



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Teemu Pääkkönen

# Kaupungin valaistusverkoston ohjausjärjestelmien vertailu

Tekniikka  
2024

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Teemu Pääkkönen
Opinnäytetyön nimi	Kaupungin valaistusverkoston ohjausjärjestelmien vertailu
Vuosi	2024
Kieli	suomi
Sivumäärä	60 + 1 liitettä
Ohjaaja	Jarkko Vuorinen

---

Kaupungit kehittyvät nykypäivänä nopeasti ja onkin alettua puhua älykkäistä kaupungeista. Tämä näkyy erityisesti katu- ja puistovalaisuksen kehityksessä. Kehityksen myötä katuvalaisimia pystytään ohjaamaan tarkasti ja yksityiskohtaisesti erilaisilla valaistuksenohjausjärjestelmillä. Ohjausjärjestelmien avulla kaupungit lisäävät yleistä viihtyvyyden ja turvallisuuden tuntua, saavuttavat isoja energiansäästöjä ja luovat älykästä kaupunkia.

Opinnäytetyö toteutettiin Vaasan kaupungin kuntatekniikan toimeksiannosta ja sen tavoitteena oli tuottaa vertailu erilaisista katu- ja puistovalaisuksen ohjausjärjestelmistä. Vertailuun valittiin neljä erilaista järjestelmätoimittajaa, joista yksi on nykyisin kaupungilla käytössä oleva ohjausjärjestelmä. Vertailussa kiinnitettiin erityisesti huomioita järjestelmien teknisiin ratkaisuihin, hallittavuuteen ja taloudellisuuteen.

Työn edetessä jokainen järjestelmä käydään lävitse ja esitellään yksityiskohtaisesti. Esittelyn jälkeen kootaan yhteen järjestelmien tärkeimmät ominaisuudet. Lopuksi tehdään yhteenveto jokaisen järjestelmän kannattavuudesta Vaasan kaupungille ja siitä, mihin ratkaisuun sen kannattaa päätyä ohjausjärjestelmien osalta.

## ABSTRACT

Author	Teemu Pääkkönen
Title	Comparison of City Lighting Network Control System
Year	2024
Language	Finnish
Pages	60 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Jarkko Vuorinen

---

Cities are evolving rapidly today, and the concept of smart cities is becoming more prevalent. This is particularly evident in the development of street and park lighting. With advancements, streetlights can now be controlled precisely and in detail using various lighting control systems. These systems help cities enhance overall comfort and safety, achieve significant energy savings, and foster the creation of smart cities.

The project was undertaken at the request of the Vaasa City's Technical Services Department with the goal of producing a comparison of various street and park lighting control systems. Four different system providers were selected for the comparison, one of which is currently in use by the city. The comparison focused particularly on the technical solutions, manageability, and cost-effectiveness of the systems.

As the project progressed, each system was thoroughly examined and presented in detail. Following the presentations, the key features of the systems for Vaasa City were summarized. Finally, a comprehensive assessment of each system's feasibility for the City of Vaasa will be conducted, concluding with a recommendation on the most suitable control system for their needs.

---

Keywords                      Street lighting, lighting control, LED-light

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	9
2	VAASAN KAUPUNGIN KATU- JA PUISTOVALAISTUS .....	10
	2.1 Valaistuksen nykytilanne .....	10
	2.2 Valaistuksenohjauksen nykytila .....	11
3	OHJAUSJÄRJESTELMÄT JA SOVELLUKSET .....	13
	3.1 C2 SmartLight .....	13
	3.1.1 Käyttöliittymä .....	14
	3.1.2 Tekniset ominaisuudet .....	16
	3.1.3 Tietoturva .....	17
	3.1.4 Referenssit .....	18
	3.2 Signify – Interact City .....	18
	3.2.1 Käyttöliittymä .....	19
	3.2.2 Tekniset ominaisuudet .....	20
	3.2.3 Tietoturva .....	22
	3.2.4 Referenssit .....	22
	3.3 Siteco Connect .....	22
	3.3.1 Käyttöliittymä .....	23
	3.3.2 Tekniset ominaisuudet .....	24
	3.3.3 Tietoturva .....	25
	3.3.4 Referenssit .....	26
	3.4 UPPA Traffic – Amplex GridLight .....	26
	3.4.1 Käyttöliittymä .....	27
	3.4.2 Tekniset ominaisuudet .....	28
	3.4.3 Tietoturva .....	30
	3.4.4 Referenssit .....	30

