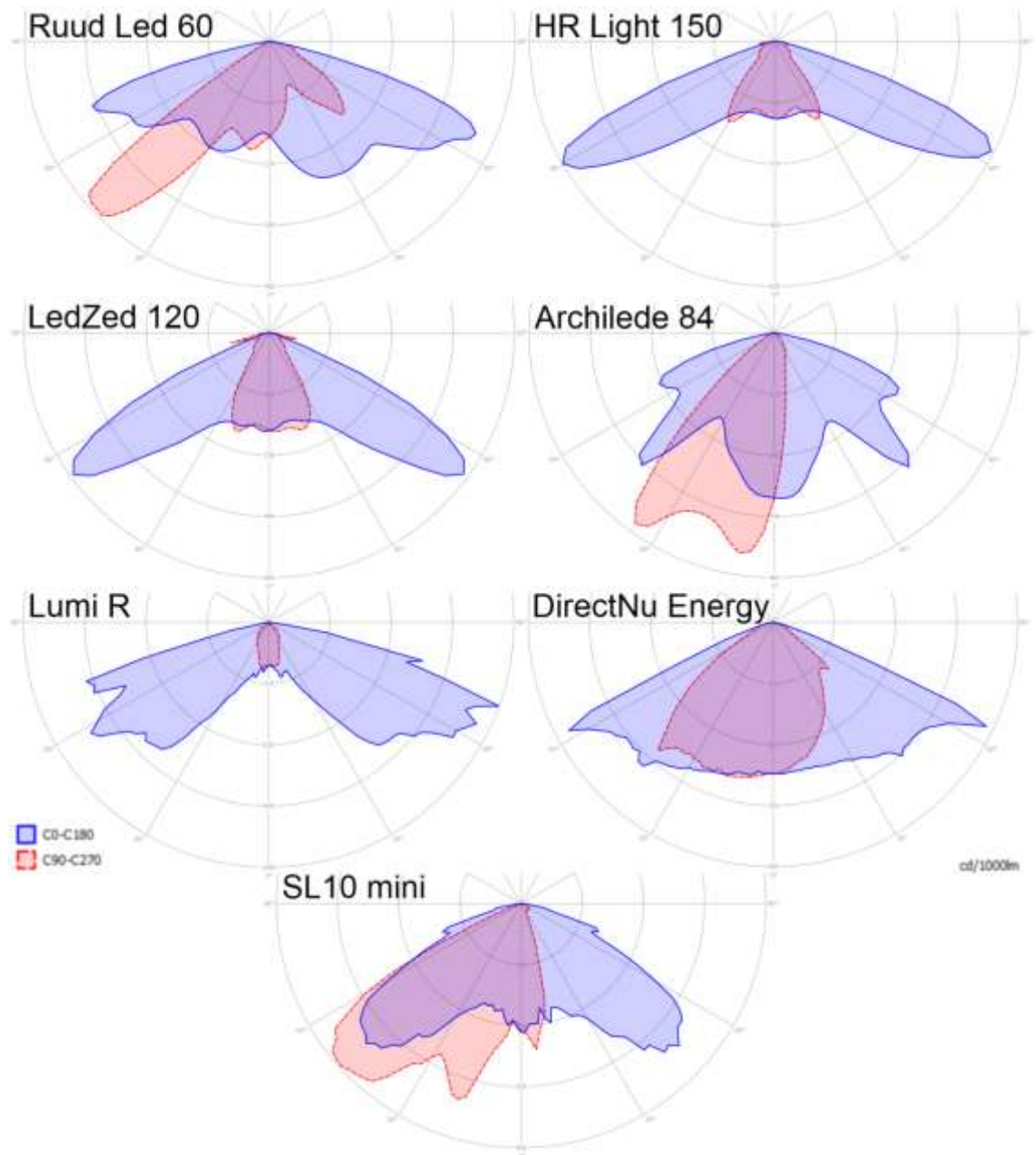
Mittaustuloksista on ohjelmallisesti tulostettavissa yhteenvetokuvaaja josta näkee valaisimen tuottaman valonjaon. Kaikki kuvien 27-31 valonjakokäyrät ovat piirretty samalla tavalla. Niissä sininen C0-C180 käyrä kuvaa valonjakoa pylvääseen kiinnitetyn valaisimen sivuille ja alaspäin, siis tien suuntaisesti. Kuvien punaisesta pilkutatusta C90-C270 käyrästä on havaittavissa valaisimen pituusakselin suuntainen tien poikki kulkeva valonjakokäyrä. Valaisimien valonjaon esittäminen paperilla rajallisessa tilassa on hankalaa. Kuvattaessa valonjako vain kulmilta C0 ja C90, jää valaisimen kannalta usein olennaista tietoa pois. Tievalaisimien optiikka suunnitellaan niin, että ne suuntaavat valoa etenkin tien pituussuunnassa, loivasti valaisimesta eteen tietä kohti. Etenkin ledivalaisimien valonjaon toteutustekniikoiden myötä ovat maksimikirkkaudet usein 30 ja 40 asteen välillä. Valaisimilta mitattuja valonjakotietoja on tulkittava tietokoneella mallintamalla, jotta tältä rajautumisen ongelmalta vältytään. Kunnollinen kokonaiskuva mitattujen valaisinten valonjaoista saatiin tutkimalla niitä tieasennussimulaatiossa.

Kuvassa 27 on SQ100 QL85W valaisimen valonjakokäyrä. Valaisin ei päästä valoa ollenkaan horisontin yläpuolelle, mikä on tievalaisimelle hyvä asia. Valaisin suuntaa valoa tehokkaasti eteenpäin tielle ja ohjaa pienemmän osan tien valaisinpylväiden puolesta ympäristöä kohti.



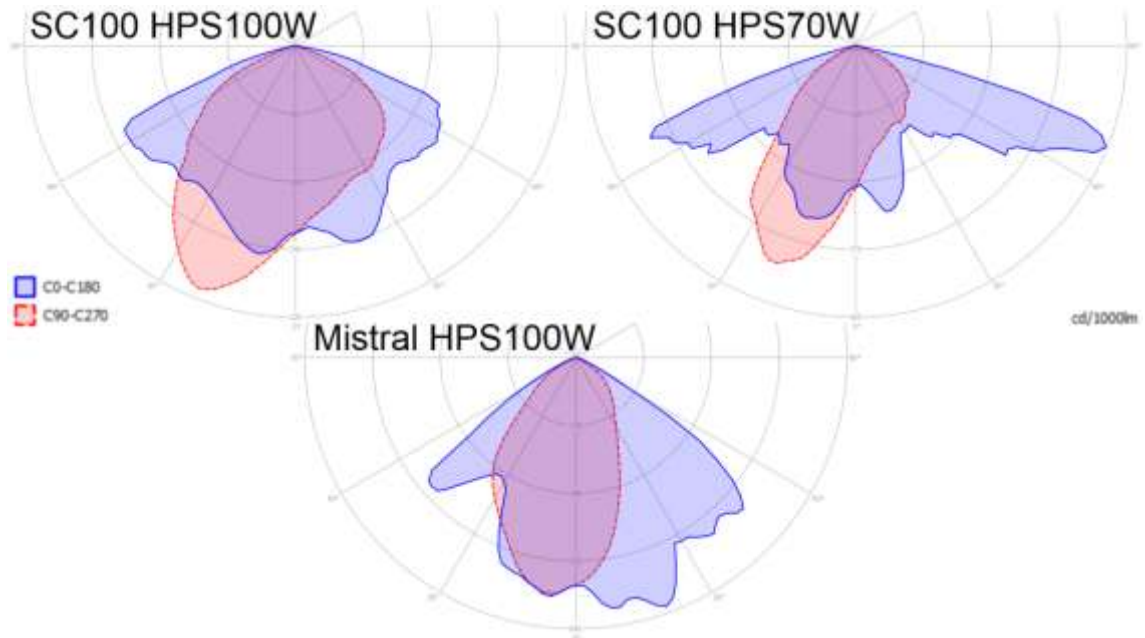
**Kuva 27: SQ100 QL85W valaisimen valonjakokäyrät.**

Mitattujen ledivalaisinten valonjaot on koottu kuvaan 28. Valaisinten valonjaot ovat keskenään hyvin erilaisia. Ne voisi jakaa kahteen ryhmään sen mukaan pyritäänkö valaisimessa suuntaamaan valoa pylväästä eteenpäin tietä kohti, vai suuntaako valaisin valovirran suoraan valaisimesta alaspäin. Ruud Led 60, Archilede 84, DirectNu Energy ja SL10 mini suuntaavat valoa valaisinpylväästä pois päin, kun taas HR Light 150, LedZed 120 ja Lumi R vaativat valaisimen kallistamista, jos vastaava vaikutus halutaan saada aikaan. Kallistaminen saattaa lisätä haitallista valovirtaa horisontin yläpuolelle, mutta toisaalta saattaa mahdollistaa onnistuneemmat asennukset vaihtelevammissa tieympäristöissä. On normaalia kallistaa valaisimia tarvittaessa muutamia asteita valon suunnan hienosäätämiseksi.



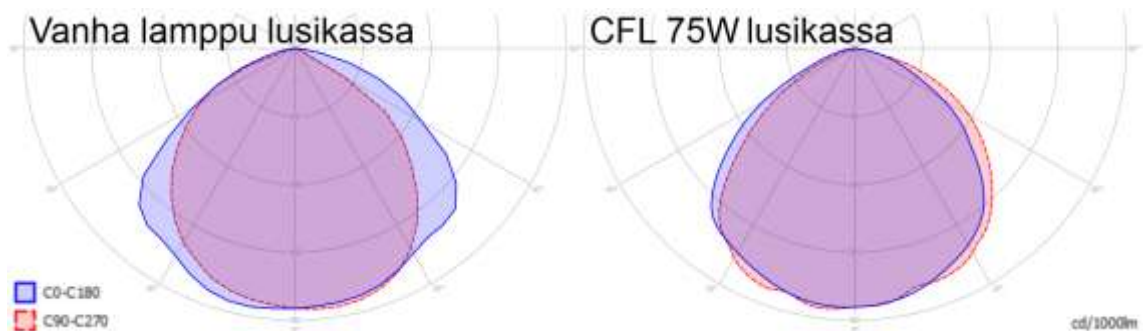
Kuva 28: Mitattujen ledivalaisinten valonjakokäyrät.

Sitecon SC100 sekä Strihlin Mistral valaisimien valonjakokäyrät on merkitty kuvaan 29. Mittauksilla pyrittiin selvittämään voisiko Sitecon SC100 valaisimessa käyttää 100 W lampun sijaan pienempikokoista 70 W lamppua. Teoriassa toimivan ratkaisun tyrmää kuitenkin hieman väärän kokoisesta lampusta johtuva valonjaon muuttuminen. Väärässä kohdassa oleva valonlähde aiheuttaa epätasaisen ja häikäisevän valonjaon, joka oli huomattavissa silmämääräisesti jo mittauksia tehtäessä. Mistral valaisin ei tuota tievalaistuksen kannalta onnistunutta valonjakoa kaksi purkausputkea sisältävän lampun takia. Mittauksissa lamppu kiinnittyi valaisimeen asentoon, jossa valonjako jäi tien suuntaisesti liian kapeaksi ja valo ohjautui liian lähelle valaisinpylvästä. Valaisimen valonjako muuttui oleellisesti tiekäyttöön sopivammiksi, kun se mitattiin normaalilla yksiputkisella suurpainenatriumlampulla jälkeinpäin uudelleen. Tulokset eivät ehtineet työhön.



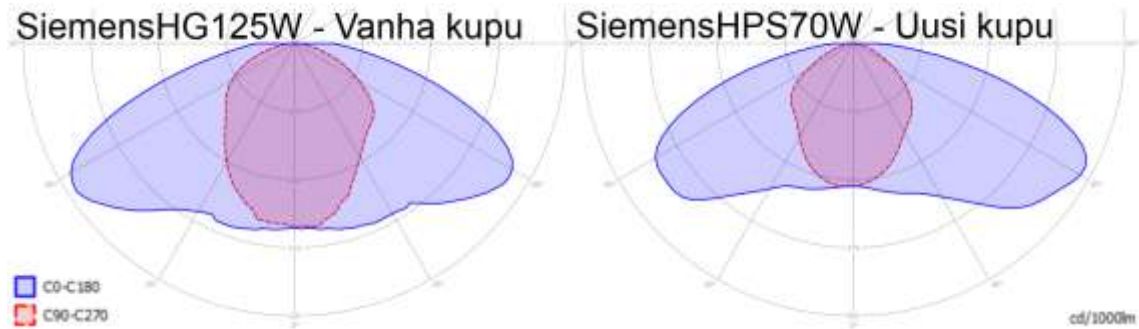
**Kuva 29: Mitattujen suurpainenatriumlamppuvalaisinten valonjakokäyrät.**

Kuvassa 30 LoPower 75 W pienloistelampun valonjakokäyrä lusikka -valaisimessa. Kiinnittämällä 75 W lamppu vanhaan lusikkavalaisimeen siirtyi valopiste kohti valaisimen kärkeä, joka on nähtävissä myös kuvasta 23.



**Kuva 30: Lusikkavalaisimen valonjakokäyrät, kun käytössä on alkuperäinen 125 W olohopealamppu ja LoPower 75 W pienloistelamppu [CFL].**

Siemens 5062542 valaisimien valonjakomittauksella pyrittiin selvittämään kuinka uusi kirkas kupu ja hieman erikokoinen lamppu vaikuttavat valonjakoon. Kuvassa 31 on vasemmalla valonjakokäyrä 125 W vanhalla elohopealampulla ja vanhalla kuvulla varustetulle valaisimelle ja oikealla 70 W suurpainenatriumlampulla ja uudella kuvulla varustetulle valaisimelle. Valovirta lisääntyi yli nelinkertaiseksi, mutta valonjako säilyi lähes muuttumattomana. Valoa tulee uudistetusta valaisimesta suhteessa muihin suuntiin hieman enemmän tien pituussuunnassa leveyssuuntaisen valontuoton pysyessä aikaisen kaltaisena.



**Kuva 31: Siemens 5062542 valaisimien valonjaot elohopealamppu ja vanha kupu- sekä suurpainenatriumlamppu ja uusi kupu yhdistelmille.**

Koska kupu on valaisimesta ulkoneva, aiheuttaa se aina valovirran heijastumista myös horisontin yläpuolelle. Valonjakoa horisontin yläpuolelta ei mitattu, mutta vanha kupu aiheutti suuremman valovoiman jo vaakatasoon, vaikka valaisimen kokonaisvalovirta on huomattavasti pienempi. On selvää, että valo läpäisee tummuneen kuvun huomattavasti nopeammin kuin kirkkaan. Mittaustuloksista voi päätellä tummuneen vanhan kuvun ohjaavan lisäksi kirkasta kupua suuremman osan valovirrasta väärään suuntaan.

#### **4.6 Tievalaisinten tyyppihyväksyntä**

Maanteiden valaistusasennukset tehdään tulevaisuutta ajatellen, joten valon suuntauksen hyvä hyötysuhde sekä valaisimen helppohuoltoisuus ja rasituskestävyys käytössä ovat erityisen tärkeitä. Uusien asennusten suunnittelun helpottamiseksi Liikennevirasto pitää yllä listaa, jossa on lueteltu hyväksyttävät valaisinmallit erilaisiin käyttötarkoituksiin. Liikenneviraston tyyppihyväksyntä on myös fyysisten ja optisten ominaisuuksien selvityksen tulos. Valaisimet Liikenneviraston maantievalaistusasennuksiin ja kevyen liikenteen väylille valitaan aina listalta tyyppihyväksynnän perusteella. Tunneleihin ja siltojen aluksiin valaisimet valitaan erillisvalinnan kautta.

Tyyppitarkastus on kaksivaiheinen prosessi. Ensimmäisessä vaiheessa valmistaja esittelee valaisimen ja suunnitellun käyttökohteen. Valmistajan tehtävänä on toimittaa standardin SFS-EN 13201-3 mukaan mitatut valonjako-ominaisuudet. Tiedosto tulee olla elumdat- tai ies-muodossa ja mitattu C- $\gamma$ -järjestelmässä. Näiden tietojen avulla Liikenneviraston konsultti arvioi valaisimen kannattavuutta laskennallisesti kuivalla R2- ja märällä W3 luokan tiellä. Hän tekee valaistusteknilliset laskelmat järjestelmällisesti tyyppipoikkileikkauksittain kaksiriviselle keskikaista-asennukselle ja yksiriviselle reunasijoitukselle. Laskenta suoritetaan ja tulokset tutkitaan kahden desimaalin tarkkuudella. Lopulta valaisinmalli hylätään jos sillä ei synny kannattavia valaistustyyppijä. (Liikennevirasto 2010 7C)

Toinen vaihe varmistaa valaisimen rakenteellisen sopivuuden maantiekäyttöön. Valmistajan tehtävänä on toimittaa koti- tai ulkomaisten tarkastuslaitosten todistukset

sähköturvallisuusvaatimusten täytymisestä ja materiaalien ominaisuuksista. Selvityksessä vaaditaan kuoren, heijastinten ja kuvun tiedot. Yhdessä EU-maassa hyväksytyt tarkastukset kelpaavat automaattisesti myös muissa maissa. Liikenneviraston konsultin sekä sähkövastaavan tehtävänä ovat vielä valaisimen tarkistustyöt. He tarkastavat valaisimen rakenteen tukevuuden ja tiiveyden sekä kiinnitysosien rakenteen ja pitävyyden. Myös pintakäsittely ja vedonpoistaja tarkastetaan. Kuvun materiaali, kestävyys ja valon läpäisyominaisuuksien säilyvyys tarkistetaan, kuten myös heijastimien materiaali, pysyvyys ja säätömahdollisuudet. Komponenttien laatu ja tukevuus tarkastetaan johtojen, liitinten, huoltokytkimen ja yleisen sähköturvallisuuden ohella. Konsultti ja sähkövastaava tarkistavat vielä merkinnät ja kunnossapitoystävällisyyden. (Liikennevirasto 2010 7C) Maantielle hyväksyttävän valaisimien tulee olla CE-merkitty ja standardisarjan SFS-EN 60/595 mukainen. Niiden tulee täyttää SFS-EN 55015 mukaiset radiohäiriö- sekä SFS-EN 61547 mukaiset EMC-vaatimukset. (Tiehallinto 2007)

Maanteille käyttökelpoisiksi todettuja valaisinmalleja on tätä työtä kirjoitettaessa ollut listattuna yhteensä 35 mallia. Näistä ledivalaisimia on 8 kappaletta, jotka ovat listattuna taulukossa 20. Tiedote 7C ei kuitenkaan sisällä tunneleiden, sillanalustojen tai liikennemerkkien valaisimia, koska ne hyväksytään hankekohtaisesti. (Liikennevirasto 2010 7C)

**Taulukko 20: Liikenneviraston maanteille hyväksymät ledivalaisimet (Liikennevirasto 2010 7C)**

Valmistaja	Malli
Amoluxe	Maalstrom
iGuzzini	Archilede
Philips	CitySoul LED
	Fortimo Koffer2
	Mini Iridium LED
	Mini Koffer2 LED
Thorn/Alppilux	Dyana LED
Valopaa	VP1301

Tällä hetkellä ledivalaisimia on Liikenneviraston soveltuvuustarkasteluissa valaistusluokkien AL4b ja AL5 teillä. Esimerkkilaskuissa ajoradan leveys on 7 m ja valaisinten asennuskorkeus 10 m. Ledituotteista Maalstrom valaisin suoriutuu tehtävästä 30 m, Archilede 32 m ja CitySoul LED 41 m pylväsvälillä. Jos tie on valaistusluokaltaan AL5, ajoradan 6 m ja asennuskorkeus 8 m on Maalstrom valaisimen pylväsväli 49 m. Archilede sekä CitySoul LED valaisimista on käytössä tässä matalamman valaistusluokan tarkastelussa aiempia pienempitehoiset mallit ja pylväsvälit ovat siten 37 ja 46 m. Muut ledivalaisimet soveltuvat kevyen liikenteen väylille. (Liikennevirasto 2010 7C)

## 4.7 Yhteenveto

Mitatun pienloistelampun tulokset kertovat valaisimen tärkeydestä tievalaistuksessa. Vaikka valonlähde itsessään olisikin valotehokkuudelta hyvä, voi huono valaisin pilata lopullisen valaistustuloksen. Tämä tulee huomioida erityisesti mietittäessä vanhojen elohopealamppujen korvaamista. Päättäjien on pohdittava, saavutetaanko haluttu lopputulos asettamalla vanhaan valaisimeen vanhojen liitäntälaitteiden yhteyteen korvaava eri teknologian lamppu, vai tulisiko sittenkin koko valaisin vaihtaa. Toisaalta on myös mietittävä, riittääkö jossakin tapauksessa vain valaisimen elektroniikan ja lampun vaihtaminen.



Siemens valaisimen energian kulutus pieneni merkittävästi, valonjako säilyi samana ja valovirta lisääntyi muuttamalla valaisin toimimaan suurpainenatriumlampuilla. Tässä tapauksessa ainoastaan valon värin vaihtui valkoisesta kellertävään ja värintoistokyky huononi. Tulosten perusteella ratkaisu saattaa olla harkinnan arvoinen muissakin kohteissa, jos vanhat valaisimet ovat fyysisesti riittävän hyvässä kunnossa eikä niistä siksi haluttaisi vielä luopua. Tämä toimintamalli saattaa säästää myös luonnonvaroja vältyttäessä kokonaan uuden valaisimen tekemiseltä. Tapauskohtaiset kannattavuuslaskelmat ratkaisivat lopulta onko vanhojen valaisimien päivittäminen järkevää, kun jokaisen valaisimen elektroniikan vaihtamiseen tarvitaan käsityötä ja energiansäästöt saattavat jäädä pienemmiksi kuin kokonaan uusilla valaisinratkaisuilla.

Suurpainenatrium- ja induktiolamppuvalaisinten muihin valaisimiin nähden kilpailukykyinen valotehokkuus ei ole yllätys. Valaisimissa käytetyt teknologiat ovat jo iäkkäitä ja hyvin pitkälle jalostettuja. Ledit sen sijaan ovat vielä vahvasti kehittyneissä ja yksi mitattu ledivalaisin ohitti jo valotehokkuudessa mitatut perinteiset valaisimet. Tällä hetkellä saatavilla olevat parhaiden kaupallisten ledien valotehokkuus on yhden watin tehodiedien luokassa 110 lm/W ja vastaavasti laboratorioissa 190 lm/W. (Narendran 2010) Tievalaistukseen suunnitellut markkinoilla olevat matalamman värintoistokykyyn ledit tuottavat 1 W teholla käytettäessä jo 135 lm (Philips 2011). Tulevaisuudessa ledivalaisimien valotehokkuus kasvaa. Darmstadtin Teknillisen Yliopiston valaistuslaboratoriossa Khanhin (2010) ryhmä on jo mitannut lediteknikalla toteutetun katuvalaisimen jonka valotehokkuus on lähes 100 lm/W.

Mittaustulosten pohjalta voisi olettaa, että tulevaisuudessa ulkovalaistuskäyttöön suunniteltujen ledivalaisinten värintoistokyky laskee hieman nykyisestä 70–85 arvosta. Tämä johtuu fosforikonversion valotehokkuutta huonontavasta vaikutuksesta. Toteuttamalla mahdollisimman vähän fosforikonversiota vältetään sen tuoma valovirran lasku. Samaan ilmiöön liittyen on perusteltua arvella ledivalaisimien painottuvan tulevaisuudessa entistä enemmän korkean värilämpötilan valoa tuottavien ledien käyttöön. Mitä korkeamman värilämpötilan valkoiseen valoon päädytään, sitä vähemmän ledisirun tuottamaa sinistä valoa on tarvetta muuntaa fosforikonversiolla pidemmille aallonpituuksille. Työtä kirjoitettaessa markkinoilla olevien vaihtoehtoisia valon värilämpötiloja tarjoavien tievalaistustuotteiden kylmemmän valkoisen valon mallit ovat valotehokkuudeltaan useasti lämpimämmän valkoisen valon sisämallia parempia. Korkean värilämpötilan valkoisen valon käytön hyödyt lisääntyvät mesooppisilla malleilla laskettaessa entisestään.

Tulevaisuudessa ledien energiatehokkuuden parantuessa helpottuu myös lämmönhallinta pienemmän lämpökuorman myötä. Osaamisen parantuessa mahdollistuu ledien matalampi käyttölämpötila, tätä kautta pienempi himmeneminen ja pidemmät käytännön eliniät. Paremman lämmönhallinnan myötä kyetään myös tekemään suuremman valovirran valaisimia joita tullaan varmasti asentamaan yhä vaativammille teille korvaamaan yhä tehokkaampia purkausvalaisimia.

## 5 Ulkovalaistusasennusten mittaukset

Ulkovalaistusasennus on mitattava paikan päällä kun halutaan varmistaa sen täyttävän sille asetetut kriteerit. Koeasennusten vertailukelpoisuus on mitattava todellisessa ympäristössä.

### 5.1 Mittaaminen kuvantavalla luminanssimittarilla

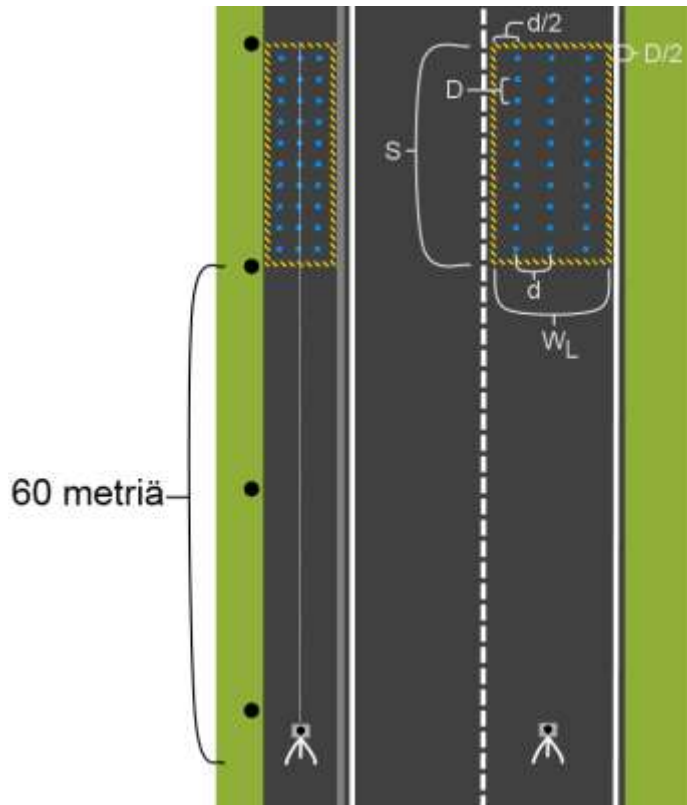
Tienpinnan mittaamista käsittelevät standardit kuten SFS standardi 13201 perustuvat mittaustapoihin joissa mittavälineenä käytetään pisteluminanssimittaria. Pisteluminanssimittarilla mittausten tekeminen on kuitenkin erittäin vaivalloista ja hidasta. Nykyaikaiset kuvantavat luminanssimittarit pystyvät tekemään vaadittavan tiedonkeruun nopeasti ja helposti. Tiedoista on tietokoneen avulla saatavissa lopulliset mittaustulokset.



**Kuva 32: LMK mobile advanced kuvantava luminanssimittari**

LMK mobile advanced on Canon EOS 350D järjestelmäkameraan pohjautuva kalibroitu mittalaite. Kvantava luminanssimittari on kuvassa 32. Kameralla otetuista kuvista on mahdollista lukea erikoisohjelmistoilla luminanssiarvoja ja näin tehdä erilaisia mittauksia. Ajouradalla tehtävät keskimääräisen luminanssin sekä luminanssin yleis- ja pitkittäistasaisuuksien mittaukset perustuvat SFS-EN 13201-3 standardiin. Standardin mittausten yleisperiaate on havainnollistettu kuvaan 33. Mittaukset tulee tehdä 1,5 m korkeudesta, mitattavan alueen keskilinjalta ja 60 m päässä ensimmäisestä alueen valaisinpylvästä.

Mitattava alue on yksi pylväsväli ja siitä mitataan kaikki kaistat erikseen. Pylväsvälin pituus  $S$  määrittää mittauspisteiden pitkittäisen lukumäärän  $N$ . Pylväsväleillä jotka ovat 30 m tai alle se on aina 10. Yli 30 m pylväsvälillä mittauspisteiden lukumäärä on se pienin mahdollinen arvo jolla saadaan mittauspisteiden välimatkaksi  $D$  enintään 3 m. Mittauspisteiden välimatka  $D$  määrätään jakamalla pylväsväli  $S$  lukumäärällä  $N$ . Alueen poikittaissuunnassa mittauspisteitä on aina kolme. Keskimmäiset mittapisteet ovat mittausalueen keskellä, samalla linjalla mittalaitteen kanssa. Sivummaisten mittauspisteiden etäisyys keskimmäiseen  $d$  on kolmasosa mittausalueen leveydestä  $W_L$ .



**Kuva 33: Luminanssimittauksen tekeminen tiellä.  $S$  on mitattu pylväsväli metreissä,  $D$  mittauspisteiden väli pituussuunnassa,  $W_L$  kaistan leveys ja  $d$  mittauspisteiden väli leveyssuunnassa. Standardissa on vain ajoradan mittauksia koskevat ohjeet. Jalkakäytävät on mitattu tässä työssä siksi samalla periaatteella. (SFS-EN 13201-3)**

Pisteluminanssimittarilla nämä vähintään kolmekymmentä mittausta kaistaa kohden vaatisivat huomattavasti aikaa, mutta kuvantavalla luminanssimittarilla yksi alueen keskelle suunnattu ja tarkennettu mittaus riittää. Kamera ottaa esiohjelmoidun kolmen kuvan sarjan, josta ohjelmisto yhdistää yhden luminanssikuvan. Tästä kuvasta on mahdollista lukea ohjelmallisesti vastaavat alueet jotka pisteluminanssimittarikin mittaisi. Näin aikaansaadaan standardin kuvaamia mittauksia vastaavat tulokset.

