



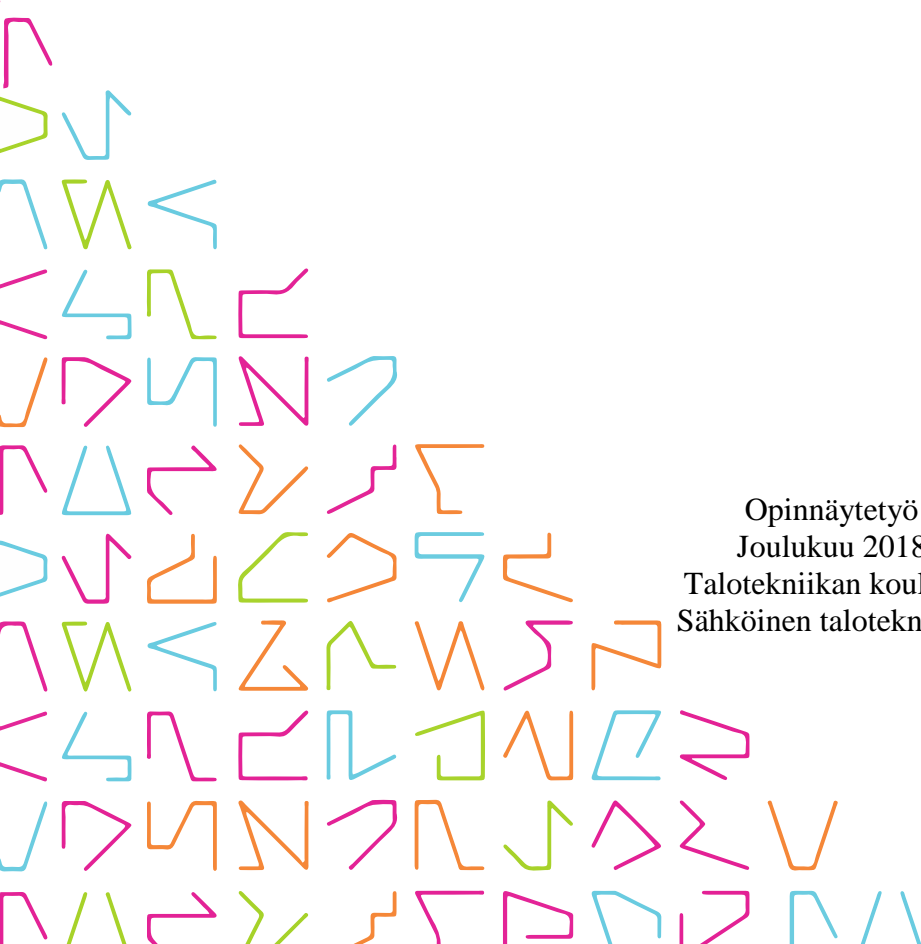
TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

**Läsnäoloon perustuvan tievalaistuksen ohjaus,**

**Valtatie 18, Seinäjoki**

Karri Hokka

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2018  
Talotekniikan koulutus  
Sähköinen talotekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutus  
Sähköinen talotekniikka

Hokka Karri:

Tienkäyttäjän läsnäoloon perustuva tievalaistuksen ohjaus, valtatie 18, Seinäjoki  
Opinnäytetyö 43 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Joulukuu 2018

---

Tutkimuksen tilaajana on toiminut Liikennevirasto. Tutkimuksessa on haluttu ensimmäistä kertaa Suomessa tutkia läsnäoloon perustuvan tievalaistuksen ohjauksen kannattavuutta ja toimintaa. Tutkimuksessa on tutkittu järjestelmän toimintaa, energiatehokkuutta, sekä elinkaarilaskentaa.

Tutkimuksessa todettiin järjestelmän säästävän noin 17% energiakustannuksissa verrattuna himmennystaulukkoon. Järjestelmän tutkimustulosten luotettavuutta tarkasteltaessa todettiin tuloksista olevan melkein viidesosa puutteellisia tai puuttuvia mittaustulosten osalta. Osa tutkimuskuukausista jouduttiin jättämään pois järjestelmän virheellisen toiminnan vuoksi.

Järjestelmän hyödyiksi todettiin himmennystaulukon toimivuuden tutkiminen, häiriövalonmäärän väheneminen ja muuntautuvuus tien käyttömäärän suhteen. Järjestelmän energiansäästöt tulee tutkimuksessa todistettua, mutta kyseisellä tutkittavalla tieosuudella on tällä hetkellä sille sopiva himmennysprofiili, minkä johdosta järjestelmän energiansäästö jäivät vähäisemmiksi, mitä odotettiin.

---

Asiasanat: läsnäoloon perustuva, tievalaistus, älykäs ohjaus, himmennystaulukko

**ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering, Bachelor of Engineering  
Electrical Building Services Engineering

Karri Hokka

Road lighting control system based on a presence detection of drivers, Valtatie 18,  
Seinäjoki

Bachelor's thesis 43 pages, appendices 3 pages  
December 2018

---

The aim of this thesis was to study outdoor lighting control system based on a presence detection of drivers in road lighting environment. The study was funded by the Finnish Transport Agency. The scope of the study was to investigate whether the system can provide sufficient energy savings compared to the preprogrammed stand-alone dimming. Furthermore, the reliability of the outdoor lighting control system detecting drivers, pedestrians and cyclists was studied. Other studied factors were road lighting control parameters and data transfer properties of the control system. The outdoor lighting control system installed in the pilot location was Lumine Manager. The research work started in February 2017 and finished in February 2018.

A study method used was spreadsheet calculation done with Microsoft office Excel. The spread sheet was used to analyze the received data from Lumine Manager system. The results showed that the system saves about 17% of the energy consumption compared to preprogrammed stand-alone dimming and normally used dimming schedules. The study also showed some lack of certainty in data transfer for control system installed. For research period of nine months, 17% of days were found to be either incomplete or didn't have any measurement data at all.

Main conclusion of the thesis was that the outdoor lighting control system based on a presence detection of drivers saves energy, reduces obtrusive light and provides better service to the drivers and other road users. The other main conclusion of the thesis was that the currently used dimming schedules for the preprogrammed stand-alone dimming in road lighting are valid.

---

Key words: road lighting, lighting control system, presence detection

SISÄLLYS	
JOHDANTO .....	6
2 Tievalaistus Suomessa.....	7
2.1 Standardit ja kansalliset ohjeet.....	7
2.2 Tievalaistuksen tarve .....	7
2.3 Tievalaistuksen nykytilanne.....	8
2.4 Ohjaus nyt ja tulevaisuudessa .....	9
2.4.1 Perinteiset ohjaustavat.....	10
2.4.2 Keskuskohtaiset ohjausjärjestelmät .....	13
2.4.3 Valaisinkohtaiset ohjausjärjestelmät.....	14
2.4.4 Valaisinkohtainen ohjausjärjestelmä osana älykästä palvelualustaa .....	16
3 Lumine Lighting Solutions.....	17
3.1.1 Järjestelmä.....	17
3.1.2 Parametrit .....	19
3.1.3 Lumine manager.....	21
4 Järjestelmän tutkimukset ja lähtötiedot .....	22
4.1 Tutkittava tieosuus .....	22
4.2 Järjestelmän ohjausparametrit.....	24
4.3 Tutkimusdatan saattaminen selkeämpään muotoon.....	25
5 Järjestelmän tutkimusten analysoiminen ja esimerkit .....	28
5.1 Tutkimusjaksojen datansaannin vikaantumiset .....	28
5.1.1 Tutkimustulokset ja analysointi .....	28
5.1.2 Esimerkki tutkittavan datan saannin toiminnan määrittämisestä..	30
5.2 Valaisinpylväiden yksiköiden toiminta .....	32
5.2.1 Tutkimustulokset ja analysointi .....	32
5.2.2 Esimerkki valaisinyksikön toiminnan analysoinnista .....	34
5.3 Järjestelmän energiasäästöt.....	35
5.3.1 Energiatehokkuuden ja säästöpotentiaalin tutkimustulokset .....	35
5.3.2 Elinkaari ja kannattavuus .....	38
5.4 Läsäoloon perustuva ohjaus verrattuna himmennystaulukoon.....	40
6 POHDINTA.....	42
LÄHTEET.....	43
LIITTEET .....	44
Liite 1. Kenttätutkimuksien raportit .....	44
Liite 2. Tutkimussuunnitelma.....	45

**ERITYISSANASTO**

GPRS-signaali

Valaistusluokka

LAM-piste

Master-yksikkö

2g ja 3g yhteys

Mesh-verkko

.CSV

GSM-verkossa toimiva tiedonsiirtopalvelu

Tieluokka, johon valaistus mitoitetaan

Liikenteen automaattinen mittausasema

Hallitseva ohjauslaite

GSM-verkko

usean yhteen liitettävän tukiaseman verkko

Taulukkolaskenta tiedostomuoto

## 1 JOHDANTO

Tässä työssä käsitellään läsnäoloon perustuvan tievalaistuksen ohjausta. Pilottihankkeen tilaajana on toiminut Liikennevirasto. Tutkijana hankkeessa on ollut Karri Hokka LiCon-AT Oy yrityksestä ja ohjaajana Aleksanteri Ekrias LiCon-AT Oy:stä.

Lähtökohtina työlle on ollut Liikenneviraston tarve tutkia läsnäoloon perustuvan tievalaistuksen toimintaa ja energiatehokkuutta. Tutkimuksen päätavoitteena on ollut tutkia, onko läsnäoloon perustuva tievalaistuksen ohjaus energiatehokkaampi, kuin laajasti maanteillä käytössä oleva himmennystaulukkoon perustuva ennakkoon ohjelmoitu valaistuksen ohjaus. Tutkimustulokset toimivat samalla pohjana tuleville samankaltaisille tutkimuksille.

Pilottihanke sijaitsee Seinäjoen Kuortaneentiellä, valtatie 18:a. Tieosuus on noin viisi kilometriä pitkä ja sen varrella on 100 tievalaisinta. Tutkittava järjestelmä on Lumine Lighting companyn tarjoama. Tieosuus on varsin kattava ja tarjoaa hyvät puitteet tutkia järjestelmän toimivuutta erilaisissa liikennemäärissä ja olosuhteissa.

Tässä työssä keskeisinä tutkimusmenetelminä on käytetty Excel-tilukkolaskentaa. Taulukkoon on kerätty kaikki valaistuksen määrän muutokset, joita tutkittavista valaisimista on saatu. Excel-tilukkolaskennassa on mukana elinkaarilaskenta, energiatehokkuuslaskenta, järjestelmän toimintaa havainnollistava taulukko, sekä yksittäisten valaisimien toiminta yhdessä liikennemäärien kanssa.

Työ rajattiin kahdeksaan tutkittavaan valaisimeen, jotka olivat alun perin valittu tasaisesti tieosuudelta. Järjestelmässä ilmenneen vian vuoksi tutkittavat valaisimet jouduttiin vaihtamaan toisiin tiellä oleviin valaisimiin siten, että tutkittavaa dataa olisi mahdollisimman paljon.

Suomessa valaistus jaetaan tie- ja katuvalaistukseen. Näiden erona on se, että tievalaistuksesta puhutaan, kun valaistus sijaitsee valtion omistamilla maanteillä ja katuvalaistuksesta, kun valaistus sijaitsee kunnan omistamilla kaduilla. Tässä tutkimuksessa painotettiin enemmän tievalaistusta.

## 2 Tievalaistus Suomessa

### 2.1 Standardit ja kansalliset ohjeet

Suomessa tievalaistuksen suunnittelua ohjaa Liikenneviraston teettämä kansallinen Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnitteluohje, joka pohjautuu standardisarjaan SFS-EN 13201:2015 (Ekrias 2018). Ohjeesta löytyvät muun muassa valaistusluokat, valaistuksen tarve, suunnittelu, sekä kustannuslaskennan ja vertailun perusteita. Kansallinen ohje määrittelee tarkasti tievalaistuksen suunnittelun periaatteet, jotta kansallisella tasolla suunnitelmat olisivat keskenään yhteneväisiä ja laatu mahdollisimman tasaista. (Liikennevirasto 2015.)

Tievalaistuksessa on käytössä standardi EN-13201-3:2015 tievalaistuksen laskentaan (Ekrias 2018). Standardissa määritellään valaistusteknillisten laskentojen kaavat ja periaatteet. Standardilla vakiinnutetaan Euroopan sisäisiä vaatimuksia valaistuksen mitoittamiseen ja laskentaan.

### 2.2 Tievalaistuksen tarve

Suomessa tievalaistusta ylläpitää elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus ja sen omistaa yleensä valtio. Tievalaistuksen voi kuitenkin myös omistaa kunta. Kunta on tällöin velvollinen noudattamaan Liikenneviraston vaatimuksia. Tästä voidaan kuitenkin poiketa erillisellä sopimuksella. (Ekrias 2018.)

Tievalaistuksella on kolme päätehtävää:

1. ”Näkyvyys- ja toimintojen valaiseminen”
2. ”Hahmottaminen- tilan ja ympäristön muodostaminen”
3. ”Ilmapiiri- turvallisuuden tunteen ja tunnelman synnyttäminen”

(Liikennevirasto 2015, 11.)

Pimeän ajan onnettomuuksien riski kasvaa noin 2-4-kertaiseksi valoisaan aikaan verrattuna. Teitä valaisemalla voidaan vaikuttaa positiivisesti kuljettajien ja muiden tienkäyttäjien tiekäyttäytymiseen ja suorituskykyyn. Lisäksi tievalaistus parantaa ajoneuvoliikenteen palvelutasoa, liikenteen sujuvuutta, ajomukavuutta ja optista ohjausta, vähentää ajoneuvojen aiheuttamaa häikäisyä ja lisää tieympäristön turvallisuutta. Tievalaistuksen

olennaisin tekijä on liikenneonnettomuuksien vähentäminen. Tievalaistuksen kannattavuus perustuu erityisesti liikenneonnettomuuksien, erityisesti liikennekuolemien tai vakavien loukkaantumisten, ehkäisemiseen. (Liikennevirasto 2015, 10-14.)

Tievalaistuksen rakentamista perustellaan yleensä vaikutuksilla liikenneonnettomuuksiin. Liikennetaloudellisen tievalaistuksen rajoja ovat esimerkiksi moottoritiet, joissa keskimääräinen vuorokausiliikenne on yli 40 000 ajoneuvoa, valta- ja kantatiet, joissa on liittymätiheys kaksi kappaletta kilometriä kohden ja vuorokausiliikenne 7 000 ajoneuvoa, valta- ja kantatiet, joissa liittymätiheys on viisi kappaletta kilometriä kohden ja vuorokausiliikenne 3 000 ajoneuvoa. Liikennemäärät näissä tapauksissa ovat 10 vuoden päästä vallitsevia ennustettuja liikennemääriä. Edellä mainitut ovat maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnitteluohjeen mukaan liikennetaloudellisesti kannattavia kohteita valaista, mutta on olemassa myös tilanteita, joissa tievalaistus rakennetaan ilman liikennemääriin perustuvien onnettomuuksien ehkäisyä. Tämän kaltaisia tilanteita ovat esimerkiksi tunnelit ja muut katetut tieosuudet, moottoritiet taajamissa ja moottoritien aloituskohdat. (Liikennevirasto 2015, 11-13.)