4	JÄRJESTELMIEN VERTAILU JA KUSTANNUSLASKELMAT .....	32
4.1	Käyttöliittymien vertailu .....	32
4.2	Teknisten ratkaisujen vertailu.....	33
4.2.1	Tietoliikenne-rajapinnat .....	33
4.2.2	Mittaukset ja raportointi.....	34
4.2.3	Vikatiedot ja hälytykset sekä varajärjestelmät .....	35
4.2.4	Modulaarisuus ja yhteensopivuus .....	36
4.2.5	Yhteenveto teknisistä ratkaisuista .....	36
4.3	Tietoturvan vertailu .....	37
4.4	Järjestelmien referenssejä .....	38
4.5	Lisäominaisuudet .....	39
4.5.1	Takuu ja tukipalvelut.....	40
4.5.2	Kotimaisuusaste .....	40
4.5.3	Ulkopuoliset järjestelmät.....	41
4.5.4	Yhteenveto lisäominaisuuksista.....	42
4.6	Kustannuslaskelmat .....	42
4.6.1	Katuvalokeskukset.....	43
4.6.2	Valaisinkohtaiset ohjaimet.....	44
4.6.3	Yhteenveto kustannuslaskelmista .....	45
5	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	48
5.1	Yleisesti .....	48
5.2	Järjestelmät.....	49
5.3	Talous.....	50
6	LOPPUTULOKSET JA POHDINTA .....	52
	LÄHTEET .....	54
	LIITTEET .....	56

## KÄSITE- JA LYHENNELUETTELO

<b>API</b>	Engl. Application Programming Interface, komponenttien ja moduulien välinen raja ohjelmoitavassa järjestelmässä.
<b>APN</b>	Engl. Access Point Name, asetus, jolla luodaan yhteys operaattorin verkon sekä internetin välille.
<b>DALI</b>	Engl. Digital Addressable Lighting Interface, standardisoitu digitaalinen valonohjausprotokolla.
<b>DiiA</b>	Engl. Digital Illumination Interface Alliance, digitaalisen valaistuksen liitto, joka kehittää DALI-standardia.
<b>GPS</b>	Engl. Global Positioning System, Yhdysvaltain valtionhallinnon satelliittinavigointijärjestelmä.
<b>HTTPS</b>	Engl. Hypertext Transfer Protocol Secure, verkkosivustojen suojattu siirtoprotokolla.
<b>IoT</b>	Engl. Internet of Things, fyysisten esineiden lisäksi palveluiden, ohjelmistojen ja järjestelmien liittämistä yhteen internetin avulla.
<b>LED</b>	Engl. Light-Emitting Diode, puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirtaa.
<b>RS485</b>	Standardi differentiaaliselle eli balansoidulle sarjaliikenneväylälle.
<b>UPS</b>	Engl. Uninterruptible Power Supply, keskeytymätön virransyöttö.

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> C2 SmartLight -järjestelmäkaavio (C2 SmartLight) .....	14
<b>Kuva 2.</b> Interact City -järjestelmäkaavio (Signify, 2021).....	19
<b>Kuva 3.</b> Siteco Connect -järjestelmäkaavio (Siteco). .....	23
<b>Kuva 4.</b> Amplex GridLight -järjestelmäkaavio (Amplex, 2022). .....	27
<b>Taulukko 1.</b> Keskusyksiköiden kulut 10 vuoden ajalta .....	43
<b>Taulukko 2.</b> Valaisinkohtaisten ohjainten kulut 10 vuoden ajalta .....	45
<b>Taulukko 3.</b> Järjestelmien kokonaiskustannukset .....	46

## **LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Valaistuksenohjausjärjestelmien kysymys- ja vertailutaulukko.

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö toteutettiin Vaasan kaupungin kuntatekniikan toimeksianosta ja sen tarkoituksena oli tehdä markkinakatsaus ja vertailu tarjolla olevista erilaisista katu- ja puistovalaistusverkoston ohjausjärjestelmistä ja niiden teknisistä ja taloudellisista ominaisuuksista. Opinnäytetyössä tehtävä vertailu ja arviointi perustuvat täysin kirjalliseen materiaaliin, ei omaan käyttökokemuksiin erilaisista ohjausjärjestelmistä.

Katu- ja puistovalauksella on merkittävä osa yleisten katualueiden viihtyvyyden ja turvallisuuden kannalta. Viime vuosina on alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota myös ympäristöystävälliseen katuvalaistukseen, mikä tarkoittaa kestävän kehityksen periaatteiden mukaista energiatehokasta valaisinverkkoa. Tukeakseen nykyistä kehitystä on syytä kiinnittää huomioita erityisesti valaistuksen ohjausjärjestelmiin, jotka mahdollistavat energiatehokkaan valaistuksen ohjauksen ja sitä myöten energiatehokkaan valaisinverkon.

Vaasan kaupungilla on laaja katu- ja puistovalaisinverkosto, joka kattaa noin 20 000 valaisinta ja noin 200 katuvalaistuskeskusta. Valaisimien ohjaukseen käytetään tällä hetkellä C2 SmartLightin toimittamaa ohjelmistoa ja siihen liittyviä ohjauskomponentteja. Vaasan kaupungin kuntatekniikka ohjaa ja hallitsee katu- ja puistovalaukusta. [1.]

Työn tavoitteena on tuottaa kestävä vertailu Vaasan kaupungille erilaisista katu- ja puistovalauksen ohjausjärjestelmistä. Vaasan kaupunki voisi tulevaisuudessa hyödyntää tätä vertailua tehdessään päätöksiä valaistuksenohjausjärjestelmänsä tulevaisuudesta ja kehityksestä.