Kvantavalla luminanssimittarilla otettavat mittaukset ovat RAW muotoisia kuvia joita on mahdollista tarkastella normaalisti. Jokaisessa mittauksessa tehdään automaattisesti kolmen kuvan ennalta määrätty ja mittakameraan kalibroitu sarja, joista sarjan pisimmällä valotusajalla otettu on esimerkkinä kuvassa 34. Aikaansaadut mittauskuvat yhdistetään tietokoneella jälkikäteen ohjelmallisesti, jotta kuvaan saadaan suurempi dynaaminen alue.



**Kuva 34: Kuvantavalla luminanssimittarilla otettu mittauskuva Tekniikantien jalkakäytävästä.**

Kuvia on mahdollista tutkia tarkemmin, kun ne on yhdistetty mittalaitteen toimittajan LMK LabSoft ohjelmalla. Kuvat 35 ja 36 havainnollistavat pintojen luminanssien mukaan väärävärein väritettyjä lopputuloksia. Molemmilta kaistoilta otetuista mittakuvista rajataan tarvittava mitattava alue ja siirretään sen sisältämä tieto Teknillisen Korkeakoulun Valaistuslaboratoriossa kehitettyyn tievalaistuslaskentaohjelmaan Road LumiMeter. Ylinen (2007) on kehittänyt ohjelmaa ja Ekrias (2010) käsitellyt sen ominaisuuksia lisää.

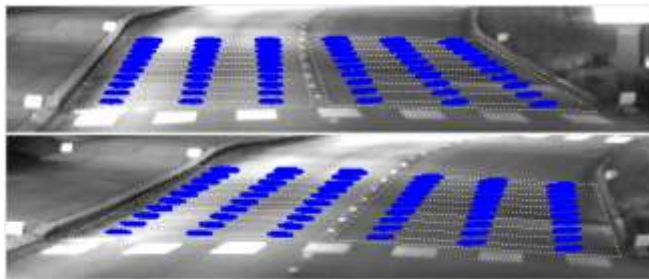


**Kuva 35: Väärävärikuva tieosuuden oikealta kaistalta otetusta mittauksesta.**



**Kuva 36: Väärävärivaku tieosuuden vasemmalta kaistalta otetusta mittauksesta.**

Road LumiMeter ohjelmaan syötetyistä kuvista rajataan mitattava tieosuus tarkasti käyttäen avuksi mittausten ajaksi tien reunoille aseteltuja apupisteitä. Ohjelma laskee tiealueen mittojen merkitsemisen jälkeen mittapisteiden sijoittumisen mitattavalle alueelle ja ilmoittaa alueen mittaustulokset sekä tuloksista lasketun keskimääräisen luminanssin sekä luminanssien yleis- ja -pitkittäistasaisuuden. Tieosuuden tulokset otetaan talteen ja niistä selvitetään tien niin kutsutut mitoittavat arvot SFS-EN 13201-3 standardin mukaisesti. Kuvassa 37 on Tekniikantien mittausten jälkikäsitellyssä Road LumiMeter ohjelman laskemat ja sitten tuloksia varten käyttämät mittauspisteet.

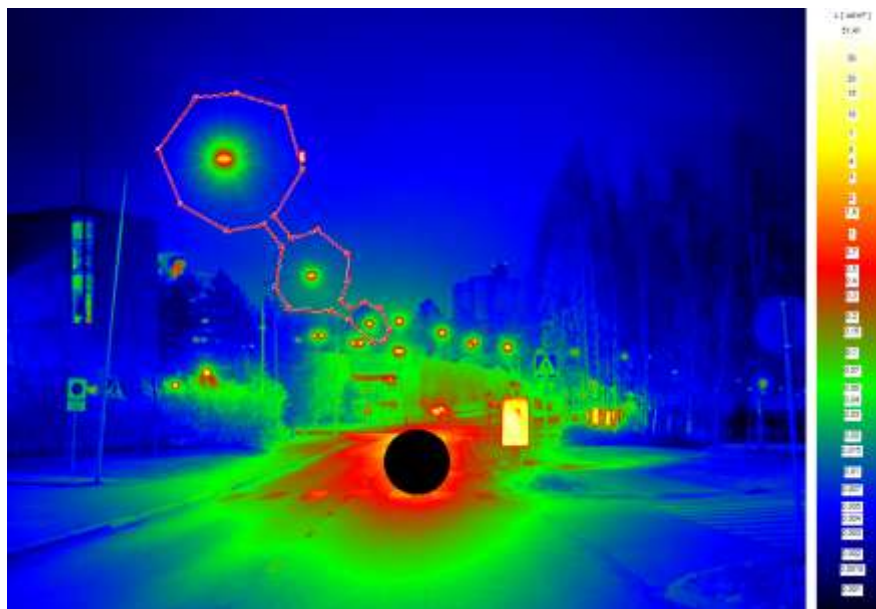


**Kuva 37: Mittakuvista tutkittavat SFS-EN 13201-3 standardin mukaiset mittauspisteet Road LumiMeter ohjelmassa.**

Jalkakäytävien, jalankulkukatujen, jalankulku- ja muiden ajoradan viereisten alueiden valaistuksen arviointiin tulisi käyttää valaistusvoimakkuuksia. Valaistusvoimakkuudet tulisi laskea standardin SFS-EN 13201-3 mukaisesti. Toimintatapa on erittäin työläs vaatien useita kymmeniä mittauksia mitattavalla alueella. Koska työssä tarvittiin vertailutietoa jalkakäytävien valaistuksesta, mutta standardin mukaiset valaistusvoimakkuusmittaukset olivat liian työläät, käytettiin jalkakäytävilläkin luminanssimittauksia. Jalkakäytävien mittaukset tehtiin, kuten kuvassa 33 on havainnollistettuna, aivan kuten ajoradallakin. Mittaustulokset eivät kuitenkaan tämän takia ole vertailtavissa jalkakäytäviltä vaadittuihin K-luokkiin jaettuihin vaakatason valaistusvoimakkuuksiin. Kuvantavalla luminanssimittarilla saaduista mittaustuloksista käy kuitenkin osittain ilmi myöhemmin työssäkin käyttäjätutkimuksen tuloksiin vaikuttaneet luminanssien tasaisuudet.

Valaistusyksikön kuvantavaan luminanssimittariin on saatu uusi estohäikäisyä kuvastavan *TI*-arvon laskemisen mahdollistava päivitys. Tämän ominaisuuden avulla

tutkittiin ja mitattiin erilaisten valaisinasennusten estohäikäisyyä. Mittaus itsessään toteutetaan SFS-EN 13201-3 standardin ohjeiden mukaisesti vaatiin valittujen asennusten pylväsväleillä 20 kuvaa ja erillisen laskennan jokaisesta kuvasta. Mitatut asennukset olivat vain neljän valaisimen pituisia, joten standardin toivomusta valaisimien huomioimisesta jopa 500 m päästä ei ole mahdollista toteuttaa. Mittakuvista valittiin tutkittavat valaisimet ohjelman polygonitekniikalla, jotta välttyttiin mahdollisimman suurelta osin häiriövalonlähteiden vaikutuksesta  $TI$ -arvoon. Mittakuvan käsittelyä ja tutkittavien valaisimien merkitsemistä siihen havainnollistetaan kuvassa 38.



**Kuva 38:** Estohäikäisyn  $TI$ -arvon laskemista LMK LabSoft ohjelman polygonitekniikalla Tietotieltä.

Ekrias et al. (2008) ovat artikkelissaan tutkineet, että nykyaikaisten mittavälineiden ansiosta olisi mahdollista kehittää tievalaistuksen mittaustapoja. SFS-EN 13201-3 standardin mukainen valaistusmittaus ottaa mittaukset kustakin ajokaistasta kolmesta vierekkäisestä mittauspistejonosta. Ekrias et al. ovat huomanneet mittaustapojen sijoittuvan niin, että kaksi reunimmaista jonoa ovat molemmat joko ajourissa tai niiden ulkoreunalla. Tämä voi vaikuttaa merkittävästi mittaustuloksiin, koska Suomessa ajourat ovat etenkin nastarenkaiden takia muuta päällystettä vaaleampia. Päällyste on ajourien ulkopuolella tummempi myös lian, öljyn ja kumin takia. Nämä melko kapeat pitkittäiset alueet joille mittapisteet sijoittuvat saattavat aiheuttaa epätarkkuuksia mittaustuloksiin, koska ne eivät mittaa ajorataa kattavasti. Mittaustapa aiheuttaa myös kauempana olevien alueiden useita päällekkäisiä mittauskertoja. Standardin mukaista mittausta on verrattu muun muassa sitä mukailevaan mittaukseen. Siinä mittauspisteet on sijoitettu kuten aiemmin, mutta tulokset on laskettu kuvasta jakamalla kaista samankokoisiin nelikulmioihin. Ekrias et al. mukaan kuvantavien luminanssimittareiden ja tietokoneohjelmien kehityksen ansiosta olisi syytä kehittää ja ottaa käyttöön luminanssien laskentatapa joka käyttää koko tutkitun tiealueen luminanssiarvoja.

## **5.2 Asennusten valaistustekniset vaatimukset**

Valaistuksella pyritään takaamaan se, että tienkäyttäjät havaitsevat ajoissa esteet sekä saa oikean käsityksen omasta asemastaan ja nopeudestaan suhteessa tiehen ja sen käyttäjiin. Erilaiset liikenneolosuhteet ja vaativat tieympäristöt muuttavat näkemisen vaatimuksia

ja täten valaistukselta vaadittavaa tasoa. Tämän takia valaistus jaetaan luokkiin vaaditun valaistusteknisen laadun mukaan. (Tiehallinto 2006a)

**Taulukko 21: AL-luokat ja niiden vaatimukset (Tiehallinto 2006a, SFS-EN 13201-2)**

Luokka	Ajouradan luminanssi						
	Kuiva			Märkä		TI (max)	SR (min)
	Lav (min)	Uo (min)	UL (min)	Uo (min)	Uo (min)		
AL1	2	0,4	0,6	0,15	10 %	0,5	
AL2	1,5	0,4	0,6	0,15	10 %	0,5	
AL3	1	0,4	0,6	0,15	15 %	0,5	
AL4a	1	0,4	0,4	0,15	15 %	0,5	
AL4b	0,75	0,4	0,4	0,15	15 %	0,5	
AL5	0,5	0,4	0,4	0,15	15 %	0,5	

Valaistus on jaettu AL-luokkiin jotta kohteeseen sopivien valaistusvaatimusten valinta olisi helppoa. Luokat taulukossa 21 on tarkoitettu kuivalla ja märällä päällysteellä ajoväylille, joilla ajonopeus on vähintään 50 kilometriä tunnissa. Eri tavoin tuotettujen tievalaistusratkaisujen on täytettävä tilanteen vaatimat määräykset ja standardit. Tärkeimmät näistä koskevat tien pinnan luminanssin tasaisuutta, keskimääräistä luminanssia ja valaisimien häikäisyä. Liikenneväylien ulkoisesti poikkeavia valaistustapoja on useita: suuri- ja pienipiirteinen katuvalaistus, tievalaistus sekä puistokatuvalaistus. Niillä tuetaan tien tai kadun toiminnallista luokitusta ja osoitetaan autoilijalle luokituksen tai liikenneympäristön vaihtuminen. (Tiehallinto 2006a)

Liikenneviraston mukaan tärkeimpiä kuivan ajoradan luminanssiarvoista autoilijalle ovat tasaisuudet. Yleistasaisuus  $U_o$  vaikuttaa näkösuorituskykyyn ja lasketaan koko mitatun ajoradan pienimmän ja keskimääräisen luminanssin osamääränä jokaiselle kaistalle. Pitkittäistasaisuus  $U_l$  on merkittävä taas näkömukavuuden kannalta. Se lasketaan mitattavien kaistojen keskellä kulkevalla suoralla olevien pienimmän ja suurimman luminanssin osamääränä. Toiseksi eniten autoilijat arvostavat ajoradan keskimääräistä luminanssia  $L_{av}$ . Se vaikuttaa näköetäisyyteen, havaitsemiseen, reaktioaikaan ja liikkeen arviointiin.  $L_{av}$  lasketaan koko ajoradan luminanssiarvojen aritmeettisena keskiarvona joka kaistalle. Kaikilla luminanssiarvoilla pienin arvo on mitoittava. Jos tien mitoitus tehtäisiin pelkästään kuivan tien mitatuilla arvoilla, olisi käytettävä taulukon 21 AL-luokkien sijaan SFS-EN 13201-2 standardin taulukosta 1a luokkia ME1, ME2, ME3a, ME4a ja ME5, joissa vaatimukset ovat hieman korkeammat. Kolmanneksi eniten autoilijat arvostavat häikäisyn estoa. (Tiehallinto 2006a)

Häikäisy on näkemisen tila jolloin epätasainen tai muuten sopimaton luminanssiala tai liian suuret kontrastit aiheuttavat epämiellyttävyyttä tai huonontavat kykyä nähdä kohteita tai nähdä tarkasti. Estohäikäisy haittaa näkemistä aiheuttamatta välttämättä samalla epämiellyttävää tunnetta. Sen vaikutus näkemisen heikkenemiseen on mahdollista mitata prosentuaalisena silmän kontrastin erotuskyvyn muuttumisena  $TI$ .

Luminanssit tulee mitata valaisimien valovirran alenemakertoimet huomioon ottaen. Näin asennuksen teho ei laske alle vaatimusrajojen ennen huoltoa valaisimien ollessa likaisia ja lamppujen vanhoja. Mitä paremmin koteloituja valaisimet ovat, sen pienemmät myös laskennalliset alenemakertoimet ovat. Taulukossa 22 on esitelty Liikenneviraston käyttämät laskennalliset alenemakertoimet. Estohäikäisyn laskennassa alenemakertoimia ei käytetä, vaan se tulee laskea uusilla lampuilla. (Tiehallinto 2006a)

**Taulukko 22: Laskennalliset alenemakertoimet (Tiehallinto 2006a)**

Kotelointiluokka	Perusarvo	Puhdas ympäristö	Likainen ympäristö
IP 6X	0,80	0,85	0,70
IP 5X	0,70	0,75	0,60
IP 4X	0,60	0,65	0,50

Kevyen liikenteen väylillä ei käytetä AL-luokkia. Kevyen liikenteen vaatimuksiin kuuluu myös autoilijan tarve nähdä jalankulkijat ja pyöräilijät. Sama koskee kevyen liikenteen väylien käyttäjiä. Siksi niillä käytetään K-luokkia. Niissä valaistuksen tasoa mitataan vaakatason valaistusvoimakkuuksilla. Taulukkoon 23 on listattu luokkien vaatimat vaakatason keskimääräiset valaistusvoimakkuudet  $E_m$  sekä minimivalaistusvoimakkuus  $E$ . Jalankulkijoiden alueilla voidaan käyttää myös eri syistä tietynlaisia ympäristön ominaisuuksia korostavia valaistusratkaisuja. Näihin tarpeisiin löytyy SFS-EN 13201-2 standardista erinäisiä Liikenneviraston nimeämiä normaaleista K-luokista poikkeavia taulukoita. (Tiehallinto 2006a)

**Taulukko 23: K-luokat ja niiden vaatimukset [lx] (Tiehallinto 2006a, SFS-EN 13201-2)**

Luokka	$E_m$ (min)	$E$ (min)
K1	15	5
K2	10	3
K3	7,5	1,5
K4	5	1
K5	3	0,6
K6	2	0,6

### 5.3 Mittaukset Espoon Otaniemessä

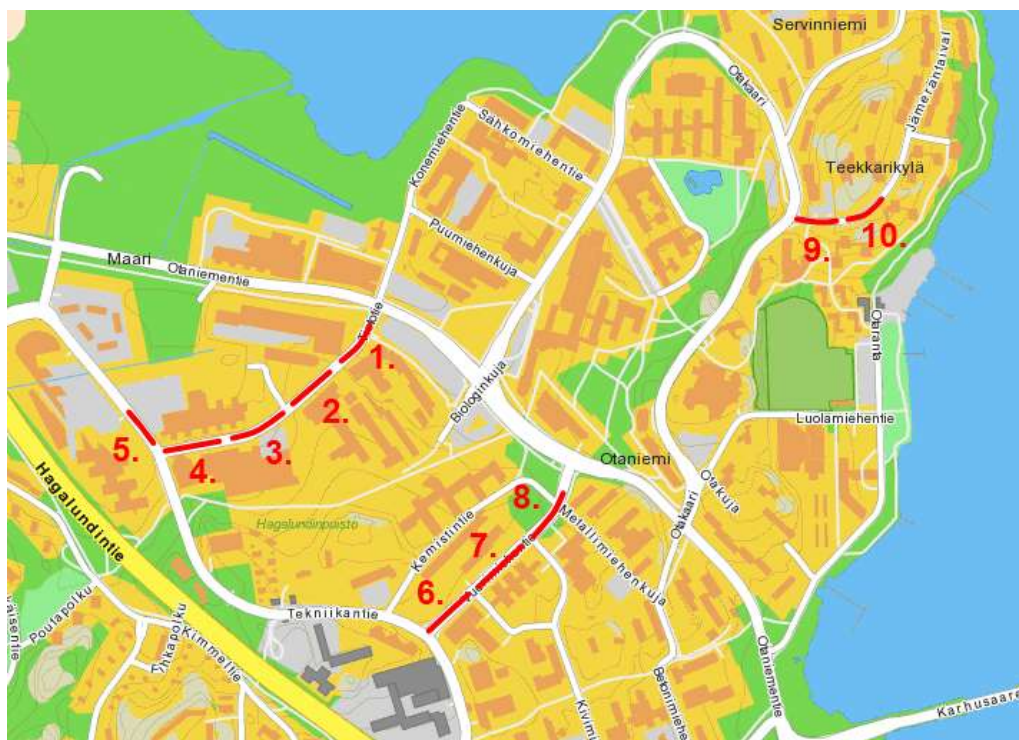
Mittaukset suoritettiin syksyllä 2010. Jämeräntaipaleen, Tietotien ja Vuorimiehentien luminanssit mitattiin syyskuun 29. ja 30. päivä. Häikäsymittaukset Tietotiellä suoritettiin 11. lokakuuta. Vuorimiehentien häikäsymittauksista ei saanut kunnollisia tuloksia, koska valaisimien eteen jäi liikaa puustoa. Jämeräntaipaleella ei suoritettu häikäsymittauksia. Tekniikantien luminanssi- ja häikäsymittaukset tehtiin 2. päivä marraskuuta. Mittauskierroksille lähdettiin yhdeksän jälkeen ja kuvia otettiin jopa aina yhteen asti yöllä. Aloittamalla mittaukset tarpeeksi myöhään olivat valaisimet ehtineet lämmitä riittävästi eikä auringon valoa ollut enää häiritsemässä mittauksia. Myöhemmin liikenne vähenee mikä nopeuttaa mittausten tekemistä.

Mittauksissa on mukana vanhoja verrokkivalaisinasennuksia. Näissä ryhmien 5, 8 ja 10 asennuksissa vanhoihin elohopealamppuvalaisimiin on asennettu korvaavat suurpainenatriumlamput jotka ovat Iwasakin valmistamia ja teholtaan 110 W. Lamput ovat olleet käytössä noin 14 vuotta, niiden alkuperäinen valovirta oli 11 000 lm ja valovirran vuosittainen alenema noin 4 %. (Sillanpää 2010) Vuosittaista alenemaa käyttäen voi laskea lamppujen valovirran olevan tällä hetkellä noin 6000–6500 lm. Tällä lampulla valaisimen kokonaistehoksi mitattiin 143 W. Mainittuja vanhoja suurpainenatriumasennuksia mukaan lukematta ovat kaikki valaisinasennukset uusia ja vuoden 2010 aikana tehtyjä (Sillanpää 2010).

Mitattujen valaistusasennusten sijainti Otaniemen alueella on havainnollistettu kuvassa 39. Valaisinasennukset on merkitty punaisella viivalla ja numerolla joka viittaa lukuun jossa asennuksen mittaustulokset esitetään. Valaisinten esittelyyn liittyvät luvut ovat väliltä 5.3.1–5.3.10. Luvut 1–4 käsittelevät Tietotien, 5 Tekniikantien, 6–8 Vuorimiehentien ja 9 sekä 10 Jämeräntaipaleen asennuksia. Valaistusasennusten 1–8



alueella valaistustekninen luokka on AL4b, asennusten 9 ja 10 AL5 ja jalkakäytävillä on tavoitteena luokka K4 (Sillanpää 2010).



Kuva 39: Espoon Otaniemen alueella tehtyjen valaisinasennusmittausten sijainnit numeroituna tulosten esittelyjärjestyksen mukaan. (Eniro 2010)

### 5.3.1 Tietotie - Ruud Lightingin LEDWAY Road 60

Tietotien ensimmäinen valaisinryhmä kuvattiin koillisen suunnasta. Kuvaussuunnasta katsottuna Ledway Road 60 valaisimet sijoituivat loivaan ylämäkeen. Valaisimet ovat myös osittain puiden varjostavien lehtien joukossa. Tietotien asennukset on kuvattu tarkemmin työn luvussa 6.

Ajoradan osalta mitoitettava keskimääräinen luminanssi  $L_{av} = 0,67 \text{ cd/m}^2$ , luminanssin yleistasaisuus  $U_o = 0,46$  ja luminanssin pitkittäistasaisuus  $U_l = 0,28$ . Luminanssin pitkittäistasaisuus jää AL4b luokan vaatimasta 0,4 arvosta. Keskimääräinenkin luminanssi jää alle valaistusluokan vaatiman  $0,75 \text{ cd/m}^2$ . Vähintään osasyty etenkin huonoon pitkittäistasaisuuteen on runsaan puuston aiheuttamat varjot tiellä. Ne haittaavat vielä ajorataa enemmän jalkakäytävän valaistusta.

Jalkakäytävällä keskimääräinen luminanssi  $L_{av} = 0,34 \text{ cd/m}^2$ , mikä on huomattavasti matalampi kuin ajoradalla. Tämä tulos selittyy osin puustolla ja osin valaisimien ajoradalle enemmän valovirtaa suuntaavalla valonjaolla. Samat syyt aiheuttavat myös jalkakäytävän huonot luminanssin tasaisuusarvot  $U_o = 0,25$  ja  $U_l = 0,17$ .

Häikäisyindeksiksi mitattiin  $TI = 13 \%$ . Tämä pysyy valaistusluokan AL4b vaatiman arvon  $TI \leq 15 \%$  alla. Mitattu  $TI$ -arvo saattaa olla hieman normaalitilannetta korkeampi, koska ne jouduttiin mittaamaan ylämäkeä kohti. Valaisimia kohti katsottiin hieman normaalia pienemmästä kulmasta.

### 5.3.2 Tietotie - HR Lightin HR 150

Tietotien toinen valaisinryhmä kuvattiin lounaan suunnasta. HR 150 valaisimet sijoituivat loivan mäennyppylän päälle. Valaisinpylväiden takana olevan lähes koko tieosuuden mittaisen rakennuksen lipan alle on asennettu runsaasti valaisimia jotka antavat valoa, vaikkakin pienen matkan päästä, kuitenkin estotta myös koko tiealueelle.

Ajoradan osalta mitoitettava keskimääräinen luminanssi  $L_{av} = 0,84 \text{ cd/m}^2$ , luminanssin yleistasaisuus  $U_o = 0,30$  ja luminanssin pitkittäistasaisuus  $U_l = 0,59$ . Valaisimien valonjako aiheuttaa yleistasaisuuden huonon arvon joka jää AL4b luokan vaatimuksista. Valovirtaa ei suunnata ajorataa kohti, vaan suoraan valaisimesta alaspäin. Tulosta huonontaa myös lipan valaistus, mutta se toisaalta parantaa ainakin hieman pitkittäistasaisuuden ja keskimääräisen luminanssin tuloksia.

Jalkakäytävällä keskimääräinen luminanssi on vielä ajorataa korkeampi,  $L_{av} = 1,09 \text{ cd/m}^2$ . Tämän aiheuttaa etenkin valaisimien valonjako, mutta osittain myös tien vieressä olevan rakennuksen valaistus. Samat seikat johtavat myös jalkakäytävän hyviin tasaisuusarvoihin  $U_o = 0,71$  ja  $U_l = 0,58$ .

Häikäisyindeksiksi mitattiin  $TI = 8 \%$ . Tämä pysyy valaistusluokan AL4b vaatiman  $TI \leq 15 \%$  alla. Mitattu  $TI$ -arvo saattaa olla hieman normaalitilannetta korkeampi, koska ne jouduttiin kukkulan takia mittaamaan hieman normaalia alemmaa. Runsas tien ulkopuolinen valaistus saattaa vaikuttaa tulokseen hieman.

### 5.3.3 Tietotie - LedZed Internationalin LedZed 120

Tietotien kolmas valaisinryhmä kuvattiin lounaan suunnasta. Kuvaussuunnasta katsottuna LedZed 120 valaisimet sijoituivat kohtaan jossa tie kääntyy loivasti vasempaan. Viimeinen valaisin on loivasti nousevassa kohdassa tietä, muut tasaisella. Viimeinen valaisin on osittain tietä sen kohdalla reunustavien puiden lehtien seassa. Mitatun tieosuuden ympäristössä on useita pienempiä valopisteitä, jotka eivät kuitenkaan vaikuta valaisevan suuresti tietä. Vain yksi matala pollarivalaisin on suoraan jalkakäytävän läheisyydessä ja aiheuttaa viereensä kirkkaamman kohdan jalkakäytävän reunaan.

Ajoradan osalta mitoitettava keskimääräinen luminanssi  $L_{av} = 1,15 \text{ cd/m}^2$ , luminanssin yleistasaisuus  $U_o = 0,19$  ja luminanssin pitkittäistasaisuus  $U_l = 0,52$ . Valaisimien valonjako aiheuttaa myös tällä osuudella yleistasaisuuden AL4b luokan vaatimukset alittavan huonon arvon. Valovirtaa ei suunnata ajorataa kohti, vaan suoraan valaisimesta alaspäin.

Jalkakäytävän keskimääräinen luminanssi on tälläkin osuudella ajorataa korkeampi,  $L_{av} = 1,50 \text{ cd/m}^2$ . Tämän aiheuttaa etenkin valaisimien valonjako, mutta osaltaan myös mainittu pollari, joka on juuri mitatun osuuden kohdalla. Jalkakäytävän luminanssin tasaisuusarvot ovat  $U_o = 0,50$  ja  $U_l 0,50$ . Yleistasaisuuden merkittävästi ajorataa parempi arvo johtuu etenkin jalkakäytävälle valovirtaa kohdistavasta valonjaosta, mutta myös siitä että mitattavat jalkakäytäväosuudet ovat ajorataa huomattavasti kapeampia.

Häikäisyindeksiksi mitattiin  $TI = 7 \%$ . Arvo alittaa valaistusluokan AL4b minimivaatimuksen  $TI \leq 15 \%$ . Etenkin viimeisen valaisimen sijaitseminen lehtien keskellä parantaa häikäisyindeksin arvoa jonkin verran.

### 5.3.4 Tietotie - iGuzzinin Archilede 84

Tietotien neljäs, Tekniikantien risteykseen päättyvä valaisinryhmä kuvattiin koillisen suunnasta. Archilede 84 valaisimet sijoittuivat viivasuoralle esteettömälle tieosuudelle. Kuvaussuunnasta laskettuna ensimmäisen valaisinvälin kohdalla tietä reunustavassa rakennuksessa palaa valoja, mutta ne eivät vaikuttane enää mitatun valaisinvälin kohdalla.

Ajoradan osalta mitoittava keskimääräinen luminanssi  $L_{av} = 2,00 \text{ cd/m}^2$ , luminanssin yleistasaisuus  $U_o = 0,39$  ja luminanssin pitkittäistasaisuus  $U_l = 0,34$ . Vaikka keskimääräinen luminanssi ylittää runsaasti AL4b luokan vaatiman  $0,75 \text{ cd/m}^2$  jäävät molemmat tasaisuusarvot hieman valaistusluokan vaatimuksista. Valaisimien valon tarkasti ajoradalle suuntaava optiikka luo koko valaistavalle ajoradalle levittyvän, mutta läikikkään lopputuloksen, minkä takia tasaisuudet jäävät riittämättömiksi.

Jalkakäytävällä keskimääräinen luminanssi on vain noin neljäsosan ajoradan arvosta. Syynä matalaan  $L_{av} = 0,34 \text{ cd/m}^2$  arvoon on valaisimien tarkoituksella ajoradalle valovirtaa suuntaava ja ympäristön pimeäksi jättävä valonjako. Jalkakäytävän luminanssin tasaisuusarvot ovat  $U_o = 0,47$  ja  $U_l = 0,43$ .

Häikäisyindeksiksi mitattiin  $TI = 10 \%$ . Tämä on valaistusluokan AL4b vaatimaa  $TI \leq 15 \%$  alhaisempi arvo.

### 5.3.5 Tekniikantie - Vanha valaisin - suurpainenatriumlamppu 110 W

Tekniikantien valaisinryhmä kuvattiin luoteen suunnasta. Vanhat nyt suurpainenatriumlamppuja käyttävät valaisimet ovat suoralla tieosuudella. Mitatun tieosuuden ympäristössä on useita pienempiä valopisteitä, jotka eivät kuitenkaan vaikuta valaisevan tietä. Kaksi ylimääräistä valonlähdettä vaikuttaa mitatulla tieosuudella. Valaisinpylväiden ja jalkakäytävän läheisyydessä on parkkipaikalla ympärisäteilevä valaisin. Suurin osa tien suuntaan pääsevästä valosta jää kuitenkin valaisimen vieressä olevaan pensaaseen. Tien vastakkaisen puolen välittömästi ajoradan vieressä oleva valaistu mainostaulu valaisee ajoradan toista kaistaa. Se aiheuttaa paikallisen kirkkaamman kohdan ajoradan mitattavalle osiolle. Tekniikantien mitattu tieosuus on kuvattu tarkemmin työn luvussa 6.

Ajoradan mitoittava keskimääräinen luminanssi  $L_{av} = 0,50 \text{ cd/m}^2$ , luminanssin yleistasaisuus  $U_o = 0,50$  ja luminanssin pitkittäistasaisuus  $U_l = 0,58$ . Mitatun osuuden luminanssin tasaisuudet ylittävät AL4b luokan vaatimukset, mutta keskimääräinen luminanssi jää kolmasosan vaaditusta määrästä.

Jalkakäytävän keskimääräinen luminanssi on mitatulla osuudella ajoradan arvoa alhaisempi,  $L_{av} = 0,45 \text{ cd/m}^2$ . Jalkakäytävän luminanssin tasaisuusarvot ovat  $U_o = 0,72$  ja  $U_l = 0,62$ .