### **2.3 Tievalaistuksen nykytilanne**

Taulukossa 1 on esitetty valtion omistaman tievalaistuksen tievalaisinten ja tievalaistuskusten määrät. Taulukosta 2 löytyy tievalaisinten suhteelliset määrät valonlähteen mukaan eriteltynä. Tievalaisimista suurin osa on vielä nykyään suurpainenatriumlampulla toimivia valaisimia ja ledivalaistuksen määrä on suhteellisen pieni vielä toistaiseksi. Caverion Oyj tarjoaa nykyisellään tievalaistuksen ohjausjärjestelmän ylläpidon, palvelun ja ohjauksen. Yhteytenä toimii GPRS-signaali. (Ekrias 2018.)



TAULUKKO 1. Ely-keskuksen teillä olevien tievalaisinten tilanne 2018. (Ekrias 2018.)

KOHDE	Määrä
Valaisimet	245 000 kpl
Ulkovalaistuskeskukset	4443 kpl
Valaisinpylväät	200 500 kpl
Nykyinen ohjausjärjestelmä	Caverion Oyj
Nykyisen ohjausjärjestelmän yhteystapa	GPRS

TAULUKKO 2. Valtion omistamien tievalaisinten suhteellinen jakautuminen valonlähteen mukaan. (Ekrias 2018.)

Valonlähde	Suhteellinen osuus %
LED	2 %
Suurpainenatrium	97,5 %
Monimetalli	0,2 %
Elohopea	0,3 %

#### 2.4 Ohjaus nyt ja tulevaisuudessa

Suomessa suurinta osaa tievalaisimista ohjataan jollakin tavalla. Vuodesta 2009 asti valtio on edellyttänyt, että kaikissa uusissa tievalaisimissa on oltava jonkinasteinen ohjaus. Ohjauksella pyritään saavuttamaan energiasäästöjä ja helppokäyttöisyyttä. Ohjaustavat voidaan jaotella perinteisiin, keskuskohtaisiin ja valaisinkohtaisiin ohjausjärjestelmiin ja valaisinkohtaisiin ohjausjärjestelmiin osana älykästä palvelualustaa. (Ekrias & Nevalainen 2018, 22.)

### 2.4.1 Perinteiset ohjaustavat

Perinteisiin ohjaustapoihin kuuluvat muun muassa astronomiseen kelloon perustuva ohjaus, hämäräkytkinohjaus ja vyörytysohjaus. Valtiontieosuuksilla ohjaukset ovat pääasiassa etäohjattuja. (Ekrias 2018.)

Astronomiseen kelloon perustuva ohjaus toimii ennalta ohjelmoidun auringonnousut ja laskut huomioon ottavalla kalenterilla. Ohjaus ottaa huomioon päivän pitenemisen ja lyhenemisen ja ohjaa valaistusta päälle ja pois ennalta ohjelmoitujen auringonnousu- ja laskuajankohtien sanelemana. (Nevalainen 2018, 13.)

Hämäräkytkimeen voidaan asettaa haluttu valonmäärään viittaava lux-arvo, jolloin valaistus kytkeytyy päälle tai pois. Hämräkytkinohjaus on paikallinen ohjaustapa ja tarkoittaa eri asiaa kuin valoantureilla toimiva keskitetty etähallintajärjestelmä. Yleisesti ottaen iltaisin valaistus kytketään päälle, kun valonmäärä on vielä suhteessa korkeampi kuin aamulla pois kytkettäessä. Tämä johtuu siitä, että pimeään sopeutuminen on ihmissilmälle hitaampaa kuin valoisaan. Toisaalta lampputekniikka vaikuttaa myös, sillä purkauslampeilla kestää yleensä huomattavasti pidempään syttyä kuin sammua. (Ekrias 2018.)

TAULUKKO 3. Tampereella käytössä oleva hämräkytkinohjauksen raja-arvoja. (Heikkilä ym. 2017, 49.)

Toiminto	Arvo
Sytytys:	20 lx
Sammutus:	15 lx

Vyörytysohjauksessa on esimerkiksi yksi valaistuskeskus, johon on asennettu hämräkytkin. Tämä keskus ohjaa samalla muitakin keskuksia. Vyörytyksessä tarkoitus on alistaa muut keskukset yhden keskuksen ohjaukseen, jolloin saavutetaan yhdenaikainen valojen syttyminen ja sammuminen. (Eskelinen 2018.)

Käytössä on myös katuvalokeskuksiin sijoitetut releet, jotka katkovat öisin vuorotellen eri vaiheita. Yleisesti katkotaan vain yhden vaiheen virta, jolloin säästöjä kertyy odotetut

33 %. Vaihesammutukset menevät joka päivä eri vaiheelle, jotta saadaan valaisimille tasaista kulumista. (Eskelinen 2018.)

Yösammutukset sijoittuvat tavallisesti kesäajalle, jolloin yöllä tarvittava lisävalo ei ole tarpeellista. Yösammutusajat ovat tilaajakohtaisia ja ne sijoittuvat pääasiassa toukokuu- elokuu välille. (Nevalainen 2018, 11-12.)

TAULUKKO 4. ELY-keskuksen himmennystaulukko. (Huttula ym. 2017, liite 10.)

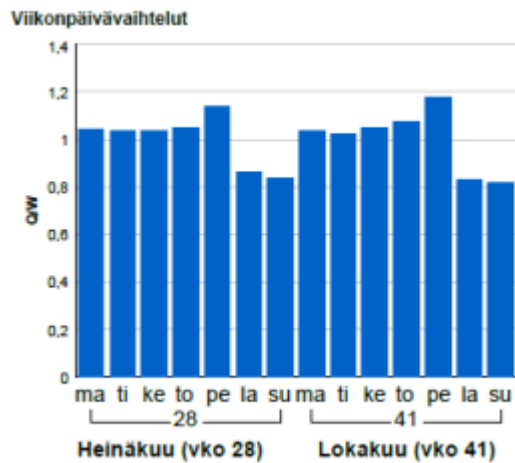
		Kellonaika, alkava tunti																		
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
Mitoittava valaistusluokka	Muuttuvan tievalaistuksen valaistusluokat	Mitoittavasta valaistusluokasta jäljelle jäävä keskimääräinen luminanssi %																		
M1 (AL1), C0 ja C1	M1 – M2 – M3 – M2 – M1	100	100	100	100	100	75	75	50	50	50	50	50	50	50	75	100	100	100	100
M2 (AL2), C2	M2 – M3 – M4 – M3 – M2	100	100	100	100	100	75	75	50	50	50	50	50	50	50	75	100	100	100	100
M3a (AL3), C3	M3 – M4 – M5 – M4 – M3	100	100	100	100	100	75	75	50	50	50	50	50	50	50	75	100	100	100	100
M3b (AL4a)	M3 – M4 – M5 – M4 – M3	100	100	100	100	100	75	75	50	50	50	50	50	50	50	75	100	100	100	100
M4 (AL4b), C4	M4 – M5 – M6 – M5 – M4	100	100	100	100	100	60	60	40	40	40	40	40	40	40	60	100	100	100	100
M5 (AL5), C5	M5 – M6 – P5 – M6 – M5	100	100	100	100	100	60	60	40	40	40	40	40	40	40	60	100	100	100	100
		Mitoittavasta valaistusluokasta jäljelle jäävä keskimääräinen valaistusvoimakkuus %																		
P1 (K1)	P1 – P2 – P3 – P2 – P1	100	100	100	100	100	75	75	50	50	50	50	50	50	50	75	100	100	100	100
P2 (K2)	P2 – P3 – P4 – P3 – P2	100	100	100	100	100	75	75	50	50	50	50	50	50	50	75	100	100	100	100
P3 (K3)	P3 – P4 – P5 – P4 – P3	100	100	100	100	100	60	60	40	40	40	40	40	40	40	60	100	100	100	100
P4 (K4)	P4 – P5 – P6 – P5 – P4	100	100	100	100	100	60	60	40	40	40	40	40	40	40	60	100	100	100	100
P5 (K5)	P5 – P6 – P5	100	100	100	100	100	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	100	100	100	100

Himmennystaulukon (taulukko 4) tarkoitus on säästää energiakustannuksissa silloin, kun liikenne on vähäistä. Nykyisten LED-valaistusten yleistyessä ja valaisinten liitäntälaitteiden vuorokausiohjelmoinnin helppouden tultua, voidaan valaisimien liitäntälaitteisiin ohjelmoida ennalta määritelty himmennysprofiili valaistusluokan, liikennemäärien jne. mukaisesti. Seuraavissa kappaleissa on esitetty Pohjanmaan ELY-keskukselle tehdyn himmennystaulukon pohjatietoja, jonka pohjalle tutkimuksen himmennystaulukko on luotu.

Muuttuvassa tievalaistuksessa valaistusluokkaa muutetaan liikennemäärien mukaan joko alempaan tai ylempään luokkaan. Tievalaistuksen himmennystaulukkoa luotaessa mitoitus ja suunnittelu tapahtuu korkeamman valaistusluokan mukaan. Tästä johtuen mitoitettaessa tietä korkeampaan valaistusluokkaan, ohjaus tapahtuu lähinnä alempaan valaistusluokkaan. Esimerkiksi mitoitetaan tie tieluokkaan M3b, jolloin ohjaus tapahtuu luokkiin M4 ja M5. Liikennemäärät saadaan esimerkiksi erilaisten liikennemallien tuottamien liikennemäärätietojen pohjalta tai reaaliaikaisesti mitatulla tiedolla, kuten Liikenneviraston liikennemääriä mittaavan LAM-pisteen avulla. (Heikkilä ym. 2017. 52-34.)

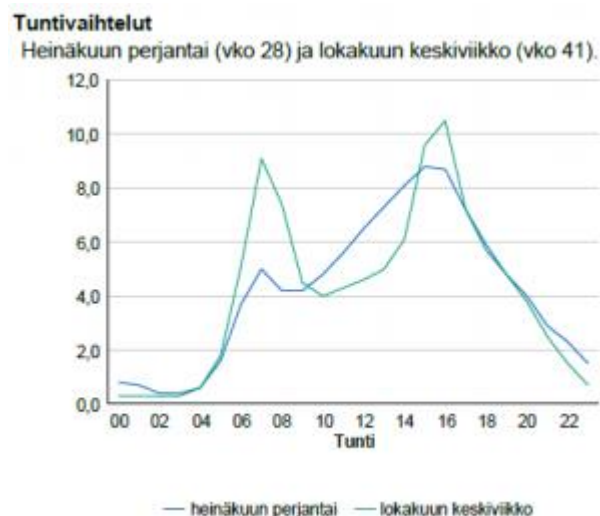
Liikennemääräperusteinen valaistuksen ohjaus perustuu liikenteellisiin ominaisuuksiin, kuten viikonpäivä- ja tuntivaihteluihin. Viikonpäivävaihtelulla tarkoitetaan vuorokausiliikennevaihtelua eri viikonpäivien välillä. Tuntivaihtelulla tarkoitetaan vuorokauden eri aikojen liikennemäärien vaihtelua. Esimerkiksi voimme ottaa kuvan 2.

(Huttula ym. 2017, 34-36.)



KUVA 1. Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskusten tievalaistuksen tarveselvitys ja toimintalinjat. (Huttula ym. 2017, 35.)

Kuvassa 1 on esitetty valtatie 20 Kiiminki vuoden 2015 viikot 28 ja 41 vuorokausiliikennemäärän suhteellisesta vaihtelusta eri viikonpäivien välillä. Kuvasta havaitaan maanantain ja torstain välisen ajan olevan liikennemäärävaihteluiltaan suhteellisen vakio. Perjantai on viikon vilkkain päivä ja viikonloput ovat taas liikennemääriltään rauhallisempia. (Huttula ym. 2017, 35.)



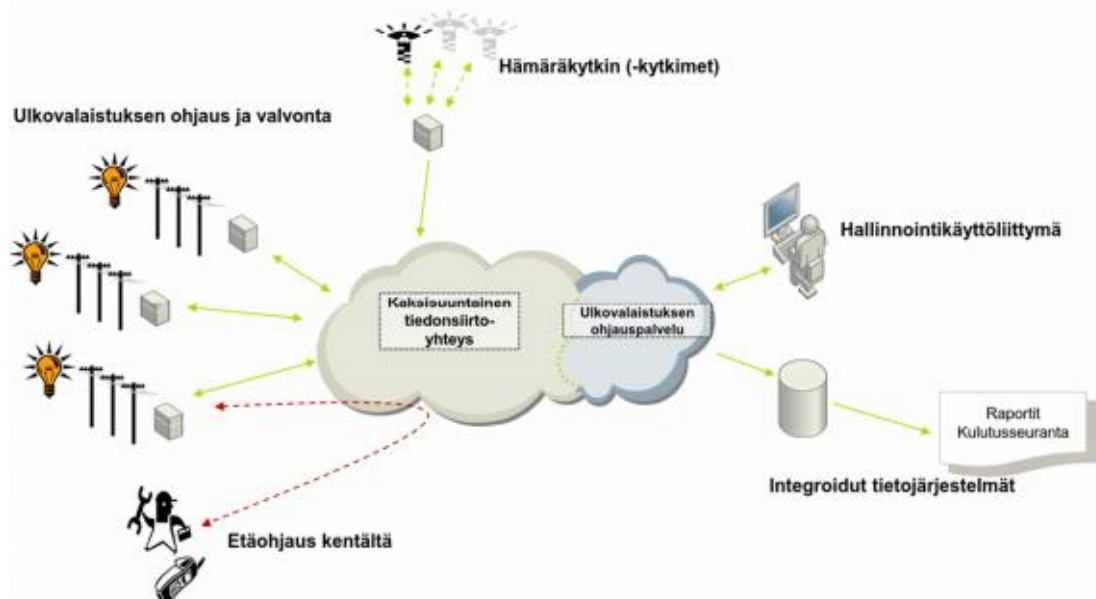
KUVA 2. Liikennemäärän suhteellisesta vaihtelusta vuorokauden aikana heinäkuun perjantailta ja lokakuun keskiviikolta. (Huttula ym. 2017, 34-35.)

Kuvassa 2 on esitetty valtatie 4 Mäntylä, Oulu tuntikohtaiset liikennemäärien vaihtelut heinäkuun perjantailta ja lokakuun keskiviikolta. Kuvaajasta huomataan, että arkipäivinä tieliikenne on vilkkainta kello 06:00-09:00. Iltapäivällä taas vastaavasti 14:00-17:00. Kuvassa esitetty heinäkuun perjantai vastaa tyypillistä viikonloppu-, loma- tai pyhäpäivää. Keskiviikko taas vastaa normaalia arkipäivää. (Huttula ym. 2017, 34-35.)

Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskukselle luotu himmennystaulukko on laadittu pohjautuen teknisessä raportissa CEN/TR 13201-1:2015 ja Liikenneviraston ohjeessa ”Maantiealueiden valaistuksen suunnittelu” esitettyihin tievalaistuksen ohjausperiaatteisiin. Himmennystaulukko on käytössä valtakunnallisesti maanteillä. (Ekrias 2018.)

#### 2.4.2 Keskuskohtaiset ohjausjärjestelmät

Keskuskohtaisiin ohjausjärjestelmiin luetaan esimerkiksi keskukseseen asennettava etäohjauslaite. Yleensä kyseinen ohjaustapa on käytössä vain päälle/pois ohjauksessa. Keskuksessa ohjaus toteutetaan yleensä releillä. Esimerkki ohjausjärjestelmäpalvelusta kuvassa 3.