Häikäisyindeksin arvoksi mitattiin  $TI = 11 \%$ . Arvo alittaa valaistusluokan AL4b minimivaatimuksen  $TI \leq 15 \%$ .

### 5.3.6 Vuorimiehentie - Lumi Groupin Lumi R

Vuorimiehentien ensimmäinen valaisinryhmä kuvattiin koillisen suunnasta. Lumi R valaisimet sijoittuivat suoralle osuudelle. Valaisimien väleissä on puiden oksia lehtineen, mutta itse valaisimet eivät ole lehtien seassa. Lehdet aiheuttavat muutamia

varjoja kuvaussuunnasta katsoen mitattavan alueen alkuun jalkakäytävälle ja valaisinpylväitä lähemmälle ajoradan puolelle. Mitatun tieosuuden ympäristössä ei ole häiriövalonlähteitä jotka vaikuttaisivat mittauksiin. Mittauksessa tutkittu tieosuus on kuvassa 40.



**Kuva 40: Vuorimiehentie Lumi R valaisimien kohdalla.**

Ajoradan osalta mitoitettava keskimääräinen luminanssi  $L_{av} = 1,30 \text{ cd/m}^2$ , luminanssin yleistasaisuus  $U_o = 0,20$  ja luminanssin pitkittäistasaisuus  $U_l = 0,52$ . Ajoradan keskimääräinen luminanssi ja myös luminanssin pitkittäistasaisuus riittävät valaistusluokan AL4b tielle, mutta valaisimien valonjako aiheuttaa yleistasaisuuden huonon arvon. Valaisin itsessään ei suuntaa valovirtaa ajorataa kohti vaan suoraan valaisimen optiikasta alaspäin. Asentajan tulee hoitaa valaisimien suuntaus koko valaisinosa telineessään tielle päin kääntämällä. Vuorimiehentiellä valaisimia on käännetty liian vähän. Valaistuksissa tehdyillä simuloinneilla on kuitenkin todettu, että vastaavanlaisessa kohteessa olisi valaisinta enemmän kallistamalla mahdollista aikaansaada ajoradalle parempi luminanssin yleistasaisuus ilman että pitkittäistasaisuus tai keskimääräinen luminanssi siitä liikaa kärsisivät.

Jalkakäytävän keskimääräinen luminanssi on tällä osuudella  $L_{av} = 1,19 \text{ cd/m}^2$ . Liian vähäisestä valaisimien kallistuksesta huolimatta jalkakäytävän keskimääräinen luminanssi on kuitenkin ajoradan luminanssia pienempi. Jalkakäytävän luminanssin tasaisuusarvot ovat  $U_o = 0,55$  ja  $U_l = 0,50$ . Yleistasaisuuden merkittävästi ajorataa parempi arvo johtuu etenkin valaisinten epäonnistuneesta kallistuksesta, mutta myös siitä että mitattava jalkakäytävä on ajorataa huomattavasti kapeampi. Myös pitkittäistasaisuus on ajorataa vastaava vaikka jalkakäytävällä on aiemmin mainittu lehtien aiheuttama varjo mitattavan osuuden lähemmässä päädyssä.

### **5.3.7 Vuorimiehentie - Siteco SC100 - suurpainenatriumlamppu 100 W**

Vuorimiehentien keskimäinen valaisinryhmä kuvattiin koillisen suunnasta. SC100 valaisimet sijoituivat suoralle tieosuudelle, mutta tie levenee mitattavalla osuudella bussipysäkin kohdalla. Jälkimmäinen mitta-alueen valaisin on siksi kauempana ajoradasta. Mitattavalla osuudella on puiden oksia valaisimien väleissä ja osittain myös edessä, mutta selkeiltä varjoilta vältytään. Linja-autopysäkeistä kauemmas sijoittuva aiempi valaisinpylväspari sen sijaan tuotti varjojen takia merkittävästi huonommat mittaustulokset. Mitatun tieosuuden ympäristössä ei ole häiriövalonlähteitä, jotka vaikuttaisivat mittauksiin. Mittauksessa tutkittu tieosuus on kuvassa 41.



**Kuva 41: Vuorimiehentie SC100 valaisimien kohdalla.**

Ajoradan mitoittava keskimääräinen luminanssi  $L_{av} = 0,62 \text{ cd/m}^2$ , luminanssin yleistasaisuus  $U_o = 0,59$  ja luminanssin pitkittäistasaisuus  $U_l = 0,47$ . Ajoradan luminanssin yleis- ja pitkittäistasaisuus riittävät valaistusluokan AL4b tielle, mutta mitatun osuuden keskimääräinen luminanssi ei. Syynä riittämättömään luminanssiin voi olla lehdet ja valaisinpylväiden hieman ylöspäin kallistetut poikkivarret joissa valaisimet ovat kiinni. On mahdollista, että valovirta ohjautuu epätoivotulla tavalla vinossa kiinnitysasennossa.

Jalkakäytävän keskimääräinen luminanssi on tällä osuudella  $L_{av} = 0,48 \text{ cd/m}^2$ . Jalkakäytävän luminanssin tasaisuusarvot ovat  $U_o = 0,61$  ja  $U_l = 0,58$ . Jalkakäytävällä on siis matalampi keskimääräinen luminanssi kuin tiellä, mikä on odotettavaa valaisimen valonjaon takia. Tässäkin asennuksessa luminanssin tasaisuusarvot ovat jalkakäytävällä paremmat.

### 5.3.8 Vuorimiehentie - Vanha valaisin - suurpainenatriumlamppu 110 W

Vuorimiehentien viimeinenkin valaisinryhmä kuvattiin koillisen suunnasta. Vanhemmat valaisimet, joihin on sijoitettu korvaavat suurpainenatriumlamput sijoittuivat mutkaan, mutta mitattava pylväsväli on suoralla tieosuudella. Valaisimet ovat esteettömässä ympäristössä. Häiriövaloa tieosuudelle aiheuttaa vain risteävän tien elohopealamppuvalaisin. Valaisimen vaikutusta tuloksiin on vaikea arvioida. Mittauksessa tutkittu tieosuus on kuvassa 42.



**Kuva 42: Vuorimiehentie vanhojen suurpainenatriumlamppuvalaisimien kohdalla.**

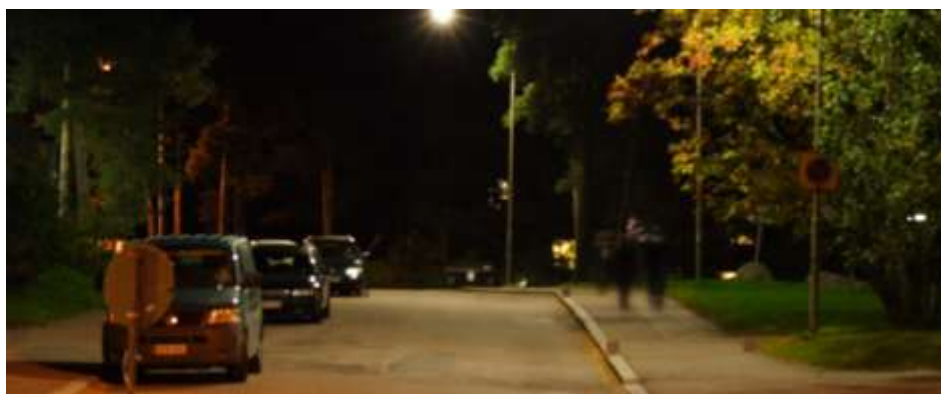
Ajoradan mitoittava keskimääräinen luminanssi  $L_{av} = 0,91 \text{ cd/m}^2$ . Luminanssin yleistasaisuus  $U_o = 0,51$  ja luminanssin pitkittäistasaisuus  $U_l = 0,58$ . Arvot riittävät

valaistusluokan AL4b tielle. Sivutien elohopealampun vaikutuksen lisäksi on mahdollista, että toinen tai molemmat mitattavan valaisinparin lamput on vaihdettu vuosien saatossa uudempaan rikkoontumisen takia.

Jalkakäytävän keskimääräinen luminanssi on tällä osuudella  $L_{av} = 0,99 \text{ cd/m}^2$ . Jalkakäytävän luminanssin tasaisuusarvot ovat  $U_o = 0,73$  ja  $U_l = 0,60$ . Perinteinen valaisin ei ohjaa valoa ajorataa kohti, vaan pikemminkin suoraan valaisimesta alaspäin. Osittain tämä johtaa jalkakäytävän ajorataa korkeampiin mittaustuloksiin.

### 5.3.9 Jämeräntaival - Sitecon SQ100 - induktiolamppu 85 W

Jämeräntaipaleen ensimmäinen valaisinryhmä kuvattiin lännen suunnasta. SQ100 valaisimet sijoittuivat suoralle tielle loivaan ylämäkeen. Valaisimien väleissä on puiden oksia lehtineen, mutta itse valaisimet eivät ole lehtien seassa. Lehdet aiheuttavat muutamia varjoja mitattavalle alueelle, pääasiassa jalkakäytävälle. Mitatun tieosuuden läheisissä pihoissa on muutama valaisin, mutta ympäristössä ei ole merkittäviä häiriövalonlähteitä jotka vaikuttaisivat mittaustuloksiin. Mittauksessa tutkittu tieosuus on kuvassa 43.



Kuva 43: Jämeräntaival SQ100 valaisimien kohdalla.

Ajoradan osalta mitoitettava keskimääräinen luminanssi  $L_{av} = 0,43 \text{ cd/m}^2$ , luminanssin yleistasaisuus  $U_o = 0,62$  ja luminanssin pitkittäistasaisuus  $U_l = 0,46$ . Ajoradan luminanssin tasaisuudet riittävät tien valaistusluokan AL5 vaatimusten täyttämiseen, mutta keskimääräinen luminanssi jää alle vaaditun tason. Syynä riittämättömään luminanssiin voi myös tällä mittausosuudella olla valaisinpylväiden hieman ylöspäin kallistetut poikkivarret joissa valaisimet ovat kiinni.

Jalkakäytävän keskimääräinen luminanssi on tällä osuudella  $L_{av} = 0,40 \text{ cd/m}^2$ . Luminanssin tasaisuusarvot ovat  $U_o = 0,71$  ja  $U_l = 0,62$ . Mitattu pylväsväli saa muutamista lehtien varjoista huolimatta vertailukelpoiset tasaisuusarvot.

### 5.3.10 Jämeräntaival - Vanha valaisin - suurpainenatriumlamppu 110 W

Jämeräntaipaleen toinen valaisinryhmä kuvattiin koillisen suunnasta. Vanhat korvaavilla suurpainenatriumlampuilla varustetut valaisimet sijoittuvat mittauspisteestä katsoen oikealle kaartavaan loivaan ylämäkeen. Valaisimien väleissä on puiden oksia lehtineen, mutta itse valaisimet eivät ole merkittävästi lehtien seassa. Lehdet aiheuttavat muutamia varjoja kuvaussuunnasta katsoen mitattavan alueen alkupäähän. Mitatun tieosuuden ympäristössä ei ole häiriövalonlähteitä, jotka vaikuttaisivat mittaustuloksiin. Mittauksessa tutkittu tieosuus on kuvassa 44.



**Kuva 44: Jämeräntaival vanhojen suurpainenatriumlamppuvalaisimien kohdalla.**

Ajoradan mitoittava keskimääräinen luminanssi  $L_{av} = 0,46 \text{ cd/m}^2$ , luminanssin yleistasaisuus  $U_o = 0,66$  ja luminanssin pitkittäistasaisuus  $U_l = 0,58$ . Ajoradan luminanssin tasaisuudet riittävät tien valaistusluokan AL5 vaatimusten täyttämiseen, mutta keskimääräisen luminanssin vaatimus  $0,5 \text{ cd/m}^2$  ei täyty. Vanhoilla valaisimilla poikkivarren kallistus on vain hyödyksi, koska valonjako ei ole nykyisien valaisimien tasoa. Jämeräntaipaleella käytettävä alennettu noin 205 V katuvalaistusjännite kuitenkin laskee perinteisillä kuristimilla varustettujen valaisimien valovirtaa (Sillanpää 2010). SQ100 valaisimiin jännitteen alennus ei elektronisten liitäntälaitteiden ansiosta vaikuta.

Jalkakäytävän keskimääräinen luminanssi on tällä osuudella  $L_{av} = 0,31 \text{ cd/m}^2$  ja luminanssin tasaisuusarvot  $U_o = 0,47$  ja  $U_l = 0,40$ . Valaisinpylvään poikkivarren kallistuma ja lehtien varjot aiheuttavat jalkakäytävän ajorataa matalamman keskimääräisen luminanssin sekä huonommat luminanssin tasaisuudet.

## 5.4 Mitattujen asennusten vertailu

Kaikki mitatut asennukset ja mittausarvot ovat taulukossa 24. Viimeiset Jämeräntaipaleen asennukset kuuluvat AL5-valaistusluokkaan, kaikki muut luokan AL4b vaatimusalueelle. Muista poiketen Jämeräntaipaleen asennukset ovat alennetun 205 V jännitteen verkossa. Jalkakäytävillä tavoitteena on K4-luokka, mutta mittaustavasta johtuen sen vaatimusten täyttymistä ei voida tutkia tulosten pohjalta.

**Taulukko 24: Mitattujen valaistusasennusten mittaustulosten yhteenveto**

Valaistusosuus	Ajorata				Jalkakäytävä		
	Lav	Uo	UL	TI	Lav	Uo	UL
Tietotie - Ruud Led 60	0,67	0,46	0,28	13 %	0,34	0,25	0,17
Tietotie - HR Light 150	0,84	0,30	0,59	8 %	1,09	0,71	0,58
Tietotie - LedZed 120	1,15	0,19	0,52	7 %	1,50	0,50	0,50
Tietotie - Archilede 84	2,00	0,39	0,34	10 %	0,53	0,47	0,43
Tekniikantie - Vanha HPS	0,50	0,50	0,58	11 %	0,45	0,72	0,62
Vuorimiehentie - Lumi R	1,30	0,20	0,52	-	1,19	0,55	0,50
Vuorimiehentie - SC100	0,62	0,59	0,47	-	0,48	0,61	0,58
Vuorimiehentie - Vanha HPS	0,91	0,51	0,58	-	0,99	0,73	0,60
Jämeräntaival - SQ100	0,43	0,62	0,46	-	0,40	0,71	0,62
Jämeräntaival - Vanha HPS	0,46	0,66	0,58	-	0,31	0,47	0,40

Valaistusasennukset joilta häikäisyindeksi mitattiin, alittivat valaistusluokan vaatiman  $TI \leq 15 \%$  enimmäisarvon. Saatuihin tuloksiin vaikutti kuitenkin hieman monet mittaustulosten tekijät kuten puusto, lehdet, valaisinten sijainti rinteissä ja häiriövalonlähteet. Kaikkien näiden vaikutus on kuitenkin enemmän  $TI$  arvoa nostava

kuin laskeva, joten voi sanoa mitattujen valaisinten pysyvän raja-arvon hyväksyttävällä puolella.

Mitattujen valaisinasennusten keskimääräiset luminanssit vaihtelevat runsaasti kohteiden kesken. Edes rinnastettavissa olevien vanhojen korvaavilla suurpainenatriumlampuilla varustettujen asennusten tulokset eivät ole linjassa keskenään. Juuri Tekniikantien ja Vuorimiehentien asennusten olisi odottanut olevan samankaltaiset saman käyttöjännitteen ansiosta, mutta jälkimmäisen luminanssi on melkein kaksinkertainen. On selvää, että sivutien valaisimella on nostava vaikutus keskimääräiseen luminanssiin, mutta ehkä tässä asennuksessa on myös uusittu yksittäisiä lampuja muutaman vuoden sisällä. Vanhoissa asennuksissa voi myös olla valaisinkohtaisia eroja koska kaikkien valaisinten mallien samankaltaisuutta ei ole varmistettu. Kaikkien asennusten suoriutuminen valaistusluokan vaatimuksista selviää paremman taulukosta 25. Ajouradan vaatimukset ylittävät kohdat on tummennettu ja vaatimuksista jäävät arvot merkitty punaisella.

**Taulukko 25: Mitattujen valaistusasennusten valaisintevoja ja mittaustuloksia**

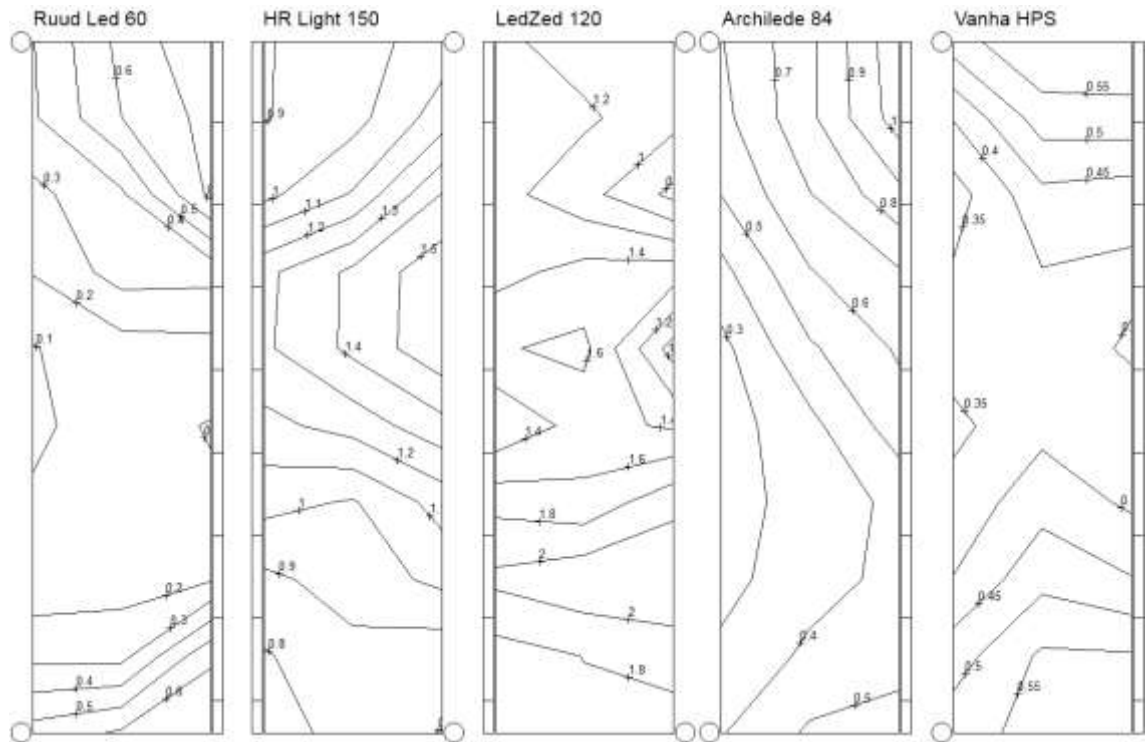
Valaistusosuus	Sähköteho	Ajourata			Jalkakäytävä		
		Lav	Uo	UL	Lav	Uo	UL
Tietotie - Ruud Led 60	108 W	0,67	0,46	0,28	0,34	0,25	0,17
Tietotie - HR Light 150	133 W	0,84	0,30	0,59	1,09	0,71	0,58
Tietotie - LedZed 120	139 W	1,15	0,19	0,52	1,50	0,50	0,50
Tietotie - Archilede 84	110 W	2,00	0,39	0,34	0,53	0,47	0,43
Tekniikantie - Vanha HPS	n. 143 W	0,50	0,50	0,58	0,45	0,72	0,62
Vuorimiehentie - Lumi R	95 W	1,30	0,20	0,52	1,19	0,55	0,50
Vuorimiehentie - SC100	114 W	0,62	0,59	0,47	0,48	0,61	0,58
Vuorimiehentie - Vanha HPS	n. 143 W	0,91	0,51	0,58	0,99	0,73	0,60
Jämeräntaival - SQ100	78 W	0,43	0,62	0,46	0,40	0,71	0,62
Jämeräntaival - Vanha HPS	< 143 W	0,46	0,66	0,58	0,31	0,47	0,40

Valaisinasennuksen viereen on merkitty yksittäisen valaisimen vaatima sähköteho. Jämeräntaipaleen suurpainenatriumvalaisin on samankaltainen kuin muut suurpainenatriumvalaisimet, mutta Jämeräntaipaleella sitä käytetään 205 V jännitteellä jolloin kuluva teho ja syntyvä valovirta laskevat.

Kaikista mitatuista kohteista neljä ledivalaisinasennusta ei täyttänyt ajoradan luminanssin yleistasaisuuden vaatimuksia ja kaksi lediasennusta luminanssin pitkittäistasaisuuden vaatimuksia. Moni asennus nousisi varmasti paremmassa ympäristössä tai valaisimen asennon säädöllä ainakin joiltain puutteellisilta osin ajoradan valaistusluokan vaatimusten sisäpuolelle, mutta mitattujen kaltaisissa todellisissa kohteissa ei toimenpiteitä ole usein mahdollista toteuttaa.

Jalkakäytävillä tasaisuudet ovat Tietotien ensimmäistä asennusta lukuun ottamatta hyvällä mallilla, mutta keskimääräiset luminanssit ovat joissain kohteissa selkeästi alempana kuin mitä ajoradan puolella vaaditaan. Jalkakäytäviltä ei kuitenkaan myöskään vaadita ajoradan kaltaisia arvoja. Käytettyjen valaisinten valonjaolla on suuri merkitys siihen miten valoa tulee myös jalkakäytävälle. Työn kuudetta lukua varten Tietotien ja Tekniikantien jalkakäytävien mittausten pohjalta piirrettiin Matlab ohjelmalla luminanssiviivastot. Ne on piirretty kuvaussuunnasta katsottuna ja asetettu vierekkäin kuvaan 45. Viivastot havainnollistavat jalkakäytävälle syntyvän luminanssin tasaisuutta ja määrää kunkin valaisinryhmän yhden pylväsvälin osalta.





Kuva 45: Luminanssiviivastot jalkakäytäviltä. Neljä ensimmäistä osuutta on Tietotien ledivalaisinasennuksia ja viimeinen, Vanha HPS, Tekniikantien suurpainenatriumlamppuasennus.

## 5.5 Yhteenveto

Mitatut valaisinasennukset on tehty ympäristöihin, jotka eivät ole simulaation kaltaisia. Edes mitattavan pylväsvälin valinta ei aina ollut triviaalia, vaan vaati jopa laskentaa valaisinasennusta parhaiten kuvaavan mittausvälin löytämiseksi. Näiden seikkojen takia on ymmärrettävä tulosten kuvastavan valaisinten suorituskykyä kyseisessä asennuksessa ja kertovan vain suuntaa antavaa tietoa vastaavilla valaisimilla tehtävien asennusten suorituskyvystä muualla.

Mitattavissa valaistusasennuskohteissa niin lehdet, mäet kuin mutkat vääristivät tuloksia, eivätkä kaikkien valaisimien valonlähteetkään olleet uusia. Näistä seikoista huolimatta on yllättävää, että vain yksi valaistusasennus pääsee niin keskimääräisen luminanssin kuin luminanssin tasaisuuksienkin osalta tieosuutensa valaistusluokassa vaadittuihin arvoihin. Tässäkin kohteessa tulosta saattoi auttaa sivukadun lähellä sijainnut valaisin. Toki muutama muukin asennus oli lähellä vaadittuja arvoja.

Eri asennusten valaisimien erityyppisten valonjakojen vaikutus valaistustulokseen oli selkeästi nähtävissä mittauksissa. Valaisimet jotka pyrkivät suuntaamaan valon pois valaisinpylvästä ajorataa kohti erotti tuloksissa selkeästi valaisimista, jotka eivät ohjanneet valoa niin selkeästi eteenpäin vaan olisivat vaatineet suurempaa kallistusta ajoradan valaistusvoimakkuuden lisäämiseksi. Tämän valon ohjauksominaisuuden perusteella ei kuitenkaan ollut näissä kohteissa valittavissa selkeää parempaa ratkaisua. Joidenkin valaisimien voisi kuitenkin saatujen tulosten perusteella kuvitella olevan erityisesti suunniteltu teille joilla ei tarvitse valaista jalkakäytävää. Muutamissa valaisinasennuksissa jalkakäytävä jää merkittäväksi ajorataa matalammalle keskimääräiselle luminanssille. Näissäkin kohteissa kuitenkin asennusympäristö saattoi vaikuttaa osaltaan asiaan.

On positiivista huomata, että valaisinryhmät joiden häikäisyindeksi oli mahdollista mitata, selvisivät AL-luokkien vaatiman  $TI \leq 15 \%$  sisäpuolelle. Yleisesti häikäiseviksi sanotut ledivalaisimet olivat neljän mitatun ryhmän osalta häikäisyltään vanhojen suurpainenatriumlamppuja käyttävien valaisimien kanssa samaa luokkaa.

Liikenneviraston ohjeiden mukaan tarvittaisi kuitenkin vielä saatujenkin tulosten lisäksi muun muassa määrän ajoradan luminanssin yleistasaisuuden mittaus. Ilman sitä tulisi käyttää valaistusasennukselle vielä hieman vaativampia ME luokkien raja-arvoina. Saaduissa mittaustuloksissa ei myöskään ole otettu huomioon Liikenneviraston laskennallisia alenemia. Jos nämä seikat otettaisiin huomioon, selviytyisivät mitatut asennukset entistä harvemmilta osin niiltä vaadittujen vähittäisrajojen yli.

## 6 Käyttäjätutkimus: Jalkakäytävän ledivalaistus

Käyttäjätutkimuksen tavoitteena on selvittää jalankulkijoiden arvioita lediulkovalaistuksen miellyttävyydestä ja verrata ledivalaistulla alueella liikkumista perinteisen valaistuksen tiellä liikkumiseen. Ledivalaistuksen laatua, riittävyyttä ja sopivuutta pohditaan kevyen liikenteen käytön kannalta.

### 6.1 Tutkimukseen valitut tieosuudet

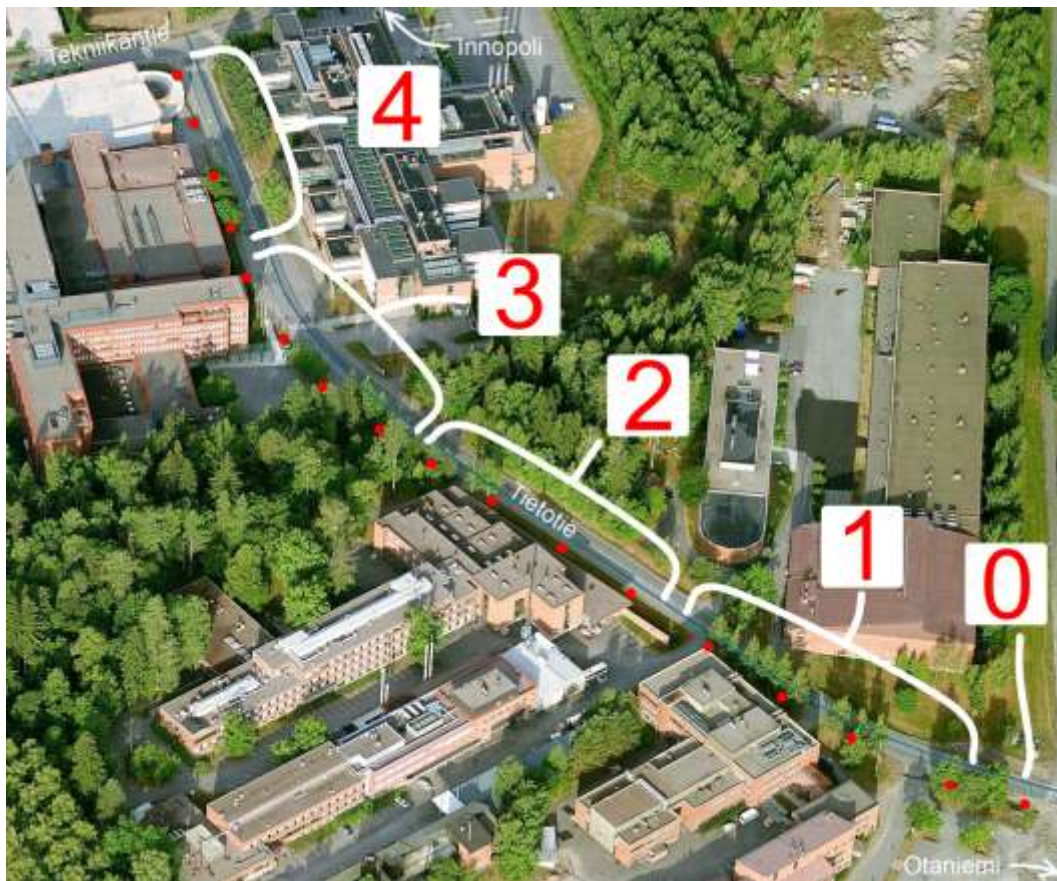
Käyttäjätutkimus päätettiin toteuttaa Espoon Otaniemen Tietotien uusien lediasennusten yhteydessä. Tietotielle on asennettu useita peräkkäisiä eri valaisimilla toteutettuja lediasennuksia. Tien välittömässä yhteydessä on myös vertailuun soveltuvaa suurpainenatriumlamppuvalaistusta. Otaniemen Vuorimiehentiellä olisi myös sijainnut tutkimukseen soveltuva uusi ledivalaisinasennus. Tutkimus oli käytännössä kuitenkin mahdotonta toteuttaa niin, että tutkimushenkilöt eivät olisi joutuneet siirtymään pitkää matkaa kesken tutkimuksen, joten osuus jäi käyttämättä tässä yhteydessä. Kuvasta 46 on nähtävissä, kuinka Tietotie ja Tekniikantie sijoittuvat maantieteellisesti sekä käyttäjätutkimuksen reitti Otaniemen ja Innopolin päätepisteineen. Tutkimuksessa käytetty tieosuus kuului kokonaisuudessaan valaistusluokkaan AL4b ja jalkakäytävillä pyrittiin osuudella luokkaan K4 (Sillanpää 2010).



Kuva 46: Otaniemen kartta, johon merkitty käyttäjätutkimuksen reitti ja päätepisteet Otaniemen ”Otan.” sekä Innopolin ”Innop.” päädyissä. (Eniro 2010)



**Kuva 47: Tekniikantien tutkimuksessa käytetty tieosuus sekä sillä sijaitsevat valaisimet. Valaisimina ryhmässä 5 on vanhoja suurpainenatriumlamppuja käyttäviä valaisimia. (Eniro 2010)**



**Kuva 48: Tietotie ja sillä sijaitsevat valaisimet. Valaisinmalli ryhmässä 1 on LEDWAY Road 60, ryhmässä 2 HR 150, ryhmässä 3 LedZed 120 ja ryhmässä 4 Archilede 84. Numerolla 0 on merkitty tien alkupäässä oleva erillinen vanhempi suurpainenatriumlamppuavalaisin. (Eniro 2010)**

Kuvissa 47 ja 48 on tarkempi kuvaus tutkimukseen kuuluvista Tietotien ja Tekniikantien osista. Kuviin on merkitty punaisiin pistein valaisinpylväät teiden varrella, ja numeroin minkä tyyppisiä valaisimia missäkin on. Valaisimet ryhmässä yksi ovat Ruud Lightingin LEDWAY Road 60 mallia, ryhmässä kaksi HR Lightin HR150, ryhmässä kolme LedZed Internationalin LedZed 120 ja ryhmässä neljä iGuzzinin Archilede 84 mallia. Kaikki ledivalaisimet on esitelty tarkemmin edellä työn neljännessä luvussa. Suurpainenatriumlamppuja käyttäviä valaisimia ei ole mitattu erikseen. Numerolla nolla merkitty vanha Tietotielle jätetty valaisin ei ole mukana tutkimuksessa.

Eri valaisinryhmät on sijoitettu tielle vaihteleviin ympäristöihin. Ryhmän 1 Ledway Road 60, jatkossa RuudLed 60, valaisimien ympäristö on kuvassa 49. Tien ympäristö oli tällä osuudella melko rauhallinen. Jalkakäytävän puolella vähän matkan päästä oli valaistu oviaukko, joka ei kuitenkaan ollut huomattavan kirkas tai valaissut tielle asti. Toisella puolella tietä sijaitsi yksinäinen oviaukko rakennuksen kulmalla, mutta siitä kajastanut valo ei vaikuttanut tielle asti. Tien varrella, katuvalaisinten ympärillä olevat puut sen sijaan vaikuttivat merkittävästi valaistustulokseen. Puiden takia jalkakäytävälle jäi runsaita varjoja etenkin valaisinryhmän Innopolia lähempään päätyyn. Näillä paikoilla valot myös valaisivat puut kirkkaasti. Pylväsvälit alueella ovat kuvassa eteenpäin katsoen 29, 26 ja 22 m eli keskimäärin 25,7 m. Pylväskorkeus kaikkien ryhmien alueilla on noin 9,5 m.



**Kuva 49: Valaisinryhmän 1 ympäristö Otaniemestä päin kuvattuna.**

Ryhmän 2 HR 150 valaisimet sijaitsevat kukkulan päällä. Asennus on kuvassa 50. Tieosuus, jolla valaisimet sijaitsevat, on suora, esteetön ja selkeä. Jalkakäytävän vieressä on nurmea ja toisella puolella tietä metsää. Noin kymmenen metrin päässä jalkakäytävästä on pensaita ja pitkä rakennuksen julkisivu. Rakennus ja sen ympäristö on valaistu kirkkailla lipan alle kiinnitetyillä opaalivalaisimilla. Ne valaisevat pensaat, nurmen ja aina jalkakäytävänkin lämpimällä valollaan. Lipan alusvalaisimet aiheuttanevat myös suuren osan tien toisen puolen puiden valaistusta. Niiden vaikutus toisen asennusryhmän alueeseen on merkittävä. Pylväsvälit alueella ovat kuvassa eteenpäin katsoen 24, 29 ja 28 m eli keskimäärin 27,0 m.



**Kuva 50: Valaisinryhmän 2 ympäristö Innopolilta päin kuvattuna.**

Ryhmän 3 LedZed 120 valaisimet on asennettu Tieto Finland Oy:n ja Micronovan pihojen välissä olevalle tieosuudelle, joka näkyy kuvassa 51. Rakennukset jatkuvat tiiliseinänä kuvassa näkyvältä pääoven lipalta Innopolia kohti. Tiilirakennukset näkyvät myös samasta kohdasta otetussa kuvassa numero 52. Pihat molemmin puolin tietä ovat kevyesti valaistu. Valaisinpisteitä näkyy jalkakäytävälle useita. Tielle ja jalkakäytävälle asti suora valaiseminen on Tieto -kylttiä ja yhtä pollaria lukuun ottamatta kuitenkin pientä. Ne peitettiin mustilla kankailla käyttäjätutkimuksessa niin, että niiden valaiseva vaikutus jäi olemattomaksi. Kankaista paistoi kuitenkin valoa läpi sen verran, että niiden alla pystyi havaitsemaan valaisimia. Kuvan ulkopuolelle jäävä ryhmän 3 viimeinen valaisin oli hajonnut ja käyttäjätutkimusta tehdessä siksi pimeänä. Pylväsvälit alueella ovat kuvassa eteenpäin katsoen 29, 25 ja 26 m eli keskimäärin 26,7 m.



**Kuva 51: Valaisinryhmän 3 ympäristö Innopolilta päin kuvattuna.**

Tietotien Innopolin päätyyn on asennettu ryhmän 4 Archilede valaisimet. Kuvasta 52 näkyy helposti tien selkeys viimeisen ledivalaisinryhmän kohdalla. Häiriövaloa tielle tuli hyvin vähän. Jalkakäytävälle näkyi tien samalla puolella oleva parkkihallin valaistus ja tien päädyssä oleva valaistu Otaniemi -kyltti, mutta merkittävää häiriövaloa näistä ei jalankulkijoille tule. Pylväsvälit alueella ovat kuvassa eteenpäin katsoen 33, 26 ja 20 m eli keskimäärin 26,3 m.



**Kuva 52: Valaisinryhmän 4 ympäristö Otaniemestä päin kuvattuna.**

Kuvassa 53 on Tekniikantiellä oleva ryhmän 5 valaisinasennus. Tien suurpainenatriumlamppuja käyttävät valaisimet ovat vaihtelevaa mallia. Osa valaisimista on esimerkiksi lusikka-tyyppisiä. Kaikki tien valaisimet ovat selkeästi vanhoja. Suurpainenatriumlamppuvalaisinryhmän ympäristössä on huomattavasti pysäköintialueiden valaisimia. Tien jalkakäytävän puolella on Micronovan pääty ja parkkialue sekä tien toisella puolella suuret Innopolin alueet. Vaikka valaisinpisteiden määrä on runsasta, ainut käyttäjätutkimuksen teialueelle asti merkittävästi valaiseva valonlähde on puolessa matkassa oleva mainoskyltti. Kaikki pylväsvälit alueella ovat tasan 30 metriä.



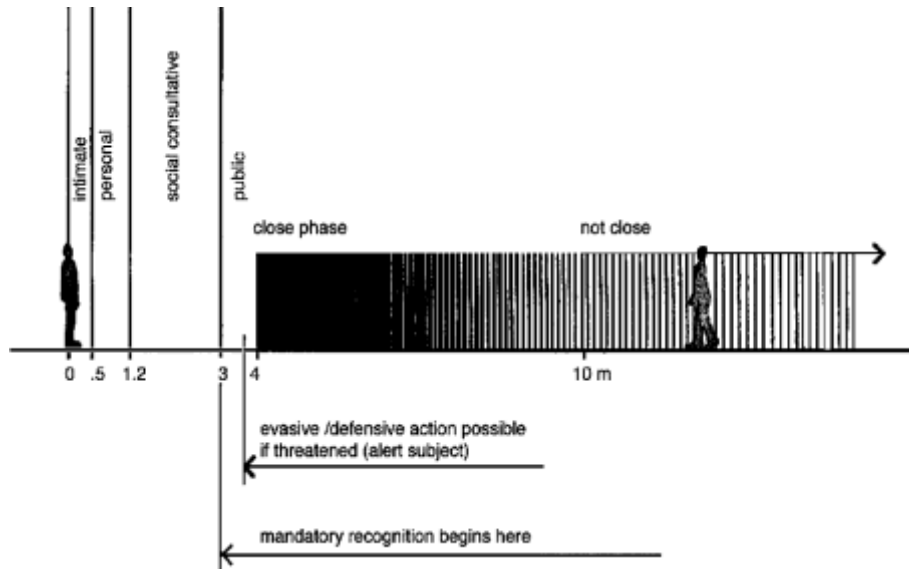
**Kuva 53: Valaisinryhmän 5 ympäristö Otaniemeä kohti kuvattuna.**

Tutkimukseen kuuluvat viisi aikaisemmissa kappaleissa esiteltyä valaistusasennusta on mitattu ja mittauksien tulokset on käsitelty edellisessä luvussa 5, jossa asennuksista ja mitatuista pylväsvälistä on kerrottu lyhyesti. Luvussa on lisäksi raportoitu ajoradalta sekä jalkakäytävältä mitatut keskimääräisen luminanssin, luminanssin tasaisuuksien ja häikäisyindeksin arvot. Lisäksi käyttäjätutkimuksessa käveltyjen viiden asennuksen alueilta mitatun jalkakäytävän luminanssi viivastot piirrettiin Matlab ohjelmalla. Kuvasta 45 sivulla 58 saa yhden pylväsvälin verran lisätietoa jalkakäytävän luminanssin jakautumisesta tutkimukseen kuuluvien asennusten alueilta.

## **6.2 Tutkimusmenetelmät**

Tutkimukseen valittavia menetelmiä lähdettiin valitsemaan Jaatisen (2010) diplomityössä käyttämien ratkaisujen pohjalta. Hahmontunnistus nähtiin erittäin tärkeäksi liikkumismukavuuden kannalta. Myös pienen näkökohteen näkötehtävää toivottiin käyttäjätutkimuksen osaksi. Lisäksi käyttäjien subjektiivisia arvioita eri valaistusosuuksien ominaisuuksista haluttiin saada tutkimuksessa selville.

Edward Hall (1969) on tutkinut ihmisten suhtautumista toisiin ihmisiin ympärillään. Hän huomasi ihmisten haluavan tunnistaa heitä lähestyvät henkilöt, jotta he kokisivat olonsa mukaviksi. Tämän pohjalta pääteltiin kasvojen tunnistuksen olevan olennainen mittari tutkittaessa jalankulkijoiden kokemaa turvallisuuden tunnetta. Käyttäjätutkimuksessa haluttiin selvittää, riittääkö valaistus testiosuuksilla Hallin (1969) läheisyyden alueiden kannalta.



**Kuva 54: Hahmontunnistusetäisyys [m] ja Hallin lähemmyden alueet (Raynham 2004)**

Hall (1969) tutki ihmisten käytöstä määrittämällä lähemmyden alueet, joiden avulla on mahdollista hahmotella vastaantulijan vähimmäistunnistusetäisyys, jolloin ympäristö vielä tunnetaan turvalliseksi. Alueet on havainnollistettu kuvaan 54. Hallin ajatus lähemmyden alueista perustuu huomioon, että ihmiset päästävät toisia lähelle mieluiten vasta, kun ovat heidät tunnistaneeet. Alueiden mukaan tarvittava tunnistusetäisyys on noin neljä metriä, jotta vastaantulijaan ehtii tarvittaessa vielä reagoimaan. (Raynham 2004)

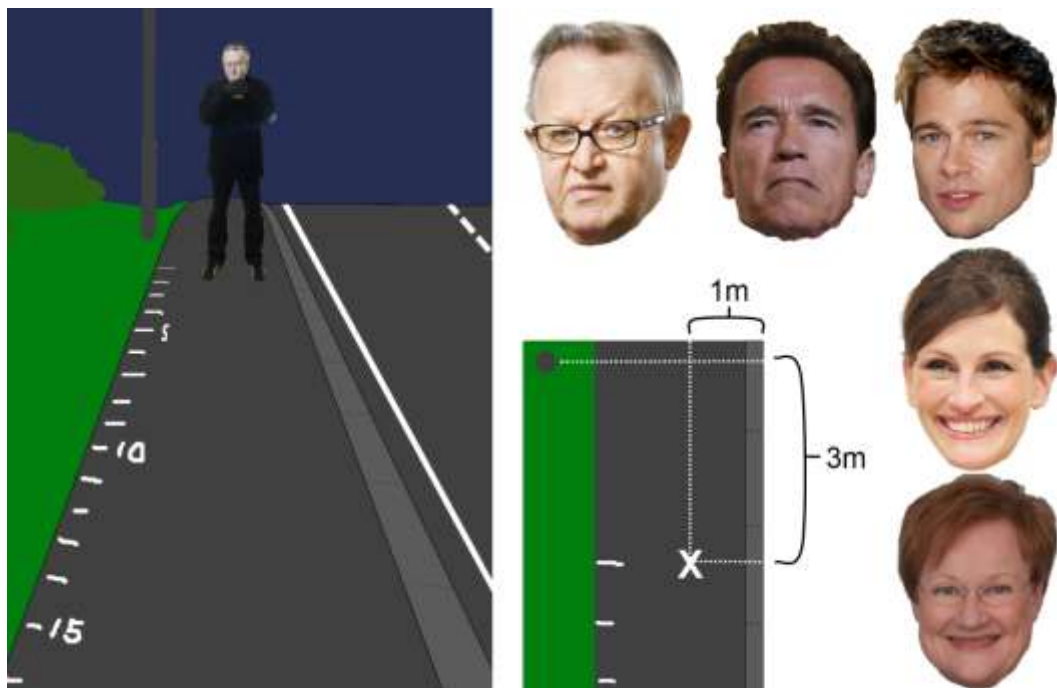
Jaatinen (2010) suoritti omassa kevyen liikenteen väylien ledivalaistuksen käyttäjätutkimuksessa pienimuotoisen kasvojentunnistustehtävän. Kokeessa avustaja käveli koehenkilöitä vastaan koeosuudella aina samalla kohtaa ja koehenkilöiden tuli tunnistaa avustaja jälkeenpäin muutaman kasvokuvan joukosta. Samaa tekniikkaa ei kuitenkaan voida käyttää tässä tutkimuksessa kahdesta syystä. Tällä toteutustavalla ei olisi mahdollista mitata tunnistusetäisyyttä, eikä Jaatinen kokeen vaatimaa yllätyksellisyyttä voisi toteuttaa useilla peräkkäisillä osuuksilla toistuvassa kokeessa.

Työn käyttäjätutkimusta varten arvioitiin kahta eri toimintamallia. Ensimmäisessä mallissa koehenkilöt olisivat paikallaan ja avustaja lähestyisi heitä, toisessa avustaja olisi paikallaan ja koehenkilöt lähestyisivät häntä. Liikkuvan avustajan koejärjestelyssä kaikki avustajat olisivat rivissä jokaisen tutkimusosuuden ennalta määritellyllä kohdalla ja avustaja kävelisi heitä kohti. Mittanauhaa hyväksi käyttäen jokainen koehenkilö merkitsisi papereihinsa etäisyyden, jolta heitä kohti kävelevän hahmon tunnisti. Tämänkaltainen koejärjestely aiheutti kuitenkin muutaman ongelman. Suurimpia olivat järjestelyn toteuttaminen niin, että koehenkilöt ovat samaan aikaan tietyllä kohdalla, ja että mitta-asteikkoa on mahdollista käyttää helposti.

Parempana ratkaisuna käytännön toteutuksen ja toistettavuuden kannalta pidettiin koejärjestelyä, jossa avustaja seisoo ennalta määritellyllä paikalla koko tutkimuksen ajan, ja koehenkilöt kävelevät häntä kohti. Käymällä kokeilemassa ratkaisua käytännössä etukäteen todettiin se toimivammaksi, kuin avustajan liikkuminen. Toteutus on havainnollistettu kuvassa 55. Jokaisen valaisinasennusryhmän viimeisen valaisinpylvään yhteyteen hankittiin käyttäjäkokeissa avustajat. Avustaja seisoi kolme metriä valaisinpylvästä edempänä, yhden metrin ajoradan ja jalkakäytävän reunasta jalkakäytävälle päin.

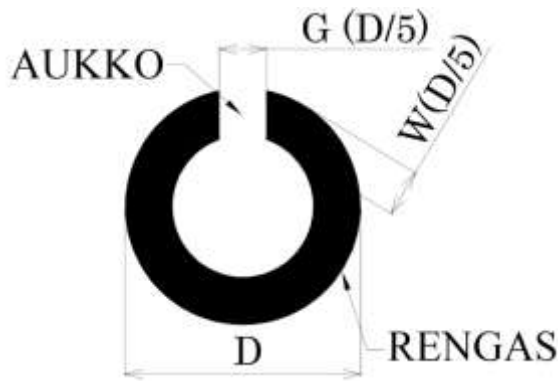


Kasvojentunnistustehtävä päätettiin toteuttaa julkisuuden henkilöiden kuvassa 55 esiteltyjen valokuvien avulla. Tehtävään valittiin kuvia henkilöistä, jotka jokaisen koehenkilön oletettiin tunnistavan. Näin pystyttiin mittaamaan tunnistamista eikä pelkästään havaitsemista. Muulla tavoin tunnistamisen mittaamista ei pidetty mahdollisena. Avustajat seisoivat koko koetapahtuman ajan paikallaan pitäen pahviin kiinnitettyä julkisuuden henkilön kuvaa paikallaan kasvojensa edessä. Koehenkilöt kävelivät yksitellen avustajaa kohti ja heidät oli opastettu pysähtymään, kun he tunnistavat julkisuuden henkilön kuvassa. Maahan jalkakäytävän reunaan oli piirretty etukäteen liidulle metrin välein viivat. Viivoihin oli merkattu metrimäärä viiden metrin välein ja ne jatkuivat kahteenkymmeneen asti. Koehenkilöt opastettiin tarkistamaan tunnistusetaisyys viivoituksesta. Tämän jälkeen heidän tuli jatkaa matkaa eteenpäin ohi avustajan, jotta seuraava koehenkilö pääsee matkaan. Jos koehenkilö huomasi jatkaessaan matkaa, että oli tunnistanut julkisuuden henkilön väärin, oli heidän pysähdyttävä uudestaan ja tarkistettava uusi etäisyys.



**Kuva 55: Kasvojentunnistustehtävän havainnollistus, avustajan sijainti valaisinpylväeseen nähden ja käytetyt julkisuuden henkilöiden kuvat**

Jalankulkijalle ja pyöräilijälle tärkeää on pienten kohteiden ja tien epätasaisuuksien huomaaminen. Landoltin C on visuaalinen optotyyppi, jota käytetään näkökyvyn ja näkemisen arvioimiseen. Se on pyöreä rengas, josta on lohkaistu määrätyn kokoinen pala pois, jolloin se muodostaa C-kirjainta muistuttavan muodon. Kokeissa rengasta pidetään eri asennoissa niin, että aukko osoittaa ylös, alas, oikealle tai vasemmalle. Koehenkilö pyrkii havainnoimaan suunnan, johon aukko osoittaa. Kuvassa 56 on havainnollistava piirros Landoltin C:stä. Renkaan paksuus  $W$  ja aukon halkaisija  $G$  ovat yksi viidesosa renkaan halkaisijasta  $D$ . (Muraoka & Ikeda 2007)



Kuva 56: Landoltin C mittasuhteet (Muraoka & Ikeda 2007)

Käyttäjätutkimuksessa oli optotyypillä tarkoituksena selvittää, onko tutkittavien tieosuuksien eri valaistuksilla vaikutusta näkemiseen. Tutkimukseen tehdyt C-optotyypit olivat halkaisijaltaan 20 cm ja valmistettu puulevystä. De Boer et al. (1967) käyttivät omissa ajoratavalaistuksen vaatimuksia selvittävässä kokeissaan 16 senttimetrin Landoltin C optotyyppisiä, joiden heijastavuus oli 9 %. Näkemisen rajana heidän tutkimuksissaan oli 80 % tunnistettavuus. Kokeissa tutkimuskohteina olevilla katuosuuksilla hyvin tummat optotyypit kuitenkin todettiin ongelmallisiksi. Optotyypit, joiden heijastavuus oli lähellä De Boer et al. käyttämää 9 %, näkyivät vaalean asfaltin takia liian kauas. Niitä ei olisi pystytty käyttämään maastonmuotojen takia. Kokeilemalla havaittiin hieman vaaleamman pinnan sopivan paremmin alueelle, koska sitä oli vaikeampi erottaa maasta. Tämä johtaisi lyhyempiin etäisyyksiin havainnoijan ja optotyyppien välille. Hankittu pinnoitekangas oli mattapintaista harmaan väristä ja sen heijastavuudeksi määritettiin luminanssimittarin ja bariumsulfaattipinnan avulla 31 %.

Optotyyppisiä tehtiin seitsemän, joista kuutta aiottiin käyttää yhden ollessa varalla. Jokaisen taakse kiinnitettiin neljä läpinäkyvää uloketta, jotka mahdollistavat neljä eri asentoa tunnistustehtävään. Telineinä käytettiin puristinpihtejä, joiden avulla optotyypit pysyivät tukevasti pystyssä. Kuvassa 57 on suurennus valmiista optotyypistä ja identtisiä optotyyppisiä asetettuna näkötehtävän kaltaisesti peräkkäin eri asentoihin.



Kuva 57: Havainnollistus optotyyppien asettelusta näkötehtävässä sekä suurennus Landoltin C:stä

Käytännön kokeiluissa ilmeni kuitenkin kaksi ongelmaa. Valaisinasennusten pylväsvälien vaihdellessa hieman vertailukelpoisen asettelun toteuttaminen jokaiselle eri asennusryhmälle osoittautui vaikeaksi. Vakioetäisyys optotyyppien kesken tai vakiosuhde valaisinpylväsvälin pituuteen nähden ei tuottanut toivottavaa lopputulosta. Myös syystuulet kaatoivat mäkisessä ympäristössä optotyyppisiä, vaikka niiden jalustoihin asetettiin painoja. Koska optotyypit olisivat, edellä mainittujen ongelmien lisäksi, monimutkaistaneet käyttäjätutkimuksen teknisiä järjestelyjä, jätettiin Landoltin C:t tässä tutkimuksessa lopulta kokonaan käyttämättä.

Koehenkilöiden mielipiteiden keräys eri asennusten ominaisuuksista päätettiin toteuttaa kyselylomakkeilla. Jokaiselle viidelle valaisinasennukselle tehtiin identtiset arviointisivut, joiden kysymyksistä saatujen tietojen pohjalta rakennettiin kuva koehenkilöiden mielipiteistä ja kokemuksista eri osuuksilla. Lisäksi jokainen koehenkilö sai esitietosivun, jolla kysyttiin taustat sekä sanallisia kommentteja kevyen liikenteen väylien valaistuksesta. Esitietosivut täytettiin ennen kävelyosuuksia ja tieosuuksiin liittyvät kyselysivut aina kyseisen osuuden jälkeen. Naamareita pitävien avustajien taakse oli maahan piirretty paikka, missä sivu tuli täyttää, jottei koehenkilö jäänyt häiritsemään seuraavan koehenkilön kävelyä. Maahan merkitty paikka oli puolella välissä vaihtuvien valaistusasennuksien viimeisiä valaisinpylväitä.

### **6.3 Kyselylomakkeen kehitys**

Kyselylomakkeesta haluttiin selkeä ja nopea täyttää. Näin koehenkilöiden keskittyminen ei suuntaudu liikaa pois valaistuksesta. Parhaana pidettiin tämän takia kyselylomaketta, jossa on yksi esitietosivu ja yksi kyselysivu jokaiselle eri tieosuudelle. Lopullisen tutkimuksessa käytetyn kyselylomakkeen esitietosivu sekä ensimmäinen viidestä identtisestä kävelyn jälkeen täytettävästä sivusta on liitteessä E.

Esitiedoissa selvitettiin koehenkilöiden sukupuoli, ikä, asumisympäristö ja autolla ajotottumukset. Näiden jälkeen pyydettiin koehenkilöitä kirjoittamaan ainakin yksi asia, joka on heidän mielestään tärkeää kevyen liikenteen väylän ja jalkakäytävän valaistuksessa. Tilaa annettiin kolme numeroitua riviä. Kysymys oli koko tutkimuksen alussa, jotteivät myöhemmin esitettävät kysymykset ja niiden painotukset vaikuttaisi koehenkilöiden mietteisiin asiasta. Sanallisten kysymysten jälkeen selvitettiin, kuinka usein koehenkilö liikkuu tutkitulla tieosuudella jalan tai autolla. Esitietosivulla haluttiin vielä kysyä koehenkilöiden mielipiteet jalkakäytävillä ja kevyen liikenteen väylillä olevan valaistuksen tärkeydestä liikkumisen mukavuuden ja turvallisuuden kannalta. Lisäksi kysyttiin, pelottaako koehenkilöitä yleensä kävellä yksin pimeään aikaan.

Esitietosivun sekä tieosuussivujen arviointikysymysten mitta-asteikkoihin haluttiin sama ulkoasu. Ennen kuin lopulliseen ratkaisuun päädyttiin, pohdittiin muutamia vaihtoehtoja. Vaihtoehtoina olivat eri määriä rasti ruutuun -tyylisiä palloja ja liukuva mittajana. Mittajana, johon piirrettäisiin merkki sopivana pidettyyn kohtaan, olisi tarkkuudessa ja mielipiteen ilmaisussa ylivoimainen. Sillä saavutettava lisähyöty tässä helppoutta ja nopeaa täyttämistä vaativassa tehtävässä olisi kuitenkin rajoittunut. Ei ole tietoa, kuinka tarkasti koehenkilö edes kykenisi silmämääräisesti arvioimaan katuvalaisimen häikäisyä. Valmiit, pallot joihin laitettaisiin rasteja rajoittavat valinnanvapautta, mutta myös vähentävät valinnan vaikeutta. Niihin päädyttiin, koska ne tarjoavat täyttäjälle helppoutta, läpinäkyvyyttä ja selkeyttä. Viiden vaihtoehdoisen pallon käyttö seitsemän sijaan rajasi vaihtoehtoja ja näin nopeutti valinnan tekoa. Valaistuksen silmämääräisen arvioinnin ollessa vaikeaa pidettiin seitsemää palloa myös

liian suurena vaihtoehtojen määränä. Esitietosivulle olisi ollut lisää kysymyksiä, mutta liika kysymyksiin vastaaminen ennen käyttäjätutkimuksen koeosiota olisi voinut tylsistyttää koehenkilöitä liikaa. He olisivat saattaneet niiden väsyttäminä yrittää kiirehtiä loppukokeen läpi, siksi vain tärkeimmät tiedot selvitettiin.

Eri teosuuksien kysymyssivut rakentuivat kahdesta osiosta, teosuuden erikoistehtävistä ja jälkepäin vastattavista mielipiteistä sekä tuntemuksista. Alun perin sivujen alussa sijaitsi taulukko, johon Landoltin C optotyyppien havaitsemistehtävän tulokset merkittäisiin. Kuvassa 58 esitetty taulukko jätettiin pois papereista, kun havaitsemistehtävä jouduttiin poistamaan tutkimuksesta. Taulukon jälkeen kyselykaavakkeissa oli hahmontunnistuksen etäisyyden merkitsemiskohta. Lopullisessa tutkimuksessa käytetyssä kaavakkeessa metrit kirjoitetaan talteen ensimmäisenä. Teosuuksien kysymyssivuista suurimman osan vei yhdeksän kysymystä ja niiden vastausruudut.

Mihin suuntaan C-merkin aukko osoittaa:						
suunta:		☉ ylös	☉ oikea	☉ alas	☉ vasen	en ole varma
lähin	1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
kauimmainen	6	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Kuva 58: Landoltin C optotyyppien havaitsemistehtävän tulostaulukko**

Alkuun kysyttiin koehenkilön mielipidettä jalkakäytävän valaistuksesta kahdella kysymyksellä. Ensimmäisessä kysyttiin yleinen mielipide asteikolle, joka oli väliltä ”täysin riittämätön”...”täysin riittävä”. Tätä pyydettiin tarkentamaan seuraavaksi vielä kertomalla, oliko valaistus koehenkilön mielestä millä kohtaa akselilla ”liian himmeä”...”liian kirkas”.

Seuraavaksi vuorossa oli kysymys valon jakaumasta kävelyllä osuudella. Tätä tarkennettiin vielä suluissa sanoin ”oliko pimeitä kohtia maassa”, jottei kenellekään jäisi epäselväksi, mitä kysymyksessä haetaan. Vaihtoehdot olivat välillä ”epätasainen”...”tasainen”. Tien valaistuksen tasaisuuden arvioinnin ollessa jopa valaistusammattilaiselle vaikeaa, jätettiin kysymykseen muista poiketen vain kolme vastauspaikkaa viiden sijaan. Kysymyksellä pyrittiin selvittämään etenkin, onko valaistustekniikkaan vihkiytymättömän käyttäjien mahdollista ylipäättään huomata eroa valon epätasaisen ja tasaisen jakauman välillä. Myöskään Jaatinen (2010) ei nähnyt syytä tätä tarkempaan arvioon omassa käyttäjätutkimuksessaan. Hän tiedusteli, oliko valo jakautunut tasaisesti tarjoten vastausvaihtoehdot ”kyllä” ja ”ei”.

Häikäisyä on mahdollista arvioida subjektiivisesti monin eri keinoin. Koehenkilöitä voidaan pyytää ilmoittamaan, kun häikäisyn määrä muuttuu epämiellyttäväksi. He voivat myös esimerkiksi valita listasta parhaan sanallisen kuvauksen sen hetkisellemme häikäisylle. (Jaatinen 2010) Tässä käyttäjätutkimuksessa käytettiin häikäisyn arvioinnissa asteikkoa välillä ”ei ollenkaan”...”hyvin paljon”. Koehenkilöt joutuivat siten antamaan kokemastaan häikäisystä asennusten kesken vertailtavissa olevan arvionsa. Saatuja tuloksia on mahdollista verrata mitattuihin arvoihin, joita saatiin koeosuuksilta kuvantavalla luminanssimittarilla. Koehenkilöiltä saatujen arvioiden

tarkkuutta pyrittiin lisäämään kysymällä kolme kohtaa alempana vielä mielipidettä katuvalaisimien kirkkaudesta. Vastausvaihtoehdot olivat väliltä ”ei ollenkaan”...”hyvin paljon”.