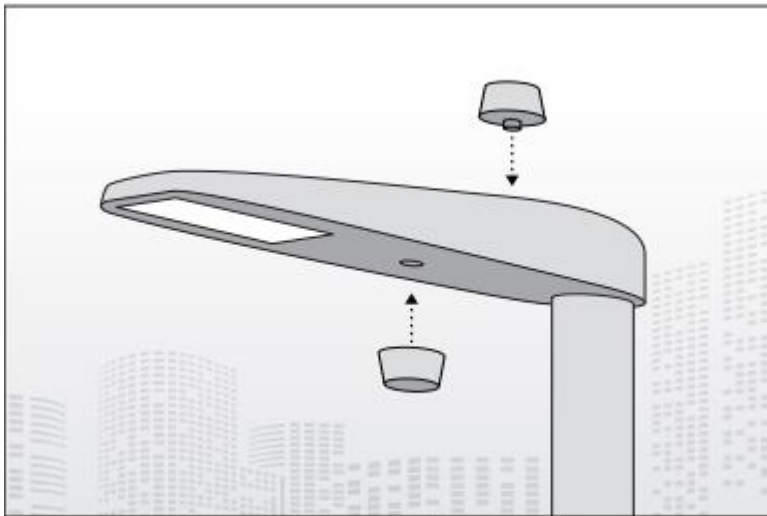
KUVA 3. Ohjausjärjestelmäpalvelun periaatekuvaus. (Nevalainen 2017, 15.)

### 2.4.3 Valaisinkohtaiset ohjausjärjestelmät

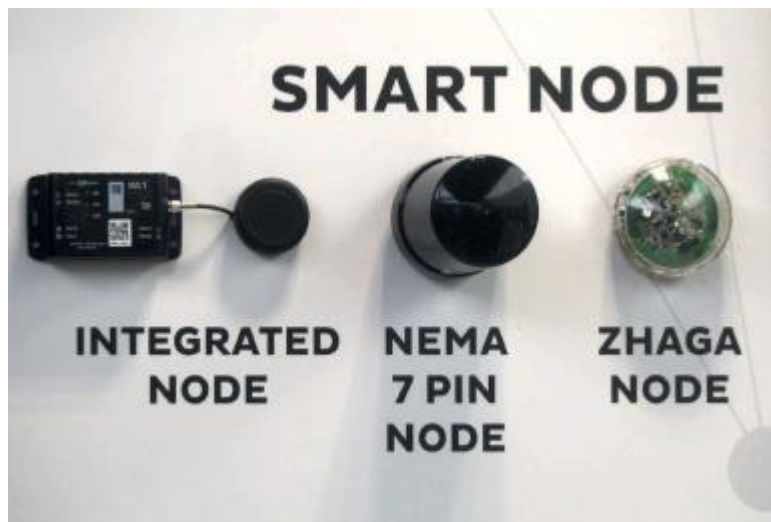
Valaisinkohtainen ohjausjärjestelmä poikkeaa keskuskohtaisen etäohjausjärjestelmän osalta siten, että valaisimeen itsessään asennetaan ohjauslaite. Ohjainlaitteita ovat muun muassa Zhaga- ja NEMA-liittimiin perustuvat ohjainlaitteet. (Ekrias & Nevalainen 2018, 2.)

NEMA-liitin (kuvat 4 ja 5) perustuu standardiin ANSI C136.41-2013. Se toimii maksimissaan 480Vac/DC jännitteellä. Maksimivirta ohjainlaitteella on 15A. Kotelointiluokka on IP66 ja ohjauksen tiedonsiirtotavat ovat DALI/1-10V. (Ekrias & Nevalainen 2018, 2.)

Zhaga-liittimellä (kuvat 4 ja 5) ei ole vielä standardia. Se toimii 30VDC jännitteellä ja sen maksimivirta on 1,5A. Kotelointiluokka on IP66 ja ohjaustapana on käytössä DALI 2.0. (Ekrias & Nevalainen 2018, 2.)



KUVA 4. Zhaga- ja NEMA-ohjainlaitteen asentaminen valaisimeen. (Ekrias & Nevalainen 2018, 2.)



KUVA 5. Zhaga- ja NEMA-ohjainlaitteet. (Ekrias & Nevalainen 2018, 2.)

Suomessa käytössä on toistaiseksi vielä enemmistönä NEMA-standardiin perustuva liitin ja ohjainlaitteet. Zhaga-liitin tulee kuitenkin yleistymään tulevaisuudessa NEMA-liittimen rinnalla. Näin ollen markkinoille tulee hyvin suuri määrä mahdollisuuksia valaistuksen ohjauksiin. (Ekrias & Nevalainen 2018, 2.)

Vanhoissa elohopea-, suurpainenatrium- yms. valaistuksessa himmentäminen ei onnistu samalla tavalla, kuin ledivalaistuksessa. Näissä ratkaisuissa käytetään joko vaihesammutusta tai kaksitehokuristinhimmennystä. Kaksoiskuristimella tarkoitetaan, että valaisimessa on kaksi eritehoista kuristinta, joilla voidaan luoda himmennys suoraan tehoa pudottamalla. Suurpainenatriumlamppu ei himmene lineaarisesti. Esimerkiksi suurpainenatriumvalaisimen sähkötehoa tiputettaessa 25-40 %, sen valonmäärä pienenee 35-50 %. led-valaistuksella tätä ongelmaa ei tule, vaan led-valaistusta himmennettäessä 25% valovirta tippuu myös n. 25 %. (Liikennevirasto 2015, 15.)

Läsnäoloon perustuva valaistuksen ohjaus on alkanut hiljalleen yleistyä Suomessa. Valmistajia on tullut markkinoille jo muutamia ja pilottikohteita on toteutettu. Valaisinkoh- taisen ohjauksen päätehtävinä on tuottaa tienkäyttäjälle hyvät valaistusolosuhteet ja samalla säästää hiljaisempina aikoina energiaa.

#### **2.4.4 Valaisinkohtainen ohjausjärjestelmä osana älykästä palvelualustaa**

Smart city, eli älykkäät kaupungit ovat vielä käsitteenä uusia. Älykkään kaupungin tarkoituksena on olla saumattomasti toimiva älykkäiden palveluiden tuottaja. Suomessa merkittävässä asemassa on ollut Tampereen kaupunki. Smart City pitää sisällään useita palveluita asukkaille. (Nevalainen 2018, 18.)

Suomen kansallinen hankintalaki 1397/2016 suosii ja kannustaa kestäviin hankintaratkaisuihin. Smart cityyn liittyvät läsnäoloon perustuvat valaisinohjaukset ovat energiatehokkuus ja huoltotehokkuuden kannalta innovatiivisia ja kokeilun arvoisia järjestelmiä Suomessa. (Motiva 2018.)

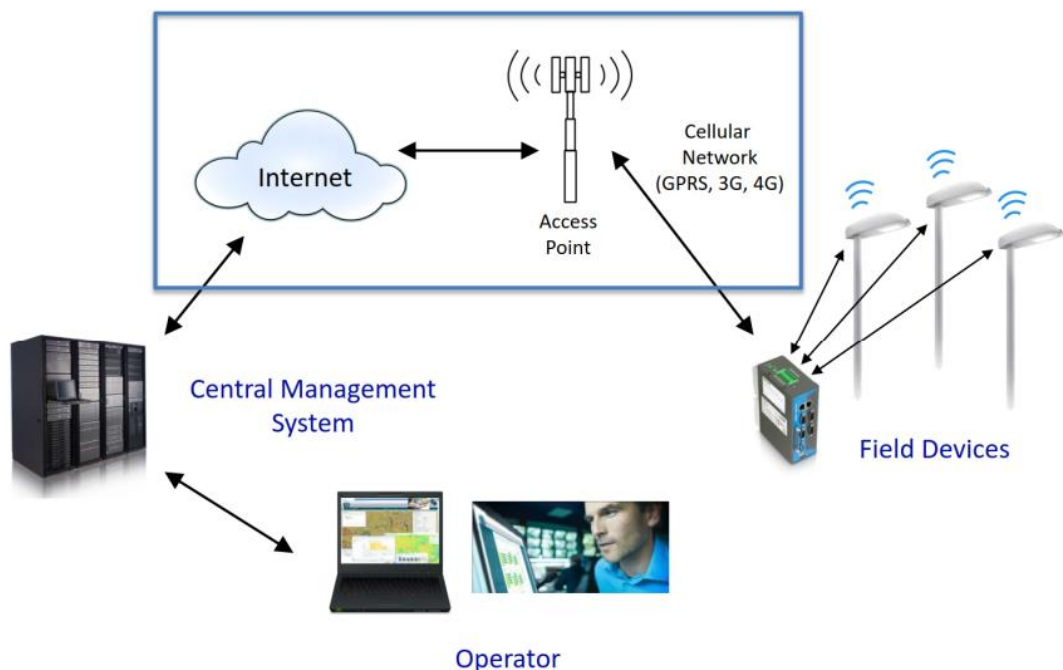


### 3 Lumine Lighting Solutions

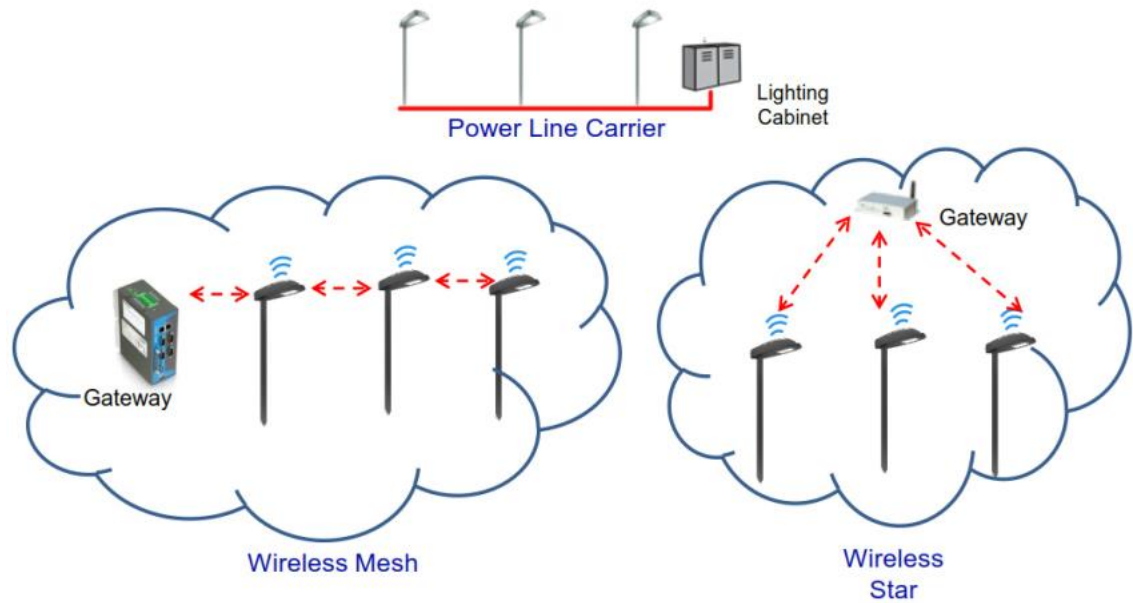
Lumine Lighting solutionsin on suomalainen valaistusohjausjärjestelmiä suunnitteleva ja toteuttava yritys. Yrityksen ohjausjärjestelmä perustuu liiketunnistukseen ja langattomaan tiedonsiirtoon. Järjestelmä on kehitetty hyödyntämään LED-valaistuksen ohjattavuutta ja energiansäästöpotentiaalia. (Lumine Lighting solution 2017, 2-3.)

#### 3.1.1 Järjestelmä

Järjestelmä koostuu master-yksiköistä ja liiketunnistinyksiköistä. Master-yksiköt on asennettu erilliseen kytkentäkoteloon valaisinpylvääseen ja liiketunnistinyksiköt pylvään kylkeen. Master-yksikön tarkoitus on koota kaikkien liiketunnistimien mittausdata. Data siirtyy tällöin etäpalvelimelle ja on luettavissa etäyhteydellä. Master-yksikön kautta muutetaan myös liiketunnistimien ja järjestelmän toimintaa ohjaavia parametreja. Kuvassa 6 on esitetty järjestelmän runkoverkon periaatekaavio. Kuvassa 7 on esitetty järjestelmän valaisinverkkokaavion periaate.



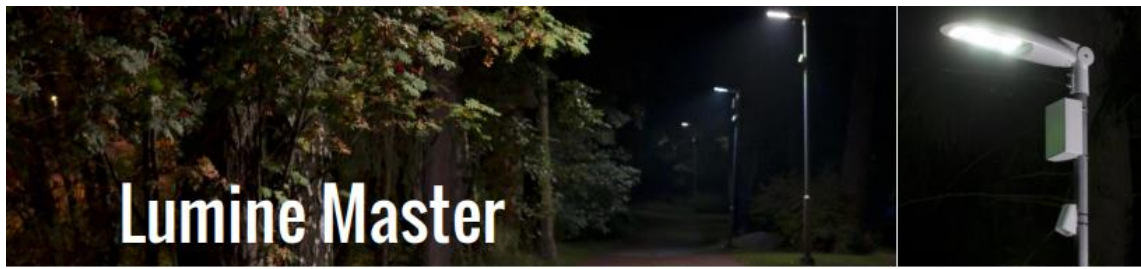
KUVA 6. Ohjausjärjestelmän runkoverkon periaate. (Nevalainen 2018, 8.)



KUVA 7. Valaisinverkon periaate. (Nevalainen 2018, 9.)

Runkoverkolla tarkoitetaan yhteyttä järjestelmän ja etäpalvelimen välillä. Luminen tapauksessa tällä tarkoitetaan master-yksikön ja verkkopalvelimen välistä yhteyttä. Järjestelmän viestintä toimii palvelinyhteyden osalta 2g/3g-yhteydellä. (Saukkonen 2018, 1-8.)

Valaisinverkolla tarkoitetaan yhteyttä, joka tuottaa valaisinten välillä langattoman tai langallisen ohjauspiirin. Tässä tapauksessa langattoman ohjauksen siirron valaisimelta valaisimelle. Esimerkki esitetty kuvassa 7. Valaisimet myös lähettävät ja vastaanottavat ohjauksia ja mittaustietoja master-yksikölle, josta master-yksikkö on yhteydessä etäpalvelimeen. Liiketunnistimien ohjaustapana toimii langaton radio-signaali. Radio-signaali toimii 2,4 GHz taajuudella ja se on IEEE 802.15.4 yhteensopiva Mesh-verkko. Langattoman yhteyden maksimikantama on 100 metriä, joka mahdollistaa alle 50 metrin pylsävälillä toteutetussa tievalaistuksessa tiedon hyppäämisen yhden pylsävälin yli. Tiedon siirto ei siis välttämättä katkea tilanteessa, jossa yksi tunnistin olisi viallinen. Jos tiedon siirto katkeaa järjestelmästä, on se ohjelmoitu toimimaan sille ohjelmoitujen parametrien pohjalta. (Saukkonen 2018, 1-8.)