Mielipidettä valon värisävystä kysyttiin kahdella kysymyksellä. Ensimmäisessä selvitettiin koehenkilön tuntemus valon värisävyn miellyttävyydestä asteikolla ”hyvin epämiellyttävä”...”hyvin miellyttävä”. Tällä kysymyksellä pyrittiin selvittämään, onko valkoisen ledivalon ja suurpainenatriumlampun keltaisen valon alla liikkumisessa koettavissa selkeää miellyttävyseroa, jonka voisi kertoa johtuvan nimenomaan värisävystä ja osaltaan myös värintoistosta. Toisessa kysymyksessä selvitettiin koehenkilöiden kykyä arvioida valon värisävyä asteikolla ”kylmä”...”lämmim”.

Tutkittavien osuuksien vaihtelevista valaistusympäristöistä huolimatta toiseksi viimeisessä kysymyksessä selvitettiin koehenkilöiden kokemaa turvallisuutta. Asteikolla ”hyvin turvaton”...”hyvin turvallinen” vastattavan kysymyksen toivottiin kertovan valonjaon toivotusta luonteesta tiealueen ulkopuolella, ja siitä minkälainen vaikutus keskimääräisen luminanssin määrällä on turvallisuuden kokemiseen.

Viimeisenä kysyttiin koehenkilöiltä vielä yleistä mielipidettä kunkin osuuden valaistukseen kaiken kaikkiaan. Tähän tarjottiin jälleen viisi vaihtoehtoa väliltä ”hyvin huono”...”erittäin hyvä”.

## **6.4 Tutkimuksen toteutus**

Koehenkilöiden saaminen käyttäjätutkimukseen tiedettiin arki-iltoina vaikeaksi. Tavoitteeksi asetettiin siksi kymmenen henkilöä. Tavoite onneksi ylitettiin ja kokeen teki kaiken kaikkiaan neljätoista koehenkilöä. He osallistuivat tutkimukseen kahdessa tieosuutta eri suuntiin kulkevassa mahdollisimman samansuuruisessa ryhmässä.

Yksi ensimmäisen ryhmän koehenkilöistä teki tutkimuksen jo päivää aiemmin kuin loppuryhmä, jotta saatiin selville tutkimukseen kuuluva aika todellisessa tilanteessa. Kysymyspaperin esitiedoissa muutettiin palautteen pohjalta Tietotiellä liikkumistiheyttä kysyvän kysymyksen sanamuotoa selkeämmäksi.

Ensimmäisen ryhmän yksi koehenkilö osallistui tutkimukseen 12. lokakuuta 2010 ja loput viisi seuraavana päivänä. Toisen ryhmän kaikki kahdeksan koehenkilöä kävelivät osuuden 27. lokakuuta 2010. Koe aloitettiin 12. päivä Otaniemen päädyssä kello 20:25 ja 13. päivä kello 20:45. 27. päivä koe aloitettiin Innopolilta kello 20:43. Koe oli ohi näinä päivinä vastaavasti kello 20:55, 21:15 ja 21:17 mennessä. Ulkona oli kaikkina koepäivinä kylmää, pimeää ja maassa tien sivuissa oli jonkin verran lehtiä. Ensimmäisinä koepäivinä asfaltti oli kuiva, mutta Innopolin suunnalta käveltäessä oli asfaltissa sateen jäljiltä vielä muutamia tummia kosteita kohtia. 12. päivä tuuli hieman, jälkimmäisinä koepäivinä oli tyyntä.

Julkisuuden henkilöiden tunnistamistehtävissä kuvien paikka vaihdettiin kokeen suuntaa vaihdettaessa niin, että yksikään kuva ei ollut samalla valaisinasennuksen alueella kahta kertaa. Jatkossa voidaan hahmojen tunnistamiseen käyttää etunimen ensimmäistä kirjainta merkitsemään kutakin hahmoa. Näin Otaniemen päästä kokeeseen lähdettyäessä oli hahmojen järjestys luettuna valaisinryhmä kerrallaan 1T 2J 3B 4A 5M. Kun jälkimmäisen ryhmän kanssa lähdettiin kävelemään Innopolilta päin, tuli valaisinryhmät vastaan 5–1 järjestyksessä ja näin niiden yhteydessä hahmot siis järjestyksessä 5A 4J 3T 2M 1B.

Tutkimuksessa paikalle saapuneelle koehenkilöryhmälle kerrottiin ensin lyhyesti, mitä heidän tulee tehdä ja sen jälkeen ryhmä täytti esitietosivut. Paperit olivat puristinkiinnikkeellä kiinni A4 kokoa hieman suuremmassa kirjoitusalueessa ja jokaiselle koehenkilölle annettiin kuulakärkikynä. Heidät kehoitettiin tutustumaan asennuksia koskevaan kysymyssivuun, jotta he tietävät jo ensimmäisen asennuksen kohdalla, mitä kävellyltä osuudelta tullaan kysymään, koska he osaisivat muuten huomioida asioita sillä jälkimmäisiä kävelyosuuksia huonommin. Koehenkilöille ei kerrottu, mitä tutkimuksessa selvitetään, minkälaisia osuuksia edessä on tai mitä eroja niillä on.

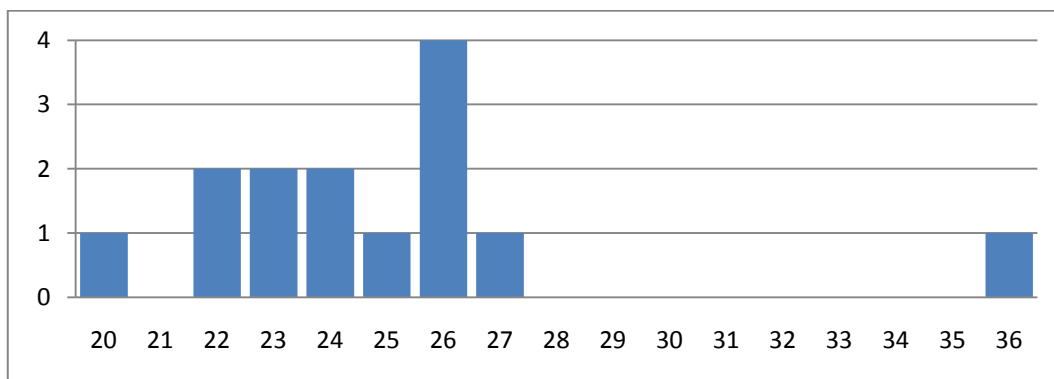
Ryhmän ensimmäinen koehenkilö lähti kävelemään valaistusasennusosuutta, kun hän oli täyttänyt esitietonsa. Ryhmäläiset kävelivät yksin ja heitä oli ohjeistettu välttämään keskustelua kokeen aikana. He valitsivat itse kävelyjärjestyksen. Kun kävelyä suorittanut koehenkilö oli ohittanut julkisuuden henkilön kuvaa pitävän avustajan, sai seuraava lähteä kävelemään osuudelle. Heidä ohjeistettiin kävelemään normaalia nopeutta. Koehenkilöt ohjeistettiin täyttämään tunnistusetaisyys ja muut asennusryhmän kysymyssivun tiedot avustajan jälkeen maahan liidulla merkityllä kohdalla. Viimeisen asennusryhmän kysymyksiin vastaamisen jälkeen koehenkilöt antoivat paperit pois ja viimeisen koehenkilönkin saapuessa poistuivat koetilanteesta.

## 6.5 Tutkimustulokset

Käyttäjätutkimuksen tulokset käydään läpi seuraavissa luvuissa osa-alueittain.

### 6.5.1 Perustiedot

Koehenkilöitä tutkimukseen saatiin yhteensä 14. Heistä 5 oli naisia ja 9 miehiä, eli jakaumat 36 % ja 64 %. Ikäjakauman keskiarvo koehenkilöryhmässä oli 25 vuotta ja mediaani 24,5 vuotta. Jakauma on esitetty kuvassa 59. Koehenkilöistä kaksi ilmoitti asuvansa keskusta-alueella, muut taajamassa.



Kuva 59: Käyttäjätutkimuksen koehenkilöiden ikäjakauma

Koehenkilöiden autolla ajotottumuksia selvitettiin kysymyksellä, johon vastattiin asteikolla 0 - ei aja, 1 - ajaa kuukausittain, 2 - ajaa viikoittain ja 3 - ajaa päivittäin. Viisi koehenkilöä ei aja käytännössä ollenkaan, neljä kuukausittain, neljä viikoittain ja yksi päivittäin. Vastausten keskiarvoksi muodostui näin 1,1 eli ajaminen koehenkilöryhmässä on hieman yleisempää kuin kuukausittain.

Tietotiellä kävellen ja autolla liikkumista selvitettiin koehenkilöiltä ja vastaukset asetetaan arvoille 0 - ei aiemmin, 1 - vuosittain, 2 - kuukausittain, 3 - viikoittain ja 4 - päivittäin. Näin muotoiltuina kävelyvastausten keskiarvo oli 1,4 ja autoilun 1,2.

Tietotiellä koehenkilöt siis kävelevät keskimäärin useamman kerran vuodessa, mutteivät aivan kuukausittain. Kukaan koehenkilöistä ei vastannut olevansa Tietotiellä ensimmäistä kertaa kävelemässä, eikä kukaan myöskään sanonut kävelevänsä tietä päivittäin. Koehenkilöillä autoilua Tietotiellä tapahtuu keskimäärin muutaman kerran vuodessa. Neljä koehenkilöä kertoi, ettei ole ajanut Tietotiellä ikinä. Kukaan koehenkilöistä ei aja Tietotiellä päivittäin. Kaksi koehenkilöä ei ilmeisesti epähuomiossa vastannut kysymykseen autoilusta Tietotiellä.

Vastaajat eivät ilmeisesti laskeneet kumpaankaan vastaukseensa mukaan bussilla liikkumista. Tietotiellä ja yhtälaila Tekniikantiellä kulkee useita tärkeitä bussilinjoja, joita ilmeisesti moni koehenkilö käyttävää parhaimmillaan jopa päivittäin, mutta vähintään kuukausittain. Jatkossa vastaavassa kysymyksessä tulisi varmistaa jotenkin, että myös julkisen liikenteen käyttäminen huomioidaan vastauksissa.

Esitietosivulla koehenkilöiltä kysyttiin lisäksi kolme viiden pykälän asteikolla arvosteltavaa kysymystä. Ensimmäisessä kysyttiin, kuinka tärkeänä koehenkilö piti jalkakäytävien ja kevyen liikenteen väylien valaistusta liikkumisen mukavuuden kannalta ja toisessa kysymyksessä vastaavasti turvallisuuden kannalta. Vastausvaihtoehdot olivat väliltä ”ei ollenkaan”...”hyvin tärkeä”. Koehenkilöiden vastausten keskiarvo ensimmäiseen kysymykseen oli 4,4 ja vastausten mediaani 4,5. Valaistusta pidettiin tärkeämpänä turvallisuuden kannalta vastausten keskiarvoksi muodostuessa 4,6 ja mediaaniksi 5. Kolmas kysymys selvitti, pelottaako koehenkilöitä yleensä kävellä yksin pimeään aikaan. Vastauksia tuli kolme vastausasteikon ”hyvin paljon” -pään kahteen vaihtoehtoon, mutta loput vastaukset olivat ”ei ollenkaan” -päädyn kahdessa vaihtoehdossa. Keskiarvoksi muodostui siten 2,1 ja mediaaniksi 2. Ryhmässä ollaan siis vain hieman pelokkaita pimeällä, mutta valaistusta pidetään hyvin tärkeänä niin turvallisuuden kuin liikkumismukavuudenkin kannalta.

### **6.5.2 Sanalliset kommentit valaistuksen tärkeydestä**

Esitietosivulla kysyttiin edellisten asioiden lisäksi sanallisia vastauksia koehenkilöiden mielestä tärkeimmistä kevyen liikenteen väylien ja jalkakäytävien valaistuksen ominaisuuksista. Saadut vastaukset voi jakaa aihepiirin mukaan neljään eri kategoriaan, jotka käsittelevät valon laatua, valon määrää, valaistuksen toimintavarmuutta ja muita asioita. Moni vastaus olisi sopinut useampaan ryhmään, mutta jako tehtiin selkeyttämään tärkeinä nähtyjä asioita ja vastausten kirjon hahmottamista.

**Taulukko 26: Ryhmitellyt käyttäjätutkimuksen sanalliset vastaukset**

<b>Valon laatu</b>	
13 mainintaa	3 x Tasainen (myös pylväiden välissä) 3 x Ei häiritsevää tai häikäisevää / kyllä miellyttävä 2 x Kattaa koko tien 2 x Valaisinpylväät tiheästi 1 x Ei pimeitä kohtia maassa 1 x Selkeää jotta voi ajaa kovaa pyörällä 1 x Ei häikäise ajajaa silmiin
<b>Valon määrä</b>	
8 mainintaa	4 x Riittävästi valoa (että näkee selvästi) 1 x Jalankulkijat näkyvät autoilijoille 1 x Että edes kuopat erottaisi 1 x Riittävän kirkas 1 x Valaisee hyvin, muttei liian kirkkaasti
<b>Toimintavarmuus</b>	
5 mainintaa	4 x On luotettava / toimintavarma / ei rikki 1 x Syytty illalla ajallaan ja sammuu aamulla kun pitää
<b>Muita</b>	
4 mainintaa	Suojateiden kohdat tärkeä valaista Päällä koko yön ilman sammutuksia Syrjäisillä teillä turvallisuuden tunnetta luova Kunhan on olemassa

Taulukkoon 26 on koottu saadut sanalliset vastaukset eri ryhmiin jaettuna. Valon laatua kommentoivien vastausten ryhmään parhaiten sopivia asioita oli yhteensä eniten. Neljä kommenttia ei kuulunut selkeästi mihinkään laatua, määrää tai toimintavarmuutta kuvaavista ryhmistä ja laitettiin omaksi ryhmäkseen. Vaikka valon laatua pidettiin useimmiten tärkeänä, oli eniten mainintoja valon riittävydestä ja valaistuksen luotettavuudesta. Valoa haluttiin liikkumisväylille riittävästi näkemiseen ja valaistuksen haluttiin olevan toimintavarma. Seuraavaksi eniten yksittäisiä mainintoja tuli valaistuksen tasaisuudesta ja miellyttävyydestä. Pylväsvälit ja pimeät kohdat sekä häikäisy mainittiin kommentteissa useita kertoja.

### 6.5.3 Hahmontunnistus

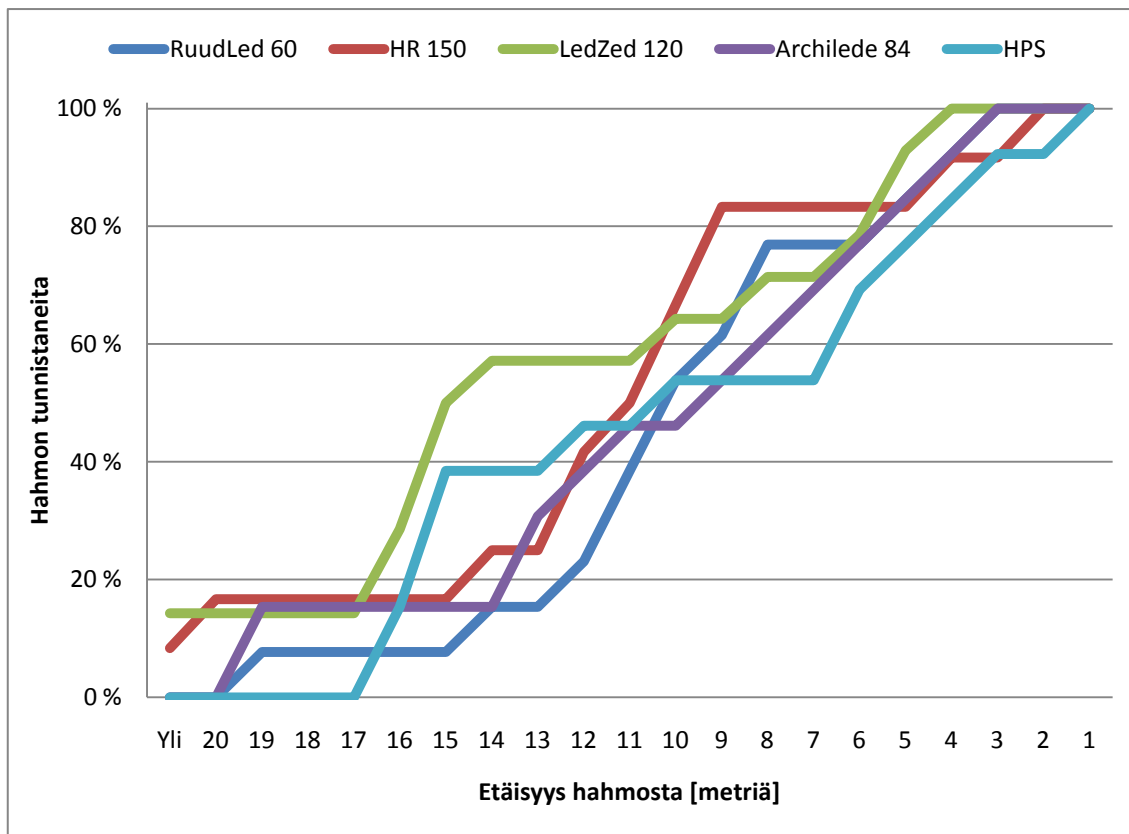
Hahmontunnistustehtävässä syntyneiden tunnistusetäisyyksien keskiarvo ja mediaani on esitelty taulukossa 27 asennusryhmittäin. Tunnistamisetäisyyksiä saattoi nostaa useimpien koehenkilöiden keskittymisen aiheuttama tahdoton vauhdin hidastuminen tunnistettavaa hahmoa lähestyessä. Toisaalta myös tilanne oli normaaliudesta poikkeava, sillä toinen kohtaavista hahmoista oli paikallaan. Saadut etäisyystulokset voisi siis jakaa kahtia, jos haluaa ajatella tilannetta, jossa molemmat henkilöt kävelevät toisiaan kohti. Näin ajateltaessa muutamat tunnistusetäisyyksien keskiarvot laskevat jo lähelle Hallin (1969) mukaan turvallisuuden tunteeseen tarvittavaa neljän metrin minimitunnistusetäisyyttä. Oikeaa tilannetta tällä tulosten puolittamisella ei kuitenkaan saisi simuloitua, koska tunnistusetäisyys tuskin aivan puolittuu kohtaavien henkilöiden lähestymisnopeuden kaksinkertaistuessa.



Taulukko 27: Hahmontunnistusetäisyyksiä asennusryhmittäin ilmoitettuna metreissä

	RuudLed 60	HR 150	LedZed 120	Archilede 84	HPS
<b>Keskiarvo</b>	9,5	11,5	12,7	9,9	9,5
<b>Mediaani</b>	10	10,5	14,5	9	10

Eri asennusryhmittäin tehdyn hahmontunnistustehtävän tarkemmat tulokset on esitetty kuvaajassa tunnistusten kasaamana kuvassa 60. Tunnistustehtävissä tuli vastaan viisi kertaa tilanne, jossa koehenkilö ei tunnistanut julkisuuden hahmon kuvaa ollenkaan. Tämä on kaiken kaikkiaan seitsemästä kymmenestä tunnistustehtävästä noin seitsemän prosenttia ja syy siihen miksi hahmon tunnistaneet esitetään kuvassa prosentuaalisena eikä absoluuttisilla arvoilla.



Kuva 60: Hahmon tunnistaneiden kasaama havaitsejan ja kohteen välisen etäisyyden funktiona

Kun tutkii käyttäjäkokeista saatuja tuloksia, ei niissä ole ensisilmäyksellä nähtävissä merkittävästi toisia parempaa tai huonompaa havainnointiosuutta. Tunnistusetäisyyksien keskiarvot ovat myös melko lähellä toisiaan, enintään 3,2 m erolla. Tuloksissa eri asennusryhmien väleillä on kuitenkin eroja. Tämän voi nähdä jo saatujen tulosten parhaan ja huonoimman mediaanin arvoista, joissa on 5,5 m ero.

Tarkastelemalla tuloksia hahmon ja havainnoijan etäisyyden vähetessä huomataan tuloksissa selkeä ero ensimmäisen havainnon etäisyyksissä. LedZed 120 ja HR 150 valaisinasennukset saavat ensimmäiset hahmontunnistukset jo ennen 20 m mitta-asteikon alkamista. Näiden osuuksien mittauksilla todettu muita asennusryhmiä jopa kolme kertaa suurempi keskimääräinen luminanssi on varmasti osasyynä hyvään tulokseen. Ensimmäiset tunnistukset syntyvät myös toisten lediasennusten osuuksilla jo 19 m kohdalla. Keskimääräisen luminanssin osalta jälkimmäisiä asennuksia vastaava suurpainenaatriumryhmä saa kuitenkin ensimmäiset julkisuuden henkilön tunnistukset vasta 16 m kohdalla.

Tunnistusetäisyyden ollessa viidentoista ja kahdentoista metrin välillä on suurpainenatriumlamppuasennuksella tunnistuksia kuitenkin enemmän. Vain LedZed 120 valaisinasennus on tällä välillä sitä edellä. Kahdentoista ja kymmenen metrin välillä kaikki lediasennukset kuitenkin ohittavat suurpainenatriumlamppuvalaisinasennuksen ja pysyvät siitä lähtien sen edellä. Suurpainenatriumlamppuvalaisinasennus jää jostain syystä tunnistusetäisyyden vähetessä osittain selkeästi muita asennuksia jälkeen. Erotus LedZed 120 ja suurpainenatriumlamppuvalaisinasennuksien välillä on erittäin mielenkiintoinen etenkin tunnistamisprosentin ollessa noin 55. Lediasennus saavuttaa arvon jo 15 m jälkeen, kun suurpainenatriumlamppuvalaisinasennus pääsee samaan tunnistusprosenttiin vasta 7 m jälkeen.

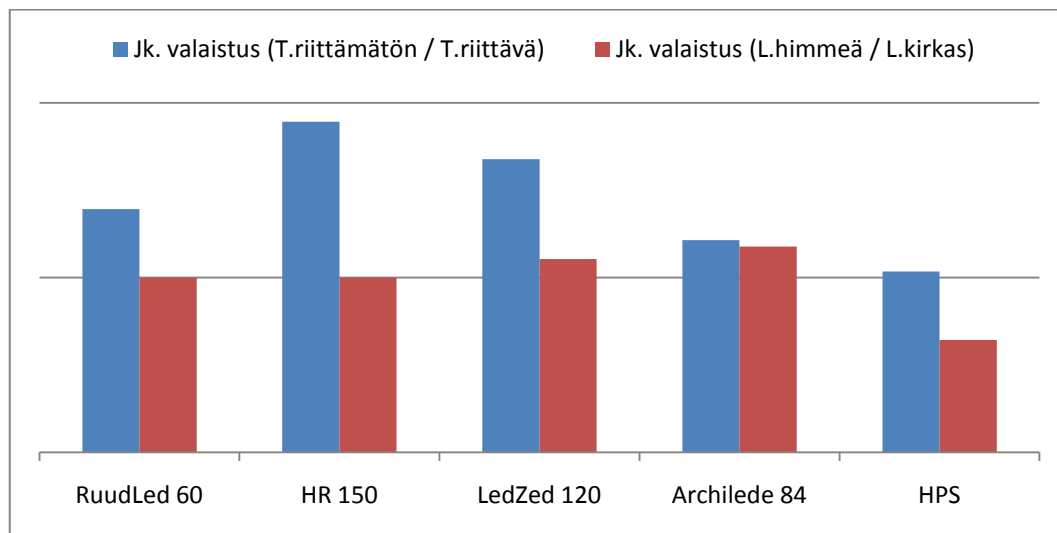
Tunnistusetäisyysaluetta kahdeksan metrin ympäristössä on syytä tarkastella, jos ajateltaisiin sen vastaavan neljän metrin minimitunnistusetäisyyttä tilanteessa, jossa molemmat hahmot kävelisivät toisiaan vastaan koeasetelman paikallaan seisovasta tunnistuksen kohteesta poiketen. Tilanne ei vastaa todellisuutta, mutta antaa jonkin kuvan valaistusasennusten suorituskyvystä tällaisessa tilanteessa. Kahdeksan metrin jälkeen suurpainenatriumlamppuvalaisinasennuksen tunnistusprosentti on vielä alle 55, kun taas ledivalaisimilla se on 60–85 %. Tällä etäisyysalueella suurpainenatriumlamppuvalaisinasennus on selvästi jäljessä.

Valaisinasennusten viimeiset onnistuneet tunnistukset syntyvät vasta melko lähellä tunnistettavaa hahmoa. Asennukselle LedZed 120 etäisyys oli pisin, 4 m, Archilede 84:lle ja RuudLed 60:lle 3 m ja HR 150:lle 2 m. Viimeinen onnistunut tunnistus tulee suurpainenatriumlamppuvalaisinasennukselle vasta 1 m päässä hahmosta. Tässä kokeessa vain LedZed 120, selkeästi suurimman mitatun keskimääräisen luminanssin asennus, pääsee kaikkien tunnistaneiden osalta Hallin (1969) mukaan turvallisuuden tunteeseen tarvittavaan neljän metrin minimitunnistusetäisyyteen.

Tuloksista esiin on syytä nostaa vielä RuudLed 60 asennuksen tulos. Alueelta mitatut keskimääräinen luminanssi ja luminanssin tasaisuudet ovat merkittävästi muita huonompia, mikä varmasti on syynä asennuksen huonoimpiin tunnistusprosentteihin 16–11 metrin etäisyydellä. Kymmenestä metrillä eteenpäin valaisinasennus kuitenkin pysyy tiiviisti muiden lediasennusten joukossa päihittäen hetkellisesti jopa yli neljä kertaa suuremman jalkakäytävän keskimääräisen luminanssin luovan LedZed 120 asennuksen.

#### **6.5.4 Valaistuksen riittävyys**

Koehenkilöt eivät pitäneet mitään valaistusasennusta keskimäärin riittämättömänä, mutta tuloksissa on selkeitä eroja. Kuvaan 61 on merkitty mielipiteet valaistuksen riittävydestä ja siitä miten valaistus asettuu ”liian himmeä”...”liian kirkas” akselille.



**Kuva 61: Koehenkilöt - valaistuksen riittävyys (ylhäällä täysin riittävä, alhaalla täysin riittämätön) ja kirkkaus tai himmeys (ylhäällä liian kirkas, alhaalla liian himmeä)**

Koehenkilöt mielsivät valaistukseltaan eniten riittäviksi HR 150 ja LedZed 120 asennukset, mikä on luonnollista niiden suunnatessa jalkakäytävälle selkeästi eniten valoa. RuudLed 60 asennus sai yllättäen paremman riittävyyden arvosanan kuin sitä kaikin puolin paremmat mittaustulokset saaneet Archilede 84 ja suurpainenatrium asennukset. Archilede 84:n huonompaa tulosta voisi selittää asennuksen tarkasti valoa ajoradalle rajaava luonne. Ajoradalle luodaan lähes neljä kertaa korkeampi keskimääräinen luminanssi kuin jalkakäytävälle ja ympäristöön pääsee hajavaloa todella vähän. Tämä ehkä johtaa pimeämmältä tuntuvaan jalkakäytävään. Suurpainenatriumlamppuja käyttävän valaisinasennuksen RuudLed 60 asennusta huonompi tulos ei selity ajoradan keskimääräisellä luminanssilla tai luminanssin tasaisuuksilla koska ne ovat vastaavat kuin jalkakäytävällä.

**Taulukko 28: Asennusten mittaustulokset jalkakäytävältä**

	RuudLed 60	HR 150	LedZed 120	Archilede 84	HPS
<b>Lav</b>	0,34	1,09	1,50	0,53	0,45
<b>Uo</b>	0,25	0,71	0,50	0,47	0,72
<b>UI</b>	0,17	0,58	0,50	0,43	0,62

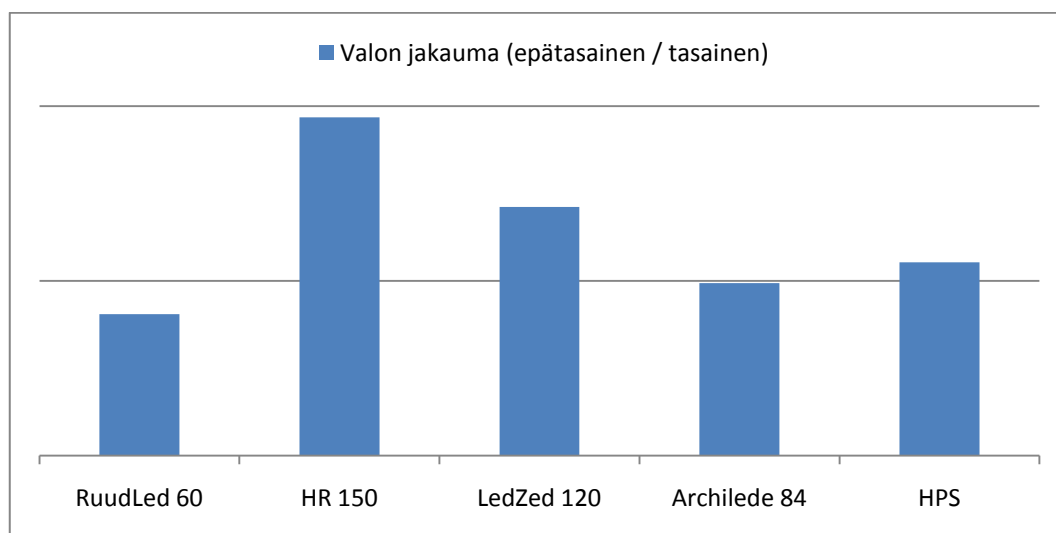
Valaistusasennuksia pidettiin lediryhmien osalta keskimäärin käytännössä sopivan kirkkaina LedZed 120:n ja Archilede 84:en saadessa hieman kirkkaampaan päin asettuavat arvot. Suurpainenatriumlamppuvalaisinasennusta pidettiin sen sijaan keskiarvoltaan himmeänä huolimatta siitä, että valaistusta pidettiin kuitenkin myös riittävänä. RuudLed 60 ja Archilede 84 olivat ainoat asennukset, joiden kohdilla jotkut koehenkilöistä kuvasivat niitä valaistukseltaan riittämättömiksi, mutta silti liian kirkkaiksi. Tämä viitanee koehenkilöiden huomioineen tässä yleisen luminanssin epätasaisuuden mutta silti joillain kohdin korkean jalkakäytävän luminanssin. Nämä ryhmät saivat mittauksissa muita huonommat tasaisuuksien arvot, kuten taulukosta 28 on todettavissa.

Valaisinasennusten kirkkautta tai himmeyttä käsitelleen kysymyksen vastauksissa on huomattavissa yksi erikoinen piirre. Kirkkauden ja himmeyden kokemukset ovat linjassa eri ryhmien valaisimien tuottaman valon väriämpötilan kanssa. Sopivina pidetyt RuudLed 60 ja HR 150 tuottavat valoa, jonka väriämpötila on alle 3500 K. Kirkkaiksi mielletyt LedZed 120 ja Archilede 84 luovat valoa yli 6000 K

väriämpötilalla. Selkeästi suuremmalla erolla himmeänä pidetty HPS ryhmä taasen luokellertävää noin 2000 K valoa. Knightin (2010) valon spektrin vaikutusta turvallisuuteen ja mukavuuteen tutkimusten kenttäkokeiden tulokset ovat yhteneväisiä käyttäjätutkimuksen tuloksien kanssa. Valkoisella valolla tehdyt asennukset koettiin Knightin tutkimuksessa kirkkaammiksi kuin suurpainenatriumlampuilla luodut keltaisen valon asennukset.

### 6.5.5 Valon tasaisuus

Tasaisuutta arvioitiin muista kohdista poiketen kolmen ympyrän asteikolla välillä ”tasainen”...”epätasainen”. Saadut tulokset ovat kuvassa 62. Koehenkilöiden arviot valon tasaisuudesta olivat hyvin lähelle mitattuja taulukossa 28 esotettyjä arvoja. RuudLed 60 asennus, joka sai mittauksissa selkeästi huonoimmat tulokset muun muassa ympäristönsä puiden aiheuttamien varjojen takia, on koehenkilöidenkin mielestä epätasainen. Seuraavaksi huonoimman jalkakäytävän tasaisuustuloksen koehenkilöiltä saanut Archilede 84 asennus on myös mittauksien osalta samalla sijalla. Myös LedZed 120 ja HR 150 asennusten valon tasaisuusarviot olivat mittaustuloksiin nähden oikeassa suhteessa toisiinsa, mutta muita asennuksia suuremmat keskimääräiset luminanssit ja etenkin HR 150 asennuksen ympäristön runsas valaistus nostaa arvioita suhteettoman korkealle muihin verrattaessa. Vähäinen vastausvaihtoehtojen määrä voi olla syynä liiallisen korkeisiin arvoihin. Mittauksissa kaikista viidestä asennuksesta parhaat jalkakäytävän luminanssin tasaisuudet saanut suurpainenatriumlamppuvalaisinasennus ansaitsee koehenkilöiltä jostain syystä joukossa keskinkertaisen tuloksen. Syy alhaiseen tulokseen verrattuna muihin asennuksiin voi olla toiseksi matalimmassa keskimääräisessä luminanssissa, valon väriämpötilassa, valon värinointokyvyssä tai jossain muussa tekijässä.

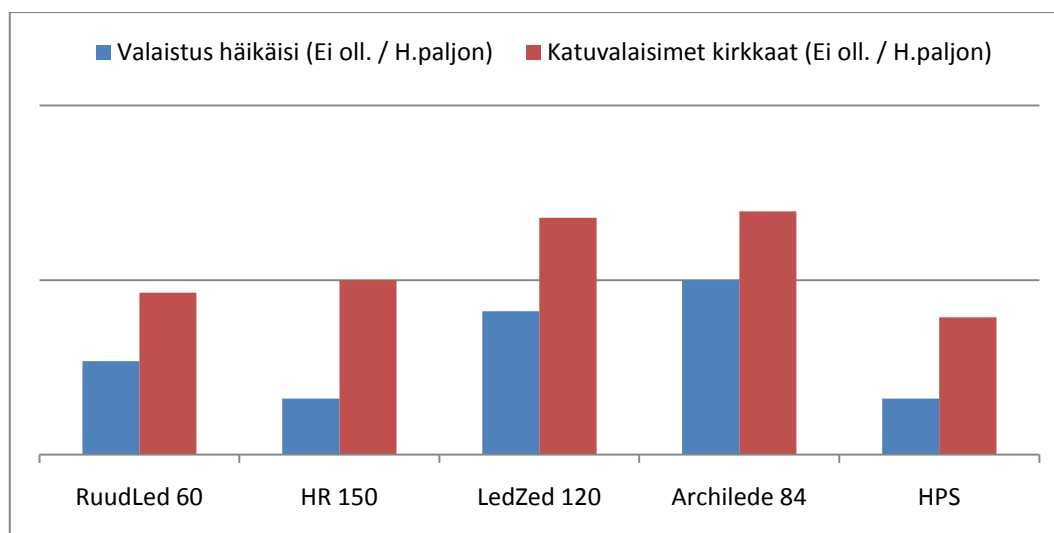


Kuva 62: Koehenkilöt - valon jakauma kävellyn tien pinnalla (ylhäällä tasainen, alhaalla epätasainen)

### 6.5.6 Valaistuksen häikäisy

Häikäisyn arviointi näytti olevan hankalimpia tehtäviä käyttäjäkokeessa. Tuloksia tarkastellessa vaikuttaisi siltä, että koehenkilöt ovat tarkastelleet yllänsä olleita valaisimia ja tulokset ovat melko hyvin linjassa valaisimien tuottaman valovirran ja yllättäen taas myös valaisimien tuottaman valon väriämpötilan kanssa. Kuvantavalla luminanssimittarilla *TI*-arvot eivät ole linjassa koehenkilöiden antamien tulosten kanssa.

Käyttäjätutkimuksen tulokset ovat kuvassa 63 ja valaisimien mitatut arvot taulukossa 29.



**Kuva 63: Koehenkilöt - valaistuksen häikäisy ja valaisimien kirkkaus (ylhäällä hyvin paljon, alhaalla ei ollenkaan)**

Katuvalaisimien kirkkauden arviointi ei sekään tuottanut tuloksia, jotka olisivat linjassa mitattujen estohäikäisyn *TI* arvojen kanssa. Kirkkauden arviot menivät melko lailla linjassa valaisimien valon värilämpötilojen kanssa, mutta jälleen myös hieman valovirran mukaan. Tuloksista voisi päätellä häikäisyä tunnettaessa eri tavalla jalan ja pyörällä liikuttaessa, kuin ajettaessa esimerkiksi autoa. Kevyt liikenne katsoo huomattavasti lähemmäs liikkuessaan ja seuraa välitöntä ympäristöään enemmän kuin autoilija. Ympäristön kirkkaus saattaa vaikuttaa tuloksiin huomattavasti, mikä selittäisi ainakin koehenkilöiden antamat HR 150 asennuksen alhaisen ja Archilede 84 asennuksen korkean häikäisyn arvosanan.

**Taulukko 29: Eri asennusten valaisinten mittaustulokset**

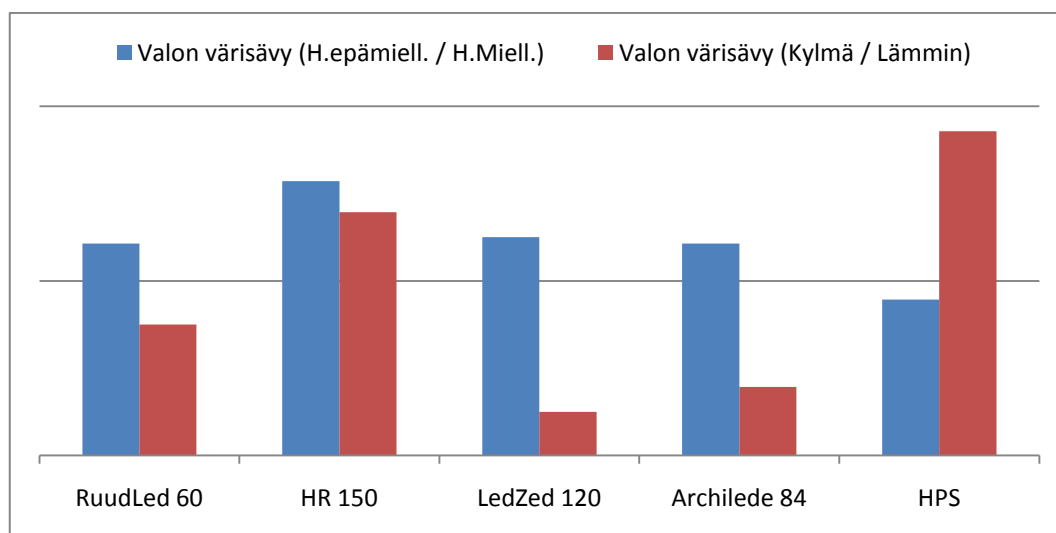
	RuudLed 60	HR 150	LedZed 120	Archilede 84	HPS
<b>Estohäikäisy</b>	13 %	8 %	7 %	10 %	11 %
<b>Värilämpötila</b>	3469 K	3220 K	6661 K	6155 K	< 2000 K
<b>Valovirta</b>	6319 lm	5280 lm	7879 lm	6320 lm	ei mitattu

### 6.5.7 Valon väri

Koehenkilöiden arviot valon väristä eri asennuksissa osuivat oikeaan. Kuvassa 64 olevat tulokset korreloivat täysin taulukossa 29 olevien mittaustulosten kanssa vain HR 150 ryhmää lukuun ottamatta. Valaisimen värilämpötila arvioitiin mitattua tulosta lämpimämmäksi ehkä sen takia, että valon väri saattaa olla nykyisin laboratoriossa mitattua lämpimämmän sävyistä. Valaisimien optiikat vaikuttavat kellastuneen ulkona ja valo näyttää silmämääräisesti huomattavasti lämpimämmän sävyiseltä kuin vieressä olevien RuudLed 60 valaisimien valo.

Valon värisävyltään miellyttävimmäksi koettiin HR 150 asennus. Kaikki ledivalaisimet arvioitiin valon värisävyltään miellyttävän puolelle. Suurpainenatriumlamppuja käyttävän valaisinasennuksen valoa pidettiin epämiellyttävänä. Kukaan koehenkilö ei antanut HR 150 valaisinasennuksen valolle arvosanaksi epämiellyttävä tai hyvin epämiellyttävä. Asennuksen erikoisen positiivinen tulos saattaa johtua valaisinryhmän

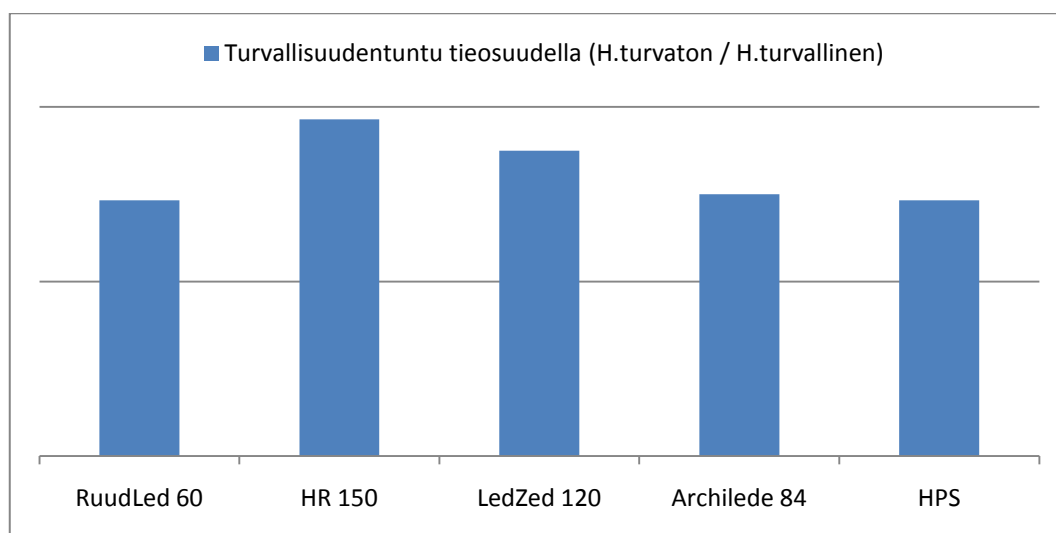
muista asennusryhmistä poikkeavasta vehreästä ja tien ulkopuolelta vahvasti valaistusta ympäristöstä. Valaisimen valon värintoistokykykin on sama 71 kuin toisella ledivalaisinten ryhmän heikoimman arvon saaneella Archilede 84:llä.



**Kuva 64: Koehenkilöt - valon värisävyn miellyttävyys (ylhäällä hyvin miellyttävä, alhaalla hyvin epämiellyttävä) ja valon värilämpötila (ylhäällä lämmin, alhaalla kylmä)**

### 6.5.8 Turvallisuuden tunne

Kaikkien valaisinasennusten alueita pidettiin turvallisina. Koehenkilöiden vastausten keskiarvot ovat kuvassa 65. Muita suuremmat jalkakäytävän keskimääräiset luminanssit luovat HR 150 ja LedZed 120 saivat alueelleen hieman muita turvallisemman mielipiteen.

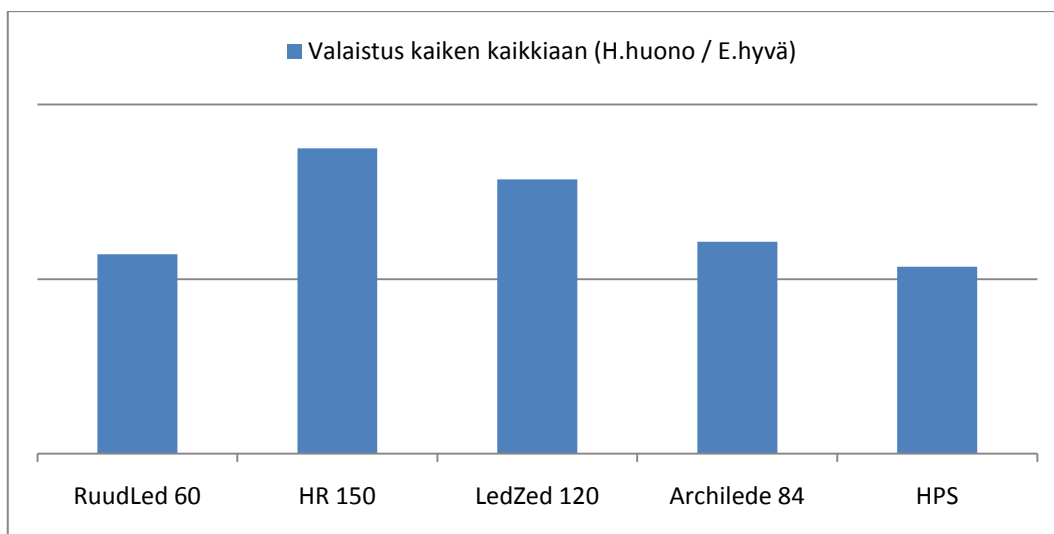


**Kuva 65: Koehenkilöt - turvallisuudentuntu tieosuudella (ylhäällä hyvin turvallinen, alhaalla hyvin turvaton)**

Useimmat koehenkilöt tunsivat Otaniemen ympäristön todella hyvin. Otaniemeä pidetään yleisesti turvallisena ympäristönä ja asiaa kommentoitiin myös. Yksi koehenkilöistä kertoi vastanneensa huomattavasti korkeampia turvallisuudentuntuarvioita vain sen takia, että oltiin Otaniemessä. Turvallisuuden tunnetta valaisinryhmittäin kommentoitaessa tunnuttiin arvioivan muutenkin asennuksien ympäristöä, ei niinkään valaistuslopputulosta.

### 6.5.9 Yleisarviot valaistukselle

Kaikki ledivalaistusasennukset arvioitiin kokonaisuutena keskinkertaisen yläpuolelle. Suurpainenatriumlamppuvalaisinmasennus ei jäänyt merkittävästi huonommiksi kahdesta arvioiduista lediosuudesta, mutta selkeästi suurimmat jalkakäytävän keskimääräiset luminanssit luovat parhaimmiksi arvioidut lediasennukset voittavat kolme muuta yleisarviossa selkeästi. Valaistusten koehenkilöiltä saamien yleisarvosanojen keskiarvot ovat kuvassa 66.



Kuva 66: Koehenkilöt - valaistuksen yleisarvosana (ylhäällä erittäin hyvä, alhaalla hyvin huono)

Suurpainenatriumlamppuvalaisinmasennus sai arvioita koko skaalan poikki, erittäin huonosta erittäin hyvään. RuudLed 60 ja Archilede 84 saivat arvioita kahdesta viiteen eli huonosta erittäin hyvään ja parhaiten yleisarviossa pärjänneet HR 150 sekä LedZed 120 saivat koehenkilöiltä arvioita kolmesta, eli keskinkertaisesta, viiteen.

## 6.6 Yhteenveto

Selviä arvioita eri valaistusasennusten paremmuudesta toisiinsa nähden on toteutetun käyttäjätutkimuksen tulosten pohjalta vaikea tehdä. On haasteellista selvittää eroja Tietotien eri ledivalaisimilla sekä suurpainenatriumlamppuvalaisimilla valaistujen tieosuuksien välillä, koska asennusolosuhteet ovat hyvin vaihtelevia. Lisäksi jokaista eri valaisintyyppiä on käytössä vain neljän valaisinpylvään matka, minkä takia seuraavan valaisintyyppin valaisema osuus on mahdollista nähdä jo edelliseltä alueelta.

Ympäristöseikkojen takia voisi olla perusteltua jättää yksittäisten lediasennusten arviointi ja todeta käyttäjätutkimuksen lopputulos Tietotien valaistuksesta kokonaisuutena. Ledeillä valaistua Tietotien jalkakäytävää pidetään vähintään yhtä hyvänä, usein jopa parempana, kuin verrokkina toiminutta suurpainenatriumlampuilla valaistua jalkakäytävää. Lediasennuksia osittain parempia arvioita suurpainenatriumlamppuvalaisinmasennus sai ainoastaan häikäisystä kysyttäessä. Häikäisyn arvioiminen silmämääräisesti on vaikeaa. Sen sijaan asiaan perehtymätönkin huomaa tasaisen ja epätasaisen valaistustuloksen eron. Kysymyksistä selvisi myös, ettei pimeitä alueita toivota pylväiden väleihin. Koska valon jakaumaa osataan arvioida, on jatkossa vastaavissa käyttäjätutkimuksissa syytä käyttää sitä selvitettyä viiden pykälän asteikkoa nyt käytetyn kolmipykäläisen sijaan.

Hahmontunnistusetäisyyttä tutkittaessa lediasennukset olivat keskimääräisen etäisyyden osalta suurpainenatriumlamppuvalaisinasennuksen kanssa tasoissa tai parempia. Yllättäen kaikki ledivalaisimet olivat hahmon tunnistaneiden määrässä suurpainenatriumlamppuvalaisinasennusta edellä etäisyyden vähetessä kaikkialla paitsi 16 ja 9 m välisellä alueella, jolla osa lediasennuksista jäi suurpainenatriumlamppuvalaistuksesta. Huonoja jalkakäytävän luminanssi- ja luminanssin tasaisuusarvoja puiden takia mittauksissakin saanut RuudLed 60 pärjäsi tunnistustehtävässä myös muiden ledivalaisinten veroisesti yhdentoista metrin jälkeen. Kaikki valaisinasennukset pärjäsivät turvallisuuden tunteeseen vaadittavan Hallin (1969) neljän metrin vähimmäistunnistusetäisyyden suhteen hyvin. Koeasetelma ei tosin välttämättä kuvaa todellista lähestymistilannetta realistisesti tunnistettavan hahmon seistessä paikallaan. Neljän metrin kohdalla hahmon tunnistaneita oli asennuksella LedZed 120 100 %, muilla lediasennuksilla 92 % ja suurpainenatriumlamppuvalaisinasennuksella 85 %.

Käyttäjätutkimuksessa saadut hahmontunnistustulokset eivät korreloineet selkeästi Raynhamin (2004) ja Knightin (2010) tekemien selvitysten kanssa. Niissä valkoisen valon ulkovalaistus mahdollisti suurpainenatriumlamppujen valoa paremman kasvojen tunnistuksen. Vaihtelevat ympäristöt ovat varmasti osasyynä, mutta suurempi koehenkilöiden määrä tarkentaisi tuloksia. Kolmella uudella ryhmällä saman tutkimuksen tekeminen lisäksi mahdollistaisi kaikkien julkisuuden henkilöiden käytön jokaisella eri valaistusosuudella ja näin osittain poistaisi tunnettavuuden vaikutuksen tuloksiin. Käyttäjätutkimuksessa olisi kannattanut lisäksi tehdä mittaukset valaisinasennusten puolisyylinteri- sekä mahdollisesti vertikaalisen valaistusvoimakkuuden selvittämiseksi, jotta niiden vaikutusta osuuksien tuloksiin olisi pystytty tutkimaan.

Sanallisista kyselyistä selvisi, että valaistusta halutaan turvallisuuden ja liikkumismukavuuden edistämiseksi. Luotettavaa valaistusta arvostetaan kevyen liikenteen keskuudessa merkittävästi. Tutkimustuloksista taasen havaittiin, että selkeästi valaistu ympäristö lisää miellyttävyyttä. Käyttäjien vastauksissa ei huomattu selkeitä mieltymyseroja 6000 ja 3000 K valkoisen valon välillä. Korkeamman ekvivalentin värilämpötilan ledivalaisimia ei ole siis syytä vältellä matalamman värilämpötilan miellyttävyydellä perustellen.

Landoltin C optotyyppiä käyttämällä on mahdollista saada suuntaa antavaa tietoa näkemisestä eri valaisinasennusten alla. Tämä on mahdollista etenkin, kun osuudet ovat ulkoisesti toisiaan vastaavat. Tietotien tapauksessa optotyyppien käyttö ei kuitenkaan soveltunut tien muotojen ja ympäristön takia valaistuksen arvioimiseen.



## 7 Johtopäätökset

Suomen tieverkon pituus on noin 454 000 kilometriä. Tästä on tarkkaa tilastotietoa Liikenneviraston 78 161 maantiekilometriltä, kuntien 27 743 katukilometriltä sekä kuntien tai tiekuntien hoitamilta 89 631 yksityistiekilometriltä. Näiden 195 535 kilometrin ulkopuolelle jää vielä noin 260 000 kilometriä yksityisteitä. Siitä noin 120 000 kilometriä on rakennettua metsäautotietä, noin 110 000 ajokelpoisia metsä- tai mökkiteitä ja runsas 30 000 kilometriä ajouria, pihateitä ja muuta jäljelle jäävää yksityistietä. Suomessa kevyen liikenteen väyliä on Liikenneviraston tai kuntien ylläpidettävänä yhteensä 18 147 kilometriä.

Tilastotiedon piiriin kuuluvista tiekilometreistä eniten on Pohjois-Savon ELY-keskuksen alueella ja toiseksi eniten Uudellamaalla sekä Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ELY-keskusten alueilla. Pohjois-Savon alueella on eniten maantie- ja yksityistiekilometrejä, kun taas eniten katukilometrejä on Uudenmaan ELY-keskuksen alueella. Myös Varsinais-Suomen ja Etelä-Pohjanmaan ELY-keskusten alueilla on suhteellisen paljon tilastoituja tiekilometrejä verrattuna muihin viiteen alueeseen. Kevyen liikenteen väylät jakautuvat epätasaisemmin. Uudellamaalla on noin kolminkertainen määrä kevyen liikenteen väyliä muihin ELY-keskuksiin nähden.

Tieverkon valaistuksesta on tilastoitua tietoa ainoastaan maanteiden osalta. Yksityisteiden tiedetään olevan suurimmilta osin valaisemattomia ja päällystämättömiä. Maantiekilometreistä 16 % on valaistu. Valaistus, maantien päällystetyypin tavoin, käyttäytyy suhteessa samalla tavalla vuotuisen liikennesuoritteiden ja keskimääräisen vuorokausiliikenteen nousuun. Siirryttäessä yhdysteistä seututien ja kantatien kautta valtateille liikennesuorite ja vuorokausiliikenne kasvavat. Tämän myötä valaistu prosentuaalinen osuus tiepituudesta kasvaa, soratie muuttuu kevytpäällysteeksi ja edelleen kestopäällysteeksi.

On harmillista, että nykyisistä kuntien tievalaistusratkaisuista ei ole olemassa kokoavaa tietolähdettä. Voisi kuitenkin olettaa, että jokainen kunta ylläpitää omista valaistusratkaisuistaan jonkinlaista tietokantaa, mistä olisi helppo siirtää tietoja eteenpäin Tilastokeskukselle tai Kuntaliitolle. Kokoavan tietokannan toteuttamista ei aikaisemmin ehkä ole nähty tarpeelliseksi ja kannattavaksi, mutta juuri nyt ulkovalaistusratkaisuiden muotoutuessa uudelleen, olisi tarkkoihin lukuihin perustuva tiedote hyödyllinen varmasti niin valaisinvalmistajille kuin kunnillekin. Se mahdollistaisi perustellummat tulevaa koskevat päätökset ja yhteistoiminnan ostajien suunnalla sekä paremman tarjonnan myyjäsektorilla.

Uusien lediteknikalla toteutettujen ulkovalaisinasennusten määrä kasvaa jatkuvasti. Vuotta 2010 kartoitettaessa selvitettyt asennukset ovat valaisintehoiltaan aikaisempaa suurempitehoisia yltäen 140 W tuotteisiin, mutta joista suurin osa jää kuitenkin valaisintehoiltaan 100 W alapuolelle. Myös valon värilämpötila on noussut edellisiin selvityksiin verrattuna. Nykyisin lähes kaikki lediasennukset tehdään 4 000 K ja 6 500 K välillä olevaa valoa käyttäen. Tämä parantaa niin lediteknologian valotehokkuutta kuin mesooppisen näkemisen hyötysuhdetta verrattuna aiempiin 3000 K asennuksiin.

Osaa tehdyistä lediasennuksista pidetään onnistuneina, mutta asennuksissa nähdään yhä kuitenkin myös ongelmia. Kaikkialla häikäisy, valon rajautuminen, valotehon riittävyys tai tekninen laatu eivät vastaa odotuksia. Lisäksi valmistajien tapa jättää ledituotteiden kokonaiskulutus ilmoittamatta aiheuttaa päänvaivaa. Tulevaisuudessa ledivalaisinten

teknologia kehittyi, lastentaudeista päästään eroon, valikoima kasvaa ja etenkin tuotteiden valotehokkuus paranee. Kasvava valotehokkuus mahdollistaa säästöjä, kun tuotteiden hintataso laskee. Kysynnän kasvaessa tuotteiden myynti siirtyy yhä enemmän pois valmistajilta, ja tehtyjen asennusten selvittäminen koko Suomen mittakaavassa vaikeutuu merkittävästi.

Työssä selvitettiin monentyypisten katuvalaisimien teknisiä ominaisuuksia mittaamalla valaisimia Valaistusyksikössä. Mitattuja ledivalaisimia oli niin linsseillä kuin heijastimillakin toteutetulla valonjaolla. Purkauslampputekniikan malleja edustivat induktiolamppuvalaisin ja useita suurpainenatriumlamppuvalaisimia. Lisäksi tutkittiin kahden erityyppisen vanhan valaisimen päivittämistä eri valonlähteitä käyttämällä.

Mittauksissa selvisi, että valaisimen oikeanlainen suunnittelu on todella tärkeää. Huono valaisin vähentää merkittävästi valotehokkaasta valonlähteestä saatavaa hyötyä. Suunnittelun tärkeys korostuu ledivalaisimissa, joissa valonlähde on integroitu valaisimeen aivan uudessa mittakaavassa, eivätkä päivitykset tai muutokset ole aina jälkeinpäin edes mahdollisia. Mitattujen perinteisiä lampuja käyttävien uusien valaisimien valotehokkuus ja ajorataa kohti suuntaavat valonjako-ominaisuudet ovat hyvin toistensa kaltaiset, mutta ledituotteissa on merkittäviä eroja molemmissa ominaisuuksissa.

Mitattujen ledivalaisimien valotehokkuus vaihteli suurpainenatriumlamppuvalaisimien kanssa kilpailukykyisen ja merkittävästi niitä huonomman välillä. Ledituotteita oli myös useissa valovirtaluokissa, ja niistä tehokkaimmat kilpailevat jo 100 W suurpainenatriumlamppua käyttävien valaisimien kanssa. Mitatuissa ledivalaisimissa käytettiin ledejä, joiden värielämpötila oli 3200–6600 K ja jotka toistivat värejä vaihdellen värintoistoindeksin tievalaistuskäyttöön täysin riittävästä arvosta  $R_a = 70$  sisävalaistuksessa käytettyyn arvoon  $R_a = 85$  asti. Ledivalaisimien valonjaon suurin selkeä jakava tekijä on valovirran suuntaus joko tien poikittaissuunnassa kohti ajorataa tai suoraan valaisimesta alaspäin. Valonjaon muoto on otettava tarkasti huomioon asennusta suunniteltaessa ja tarvittava valaisimen kallistus on selvitettävä, jotta valonjaosta saadaan toivotun kaltainen. Tien suuntainen valonjako vaihtelee malleittain myös merkittävästi vaikuttaen täten sopiviin pylväskorkeuksiin ja -väleihin.

Mittauksissa selvisi, että toiset ledivalaisimet pärjäävät ominaisuuksiltaan jo nyt moderneille perinteisiä valonlähteitä käyttäville tievalaisimille. Mikäli tuotteiden luotettavuus on kunnossa, on ainoastaan hinta esteenä todelliselle kilpailulle. Lisäksi ledituotteiden etuna ovat niiden mahdollistamat mitä erilaisimmat valon ohjaus- ja säätöratkaisut. Aika tulee näyttämään niiden vaikutuksen markkinoiden muotoutumisessa. Ledivalaisimien mahdollisuudet lisääntyvät ledien ja valaisinvalmistajien jatkuvan kehitystyön myötä. Suuremmilla valovirroilla päästään isommille teille ja paremmilla hyötysuhteilla mahdollistetaan ledivalaisinasennusten todelliset säästöt.

Työn mitattiin katuvalaistusasennuksia kuvantavalla luminanssimittarilla. Niihin kuului uusia ledivalaisinasennuksia ja uusia sekä vanhoja purkauslamppuvalaisinasennuksia. Mittausten yhteydessä huomattiin todellisten ympäristöjen olevan kaukana simulaatioiden malleista, sillä lehdet, mäet ja mutkat haittaavat mittaamista sekä valaistuslopputulosta. Näistä ongelmista huolimatta mittauksissa huomattiin, että kaikista tutkituista asennuksista vain yksi täytti kaikki tieosuuden valaistusluokan vaatimukset, kun määrän ajoradan lisävaatimukset jätettiin huomioimatta.