KUVA 8. Pylvääseen asennettu master-yksikkö, sekä liiketunnistin. (Saukkonen 2017, 1-8)

Liiketunnistimet ovat toiminnaltaan PIR-tunnistimia, eli ne toimivat infrapunasäteellä. Liiketunnistin asennetaan tavallisesti 3-6 m korkeuteen riippuen tien leveydestä kuinka pitkälle tunnistuksen täytyy tapahtua. Liiketunnistimen asennus on esitetty kuvassa 9. (Lumine Lightins solutions 2017.)



KUVA 9. Luminen järjestelmän liiketunnistinyksikkö. (Lumine Lighting solutions 2017.)

### 3.1.2 Parametrit

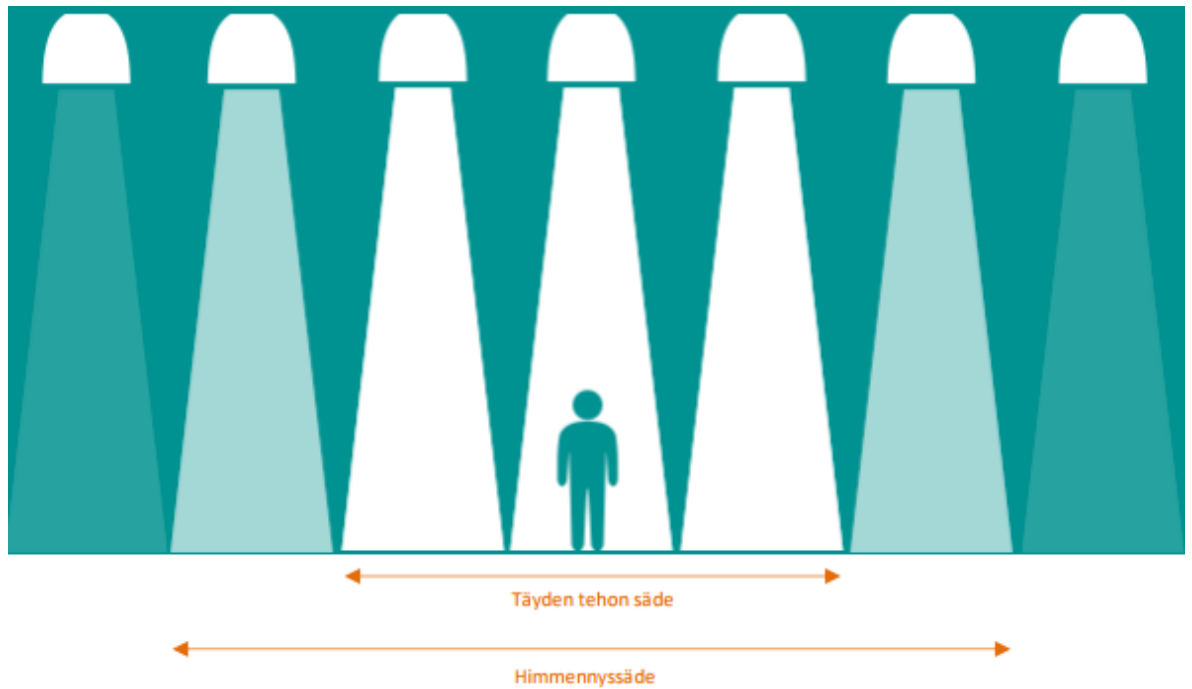
Järjestelmän toimintaa ohjaavat parametrit ovat monipuolisesti muokattavissa usealle eri tietyypille, nopeuksille ja olosuhteille. Järjestelmässä voidaan ohjata esimerkiksi valaisimen valaistustasoa liikennemäärien mukaan, kuinka monta pylväsväliä tietä valaistaan liiketunnistuksen jälkeen, kuinka kauan kestää viimeisen liiketunnistuksen jälkeen, että valaistus himmenee taas ja kuinka nopeasti valaistustaso nousee.

Järjestelmän energiatehokkuuden näkökulmasta pääparametrina toimii valaisimen valonmäärän muuttaminen. Valonmäärää ohjataan yhdessä liiketunnistimen kanssa, jolloin valonmäärän putoaminen ja kasvaminen toimivat liiketunnistintiedolla. Suurin energiahyöty tuleeekin nimenomaan hiljaisina aikoina, jolloin valon määrää voidaan vähentää tiellä. Valonmäärän pudotus on suoraan verrannollinen säästyviin energiakustannuksiin.

Valonmäärää voidaan ohjata myös liikennemäärien mukaan, jolloin se palvelee paremmin tienkäyttäjiä. Tiellä liikkujien määrän kasvaessa tarvitaan valoakin enemmän ja siten paremmin ennalta ehkäistään onnettomuuksia. Tien käytön ollessa vähäistä valoa ei tarvita niin paljoa ja valonmäärää voidaankin pudottaa tieosuudella.

Parametri, jolla saavutetaan tienkäyttäjälle mahdollisimman muuttumattomat olosuhteet kirkastumisen ja himmenemisen suhteen on, kuinka pitkälle eteenpäin valaistusta ohjataan tunnistimesta. Valaistusta voidaan ohjata kirkastumaan ja himmenemään tietyn pylväsvälin tai etäisyyden tienkäyttäjistä eteenpäin. Kuva 10 havainnollistaa tätä parametria hyvin. Tällä tarkoitetaan sitä, että esimerkiksi liiketunnistimen 1 havaitessa autoilijan, valaisimet 2 ja 3 ohjautuvat myös maksimitehoonsa ja tunnistin 2 ohjaa valaisimet 3 ja 4 maksimitehoon jne. Samalla tavalla toimitaan tunnistamisen jälkeisessä himmentämisessä. Tällä saadaan tienkäyttäjälle ohjelmoitua riittävä valaistu alue eteenpäin, jotta liikenneturvallisuus olisi vielä hyvä ja tienkäyttäjä ei häiriintyisi valaistuksen muutoksesta. Tämä on myös ohjelmoitavissa ajan mukaan siten, että viimeisen liiketunnistuksen jälkeen valaisin 1 himmenee takaisin ala-asetusarvoonsa esimerkiksi 15 sekunnin kuluttua viimeisestä tunnistuksesta.

Parametrien asettamisessa onkin käytettävä aistinvaraisia mittausmenetelmiä, jotta tienkäyttäjälle ei koituisi ohjauksesta haittaa. Ihanteellisesti toimiva järjestelmä onkin tienkäyttäjälle lähes huomaamaton.



KUVA 10. Ennakoivan valaistuksenohjauksen himmenemis- ja kirkastumissädettä havainnollistava kuva. (Saukkonen 2017.)

### 3.1.3 Lumine manager

Lumine manager on verkkoselainpohjainen ohjelma, jossa valaisimien parametreja voidaan säätää, tarkastella ja esimerkiksi seurata vuorokautista liiketunnistuksien määrää. Master-yksikkö on etäpalvelimen kautta yhteydessä Lumine manager -järjestelmään. Manager on tarkoitettu niin tilaajalle, kuin itse järjestelmän parametreja säätävälle taholle.

## 4 Järjestelmän tutkimukset ja lähtötiedot

Järjestelmän toimintaa tarkastellaan järjestelmän yhteyksien osalta: toimiiko järjestelmä oikein himmennyksien ja liikennemäärien osalta ja onko järjestelmä taloudellisesti kannattava. Läsnaoloon perustuvan ohjaustavan tutkimuksessa on käytetty Luminen ohjausjärjestelmää, johon tutkimustulokset perustuvat. Itse ohjauksen toimintaperiaate on valtakunnallisesti yleispätevä vastaavanlaisiin ohjaustapoihin. Tutkimustulokset ovat sovellettavissa muidenkin valmistajien ohjausjärjestelmiin.

Tutkittavat valaisimet (kahdeksan kappaletta) valittiin alun perin kattamaan koko tieosuus tasaisin välimatkoin. Tutkimuksen edetessä todettiin toisen master-yksikön vioittuneen, joten puolet alkuperäisistä tutkittavista valaisimista jäi mittaustulosten osalta kokonaan pois. Tilanne saatiin korjattua valikoimalla valaisimet ja tunnistimet, jotka olivat toiminnassa koko tutkimusjakson ajan.

Mittausdataa oli alun perin tarkoitus kerätä 10:ltä tutkittavalta kuukaudelta. Tutkimuksen päätyttyä tutkimuskuukausia kertyi yhteensä yhdeksän. Järjestelmän viallisen toiminnan vuoksi päädyttiin tutkimuksen energiansäästö kohdassa käyttämään mittausjaksoa elokuu-joulukuu 2017. Tutkimuskuukausien pois jättäminen on perusteltu seuraavissa tutkimuskappaleissa. Kesä- ja heinäkuun tutkimustuloksia ei ole, koska tiellä oli käytössä yösammutukset kyseiseen aikaan. Mittauksissa kertyi noin kahdeksan miljoonaa kappaletta yksittäistä valon määrää kuvaavaa arvoa. Vaikka tutkimus jäikin suppeammaksi, mitä oli suunniteltu, mittausjaksosta saadaan varsin kattava läpileikkaus järjestelmän toiminnasta ja säästöistä vuositasolla.

### 4.1 Tutkittava tieosuus

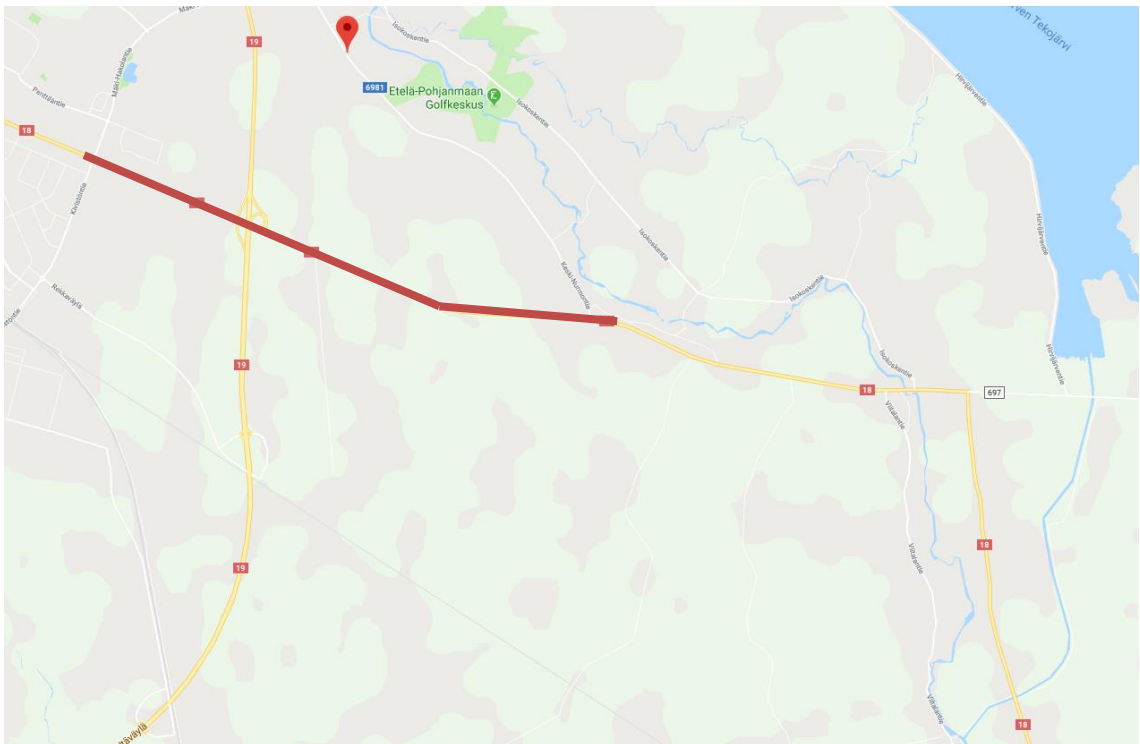
Tutkittava pilottikohde sijaitsee Seinäjoella Kuortaneentiellä, valtatie 18:sta. Valaistuksen ohjaus on toteutettu välillä Keski-Nurmontie - Kivistöntie (kuva11). Tieosuudella on eritasoliittymä ja tasoliittymiä. Tiellä nopeusrajoitus on talvisin 80 km/h ja kesäisin 100 km/h.

Tutkittavan tieosuuden valaistusluokka on M3b. Tielle on asennettu LED-valaistus, joka on teholtaan 170 W. Pylväsvali tiellä on 47 metriä, joka määrittää myös samalla tunnistimien välin. Kuvassa 12 on esitetty tutkimuksessa vaihtuneet uudet tutkittavat valaisimet.

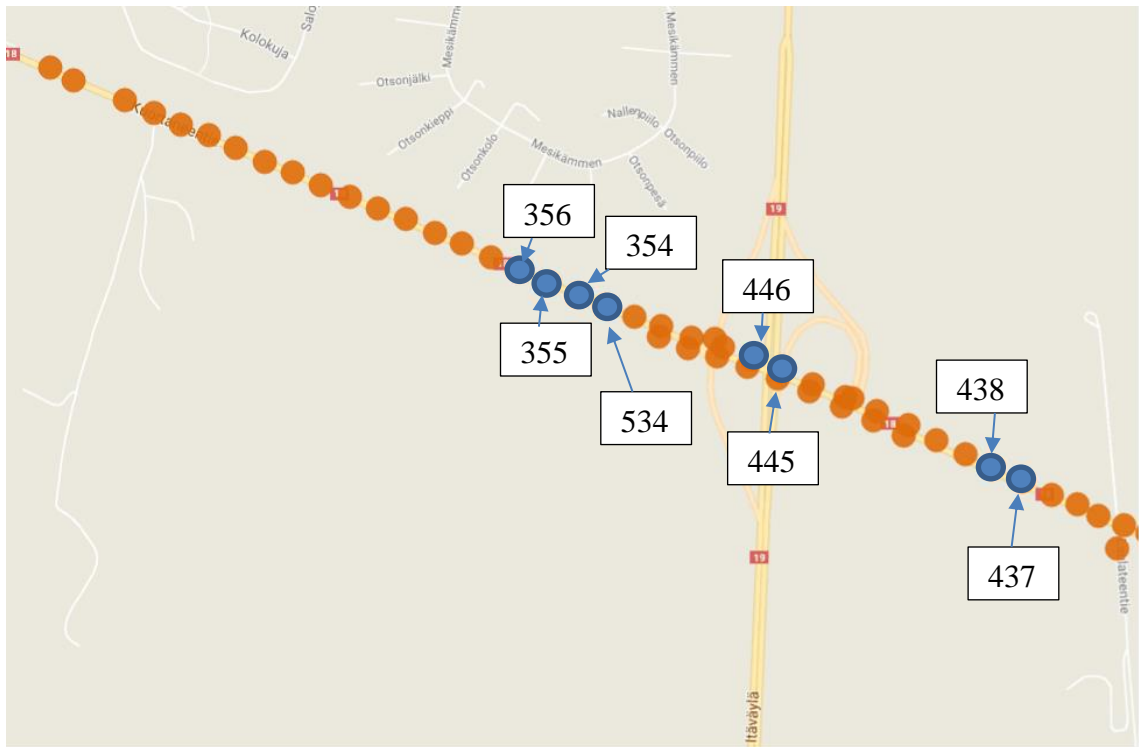
Vertaileva himmennystaulukko noudattaa taulukon 4 mukaisesti luokan M3b-himmennysprofiilia.

Järjestelmän tunnistimet on asennettu puupylvääseen kuuden metrin korkeuteen. Tunnistimia on asennettu myös kahteen pylvääseen ennen LED-valaistuksen alkamista, jotta haluttu sopeutumisalue saavutettaisiin. Sopeutumisalue on esitetty kappaleessa 2.5.2. Master-yksiköt on sijoitettu itä- ja länsipäähän tutkittavaa tieosuutta.

Tutkimussuunnitelmassa (liite 2) on määritetty liikennemääräluokat, joiden mukaan valaistuksen himmennyksiä säädellään. Lähtökohtaisesti tutkimuksen tarkoitus on ohjata valaistustasoa alemmas taulukon 4 himmennysprofiilista.



KUVA 11. Tutkittava tieosuus.



KUVA 12. Tutkimuksessa tutkittavat uudet tievalaisimet.

## 4.2 Järjestelmän ohjausparametrit

Keväällä 2017 järjestettiin kohteessa katselmus, jossa kartoitettiin ohjausparametreja. Järjestelmän säätöparametreja testattiin käytännön olosuhteissa, tällä haluttiin saada varmuus siitä, että säädetyt parametrit ovat sopivia tielle ja niistä ei koidu tienkäyttäjille haittaa.

Toiminta-alueen pituus, eli kuinka monta pylväsväliä säätöviesti kulkee tunnistuksen jälkeen, testattiin ääripään arvoilla. Ääripäissä valonmäärän muutos oli 10/100 %. Tutkimuksessa tarkoituksena oli saavuttaa raja-arvot, jolloin valaistuksen ohjaus alkaa haitata kuljettajan havainnointikykyä. Tutkimuksessa todettiin 150 metrin, eli jo kolmen pylväsvälin olevan tienkäyttäjän havainnointia haittaava tekijä. Testissä käytetyt 10/100 % säätöparametrit eivät vastaa todellisuutta ja antavatkin varsin jyrkän olosuhteen muutoksen. Testattaessa näin jyrkällä ohjauksella on pienempi muutos, kuten 10/50 % lievemmin havaittavissa oleva muutos, joka ei tuota haittaa tienkäyttäjälle. Järjestelmään on säädetty nyt 300 metriä eteenpäin valaistusalue, eli noin kuusi pylväsväliä. Liiketunnistuksen jälkeen valaistus ohjautuu automaattisesti takaisin alempaan asetusarvoonsa, ellei uutta tunnistusta tule. Tutkimuksessa havaittiin 15 sekunnin olevan sopiva viive, jotta tienkäyttäjä pystyy havainnoimaan myös auton taakse jäävää ympäristöä.



Valaisimille on asetettu siirtymishystereesi liikennemääräluokkien välillä. Tällä pyritään tasoittamaan järjestelmän heittelyä luokasta toiseen. Hystereesi on 10 % asetetusta raja-arvosta. Esimerkiksi valaistuksen ollessa alimmassa luokassa (10/50 %) liikennemäärän ollessa 54 ajoneuvoa/tunnissa valaisin ei vielä muuta ohjausluokkaa korkeammaksi. Muutoksen ollessa yli 55, ohjaus muuttuu ylempään luokkaan. Järjestelmä laskee liikennemääriä 10 minuutin jaksoissa. Tällöin siirtymähystereesi huomioon ottamalla saadaan 9,17 autoa/10 minuuttia, jolloin valaistus vaihtuu ylempään luokkaan. Järjestelmä toimii samalla tavalla alaspäin valaistusluokissa. Muutoksella saadaan vähennettyä järjestelmän heittelemistä valaistusluokkien välillä.

Järjestelmään ohjelmoidut himmennykset (taulukko 5) on otettu suoraan himmennystaulukosta. Keskimääräisen vuorokausiliikenteen vaihdella tunneittain on päätetty käyttää kyseisiä liikennemääriä eri himmennysluokanohjauksessa. Eli hiljaisempina aikoina 10/50 % ja vilkkaampina aikoina 50/100 %. Järjestelmään asetettujen parametrien on tarkoitus viedä energiankulutusta vielä alemmaksi himmennystaulukon arvoista, kun tiellä ei ole liikkujia. Tienkäyttäjälle olosuhteet ovat visuaalisesti kuitenkin samanlaiset, kuin himmennystaulukon arvoilla.

TAULUKKO 5. Luminen järjestelmään asetetut parametrit valon himennyksien suhteen. (Ekrias & Hokka 2017.)

Ohjausluokka	Liikennemäärä	Kirkkaustasot
1	<50 ajoneuvoa/tunti	10/50%
2	>50-<150 ajoneuvoa/tunti	30/75%
3	>150 ajoneuvoa/tunti	50/100%

### 4.3 Tutkimusdatan saattaminen selkeämpään muotoon

Järjestelmästä saatu käsittelemätön mittausdata on ollut alun perin .CSV-muodossa, esimerkkinä tästä Taulukko 6. Kyseisessä mittausdatassa tiedot on esitetty seuraavassa järjestyksessä: tunnistimen positio, mittauksen päivämäärä, kellonaika ja kirkkaustaso prosentteina. Mittaustuloksia on saatu järjestelmästä useita miljoonia, joten tämän kaltaisena mittaustulokset eivät ole tutkimuksessa helposti käsiteltäviä.

## TAULUKKO 6. Järjestelmästä saatu lokeroimaton mittausdata.

341,2017-04-01 00:00:12,53
342,2017-04-01 00:00:12,70
341,2017-04-01 00:00:14,59
341,2017-04-01 00:00:17,70
442,2017-04-01 00:00:26,33
442,2017-04-01 00:00:28,14
442,2017-04-01 00:00:29,50
437,2017-04-01 00:00:54,48
437,2017-04-01 00:00:54,50
253,2017-04-01 00:01:11,36
253,2017-04-01 00:01:12,38
252,2017-04-01 00:01:14,36
253,2017-04-01 00:01:15,50
252,2017-04-01 00:01:17,50
342,2017-04-01 00:01:21,69
342,2017-04-01 00:01:24,70
341,2017-04-01 00:01:24,69
341,2017-04-01 00:01:26,70
437,2017-04-01 00:01:29,48
437,2017-04-01 00:01:32,30
437,2017-04-01 00:01:35,10
442,2017-04-01 00:01:35,33
442,2017-04-01 00:01:38,14
442,2017-04-01 00:01:41,10
253,2017-04-01 00:01:46,36
253,2017-04-01 00:01:49,13
252,2017-04-01 00:01:49,36
252,2017-04-01 00:01:51,15
253,2017-04-01 00:01:51,10
252,2017-04-01 00:01:54,10
342,2017-04-01 00:01:54,69
253,2017-04-01 00:01:55,15
342,2017-04-01 00:01:56,56
341,2017-04-01 00:01:56,69
341,2017-04-01 00:01:58,51
253,2017-04-01 00:01:58,38
252,2017-04-01 00:01:58,15
341,2017-04-01 00:02:01,30

Mittausdatan analysoinnin helpottamiseksi on luotu koodi python-ohjelmointikielellä, joka jaottelee mittausdatat ennalta haluttuihin lokeroihin, esimerkki taulukossa 7. Koodi jaottelee mittautulokset päivämäärän ja valaisinposition mukaan mittaussarakkeisiin. Tässä tutkimuksessa mittausdata on jaettu kirkkauden mukaan aina 10 %:n välein oleviin sarakkeisiin.

10 %:n välein oleva taulukointi valittiin, koska järjestelmä voi ohjautua erilaisiin kirkkaustasoihin. Esimerkkinä voimme ottaa taulukon 5 pienimmän ohjausluokan, jossa ajoneuvomäärä on <50 autoa tunnissa ja himmennysprofiili on 10 % ilman tunnistusta ja 50 %, kun ajoneuvo on tunnistettu. Hetkellinen mittautulos ei pysytele pelkästään arvoissa 10 % tai 50 %, vaan voi olla esimerkiksi 23 % tai 46 %. Täten on selkeämpää jaotella mittautulokset 10 % välein oleviin mittaussarakkeisiin.

Selitystä siihen, miksi järjestelmästä saatu kirkkausdata ei pysyttele tasaluvuissa ohjauksen suhteen, ei ole varmaksi voitu todentaa. Syitä tähän saattaa olla esimerkiksi valaisimen liitäntälaitteen mittavirhe tai liitäntälaitteen ominaisohjaukseyri, joka pyrkii pitämään ohjatun parametrin halutun kirkkaustason läheisyydessä.

Koodi jaottelee sekuntimäärinä ajan, kuinka kauan se on ollut eri himmennystasossa. Aika määräytyy suoraan mittaustuloksen vaihtumisesta. Esimerkiksi ensimmäinen mittaustulos on saatu kello 18:00:00, jolloin valonmäärä on ollut 10 %. Toinen mittaustulos on tullut 18:00:24, jolloin valaistustaso on ollut 50 %. Vähennämme toisesta mittaustuloksesta ensimmäisen mittaustuloksen, jolloin ajaksi jää 24 sekuntia, jonka valaistus on ollut tasossa 10 %. Taulukossa 7 on esitetty esimerkki selkeään muotoon saatetusta mittaustuloksesta.

TAULUKKO 7. Selkeämpään muotoon saatettu mittaustulosdata.

1-Aug	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
00:00-01:00			1643		236		1739		
01:00-02:00	1731		434		1332		123		
02:00-03:00	2024		213		1309				
03:00-04:00	2173		274		1129				
04:00-05:00	334		18		306				
05:00-06:00									
06:00-07:00									
07:00-08:00									
08:00-09:00									
09:00-10:00									
10:00-11:00									
11:00-12:00									
12:00-13:00									
13:00-14:00									
14:00-15:00									
15:00-16:00									
16:00-17:00									
17:00-18:00									
18:00-19:00									
19:00-20:00									
20:00-21:00									
21:00-22:00									
22:00-23:00					146			1	
23:00-00:00	1161		496		1445		399	31	

Päivän tutkittavat tunnit

Himmennysryhmät, johon mittaustulokset sijoitetaan

Sijoitetut mittaustulokset kussakin himmennysryhmässä. Taulukossa tulokset ovat esitetty sekunteina.

## **5 Järjestelmän tutkimusten analysoiminen ja esimerkit**

Tutkimusmenetelminä on käytetty tunnistimista saatua mittausdataa kirkkauden ja liikennemäärien osalta. Näiden pohjalta on rakennettu Excel-taulukkolaskenta erilaisten järjestelmän toimintaa kuvaavien toimintojen selvittämiseksi. Excel-taulukko on ollut tässä työssä merkittävin yksittäinen työkalu.

Järjestelmän kannattavuuden ja toiminnan verrokkeina on käytetty nyt jo osana kansallista ohjetta oleva ELY-keskuksille tehtyä himmennystaulukkoa luokassa M3b (taulukko 4), sekä tilannetta, jossa valaistusta ei yöllä himmennettäisiin ollenkaan.

### **5.1 Tutkimusjaksojen datansaannin vikaantumiset**

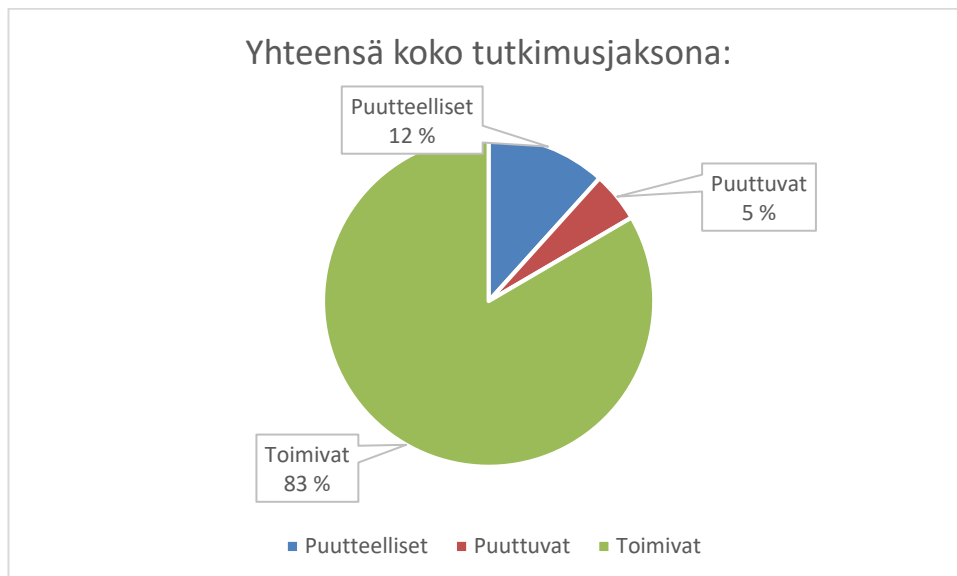
Tutkimusjakson datansaannin vikaantumista tutkittaessa tarkoituksena on ollut saada ymmärrystä, kuinka luotettavasti tämän kaltainen ohjausjärjestelmä toimii. Tässä myös saadaan luotua tutkimustuloksien luotettavuudelle pohjaa. Vikaantumisen tutkiminen on myös tärkeää yhteyksien luotettavuuden määrittelyn kannalta. Tällä tavalla voidaan myös todeta, onko järjestelmän tiedonsiirtotapa luotettava. Kappaleessa 4.1.1 on esitetty tutkimustulokset ja kappaleessa 4.1.2 esimerkit tulosten selvittämiseen.

#### **5.1.1 Tutkimustulokset ja analysointi**

Taulukossa 6 on esitetty jokaiselta kuukaudelta puutteellisten, puuttuvien ja toimivien päivien lukumäärät ja niiden suhteellinen jakauma. Vikaantumisten tutkiminen on tehty kaikkien tutkimuskuukausien mukaan, eli huhtikuusta 2017 helmikuuhun 2018. Huomioitavaa kuvaajassa 1 on se, että yhteensä 17 %:a tutkittavista päivistä oli puutteellisia tai puuttuvia. Huomattavaa on myös 2017 huhti-, touko-, joulukuun ja 2018 tammi- ja helmikuun suuret vikaantumisasteet. Tämän vuoksi tutkimuksesta jätettiin pois tammi-helmikuu 2018. Luotettavuutta kuvattaessa 17 % vaikuttaa jo huomattavasti järjestelmän luotettavuutta arvioitaessa.

TAULUKKO 6. Tutkimusjakson aikana todetut järjestelmän datansaannin vikaantumiset

Tutkittava kuukausi	Puutteellinen	Puuttuva	Toimiva	Prosentteina %
Huhtikuu	30	30	180	12,5/12,5/75
Toukokuu	3	16	109	2,3/12,5/85,2
Elokuu	0	0	248	0/0/100
Syyskuu	3	0	237	1,3/0/98,8
Lokakuu	26	0	222	10,5/0/89,5
Marraskuu	10	0	230	4,2/0/95,8
Joulukuu	54	0	194	21,8/0/78,2
Tammikuu	89	44	248	35,9/17,7/46,4
Helmikuu	105	19	100	46,9/8,5/44,6



KUVAAJA 1. Huhtikuu-helmikuu tutkimusjaksojen datansaannin vikaantumiset suhteellisenä kuvaajana.