Tulosten perusteella on syytä kysyä, vaaditaanko uusilta valaisimilta liikaa, kun uudet perinteisen lampputeknologian valaisimet eivät vanhojenkaan valaisimien tapaan täytä tiealueidensa valaistusteknisiä vaatimuksia. Kaikki valaisinasennukset, joilta pystyttiin mittaamaan estohäikäisy, selvisivät AL-luokkien vaatimuksesta. Määräykset täyttävät häikäisyominaisuudet ovat positiivinen tulos juuri häikäisevinä pidetyille ledivalaisimille. On mahdollista, että ledivalaisimet kiinnittävät erikoisuutensa takia arvostelijoiden huomion ja häikäisyä koetaan nimenomaan valaisimia tutkiessa, ei niinkään liikuttaessa niillä valaistulla alueella. Häikäisyarvoiltaan mitattujen ledivalaisimien tulosten perusteella tämä on mahdollista, sillä perinteinen suurpainenatriumlamppuvalaistus saa vastaavanlaisen estohäikäisyn arvon. Mitattuja asennuksia ei pidetty häikäisevinä myöskään käyttäjätutkimuksessa.

Kevyen liikenteen käyttäjätutkimus tehtiin hyvin vaihteleviin ympäristöihin asennetuilla lyhyillä valaistusasennusosuuksilla. Tämän takia absoluuttisia arvoja ja vertailuja ei ole kannattavaa tehdä eri valaisinmallien välillä. Tuloksista on kuitenkin selkeästi nähtävissä, että ledivalaistus koetaan kevyen liikenteen kannalta yhtä hyväksi tai jopa paremmaksi kuin perinteinen suurpainenatriumlamppuvalaistus.

Käyttäjäkyselyssä erilaisilla kysymyksillä arvioidut valaistuksen yleisarvosana, riittävyys ja kirkkaus, valon tasaisuus ja värilämpötila sekä koettu turvallisuuden tunne olivat lediasennuksilla aina joko verrattavia tai jopa merkittävästi parempia kuin suurpainenatriumlamppuvalaisinasennuksella. Ainoastaan häikäisyä arvioitaessa ledivalaistusten tulokset olivat valaisintyypistä riippuen parempia tai myös huonompia kuin suurpainenatriumlamppuvalaisinasennuksella. Hahmontunnistustehtävän tulokset ovat linjassa mieltymyksiä käsitteiden kysymysten tulosten kanssa. Tunnistusetäisyyttä tutkittaessa lediasennukset olivat keskimääräisen etäisyyden osalta suurpainenatriumlamppuvalaisinasennuksen kanssa tasoissa tai sitä parempia. Hahmontunnistuksen kannalta turhan pienen 16 hengen koehenkilöryhmän takia tuloksissa on vielä poikkeamia, mutta parempien värintoisto-ominaisuuksien valkoinen ledivalo vaikuttaisi johtavan verrattain hyviin tuloksiin etenkin pitkällä yli 16 m ja lyhyemmällä alle 11 m etäisyyksillä. Kaikki lediasennukset sijoittuivat suurpainenatriumlamppuvalaisinasennusta paremmin Hallin (1969) neljän metrin vähimmäistunnistusetäisyyden kohdalla. Jatkossa vastaavaa hahmontunnistusta toteutettaessa tulisi mitata valmisteluvaiheessa hahmojen sijaintien vertikaalinen- tai puolisyylinterimäinen valaistusvoimakkuus, jotta saatuja tuloksia voitaisiin paremmin verrata.

Sanallisista käyttäjäkyselyistä selvisi, että valaistus on kevyelle liikenteelle erittäin tärkeää turvallisuuden ja liikkumismukavuuden kannalta. Valaistuksen luotettavuus, luminanssin riittävyys ja sen tasaisuus mainitaan valaistuksen tärkeimmiksi ominaisuuksiksi kevyen liikenteen kannalta. Koehenkilöiden vastauksissa ei huomattu selkeitä mieltymyseroja 6000 K ja 3000 K valkoisen valon välillä. Tämä on hyvä asia mesooppisen mitoituksen ja valkoisen valon lediteknologian kannalta. Korkeamman värilämpötilan ledivalaisimet ovat niin valotehokkuudeltaan kuin myös mesooppiselta mitoitukseltaan parempia. Valmistajilla tai päättäjillä ei ole täten syytä vältellä korkeamman ekvivalentin värilämpötilan ledivalaisimia.

Tutkimustuloksista havaittiin, että selkeästi valaistulla ympäristöllä saattaa olla kevyen liikenteen kannalta miellyttävyyttä lisäävä vaikutus. Ledivalaisimilla on mahdollista toteuttaa entistä tarkempia valaistun alueen rajauksia. Päättäjien tulisikin harkita, kuinka tarkasti ajoradan valaistusta on tarpeellista rajata kohteissa, joissa tievalaistusta käytetään myös jalkakäytävän tai kevyen liikenteen väylän valaisemiseen. Ympäristöön

karkaava hajavalon ei vaikuttaisi olevan aina pelkästään hukattua sähkötehoa, vaan se saattaa vaikuttaa merkittävästi valaistuksen riittävyyden tunteeseen kevyen liikenteen kannalta.

Työssä selvinneiden asioiden pohjalta voidaan antaa suosituksia ja tehdä arvioita ledivalaistuksen lähitulevaisuudesta. On varmaa, että ledivalaisimien myynti ulkovalaistukseen kasvaa jatkuvasti valaisimien tarjoamien teknisten etujen ansiosta. Valaisinvalmistajien kannattaa ehdottomasti panostaa uusien tuotteiden laatuun. Päätäjät saadaan ostamaan kalliimpia ja pitkäikäisiksi luvattuja ledivalaisimia vain, jos niiden antamat lupaukset kantavat koekäytössä ja pienemmissä asennuksissa. Muussa tapauksessa on vaarana, että usko tuotteisiin murtuu ja sen palauttaminen tulee kalliiksi kaikille osapuolille.

Tievalaisinvalmistajat siirtynevät ledivalaisimissa yhä enemmän korkean värilämpötilan valon käyttöön, jolloin ledien ja myös valaisimien valotehokkuus on parempi. Käyttäjätutkimuksen tulosten ja mesooppisen mitoituksen perusteella päätäjillä ei ole syytä välttää niitä. Lämpimämmän valkoisen valon tuotteet kannattaa tulevaisuudessa jättää muihin kohteisiin, kuten yksityisasuntojen sisävalaistukseen. Korkeamman värilämpötilan ohella on mahdollista, että ledejä optimoidaan paremmalle valotehokkuudelle laskemalla katuvalaistuskäytössä niiden värintoistokykyä. Tämä ei luone merkittäviä eroja käytännön katuvalaistussovelluksissa, mutta saattaa nostaa ledien ja tätä kautta valaisimien valotehokkuutta.

Lähivuosina ledituotteilla toteutettujen tievalaistusasennusten koon kasvaessa aletaan valaisimilta varmasti vaatia myös yhä enemmän huolto-, päivitys- ja korjausmahdollisuuksia. Mitatuissa valaisimissa oli jo joitain malleja, joissa osien vaihtaminen on mahdollista, mutta tulevaisuudessa työn on muututtava yhä yksinkertaisemmaksi. Huoltotoimilta tullaan vaatimaan varmasti liitäntälaitteen tai ledimoduulin rikkouduttua samaa helppoutta, kuin mitä lampun vaihdolta nykyään. Valaisinvalmistajien tulisi panostaa sopivien moduuliratkaisuiden kehittämiseen. Olisi veronmaksajienkin kannalta ikävää, että nykyisten koeasennusten kaltaisten kertakäyttövalaisimien kulutusta jatkettaisiin.

Kaiken kaikkiaan lediulkovalaistuksen tulevaisuus näyttää hyvältä. Päätäjien kiinnostus ja sijoitukset ledivalaisimia kohtaan lisääntyvät varmasti jatkuvasti, kunhan valaisinvalmistajat panostavat laatuun ja valaisinten valotehokkuus sekä valovirrat jatkavat nykyisen kaltaista kasvuaan. Liikenneviraston tyyppihyväksytyjen tievalaisimien listalla on alemmille valaistusluokille jo muutamia ledivalaisimia. Pienellä hienosäädöllä monet työssä tutkitut valaisimet tulevat täyttämään alempien valaistusluokkien vaatimukset. Kevyelle liikenteelle tuotteet sopivat jo nyt.

## Lähdeviitteet

Anttila, Virpi. 2010. Kurssin Tu-53.1460 Liikennepsykologia luennot. Aalto yliopiston Teknillinen korkeakoulu, Espoo, 2010

CIE 127:2007. Measurement of LEDs (2<sup>nd</sup> ed.), International Commission on Illumination 2007. ISBN 978 3 901 906 58 9

CIE. 2010. CIE NEWS Number 92, heinäkuu 2010. CIE Central Bureau. Viitattu 24.8.2010, saatavissa: [http://files.cie.co.at/584\\_news92.pdf](http://files.cie.co.at/584_news92.pdf)

De Boer, J. B., Cohu, M., De Graaff, A. B., Knudsen, B. & Schreuder, D. A. 1967. Public Lighting. Philips technical library. N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, The Netherlands, 1967.

Dial4Light. 2010. Stadwerke Lemgo Consult GmbH, dial4light - Licht per anruf! Viitattu 30.8.2010, saatavilla: <https://www.dial4light.de/dial4light/d4IDefault.do>

Eduskunta. 1962. Laki yksityisistä teistä 15.6.1962/358. Viitattu 2.11.2010, saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1962/19620358>

Eduskunta. 1999. Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132. Viitattu 28.10.2010, saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

Ekrias, Aleksanteri. 2010. Development and Enhancement of Road Lighting Principles. Tohtorin väitöskirja. ISBN 978-952-60-3082-1. Viitattu 10.8.2010, saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Diss/2010/isbn9789526030838/>

Ekrias, Aleksanteri, Eloholma, Marjukka & Halonen, Liisa. 2008. An advanced approach to road lighting design, measurements and calculations. Espoo, Finland: Helsinki University of Technology. 51 pages. Helsinki University of Technology, Department of Electronics, Lighting Unit, Report 53. ISBN 978-951-22-9661-3. Viitattu 13.12.2010, saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Diss/2010/isbn9789526030838/>

ELY. 2010. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus -internetsivut. Viitattu 3.9.2010, saatavissa: <http://www.ely-keskus.fi/>

Eniro. 2010. Internetissä toimiva karttapalvelu joka käyttää Karttakeskuksen karttoja. Helikopterikuvat eniro.fi sivustolle toimittaa Blom. Viitattu 3.9.2010, saatavissa: <http://kartat.eniro.fi/>

Grönroos, Matti. 2010. Kyläteistä valtavyliin - Suomen päätteiden kuvauksia ja historiaa -sivusto. Viitattu 30.7.2010, saatavissa: <http://www.mattigrönroos.fi/Tiet/>

Hall, Edward T. 1969. The hidden dimension. Doubleday & Company, Inc., Garden City, New York, Anchor Books edition 1969. 217 sivua. ISBN: 0-385-08476-5

Häkkinen, Sauli & Luoma, Juha. 1991. Liikennepsykologia. Otatiето 534. Hämeenlinna 1991. ISBN 951-672-110-9

IES LM-79-08. IES approved method for the electrical and photometric measurements of solid-state lighting products, Illuminating engineering society. 2008. ISBN 978-0-87995-226-6

IES LM-80-08. IES approved method for measuring lumen maintenance of LED light sources, Illuminating engineering society. 2008. ISBN 978-0-87995-227-3

Jaatinen, Saara. 2010. The use of LEDs in pedestrian ways, parking areas and parks- A user study. Diplomityö. Aalto-yliopiston Teknillinen korkeakoulu, Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta. Espoo. 97 sivua.

Khanh, Tran Quoc. 2010. Energy Efficient LED Lighting -seminaari. Laboratory of Lighting Technology - Research & Education -luento. Aalto yliopiston valaistusyksikkö, 10.9.2010, Espoo.

Knight, C. 2010. Field surveys of the effect of lamp spectrum on the perception of safety and comfort at night. Lighting Research and Technology, kesäkuu 2010 vol. 42 no. 2 313-329. Viitattu 4.1.2011, saatavilla tiivistelmä:

<http://lrt.sagepub.com/content/42/3/313>

Liikennevirasto. 2009. Tieverkko -internetsivu. Viitattu 30.7.2010, saatavissa:

[http://www.tiehallinto.fi/servlet/page?\\_pageid=71&\\_dad=julia&\\_schema=PORTAL30&\\_menu=5197&\\_pageid=71&linkki=1018&julkaisu=552&kieli=fi](http://www.tiehallinto.fi/servlet/page?_pageid=71&_dad=julia&_schema=PORTAL30&_menu=5197&_pageid=71&linkki=1018&julkaisu=552&kieli=fi)

Liikennevirasto. 2010a. Tietilasto 2009 - Suomen virallinen tilasto - Liikenne ja matkailu 2010. Edita Prima Oy, Helsinki 2010. ISSN 1795-5165, 1796-0479 (pdf). Viitattu 8.7.2010, saatavissa:

[http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/fi/palvelut/tietopalvelut/liikenneviraston\\_tilastoja/tietilasto2009.pdf](http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/fi/palvelut/tietopalvelut/liikenneviraston_tilastoja/tietilasto2009.pdf)

Liikennevirasto. 2010b. Tievalaistus/sähkö-tiedote nro 7C - Maanteillä käytettävät valaisimet. Liikennevirasto, Tieosasto. Viitattu 30.11.2010, saatavissa:

[http://alk.tiehallinto.fi/thohje/tievalaistus\\_sahkotiedote\\_nro\\_7c\\_13.10.2010.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/thohje/tievalaistus_sahkotiedote_nro_7c_13.10.2010.pdf)

Lumi Group Oy. 2010. Lumi Group toimittaa Vaasaan ensimmäisen erän älykkäitä Lumi R10 SL valaisimia. Viitattu 10.12.2010, saatavilla: <http://www.lumi-group.eu/fi/news/lumi-group-toimittaa-vaasaan-ensimmaisen-eran-alykkaita-lumi-r10-sl-valaisimia>

Migro. 2009. Kartta Suomen moottoriteistä. Wikipediassa 13.12.2009 julkaistu tekijän nimimerkiltään Migro oma teos. Viitattu 28.7.2010, saatavissa:

[http://fi.wikipedia.org/wiki/Tiedosto:Finland\\_motorways.png](http://fi.wikipedia.org/wiki/Tiedosto:Finland_motorways.png)

Muraoka, T. & Ikeda, H. 2007. Experimental Study on Distances of Objects Seen on Flat Panel Display Valuated in Terms of Human Factors. Industry Applications Conference, 2007. 42nd IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2007 IEEE. Sivut 1158 - 1163. ISBN 978-1-4244-1259-4. ISSN 0197-2618. Viitattu 8.9.2010, saatavilla: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4347931&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4347931&tag=1)

Mäkelä, Olli & Kärki, Jutta-Leea. 2004. Tievalaistuksen vaikutus liikenneturvallisuuteen ja ajonopeuksiin. Tiehallinnon selvityksiä 18/2004. TIEH 3200868. Edita Prima Oy, Helsinki 2004. 53+9 sivua. ISSN 1457-9871. ISBN 951-803-247-5

Narendran, Nadarajah. 2010. Energy Efficient LED Lighting -seminaari. LED technology: Current status and future development -luento. Aalto yliopiston valaistusyksikkö, 9.9.2010, Espoo.

NCC. 2010. Asfalttityyppi valitaan käyttökohteen mukaan - Tavalliset asfaltit. NCC-yhtiöt. Viitattu 26.10.2010, saatavissa:

[http://ncc.fi/infrarakentaminen/paallystys/asfalttituotteet\\_1/fi\\_FI/asfalttityypit/](http://ncc.fi/infrarakentaminen/paallystys/asfalttituotteet_1/fi_FI/asfalttityypit/)

Philips Lumileds Lighting Company. 2011. LUXEON Rebel White LEDs -tuotesivu.

Viitattu 9.2.2011, saatavilla: <http://www.philipslumileds.com/products/luxeon-rebel/luxeon-rebel-white-old/luxeon-rebel-es>

Raynham, P. 2004. An examination of the fundamentals of road lighting for pedestrians and drivers. Lighting Research and Technology, joulukuu 2004 vol. 36 no. 4 307-313.

Viitattu 8.9.2010, saatavilla tiivistelmä: <http://lrt.sagepub.com/content/36/4/307>

RIL. 2005. RIL-165-1-2006 Liikenne ja väylät 1. Vastaava toimittaja Kari Ojala. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki, 2005. ISBN 951-758-459-8. ISSN 0356-9403

RIL. 2006. RIL-165-2-2006 Liikenne ja väylät 2. Vastaava toimittaja Kari Ojala. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki, 2006. ISBN 951-758-464-4. ISSN 0356-9403

Sippola, Vesa. 2010. Eco-design -direktiivin täytäntöönpanotoimenpiteiden vuoksi poistuvien lamppujen korvaaminen ulkovalaistuksessa. Diplomityö. Aalto-yliopiston Teknillinen korkeakoulu, Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta. Espoo. 85 sivua.

SFS-EN 13201-1:2004. Road lighting. Part 1: Selection of lighting classes.

SFS-EN 13201-2:2003. Road lighting. Part 2: Performance requirements.

SFS-EN 13201-3:2003. Road lighting. Part 3: Calculation of performance.

SFS-EN 13201-4:2003. Road lighting. Part 4: Methods of measuring lighting performance.

Spotti. 2010. Spotti Philips Valaistuksen asiakaslehti 1/2010. Philips Valaistus, Mäntsälä. ISSN 1799 – 1919. [www.valaistus.philips.fi](http://www.valaistus.philips.fi)

Suomen Kuntaliitto. 2009. Liikenneväylät 1997-2008. Taulukko on tehty Tilastokeskuksen kokoamasta kuntien ja kuntayhtymien talous- ja toimintatilastosta.

Viitattu 23.8.2010, saatavissa:

<http://www.kunnat.net/attachment.asp?path=1;29;356;95156;95157;147798> ja

[http://www.kunnat.net/k\\_peruslistasivu.asp?path=1;29;356;95156;95157](http://www.kunnat.net/k_peruslistasivu.asp?path=1;29;356;95156;95157)

Suomen Kuntaliitto. 2010. Suomen Kuntaliitto, internet-sivusto. Viitattu 1.10.2010, saatavissa: <http://www.kunnat.net/>

Suomen standardisoimisliitto SFS. 1992. Sähköteknillinen sanasto. Valaistus. SFS-IEC 50(845) (1987)

Suomen Tieyhdistys RY. 2010a. Tie- ja katuverkko. Viitattu 2.8.2010, saatavissa:

<http://www.tieyhdistys.fi/toimintaymparisto/tiejakatuverkko.html>

Suomen Tieyhdistys RY. 2010b. Yleistä yksityistietoa. Viitattu 2.11.2010, saatavissa:

<http://www.tieyhdistys.fi/yksitystiet/index.html>

Tekniikka&Talous. 2009. Kaupungit kiirehtivät ulkovalojen vaihtoa. Arja Haukkasalo, 3.6.2009. Viitattu 6.10.2010, saatavissa:

<http://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/article292654.ece>

Tekniikka&Talous. 2010. Tievalaisimien vaihdosta satojen miljoonien lasku. Harri Repo, 19.3.2010. Viitattu 10.8.2010, saatavissa

<http://www.tekniikkatalous.fi/energia/article386073.ece>

Tiehallinto. 2006a. Tievalaistuksen suunnittelu - suunnitteluvaiheen ohjaus. Tiehallinto, Tekniset palvelut, Helsinki, 2006. TIEH 2100034-06 ISBN 951-803-552-0.

Tiehallinto. 2006b. Tievalaistuksen toimintalinjat. Edita Prima Oy, Helsinki 2006. ISBN 951-803-636-5, 951-803-637-3 (pdf). Viitattu 11.8.2010, saatavissa:

<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/1000105-v-06tievtoimlinj.pdf>

Tiehallinto. 2007. Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset - Tievalaistus 12.11.2007. Viitattu 11.8.2010, saatavissa:

[http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2200048-v-07-tylt\\_7510\\_tievalaistus.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2200048-v-07-tylt_7510_tievalaistus.pdf)

Valopaa. 2010. Uutinen - Valopaa Oy:n valaisimia asennettu oululaisiin alikäytäviin. Valopaa Oy, 5.2.2010. Viitattu 3.1.2011, saatavissa:

[http://www.valopaa.com/index.php?id=89&news\\_id=158&archive](http://www.valopaa.com/index.php?id=89&news_id=158&archive)

Vehviläinen, Matti. 2009. Tiehallinnon näkökulma Viitostien kehittämiseen. Etelä- ja Pohjois-Savon liikennejärjestelmätyöryhmien yhteisseminaari, Investointijohtaja Matti Vehviläinen, Mikkeli 4.11.2009, Tiehallinto. Viitattu 3.9.2010, saatavissa:

[http://www.esavo.fi/media/vehvilainen\\_091104.pdf](http://www.esavo.fi/media/vehvilainen_091104.pdf)

Ylinen, A.-M. S. 2007. Tievalaistuksen laskentaohjelman kehittäminen soveltamalla kuvantavaa luminanssifotometritekniikkaa. Diplomityö, TKK / Sähkö-tietoliikennetekniikan osasto, Espoo. 95 sivua.

### **Sähköposti- ja puhelinhaastatteluja**

Ekrias, Aleksanteri, 2010. Suunnittelija, Ulkovalaistus, SITO. Sähköpostihaastattelu loka- ja marraskuu 2010.

Hirvonen, Petteri, 2010. Asiakasrahoitus & elinkaarilaskelmat, Lumi Group Oy. Sähköpostihaastattelu loka- ja joulukuu 2010.

Kasteenpohja, Elina, 2010. Toimialajohtaja, Suomen Tieyhdistys. Sähköpostihaastattelu elokuu 2010.

Korkalainen, Ate, 2010. T&K ja tekninen tuki, Lumi Group Oy. Sähköpostihaastattelu lokakuu 2010.

Kosunen, Lauri, 2010. Hankevastaava, HelenUlkovalaistus/hankehallinta - Helsingin Energia. Sähköpostihaastattelu marraskuu 2010.

Kämppi, Marika, 2010. Yhdyskuntatekniikan asiantuntija, Suomen Kuntaliitto - Yhdyskunta, tekniikka ja ympäristö -yksikkö. Sähköpostihaastattelu syyskuu 2010.

Markkanen, Olli, 2010. Yksikön päällikkö, HelenUlkovalaistus - Helsingin Energia. Sähköpostihaastattelu lokakuu 2010.



Niiranen, Olli, 2010. LoPower tuotepäällikkö - Tupla-Woltti Oy. Sähköpostihaastattelu marraskuu 2010.

Nummenpalo, Mika, 2010. Tuotekehitys ja Teollisuusmyyntijohtaja, Easy Led Oy. Sähköposti- ja puhelinhaastattelu loka- ja joulukuu 2010.

Partanen, Jari, 2010. Project manager, iGuzzini Finland & Baltic Oy. Sähköposti- ja puhelinhaastattelu syys- ja joulukuu 2010 sekä tammikuu 2011.

Peltola, Ari, 2010. Valon kaupunki -hankkeen koordinaattori - Jyväskylän kaupunki. Sähköpostihaastattelu lokakuu 2010.

Pulli, Jouko, 2010. Tuotealuepäällikkö - Valaistus, SLO Oy. Sähköposti- ja puhelinhaastattelu syyskuu 2010.

Ranta, Jorma, 2010. Kunnossapitopäällikkö, Vantaan kaupunki/Maankäytön ja ympäristön toimiala - Kuntatekniikan keskus/Kadunpito. Sähköpostihaastattelu marraskuu 2010.

Sillanpää, Pekka, 2010. Sähköinsinööri, Espoon kaupunki, tekninen keskus - Katu- ja viherpalvelut. Sähköposti- puhelin- ja henkilökohtainen haastattelu elo-, syys-, loka-, marras- ja joulukuu 2010 sekä tammikuu 2011.

Soinila, Ismo, 2010. Myyntipäällikkö, Lumi Group Oy. Sähköpostihaastattelu joulukuu 2010.

Tuovinen, Jukka, 2010. Projektimyöntipäällikkö - Ulkovalaistus, Philips Oy Valaisimet. Sähköposti- ja puhelinhaastattelu joulukuu 2010.

Vilmi, Toivo, 2010. Toimitusjohtaja, Valopaa Oy. Sähköpostihaastattelu marraskuu 2010.