Järjestelmässä on havaittu tutkimuksen aikana useita yksittäisiä ja pidempiä tiedonsiirto-ongelmia. Ongelmien syyt eivät ole tutkimuksessa selvinneet kaikilta osin tarkasti. Yksi suuri haavoittuvuus ongelmille kuitenkin havaittiin. Haavoittuvuus tulee esiin järjestelmän tietoliikenneyhteyksien katketessa. Tällöin ohjaus on tarkoitettu toimivaksi, kuten siihen on ohjelmoitu, mutta järjestelmässä ei ole takautuvaa muistia, jolla voisimme todentaa ohjauksen toimineen oikein myös tietoliikenneyhteyksien ollessa poikki. Tämä

johtaa tilanteeseen, jolloin järjestelmän toiminta perustuu olettamukseen, että järjestelmä toimii oikein. Järjestelmään olisi hyvä asentaa takautuva muisti, joka tallentaisi mittaukset ja lähettäisi ne etäpalvelimelle, kun tietoliikenneyhteydet ovat palanneet. Tällöin voitaisiin jälkikäteen varmistua järjestelmän toimineen oikein myös tietoliikenneyhteyksien katketessa. Vian etsintää helpottaisi huomattavasti se, että voitaisiin tarkastaa järjestelmän toimineen oikein, jolloin voitaisiin olettaa vian olevan muualla, kuin järjestelmän ohjauksessa.

Järjestelmän haltijalle ei vielä tule erillistä hälytystä, joka kertoisi havaitusta viasta, kuten tietoliikenneyhteyden katkeamisesta. Vian etsinnässä tärkeintä olisi saada vikatieto mahdollisimman nopeasti järjestelmästä, jolloin vikaantumisen voitaisiin rajoittaa mahdollisimman lyhyelle aikavälille.

### 5.1.2 Esimerkki tutkittavan datan saannin toiminnan määrittämisestä

Alla taulukoissa 7, 8 ja 9 on esitetty esimerkit järjestelmän datan kannalta puutteellisesta, puuttuvasta ja toimivasta päivästä. Datansaannin vikaantumisella tarkoitetaan hetkeä, jolloin järjestelmä on ollut joko pois päältä, eli sähkönsyöttö on vikaantunut, tietoliikenneyhteys on kadonnut tai jokin muu syy, joka vaikuttaa siihen, että järjestelmästä ei saada mittaustuloksia. Tutkittavien valaisinten osalta arvot ovat koottu yhteisesti taulukkoon, jossa näkyy kaikki valaisinpositiot ja niiden yhteinen määrä, puuttuvia, puutteellisia ja toimivia päiviä. Näiden suhdetta on käsitelty prosentuaalisesti.

TAULUKKO 7. Esimerkki tutkimusdatan saannin kannalta toimivasta päivästä.

10-Apr	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
00:00-01:00	3380	9	42	16	292				
01:00-02:00	3273	7	95	64	435				
02:00-03:00	1745	23	16	8	1817				
03:00-04:00	2690	8	30	16	330				
04:00-05:00	1104	9	1167	65	772	26	471		
05:00-06:00			1149	13	182	62	1858	17	303
06:00-07:00			78	4	20	9	242		
07:00-08:00									
08:00-09:00									
09:00-10:00									
10:00-11:00									
11:00-12:00									
12:00-13:00									
13:00-14:00									
14:00-15:00									
15:00-16:00									
16:00-17:00									
17:00-18:00									
18:00-19:00									
19:00-20:00									
20:00-21:00									11
21:00-22:00			864	53	200	121	2107	1	268
22:00-23:00	132	3	322	7	1809	18	318	51	1043
23:00-00:00					2026		136	75	1192

TAULUKKO 8. Esimerkki tutkimusdatan kannalta puutteellisesta päivästä.

11-Apr	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
00:00-01:00					2916		33	53	755
01:00-02:00					2918		48	15	492
02:00-03:00					3258		32	8	327
03:00-04:00					2841		68	10	624
04:00-05:00					2521		63	37	926
05:00-06:00			602	73	1051	198	866	15	794
06:00-07:00			13	8	41	5			
07:00-08:00									
08:00-09:00									
09:00-10:00									
10:00-11:00									
11:00-12:00									
12:00-13:00									
13:00-14:00									
14:00-15:00									
15:00-16:00									
16:00-17:00									
17:00-18:00									
18:00-19:00									
19:00-20:00									
20:00-21:00									
21:00-22:00									
22:00-23:00									
23:00-00:00									

TAULUKKO 9. Esimerkki tutkimusdatan kannalta puuttuvasta päivästä.

12-Apr	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
00:00-01:00									
01:00-02:00									
02:00-03:00									
03:00-04:00									
04:00-05:00									
05:00-06:00									
06:00-07:00									
07:00-08:00									
08:00-09:00									
09:00-10:00									
10:00-11:00									
11:00-12:00									
12:00-13:00									
13:00-14:00									
14:00-15:00									
15:00-16:00									
16:00-17:00									
17:00-18:00									
18:00-19:00									
19:00-20:00									
20:00-21:00									
21:00-22:00									
22:00-23:00									
23:00-00:00									

Puutteelliset ja puuttuvat päivät on täydennetty edellisen tai seuraavan päivän mittaustuloksilla, joita on muutettu keskimääräisellä päivän pitenemisellä tai lyhenemisellä. Keskimääräinen muutos on 5,7 minuuttia/päivä. Näin mittaustulokset saadaan vastaamaan enemmän todellisuutta. Puutteellisten ja puuttuvien päivien täydentämisellä pyrittiin saamaan järjestelmän todellinen energiasäästöpotentiaali esille. Tiedonsiirron katketessa järjestelmän tulisi noudattaa sille asetettuja parametreja. Tutkimuksissa tästä ei saatu varmaa tietoa, jolloin voidaan todeta edellisen tai seuraavien päivien tulosten siirtämisen puuttuvalle tai puutteelliselle päivälle olevan paras arvaus järjestelmän toiminnasta sillä hetkellä.

## 5.2 Valaisinpylväiden yksiköiden toiminta

Tunnistinyksiköiden ohjausta tarkasteltiin vertaamalla ohjauksia liikennemääriin. Ohjauksen on tarkoitus seurata ohjausluokkia liikennemäärien mukaan ja tässä tutkimuksessa liikennemäärien mittaukset ja valon määrätiedot kerättiin samaan taulukkoon. Tutkimuksessa käy selkeästi ilmi onko järjestelmän ohjaus toiminut todellisten liikennemäärien mukaan. Kappaleessa 4.2.1 on esitetty tutkimustulokset ja kappaleessa 4.2.2 esimerkit tutkimustulosten selvittämiseen käytetyistä kaavoista.

### 5.2.1 Tutkimustulokset ja analysointi

Tutkimuksesta jätettiin pois huhti- ja toukokuu 2017, koska järjestelmässä ilmeni vika ohjauksen vääränlaisessa toiminnassa. Järjestelmä ohjasi itseään koko vuorokauden liian suuressa ohjausluokassa, vaikka liikennemäärät eivät vastanneet ohjausluokkaa. Kuvaajasta 2 voidaan todeta järjestelmän toimineen viallisesti suurimman osan päivästä. Pienemmistä (<50 ajoneuvoa/tunti) siirtyminen suurempaan valaistusluokkaan (>50=<150) tarvitsisi 9,17 ajoneuvoa/ 10 minuuttia. Kuvaajassa liikennemäärät on laskettu 10 minuutin keskiarvona. Arvioinnissa on käytettävä tunnin toteutunutta tunnin liikennemäärää myös. Esimerkiksi taulukossa 11 kello 00:00-01:00 on ajoneuvoja liikkunut tiellä 21 kappaletta. Tällöin on teoriassa mahdollista, että kahdessa peräkkäisessä 10 minuutin ajanjaksossa olisi toteutunut hystereesin mukainen ohjausluokan nousu. Tässä kuitenkin huomattavaa on taulukon 11 mukainen lokerointi, jossa pienimmässä ohjausluokassa ei ole ajallisesti ohjausta ollenkaan. Valaistus on osittain vastannut ennalta määriteltyä ohjausta kello 05:00-06:00 ja 21:00-23:00 muut ajankohdat näyttävät järjestelmän ohjanneen valaistusta liian korkealla ohjausluokalla liikennemäärään nähden. Vika jatkui koko huhti- ja toukokuun 2017 ajalla, jonka johdosta tutkimuskuukaudet jätettiin pois.

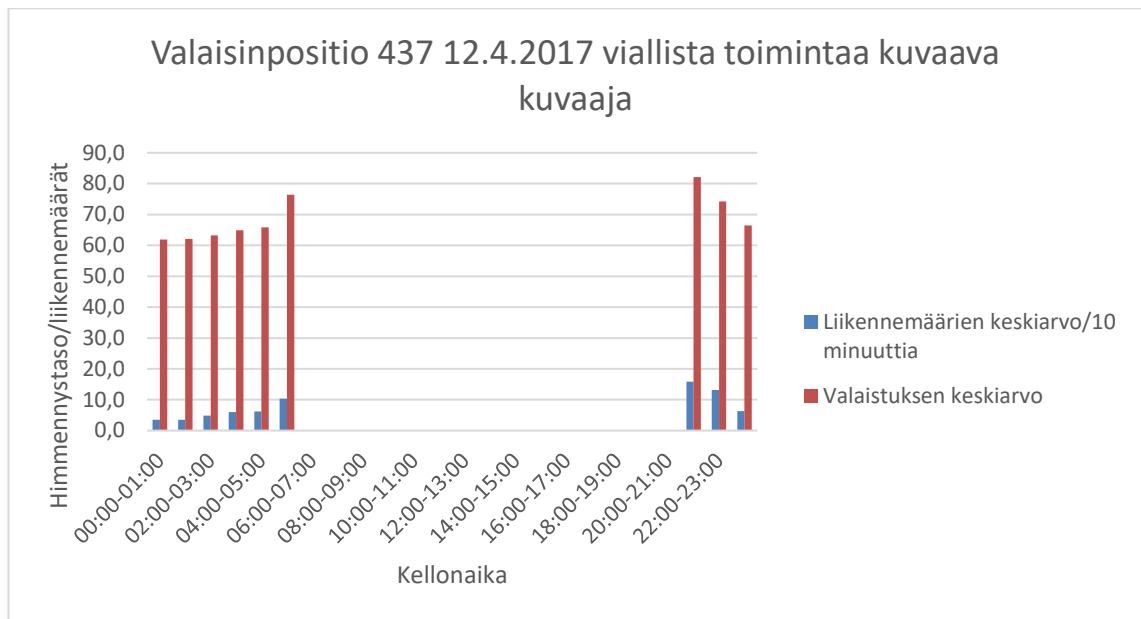


TAULUKKO 10. Lokeroidut mittaustulokset 12.4.2018.

12-Apr	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
00:00-01:00					2820		25	55	540
01:00-02:00					2872		216	37	513
02:00-03:00					2794		45	47	678
03:00-04:00					2674		48	105	792
04:00-05:00					2667		62	86	909
05:00-06:00					1248		49	79	1399
06:00-07:00									
07:00-08:00									
08:00-09:00									
09:00-10:00									
10:00-11:00									
11:00-12:00									
12:00-13:00									
13:00-14:00									
14:00-15:00									
15:00-16:00									
16:00-17:00									
17:00-18:00									
18:00-19:00									
19:00-20:00									
20:00-21:00									
21:00-22:00					787		67	123	1665
22:00-23:00					1808		64	118	1607
23:00-00:00					2336		54	89	867

TAULUKKO 11. Taulukossa on esitetty ajoneuvomäärät tuntia kohden ja valaistuksen keskiarvo tuntia kohden.

Liiketunnistus	ajoneuvomäärä/tunti	Liikennemäärien keskiarvo/10 minuuttia	Valaistuksen keskiarvo
00:00-01:00	21		3,5 61,90406977
01:00-02:00	21		3,5 62,13304013
02:00-03:00	29		4,8 63,25757576
03:00-04:00	36		6,0 64,88947223
04:00-05:00	37		6,2 65,78947368
05:00-06:00	62		10,3 76,37297297
06:00-07:00	0		0,0 #JAKO/0!
07:00-08:00	0		0,0 #JAKO/0!
08:00-09:00	0		0,0 #JAKO/0!
09:00-10:00	0		0,0 #JAKO/0!
10:00-11:00	0		0,0 #JAKO/0!
11:00-12:00	0		0,0 #JAKO/0!
12:00-13:00	0		0,0 #JAKO/0!
13:00-14:00	0		0,0 #JAKO/0!
14:00-15:00	0		0,0 #JAKO/0!
15:00-16:00	0		0,0 #JAKO/0!
16:00-17:00	0		0,0 #JAKO/0!
17:00-18:00	0		0,0 #JAKO/0!
18:00-19:00	0		0,0 #JAKO/0!
19:00-20:00	0		0,0 #JAKO/0!
20:00-21:00	0		0,0 #JAKO/0!
21:00-22:00	95		15,8 82,11203634
22:00-23:00	79		13,2 74,21045316
23:00-00:00	38		6,3 66,48535565



KUVAAJA 2. Valaisin positio 437 viallisen toiminnan kuvaaja.

### 5.2.2 Esimerkki valaisinyksikön toiminnan analysoinnista

Toimintaa analysoitaessa otetaan huomioon liiketunnistukset, sekä kirkkaustasot. Järjestelmän tulisi ohjautua taulukon 5 esitettyjen ohjausluokkien mukaan. Toimintaa voidaan tarkastella laskemalla jokaisen tunnin liikennemäärät erikseen ja vertaamalla näitä tunnin keskiarvoiseen valon määrään. Mikäli liiketunnistusmäärä ja kirkkaustaso eivät kohtaa, voidaan todeta järjestelmän toimineen virheellisesti. Tunnissa voi kuitenkin olla useita eri valaistustilanteita ja liikennemääriä, joten tässä tulee tehdä myös aistinvaraisia havain-  
toja.

Esimerkki: Luminen ohjauksen himmennuksen keskiarvo/tunti saadaan laskemalla luku-  
joukon keskiarvona.

$$\frac{\left(\frac{10+20}{2}\right) \times \text{Sekuntit}_{10-20} + \left(\frac{20+30}{2}\right) \times \text{Sekuntit}_{20-30} \dots}{\text{Tunnin kokonais ajan summalla}} = \text{Tunnin keskiarvo} \quad (1)$$

Tunnilta lasketaan ensin keskiarvo kullekin himmennysryhmälle 10-20=15. Keskiarvo kerrotaan tutkittavan tunnin himmennysryhmän sekuntimäärällä. Kaava toistetaan jokai-  
selle ryhmälle kyseisenä tuntina ja jaetaan tunnin kokonaisekuntimäärällä.

Esimerkissä 10-20 himmennyksessä valaisin on ollut 3175 sekuntia ja 20-30 himmennyksessä 0 sekuntia.

Esimerkissä tunnin keskiarvoksi saadaan kaavalla (1)

$$\frac{\left(\frac{10+20}{2}\right) \times 3175s + \left(\frac{20+30}{2}\right) \times 0s}{3175s + 0s} = 15\%$$

Esimerkki 10 minuutin ajoneuvokeskiarvosta

$$\frac{\text{Asetettu raja-arvo muutokselle}}{6 \text{ (tunnissa on 6 10 minuutin palaa)}} = \text{autoja}/10\text{min} \quad (2)$$

<50 ajoneuvoa/tunti rajan nostaminen tarvitsee 50 ajoneuvoa + hystereesi eli 55 ajoneuvoa/tunti. Kaavaan (2) sijoittamalla saadaan kuinka monta ajoneuvoa pitää mennä/10 minuuttia, jotta valaistusluokka nousee.

$$\frac{55}{6} = 9,17 \text{ ajoneuvoa}/10\text{minuuttia}$$

### 5.3 Järjestelmän energiasäästöt

Järjestelmän energiatehokkuutta tarkasteltaessa käytetään hyväksi taulukkoihin jaoteltuja mittaustuloksia taulukon 7 mukaisesti. Tutkimustulokset pohjautuvat suoraan järjestelmän mittauksista saatuihin sekuntimääriin. Puuttuvat ja puutteelliset tulokset on täydennetty kappaleen 4.1.1 mukaisesti.

#### 5.3.1 Energiatehokkuuden ja säästöpotentiaalin tutkimustulokset

Järjestelmän toimintaa tarkasteltiin ajalla elo-joulukuu 2017. Tutkimustuloksista saatiin hyvä läpileikkaus eri vuodenaikojen toiminnasta, sekä energiasäästöpotentiaaleista. Sähköenergian hinta on tarkasteltu Seinäjoen energian nettisivuilta löytyvillä hinnoilla. Sähkön hinta muodostui taulukon 12 mukaisesti. Sähköenergian hinta on tarkastettu 20.8.2018.

TAULUKKO 12. Sähköenergian hinnan muodostuminen. (Seinäjoenenergia 2018.)

Selite:	Hinta €	Alv. %
Sähköenergian hinta/kWh	4,4	24%
Sähkövero	2,8	
Sähkönsiirto	3,2	24%
Yhteensä	10,4	24%
Yhteensä	8,9	0%

Energiasäästöjen laskennassa on otettu huomioon pelkästään toteutunut aika, joka mittauksista on saatu. Samaa aikaa on käytetty himmennystaulukossa, sekä ”ei-ohjausta” - tarkastelussa. Luminen järjestelmästä saadut mittaustulokset on jaoteltu kirkkauden mukaan ryhmiin taulukon 7 mukaisesti. Laskennassa ryhmien tulokset lasketaan kirkkauden keskiarvon perusteella. Esimerkiksi 10-20 on 15, 20-30 on 25 jne. Syynä laskentatapaan on järjestelmän mittaustulosten hajonta, joka aiheuttaa sen, että valaistustaso voi olla yhtä kauan tasossa 21 kuin tasossa 29. Tulosten tarkastelun helpottamiseksi on käytetty keskiarvoa.

Energiatehokkuutta tarkasteltaessa aluksi on laskettu jokaiselta kuukaudelta toteutunut energiankulutus ja energiaan kulunut euromäärä. Tutkittavalla tieosuudella valaisimia on 100 kpl, jolloin kahdeksan tutkittavan valaisimen tulokset suhteutetaan 100 valaisimelle käyttäen kerrointa  $12,5 \left(\frac{100}{8}\right)$ . Kustannukset on jaettu keskiarvoisiin kuukausikustannuksiin ja laskettu tämän pohjalta koko vuodelle energiakustannukset ja -säästöt.

Ilman ohjausta valaistus on 100 % kirkkaudessa koko päällä olon ajan. Tällöin voidaan todeta Luminen ohjausjärjestelmän tuovan huomattavia energiakustannussäästöjä. Kapaleen 2.4 mukaisesti tievalaistuksessa on vaadittu vuodesta 2009 jonkinlaista ohjausta, joten ilman ohjausta tapahtunutta vertailua ei tässä enempää tutkita.

Taulukkoon 13 on kerätty tutkittavien valaisimien yhteiset energiakustannukset tutkimuskuukausilta. Taulukkoon 14 on suhteutettu kahdeksan tutkittavan valaisimen energiakustannukset sadalle valaisimelle. Taulukossa 15 on suhteutettu energiasäästöt koko vuodelle. Koko vuodessa on 10 valaistua kuukautta. Tällöin kuukauden energiakustannukset kerrotaan koko vuodelle. Kuvaajaan 3 on kerätty tutkimusjakson (elo-joulukuun) energiakustannukset helposti vertailtavaan muotoon.

TAULUKKO 13. Toteutuneet energiakustannukset kokonaisuudessaan kahdeksalta tutkittavalta valaisimelta viiden kuukauden ajalta.

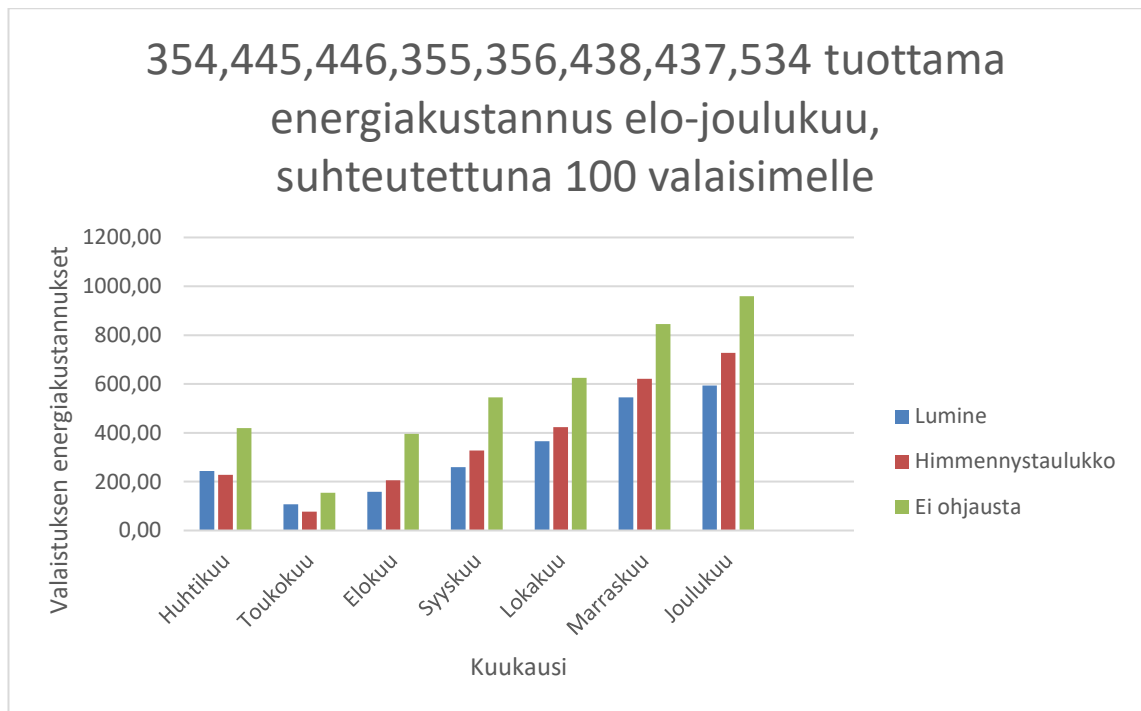
Kuukausi	Lumine (euroa)	Himmennystaulukko (euroa)	Ei ohjausta (euroa)
Elokuu	12,72	16,50	31,70
Syyskuu	20,77	26,22	43,65
Lokakuu	29,29	33,88	50,04
Marraskuu	43,59	49,72	67,62
Joulukuu	47,52	58,20	76,73
<b>Yhteensä</b>	<b>153,89</b>	<b>184,51</b>	<b>269,74</b>

TAULUKKO 14. Toteutuneet energiakustannukset suhteutettuna 100 valaisimelle elokuu-joulukuu ajanjaksolla.

Kuukausi	Lumine (euroa)	Himmennystaulukko (euroa)	Ei ohjausta (euroa)
Elokuu	159,05	206,20	396,80
Syyskuu	259,61	327,71	545,59
Lokakuu	366,09	423,48	625,46
Marraskuu	544,84	621,47	845,30
Joulukuu	594,01	727,47	959,18
<b>Yhteensä</b>	<b>1923,60</b>	<b>2306,33</b>	<b>3371,79</b>

TAULUKKO 15. Säästöt 100 valaisinta suhteutettuna koko vuodelle (elokuu-toukokuu).

Ohjaus	Säästöt (euro)	Säästö (%)
Lumine-himmennystaulukko	<b>765,45</b>	<b>16,6</b>
Lumine- ei ohjausta	<b>2896,37</b>	<b>43</b>



KUVAAJA 3. Tutkittavien valaisinten energiakustannukset kuukausittain suhteutettuna sadalle valaisimelle.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta Luminen järjestelmän olevan energiatehokkaampi, kuin himmennystaulukkoon perustuva ohjaus. Säästöä on kertynyt 16,6%. Suhteellisen energiasäästön suuruuteen vaikuttaa suuresti käytössä oleva himmennysprofiili taulukon 5 mukaisesti. Tutkimustuloksista voidaan tällöin päätellä, että tutkittavalla tiellä käytössä oleva himmennystaulukko on tien käytölle sopiva ja suhteellinen energiansäästö jää pienemmäksi, kuin erilaisella himmennysprofiililla.

### 5.3.2 Elinkaari ja kannattavuus

Järjestelmän hankintahinta on 99 €/tunnistinyksikkö, 350 €/master-yksikkö ja 120 € asennuskustannukset yksikköä kohden. Master-yksikön ylläpitokustannukset ovat 150 €/v ja tunnistinyksikön 2 €/v. Koko järjestelmän hankintakustannukset ovat 24 352 €. Vuodessa ylläpitokustannukset ovat 516 €. Kustannukset on laskettu 108 tunnistimelle ja kahdelle master-yksikölle.

Järjestelmän kannattavuutta on verrattu nykyarvomenetelmällä sekä annuiteettimenetelmällä. Korkotasoa on ollut laskennoissa 5 % ja investoinnin pitoaika 20 v. Säästöt tulevat suoraan kappaleen 4.2 mukaisesti. Kustannuksissa ei ole otettu huomioon järjestelmän

fyysisten osien kunnossapitokustannuksia, mutta Luminen ohjelmiston ylläpitokustannukset on huomioitu. Investoinnin pitoaika tulee yleisesti tievalaisinten pitoajasta. Tievalaistus lasketaan 20-30 vuoden pitoajalle, joten tällaiselle järjestelmälle olisi luontevaa suunnilleen samanlainen elinikä.

Elinkaarilaskennan lähtötiedot on kerätty taulukkoon 16. Laskennassa on käytetty nykyarvomenetelmää sekä annuiteettimenetelmää. Kaksi menetelmää on valittu helpottamaan tarkastelua vuosittaisten kustannusten ja elinkaaren välillä. Taulukkoon 17 on kerätty lasketut elinkaarikustannukset annuiteettina, sekä nykyarvomenetelmänä.

TAULUKKO16. Laskennan lähtökohdat.

Nimike	Kustannukset
Hankintakustannukset	24592€
Vuotuiset kustannukset	516€
Vuotuinen tuotto	765€
Jäännösarvo	0€
Laskentakorko	5%
Investointiaika	20v

TAULUKKO 17. Elinkaarilaskennat arvioiduista kustannuksista ja tuotoista.

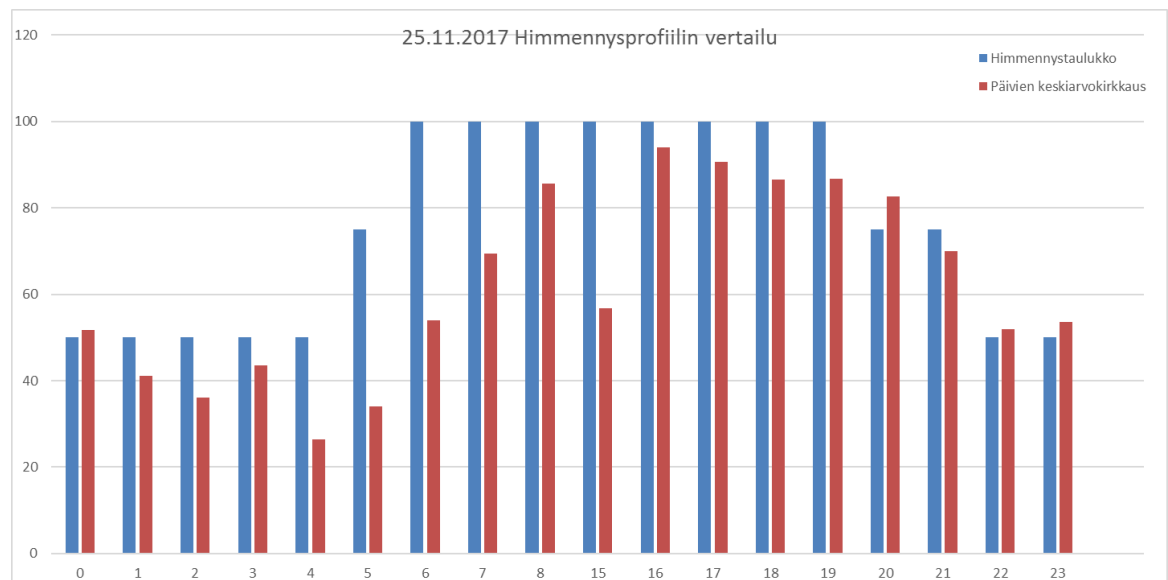
Nykyarvomenetelmä	Tuottojen nykyarvo	Kustannusten nykyarvo	Erotus
Säästö Lumine-himmennystaulukko	9539 euroa	31023 euroa	-21483 euroa
Säästö Lumine-eihimmennystä	36095 euroa	31023 euroa	5073 euroa
Annuiteettimenetelmä	Meno annuiteetti	Tuloannuiteetti	Tuotto vuodessa
Säästö Lumine-himmennystaulukko	-2489 euroa	765 euroa	-1724 euroa
Säästö Lumine-eihimmennystä	-2489 euroa	2896 euroa	407 euroa

Investoinnin kannattamattomuuteen vaikuttaa erityisesti ylläpitokustannukset ja hankintakustannukset. Tässä tapauksessa ylläpitokustannuksia kertyy vuodelle 516 euroa. Vuodessa säästöä kertyy 765,45 euroa, joten investoinnin vuosittaiseen lyhentämiseen jää jäljelle vain 249,45 euroa. Investoinnin takaisinmaksu pitenee tämän johdosta kymmeneen vuosiin.