# Liitteet

## Liite A: Uudet Suomessa vuonna 2010 tehdyt lediulkovaistusasennukset

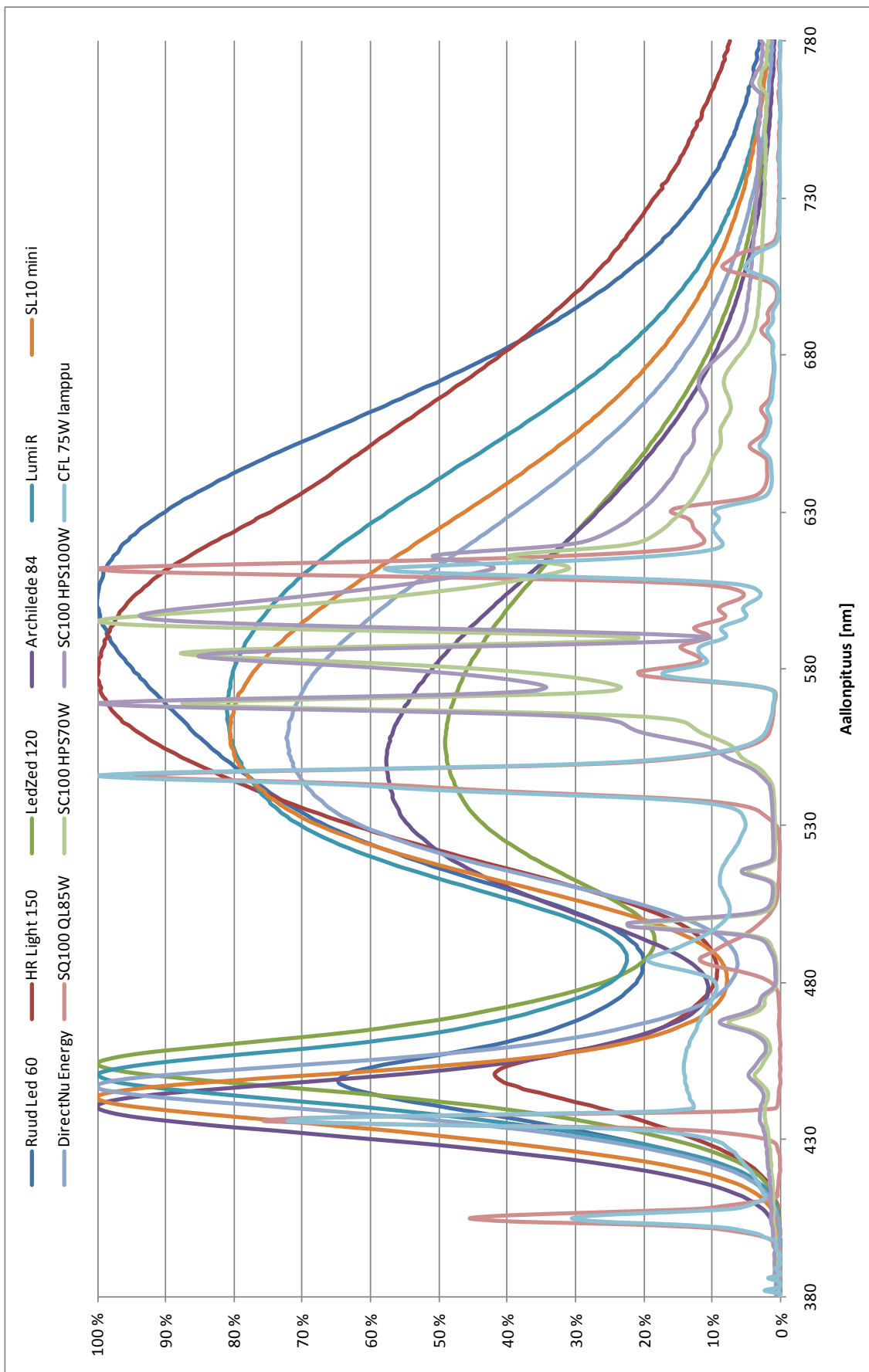
Kohde	Ledivalaisin	Lisätiedot	Asennuksen tiedot	Toteutus	Aikaisempi asennus
Espoo, JH-Talot Oy	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	1 kpl		
Espoo, Kemistintie	LedZed, LedZed 120	139 W, 6660 K	2 kpl, H9,5m	3.2010	110 W HPS (alk.HPM125W)
Espoo, Suomenoja Intuallas, kev.liik.väylä	Philips, Mini Iridium LED	31 W, 3000 K	~25 kpl	12.2010	Uudisasennus
Espoo, Tietotie	Ruud Lighting, Ledway Road 60	108 W, 3470 K	4 kpl, L~26m, H9,5m	3.2010	110 W HPS (alk.HPM125W)
Espoo, Tietotie	HR Light, HR 150	133 W, 3220 K	4 kpl, L~27m, H9,5m	3.2010	110 W HPS (alk.HPM125W)
Espoo, Tietotie	LedZed, LedZed 120	139 W, 6660 K	4 kpl, L~27m, H9,5m	3.2010	110 W HPS (alk.HPM125W)
Espoo, Tietotie	iGuzzini, Archilede 84	110 W, 6160 K	4 kpl, L~26m, H9,5m	3.2010	110 W HPS (alk.HPM125W)
Espoo, Vuorimiehentie	Lumi Group, Lumi R (1st gen)	95 W, 4660 K	4 kpl, H9,5m	kesä 2010	110 W HPS (alk.HPM125W)
Etelä-Suomi, alikulku	Valopaa, VP2221 M3	33 W, 4100 K	7 kpl	8.2010	
Heinola, Renet Finland Oy	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	1 kpl		
Helsinki, Toivolan koti piha-alue	Valopaa, VP1302 M4	39 W, 4100 K	3 kpl, H5m	11.2010	Korvaava asennus
Helsinki, Toivolan koti piha-alue	Valopaa, VP1302 M2+M2	~40 W, 4100 K	3 kpl, H5m	11.2010	Korvaava asennus
Helsinki, Torpparinmäen koulu, pihaval.	Valopaa, VP1311 M6	55 W	1 kpl		250 W halogeeni
Helsinki, Torpparinmäen koulu, pihaval.	Valopaa, VP2311 M2	22 W	1 kpl		70 W halogeeni
Helsinki, Vantaanjoen Jokersilta	Lumilab, LedGo 0.4 40LL	~25 W, 4000 K	~7 kpl	9.-10.2010	
Hämeenlinna, Noatek Oy	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	4 kpl		
Hämeenlinna, Noatek Oy	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	10 kpl		
Iisalmen kaupunki	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	2 kpl		
Jyväskylän vuokra-asunnot Oy	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	6 kpl		
Kaarina & Parainen, Kirjalansalmen silta	Philips, CitySoul LED	56 W, 4000 K	18 kpl, H6m		Korvaava asennus
Kaarina, kev.liik.väylä	Philips, Koffer LED	64 W, 4000 K	7 kpl, H6m		
Kaarina, Talotie	Lumi Group, Lumi R10	86 W	L35m, H10m		
Kellokosken sairaala	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	1 kpl		
Kerava, Venlan- & Vuohenkalmantie	Powertti, Ledway Road	59 W	15 kpl		125 W elohopea
Kiiminki, Alikulku autotie	Valopaa, VP2111 M4	45 W, 4100 K	9 kpl	6.2010	
Kirjala, Kärkulla samkommun	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	44 kpl	syksy 2010	
Kittilä, Levin laskettelukeskus	Easy Led, Starium Dragon 60	41 W, 5600 K	64 kpl		
Kuopio, AS Oy Puijonsarventie	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	1 kpl		
Lappeenranta, Oikotie, Lappeenkatu	Lumi Group, Lumi R10	86 W			
Lempäälä, Rajamäentie	Lumi Group, Lumi R10	86 W, 6000 K	26 kpl, L50m, H10m		Uudisasennus
Lieksan kaupunki	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	25 kpl		
Lieto, Carrus Delta Oy	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	11 kpl		
Länsi-Turunmaa, Kalkkitie	Lumi Group, Lumi R10	86 W	L50m, H9m		
Mikkelin kaupunki	Easy Led, Boll 400	~28 W, 4000 K	94 kpl		
Muurame, Riihivuori	Easy Led, Boll 400	~28 W, 4000 K	25 kpl		
Muurame, Tikkanostot Oy	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	1 kpl		
Mänttä, Mänttä-Vilppulan Kaupunki	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	1 kpl		
Nurmes, Kyrölään palvelukeskus	Easy Led, Swan	41 W, 4000 K	31 kpl		
Nurmes, Kyrölään palvelukeskus	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	6 kpl		
Ojakkala, Auto-Nyholm	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	1 kpl		
Oulu, Linnanmaa alikulku kev.liik.väylä	Valopaa, VP2111 M4 (VP2111)	45 W, 4100 K	8 kpl	2.2010	~150 W
Oulu, Lintula alikulku kev.liik.väylä	Valopaa, VP2111 M4 (VP2221)	45 W, 4100 K	2 kpl	1.2010	HPS
Oulu, Pulla-Pirtti piha-alue	Valopaa, VP1301 M6	55 W, 4100 K	6 kpl, H6m	8.2010	Uudisasennus
Oulu, Saarela Tiehall. kev.liik.väylä	Valopaa, VP2301 M2	22 W	L40m, H6m	2.2010	VP vanha led koeas.
Oulu, Saarela Tiehall. kev.liik.väylä	Valopaa, VP2201 M4	46 W	~4 kpl, L40m, H6m	2.2010	VP vanha led koeas.
Oulu, VT4 Kempele-Haukipudas välin alik.	Valopaa, VP2221 M3	33 W, 4100K	24 kpl	asennuksessa	LPS
Oulu, VT4 Kempele-Haukipudas välin alik.	Valopaa, VP2223 M3	33 W, 4100K	94 kpl	asennuksessa	LPS
Oulunsalo, Finavia parkkialue	Valopaa, VP1302 M6	55 W, 4100 K	11 kpl, H5,5m	11.2010	Kokonaan uusittu asennus
Oulunsalo, Finavia parkkialue	Valopaa, VP1302 M6+M6	110 W, 4100 K	11 kpl, H5,5m	11.2010	Kokonaan uusittu asennus
Parkano, Sähkösuomilampi Oy	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	5 kpl		
Pello, autotie	Philips, CitySoul LED	50 W, 4000 K	10 kpl, H8m		
Piispalan Nuorisomatkailukeskus	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	20 kpl		
Piispalan Nuorisomatkailukeskus	Easy Led, Boll 400 & Boll 500	~28 W, 4000 K	9 + 13 kpl		
Pirkkala, Jasperintie	Lumi Group, Lumi R10	86 W			
Porin energia	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	2 kpl		
Pudasjärvi, Silta kev.liik.väylä	Valopaa, VP2301 M2	22 W, 4100 K	3 kpl	3.2010	
Raisio, Kuninkojankaari	Lumi Group, Lumi R10	86 W	L45m, H8m		
Raisio, Nilan Suomi Oy	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	6 kpl		
Riihimäki, kaupunki	Philips, Milewide LED	80 & 31 W, 4000 K	10 kpl, H8m		
Rinta-Joupin Autoliike	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	6 kpl		
Ristiinan kunta	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	1 kpl		
Salo, Perniön Taimisto	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	1 kpl		
Salon aluesairaala	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	39 kpl	talvi 2010	
Salon seudun ammattiopisto	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	1 kpl		
Sotkamo, Silta kev.liik.väylä	Valopaa, VP2111 M2	22 W, 4100 K	2 kpl	8.2010	Halogeeni
Sotkamo, Silta kev.liik.väylä	Valopaa, VP1311 M6	55 W, 4100 K	4 kpl	8.2010	Halogeeni
Tampere, Sammon lukio	Philips, Koffer LED	31 W, 3000 K	30 kpl, H5-6m		
Turku, Amiraalistonkatu	Lumi Group, Lumi R10	86 W			
Turku, Draken risteys	Philips, CitySoul LED	112 W, 4000 K	H8-10m		
Tuusula, AS Oy Tuusulan Sinivuokko	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	1 kpl		
Tuusula, AS Oy Tuusulan Vesimies	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	4 kpl		
Ulvila, Lännen Sähköpalvelu Oy	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	4 kpl		

Kohde	Ledivalaisin	Lisätiedot	Asennuksen tiedot	Toteutus	Aikaisempi asennus
Uusikaupunki, Poraajantie	Lumi Group, Lumi R10	86 W	L35m, H9m		
Vaasa, Tammikaivontie	Lumi Group, Lumi R10	86 W	L35m, H10m		
Vantaa, Kivistön Sähköurakointi Oy	Easy Led, Boll 400	~28 W, 4000 K	9 kpl		
Varkauden teatteri	Easy Led, Kuikka	41 W, 6500 K	7 kpl		
Varkaus, KV-Automaatio Oy	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	12 kpl		
Vitsiälä, Sähköurakointi Aapo Teittinen Oy	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	8 kpl		
Vitsiälä, Sähköurakointi Aapo Teittinen Oy	Easy Led, Boll 400	~28 W, 4000 K	2 kpl		
YIT kiinteistötekniikka Oy	Easy Led, Boll 400	~28 W, 4000 K	3 kpl		
YIT kiinteistötekniikka Oy	Easy Led, Starium Dragon 60 UP	41 W, 6500 K	17 kpl		
YIT kiinteistötekniikka Oy	Easy Led, Lillium Dragon 30	25 W, 5500 K	24 kpl		
YIT kiinteistötekniikka Oy	Easy Led, Minnium Dragon 90	63 W, 6500 K	1 kpl		
Ylöjärven kaupunki	Easy Led, Maximum D. 120 UP	82 W, 6500 K	14 kpl, L54m, H10m	syksy 2010	250 W elohopea
Äänekoski, kev.liik.väylä	Philips, Mini Iridium LED	31 W, 3000 K	50 kpl, H5-6m		

## Liite B: Mitattujen valaisimien ominaisuudet

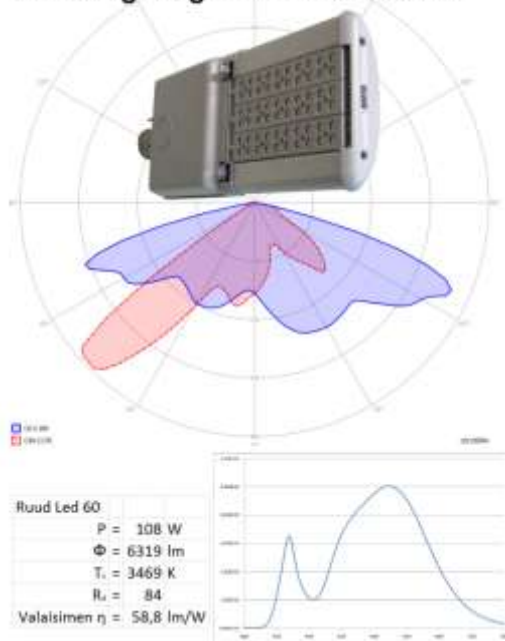
	Valovirta [lm]	Väriämpötila [K]	Värintoistoindeksi [Ra]	Jännite [V]	Virta [A]	Teho [W]	Valotehokkuus [lm/W]	Tehokerroin
Ruud Led 60	6319	3469	84	230	0,48	107,5	58,8	0,98
HR Light 150	5280	3220	71	230	0,61	133,3	39,6	0,95
LedZed 120	7879	6661	83	230	0,62	139,1	56,6	0,98
Archilede 84	6320	6155	71	230	0,50	109,9	57,5	0,97
Lumi R	5598	4662	80	230	0,74	94,6	59,2	0,56
SL10 mini	3457	4637	68	230	0,23	49,9	69,3	0,96
DirectNu Energy	1660	4912	69	12	1,78	21,8	76,3	DC
SQ100 QL85W	4382	3122	78	230	0,35	78,3	56,0	0,98
SC100 HPS70W	5021	1907	24	230	0,40	88,1	57,0	0,97
SC100 HPS100W	6878	1951	27	230	0,63	114,4	60,1	0,78
Mistral HPS100W	7110	1957	30	230	0,52	112,9	63,0	0,94
LoPower CFL75W*	4411	6918	82	230	0,28	62,9	70,1	0,98
LoPower CFL75W**	1648	6588	82	230	0,27	61,3	26,9	0,99
Siemens vanhaHG VK	735	3758	39	230	1,19	156,5	4,7	0,57
Siemens vanhaHG UK	969	4221	38	230	1,18	156,1	6,2	0,57
Siemens uusiHG VK	2936	3069	55	230	1,25	157,5	18,6	0,55
Siemens uusiHG UK	3972	3417	53	230	1,25	157,8	25,2	0,55
Siemens HPS UK	4560	1879	21	230	0,40	88,8	51,4	0,97

### Liite C: Mitattujen valaisimien valon suhteelliset spektrijakaumat

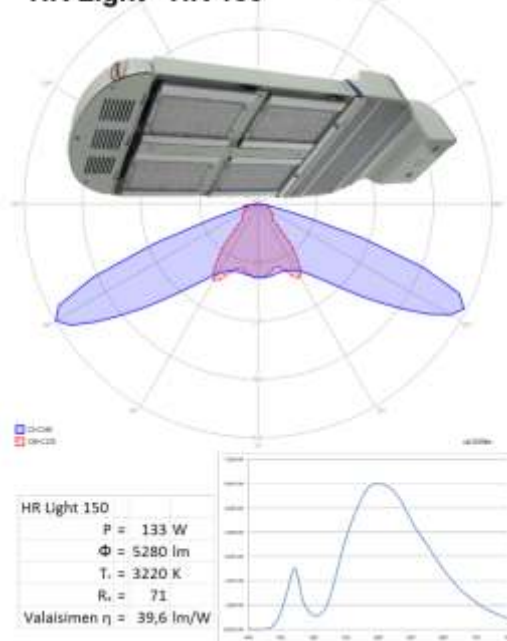


## Liite D: Mitattujen valaisimien yhteenvetokortit

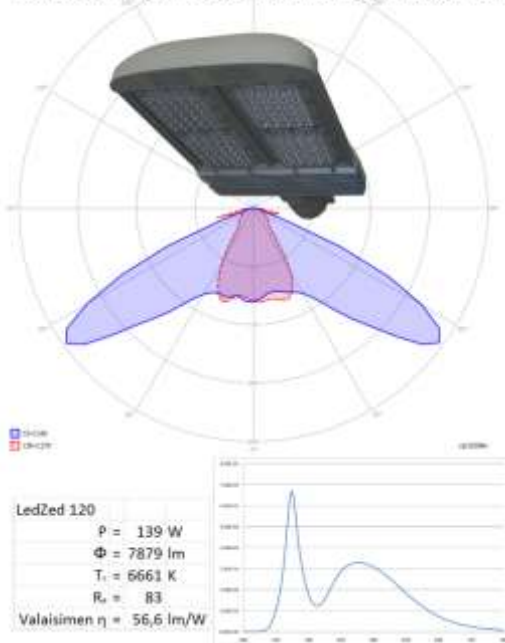
### Ruud Lighting - LEDWAY Road 60



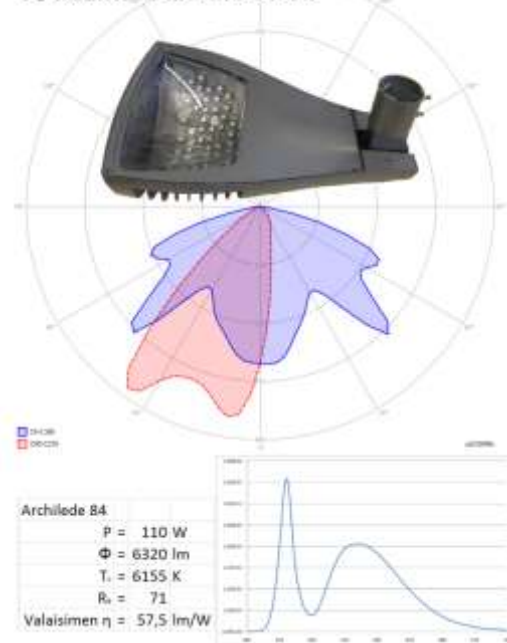
### HR Light - HR 150



### LedZed International Ltd - LedZed 120



### iGuzzini - Archilede 84



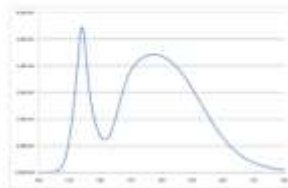
### Lumi Group - Lumi R



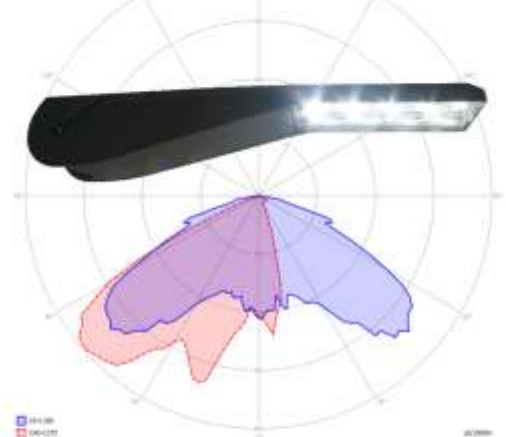
0-10V  
0-10V

Lumi R

P = 95 W  
 $\Phi$  = 5598 lm  
 T<sub>c</sub> = 4662 K  
 R<sub>a</sub> = 80  
 Valaisimen  $\eta$  = 59,2 lm/W



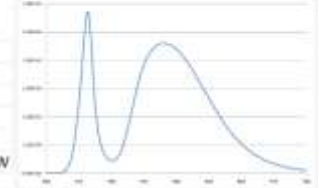
### Siteco - SL10 mini



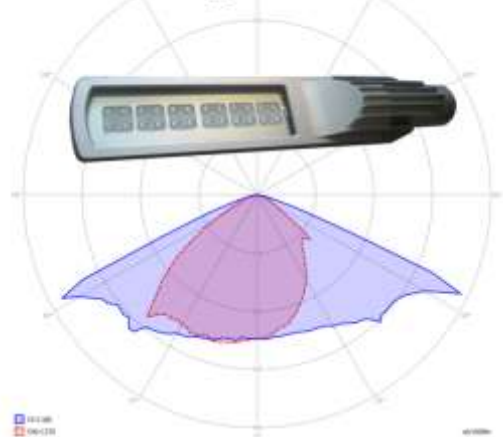
0-10V  
0-10V

SL10 Mini

P = 50 W  
 $\Phi$  = 3457 lm  
 T<sub>c</sub> = 4637 K  
 R<sub>a</sub> = 68  
 Valaisimen  $\eta$  = 69,3 lm/W



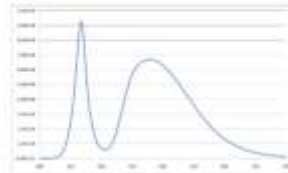
### DirectNu Energy - 12/24VDC



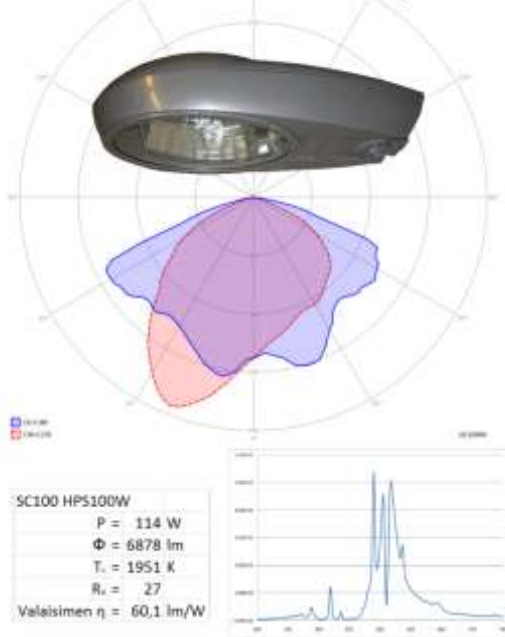
0-10V  
0-10V

DirectNu Energy

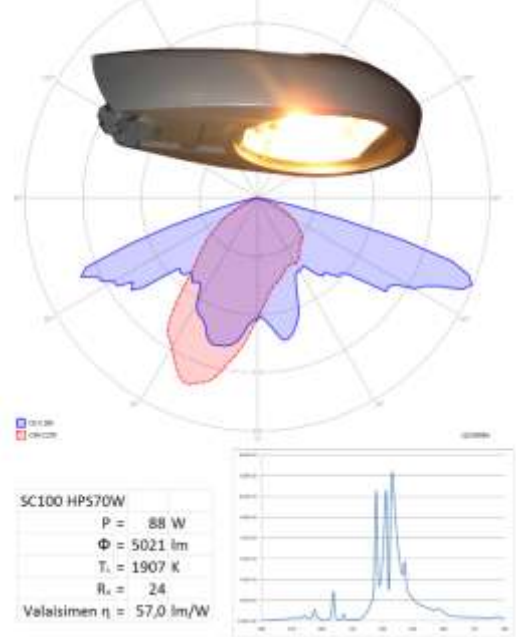
P = 22 W  
 $\Phi$  = 1660 lm  
 T<sub>c</sub> = 4912 K  
 R<sub>a</sub> = 69  
 Valaisimen  $\eta$  = 76,3 lm/W



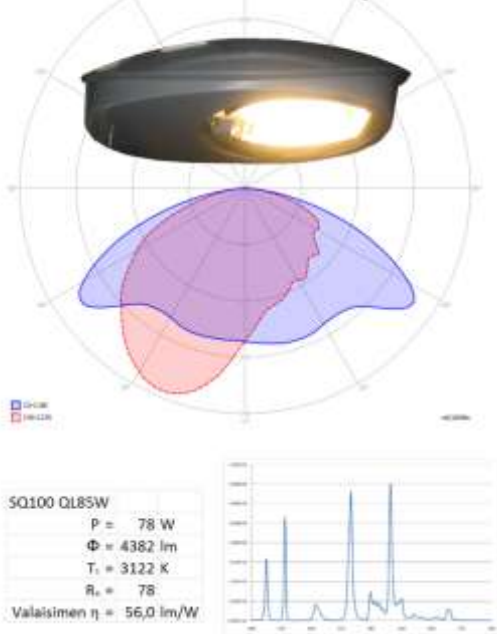
**Siteco - SC100 HPS100W lampulla**



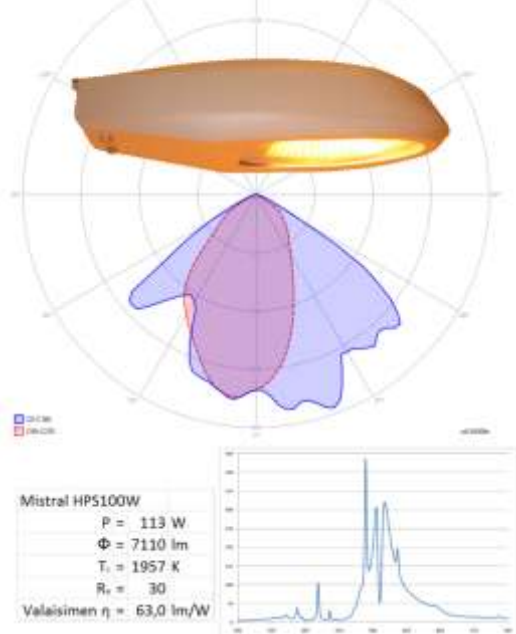
**Siteco - SC100 HPS70W lampulla**



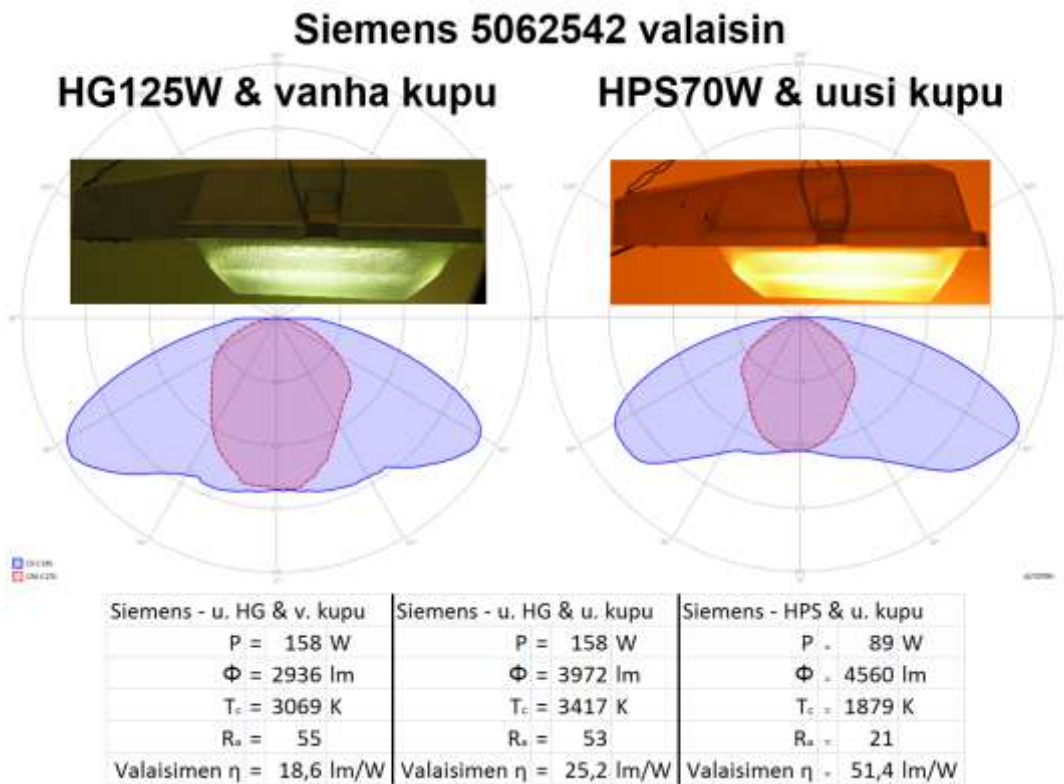
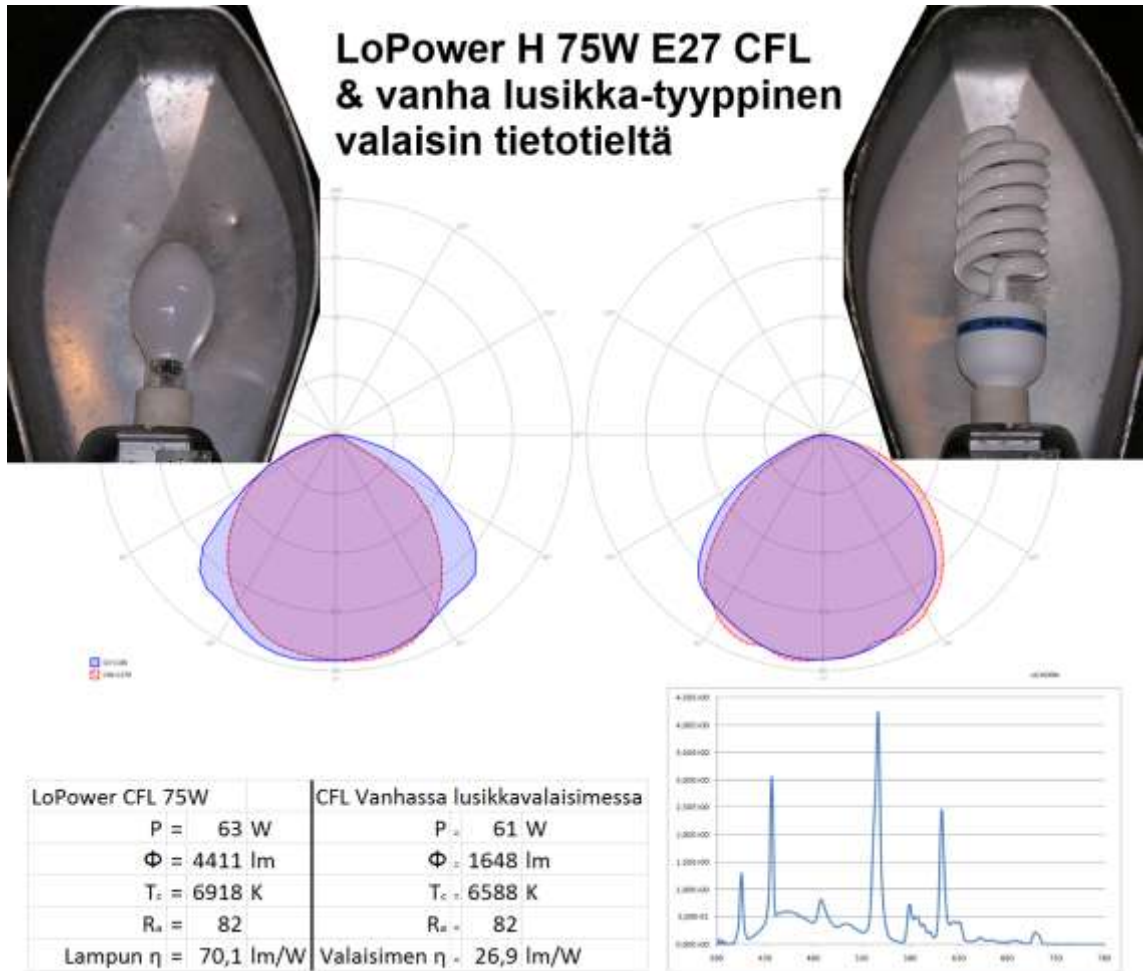
**Siteco - SQ100 QL85W lampulla**



**Strihl - Mistral HPS100W lampulla**







## Liite E: Käyttäjätutkimuksen kyselylomake

# Kyselylomake

ryhmä I / 0

Olen:  mies  
 nainen

Olen iältäni \_\_\_\_\_-vuotias

Asun:  kaupungin keskustassa  
 taajama-alueella

Ajan autoa:  en aja.  kuukausittain.  viikoittain.  päivittäin.

Mitkä ovat mielestäsi tärkeimmät ominaisuudet kevyen liikenteen väylän ja jalkakäytävän valaistuksessa? Kerro ainakin yksi asia.

1 \_\_\_\_\_

2 \_\_\_\_\_

3 \_\_\_\_\_

Tietotietä pitkin: Kävelen <input type="radio"/>	Ajan <input type="radio"/>	en aiemmin
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	muutaman kerran vuodessa
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	muutaman kerran kuukaudessa
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	muutaman kerran viikossa
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	lähes joka päivä

Aloitin kävelyn nyt:  Otaniemen päästä  
 Innopolin päästä

Merkitse alle kuinka tärkeänä pidät jalkakäytävien ja kevyen liikenteen väylien valaistusta *liikkumisen mukavuuden* kannalta?

ei ollenkaan       hyvin tärkeänä

Entä vastaavasti valaistusta *turvallisuuden* kannalta?

ei ollenkaan       hyvin tärkeänä

Merkitse alle pelottaako sinua *yleensä* kävellä yksin pimeään aikaan?

ei ollenkaan       hyvin paljon

# Tieosuus 1

---

Tunnistin hahmon oikein \_\_\_\_\_ metrin päässä minusta.

**Merkitse asteikkoon kääntymättä katsomaan tieosuutta uudelleen:**

**Kävelemäsi jalkakäytävän valaistus oli?**

täysin riittämätön                täysin riittävä

**Valaistus oli?**

liian himmeä                liian kirkas

**Millainen valon jakauma oli kävellyn tien pinnalla? (oliko pimeitä kohtia maassa)**

epätasainen                        tasainen

**Valaistus häikäisi?**

ei ollenkaan                hyvin paljon

**Valon värisävy oli mielestäni?**

hyvin epämiellyttävä                hyvin miellyttävä

**Valon värisävy oli?**

kylmä                lämmin

**Pylväiden päihin kiinnitetyt katuvalaisimet olivat kirkkaat?**

ei ollenkaan                hyvin paljon

**Kuinka turvalliseksi koit kävelemäsi tieosuuden?**

hyvin turvaton                hyvin turvallinen

**Kävelemäsi osuuden valaistus oli kaiken kaikkiaan siis?**

hyvin huono                erittäin hyvä