#### 5.4 Läsnaöloon perustuva ohjaus verrattuna himmennystaulukkoon

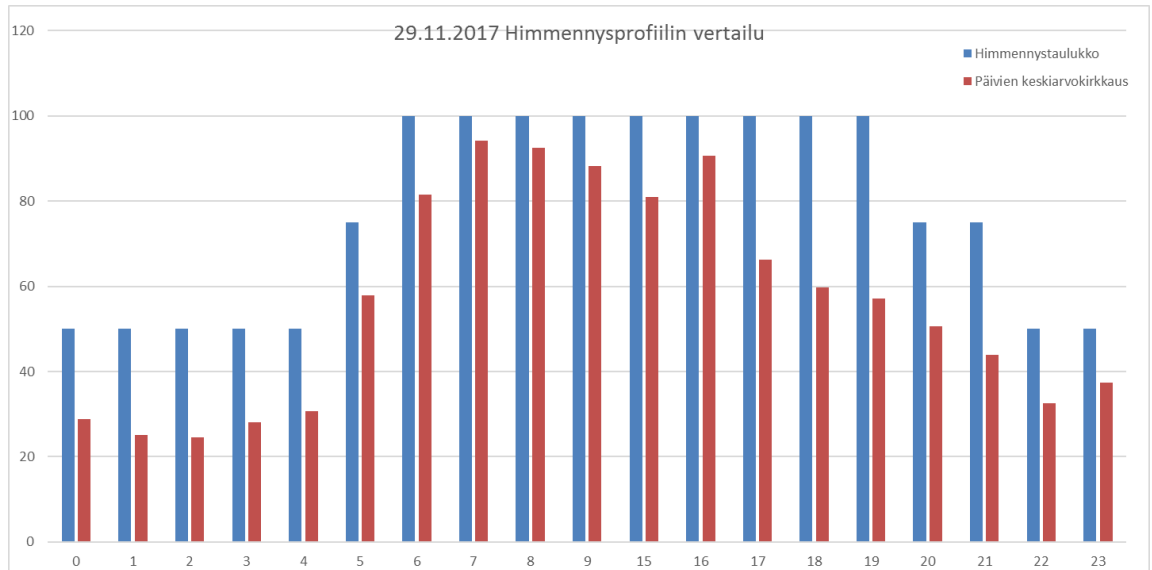
Himmennystaulukko on koostettu useasta osasta kappaleen 2.4.1 mukaisesti. Tutkimus tarjoaa samalla mahdollisuuden tarkastella himmennystaulukon toimintaa tiekohtaisesti. Tässä voidaan muun muassa tarkastella, onko himmennysprofiili tielle sopiva.

Kuvaajia 4 ja 5 vertailtaessa huomataan Luminen ohjauksen noudattavan suhteellisen hyvin himmennysprofiilia. Kuvaajasta 4 huomataan lauantain olevan ilta- ja aamu-aikaan hyvin lähellä himmennystaulukon ohjausta. Kuvaaja 5 näyttäisi käyttäytyvän himmennystaulukon mukaisesti.



KUVAAJA 4. Lauantaita kuvaava Luminen järjestelmän himmennysten keskiarvo ja himmennystaulukko.





KUVAAJA 5. Keskiviikkoa kuvaava Luminen järjestelmän himmennysten keskiarvo ja himmennystaulukko.

Verrattuna luotuun himmennystaulukkoon, saadut tulokset vastaavat hyvin nykyistä himmennysprofiilia. Täytyy kuitenkin huomioida, että nämä tulokset ovat sovellettavissa vain tutkittuun tieosuuteen. Luminen järjestelmää tutkiessa huomataan selkeästi se, että keskiarvoinen valonmäärä on pienempi, mitä se olisi himmennystaulukolla. Järjestelmä soveltuisikin hyvin tutkimaan himmennystaulukon toimintaa erilaisilla tieosuuksilla. Himmennystaulukkoa voitaisiin tutkimisen jälkeen säätää vastaamaan enemmän todellista tienkäyttöä saavuttaen valaistuksen energiatehokkaampi toiminta.

## 6 POHDINTA

Läsnäoloon perustuvan ohjauksen tutkimus oli lähtökohdiltaan innovatiivinen. Tämän kaltaista tutkimusta ei Suomessa ole aiemmin tehty, joten se tarjoaa hyvän pohjan jatko-tutkimuksille. Työssä myös tarkasteltiin himmennystaulukon soveltuvuutta tutkittavalle tieosuudelle.

Tutkimuksesta kävi ilmi, että himmennystaulukko toimii tutkittavalla tieosuudella hyvin. Läsnäoloon perustuvan ohjauksen vähäinen säästö ei välttämättä ole järjestelmän toimimattomuudesta johtuva tulos, vaan himmennystaulukko on kyseiselle tieosuudelle juuri sopiva. Järjestelmän ja himmennystaulukon jatkotutkimuksien kannalta olisikin hyvä, jos vastaavia tutkimuksia voitaisiin suorittaa erilaisilla tieosuuksilla. Himmennystaulukkoa optimoimalla saadaan tieolosuhteita parannettua ja säästettyä enemmän energiaa.

Luminen järjestelmän todettiin olevan varsin vikaantumisherkkä. Sen suurimmaksi heikkoudeksi muodostui tietoliikenneyhteyksien katkeaminen ja sitä kautta tutkimustulosten menettäminen. Tutkimustuloksista melkein viidesosa oli puutteellisia tai puuttuvia. Tämän pohjalta voidaan todeta järjestelmän tutkimusten luotettavuuden olevan välttävä. Tästä huolimatta tutkimuksesta saatiin riittävä käsitys läsnäoloon perustuvan ohjauksen toimivuudesta ja energiansäästön potentiaalista.

Läsnäoloon perustuvan ohjauksen ehdoton vahvuus on muuntautuvuus, jolla saadaan tievalaistuksen palvelutasoa parannettua. Valon määrän säätäminen läsnäolon mukaan lisää tien liikenneturvallisuutta ja samalla säästää energiakustannuksia.

Häiriövalon määrän väheneminen on myös järjestelmän etu. Järjestelmä ohjautuu hiljaisina aikoina alemmaan himmennystasoon, jolloin tievalaistuksesta aiheutuvan häiriövalon määrä vähenee huomattavasti.

## LÄHTEET

Ekrias, A. Tekniikan tohtori. 2018. Haastattelu 5.9.2018. Haastattelija Hokka, K.

Ekrias, A & Nevalainen, M. 2018. Ulkovalaisimet paremman palvelun alustana. Valo 01/2018, 22-23.

Ekrias, A. & Hokka, K. 2017. Tutkimussuunnitelma. Luettu 15.4.2017.

Jani Huttula ym. 2017. Tievalaistuksen tarveselvitys ja toimintalinjat Pohjois-pohjanmaa ja Kainuu. Luettu 31.4.2018.

Eskelinen, T. Insinööri. 2018. Haastattelu 15.8.2018. Haastattelija Hokka, K.

Liikennevirasto. 2015. Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu. Luettu 3.3.2018. [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo\\_2015-16\\_maantie\\_rautatiealueiden\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2015-16_maantie_rautatiealueiden_web.pdf)

Lumine lighting solution. 2017. Älykästä katuvalaistuksen ohjausta. Esite.

Motiva. 2018. Kestävät julkiset hankinnat. Luettu 3.9.2018. Päivitetty 15.6.2018. [http://www.motivanhankintapalvelu.fi/files/629/Helsingin\\_Energia\\_Helsingissa\\_katuvalaistus\\_siirtyy\\_alyaikaan.pdf](http://www.motivanhankintapalvelu.fi/files/629/Helsingin_Energia_Helsingissa_katuvalaistus_siirtyy_alyaikaan.pdf)

Nevalainen, M. 2018. Ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmän teknisten ja toiminnallisten vaatimusten kehittäminen. Talotekniikan koulutusohjelma. Metropolia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Saukkonen, S. 2017. Lumine 180. Esite.

Seinäjoenenergia. 2018. Sähkön hinnat. Luettu 6.9.2018. [https://www.seinajoenenergia.fi/Sahkon\\_hinnat](https://www.seinajoenenergia.fi/Sahkon_hinnat)

Tiehallinto. 2006. Tievalaistuksen suunnittelu. Luettu 3.3.2018. [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf/2100034-v-06tievalaist\\_suunn.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf/2100034-v-06tievalaist_suunn.pdf)

## LIITTEET

### Liite 1. Kenttätutkimuksien raportit

#### 15.3.2017

Pimeänajan tutkimukset:

Valaistustasoja testattiin ja järjestelmän toimintaa tarkasteltiin tasoilla 10/50% ja 10/100%. Visuaalista tarkastelua helpottaaksemme säädettiin valaistuksen syttyminen siten, että auton edestä 150m on valaistu. Himmeneminen 7s auton ohitettua tunnistimen. Järjestelmä toimi loistavasti ja järjestelmässä ei huomattu ongelmia. Yhdessä päädyimme siihen, että etukäteen valaistavaa aluetta voitaisi mahdollisesti laskea nykyisestä 300m -> 200-250m. Nykyinen 15s himmenemisaika on hyvä.

Valaistustasot, jotka ilmenevät tutkimussuunnitelmassa ovat hyvät. Visuaalisesti tarkasteltuna tasot sopivat hyvin liikennemääriin ja niihin ei toistaiseksi ole tarvetta kajota.

Valaistuksissa huomattiin seuraavia asioita:

- VT18 ja VT19 liittymäalueella on vain toisella puolella valaistuksissa tunnistimet.
- Muutama valaisin oli vikaantunut/pois linjoilta ja paloi 100% jatkuvasti
- Risteysalueilta puuttuu vielä ennakoivat tunnistimet.

#### 9.6.2017

Seinäjoen VT 18 maastokäynti 9.6.2017 00.00-02.30. Tutkittavana aikana sää sateinen ja tienpinta märkä.

Maastokäynnillä tutkittiin:

- Valaisinten toiminta
- Risteysten sopeutumisaluiden toiminta
- Pyöräilijän ja jalankulkijan tunnistaminen

#### Valaisinten toiminta:

Yksi valaisin VT 18-VT 19 liittymässä pimeänä (kts. liite 1).

Keski-Nurmontie risteystä vastakkainen valaisin ei näyttänyt vastaavan säätöohjauksiin (kts. liite 2)

- Mahdollisesti syytä tarkastaa kaikkien valaisinten toiminta.

#### Risteysten sopeutumisaluiden toiminta:

Alkupää (Seinäjoen pää): Tunnistimet tunnistavat vasta kahdeksannen tunnistimen ja kuudennen uuden valaisimen kohdalla, jolloin alkupätkän valaistustaso nousee. (kts. liite 3)

VT 18- VT 19 liittymät: Toiminta ok.

Laulateentie: Toiminta ok.

## Liite 2. Tutkimussuunnitelma

Tutkimussuunnitelma

17.2.2017

Liikennevirasto  
Tekniikka ja ympäristö  
Kari Lehtonen

### Vt 18 Seinäjoki välillä Kivistöntie - Keski-Nurmontie – älykkään tievalaistuksen ohjausjärjestelmän pilottihanke

#### 1. Hankkeen kuvaus

Hankkeessa tutkitaan valtatielle 18 välille Kivistöntie - Keski-Nurmontie asennetun älykkään ohjausjärjestelmän energiatehokkuutta. Tutkimuksen päätavoitteena on selvittää saavutetaanko uudella ohjausjärjestelmällä säästöjä verrattuna maanteillä tyypillisesti käytettyihin tievalaistuksen ohjausprofiileihin, liite 1. Lisäksi työssä tutkitaan liiketunnistukseen perustuvan tievalaistuksen ohjauksen toimintavarmuutta liikenneturvallisuuden ja kunnossapidon näkökulmista. Tutkimus tehdään Tampereen ammattikorkeakoulun päättötyönä. Lopputyön tekijänä on Karri Hokka, LiCon-AT Oy ja työn ohjaajana on Aleksanteri Ekrias, LiCon-AT Oy.

#### 2. Lähtötiedot

Teknisen selvityksen tärkeimpinä lähtötietoina toimivat Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen julkaisu **Tievalaistuksen tarveselvitys ja toimintalinjat** sekä Liikenneviraston ohje **Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu**. Lisäksi lähtötietona käytetään Tampereen kaupungin selvitystä **Ulkovalaistuksen älykäs ohjaus innovatiivisessa kaupunkiympäristössä**.

#### 3. Tutkimusmenetelmät

Työssä tutkitaan valtatielle 18 välille Kivistöntie - Keski-Nurmontie asennetun älykkään ohjausjärjestelmän (Lumine Lighting Solutions Oy) avulla seuraavia asioita:

- voidaanko liiketunnistukseen perustuvalla tievalaistuksen ohjauksella saavuttaa lisäsäästöjä verrattuna maanteillä tyypillisesti käytettyihin tievalaistuksen ohjausprofiileihin? Ohjausjärjestelmän kannattavuutta tutkitaan tarkastelemalla seurantajaksojen toteutunutta energiakulutusta ja vertaamalla niitä referenssiarvoihin. Referenssinä käytetään liitteen 1 ohjaustaulukkoa. Seurantajaksoja tulee olemaan 4-6 kpl ja yhden seurantajakson pituus on yksi kuukausi. Liikennemäärien raja-arvoina ja tievalaistuksen himmennysarvoina käytetään:
  - o 10/50 %, kun liikennemäärä on  $L < 50$ ,
  - o 30/75 %, kun liikennemäärä on  $50 \leq L \leq 150$ ,
  - o 50/100 %, kun liikennemäärä on  $L > 150$ .
- voidaanko ohjausjärjestelmällä saavuttaa lisäsäästöjä ottamalla huomioon lumiset olosuhteet? Työssä tutkitaan tarjolla olevien säätietojen hyödyntämistä tievalaistuksen ohjauksessa. Esimerkiksi Ilmatieteen laitos toimittaa kahdentyyppisiä tietokokoelmia:
  - o sääennuste: neljä kertaa vuorokaudessa muodostetaan säätilan ennusteita, joissa erottelukyky on noin 5-10 km ja aikaresoluutio on 1 h,
  - o säähavainto: 10 min välein päivittyvä havainto eri havaintopisteiden säätiedoista.

Saatavana olevat tiedot ovat sadetieto (määrä + olomuoto), kosteus (voidaan päätellä sumun ilmeneminen) sekä lämpötila. Työn toisena tietolähteenä toimivat Liikenneviraston tiesääasemat.

Lumiset olosuhteet otetaan huomioon tievalaistuksen ohjauksessa käyttämällä ns. lumisen olosuhteiden kerrointa (esim. 0,75 ja 0,5). Tievalaistusta ei kuitenkaan himmennetä alle 10 %.

- voidaanko ohjausjärjestelmää käyttää liikennemäärälaskentaan? Liikennemäärälaskentaa varten liiketunnistimille määritellään parhaiten sopiva suoja-aika. Seurantajaksojen aikana ohjausjärjestelmän liikennemääräarvoja verrataan LAM-pisteen liikennemääräarvoihin. Lisäksi työssä testataan autoilijoiden, jalankulkijoiden sekä pyöräilijöiden liiketunnistusta.
- miten ajoneuvojen kuljettajat kokevat läsnäoloon perustuvan tievalaistuksen ohjauksen toimivuuden? Tutkimus suoritetaan koehenkilöiden haastatteluiden avulla.
- miten liiketunnistuksella toimivan tievalaistuksen sopeutumisalueet tulee määritellä suorilla tieosuuksilla ja liittymissä? Sopeutumisalueiden toimivuutta tutkitaan koehenkilöiden haastatteluiden avulla.
- miten ohjausjärjestelmän toimivuus tulee varmistaa liiketunnistusyksiköiden vioittuessa ja miten ohjausjärjestelmän kunnossapito tulee määritellä?

Lisäksi työssä kartoitetaan haastattelemalla tilaajien ja kunnossapitourakoitsijoiden toiveet sekä tavoitteet liiketunnistukseen perustuvalla tievalaistuksen ohjaukselle.

#### **4. Aikataulu**

Tutkimus käynnistetään heti kun tutkimussuunnitelma on hyväksytty ja ohjausjärjestelmän Master-yksikön modeemi on vaihdettu 3G-yhteyteen. Tutkimusta jatketaan vuoden 2017 loppuun.