## 2 VAASAN KAUPUNGIN KATU- JA PUISTOVAILAISTUS

Valaistuksen tavoitteena on parantaa näkyvyyttä ja liikenneturvallisuutta, helpottaa ympäristön hahmottamista sekä lisätä turvallisuuden tunnetta ja viihtyisyyttä. Valaistuksella varmistetaan, että jalankulkijat voivat liikkua turvallisesti kevyen liikenteen väylillä ja ajoneuvot teillä ja kaduilla myös pimeällä. Valaistus vaikuttaa merkittävästi liikenneympäristön ilmeeseen ja parantaa esteettömyyttä eri liikennepaikoissa. Kaupunkialueiden katuvalaistus on keskeinen tekijä yö- ja päiväaikaisen liikenneympäristön luomisessa. [1.]

On tärkeää pyrkiä saavuttamaan asianmukainen ja taloudellisesti järkevä katuvalaistus. Tämä saadaan toteutettua suunnittelun huolellisuudella ja tehokkaalla ohjauksella. Tällä tavoin voidaan parantaa kaupungin valaistuksen laatua, samalla kun tarvittavan valon määrää vähennetään, mikä vähentää valosaastetta ja energiankulutusta sekä parantaa kustannustehokkuutta. [1.]

Saavuttaakseen ja edesauttaakseen yllä mainittuja asioita, tarvitaan valaistuksen ohjaukseen ratkaisuja ja työkaluja. Ratkaisut löytyvät valaistuksen ohjausjärjestelmistä, jotka ovat jo täysin arkipäivää kaupungeissa ja erilaisissa kohteissa, joissa valaisimia on käytössä kymmenistä kymmeneen tuhansiin. Valaistusteknologioiden kehityksen ja varsinkin LED-valaistuksen myötä katu- ja puistovalaisinten ohjaus on ottanut merkittäviä askeleita eteenpäin, sillä LED-teknologia mahdollistaa entistä tarkemman ja yksityiskohtaisemman katuvalaistuksen ohjauksen.

### 2.1 Valaistuksen nykytilanne

Vaasan kaupungin julkiselle katu- puistovalaistukselle pyritään laatimaan yhtenäiset ja kaupunkikuvaa tukevat periaatteet. Valaistusilmeeseen ja valoisuuteen vaikuttavat kaikki alueen valot ja valaistustavat yhdessä, joten olisi tarkoituksenmukaista pyrkiä ohjaamaan myös kiinteistöjen kaupunkikuvaan näkyvää valaistusta. Koska liikennemäärät ja osaltaan liikenne itsessään ovat erilaisia erityyppisillä

kaduilla, vaihtelee myös valaistuksen tarve ja taso näkemisvaatimusten vaihdellessa. [1.]

Vaasan kaupungin katu- ja puistovalaisinverkosto käsittää tällä hetkellä n. 20 000 valaisinta, joista n. 8000 on LED-valaisimia. Loput ovat purkausvalaisimia, joihin kuuluu elohopea-, suurpainenatrium- ja monimetallivalaisimet. Mainittakoon, että elohopealamppuisiin valaisimiin ei ole voinut EU-alueella ostaa vuoden 2015 jälkeen uutta tai korvaavaa lamppua. Tämä on kiihdyttänyt valaisinten vaihtoja ja näin ollen LED-valot ovat lisääntyneet huomattavasti kaupungin valaistuksessa. [1.]

Vaihtamalla purkauslamppuista ledeihin voidaan saavuttaa kohteen mukaan 50–90 % energiansäästöt. LED-valaistus mahdollistaa myös paremman ja tarkemman ohjattavuuden; jopa yksittäisiä valaisimia pystytään ohjaamaan valaisinkohtaisten ohjaimien avulla. LED-valaisimille pystytään luomaan myös yksittäin tai ryhmässä erilaisia himmennysprofiileja.

## **2.2 Valaistuksenohjauksen nykytila**

Valaistuksen ohjauskeskukset hyödyntävät Vaasassa C2 SmartLight -ohjausjärjestelmää kaikilla alueilla. Kaupunki on jaettu viiteen osaan, joissa valaisimille on omat määritellyt syttymis- ja sammumisajat. Tietyillä alueilla yöllä käytetään osittaista sammutusta. Jokainen ohjauskeskus tarjoaa mahdollisuuden ohjata erillisiä valaistuslähtöjä. Yksittäisessä katuvalaistuskeskuksessa voi olla käytössä 1–7 lähtöä. [1.]

LED-valaistuksen osalta käytössä on myös valaisinkohtaisia ohjaimia, jolloin yksittäisille valaisimille voidaan luoda omat profiilinsa. Vaasassa on myös esim. kuntoradoilla käytössä ohjaus, joka perustuu liikkeeseen näin ollen valaistus on normaalitilanteessa aina himmennettynä, mutta kirkastaa lähialueen kaikki valaisimet liikehavainnon seurauksena.

Liikuntapaikoilla ulkovalaistuksen ohjaus tapahtuu yleensä painonapein. Leikki-  
puistoissa käytetään yöaikaista himmennystä klo 22.00–07.00, jolloin valaistus  
himmennetään 10 %:iin. [1.]

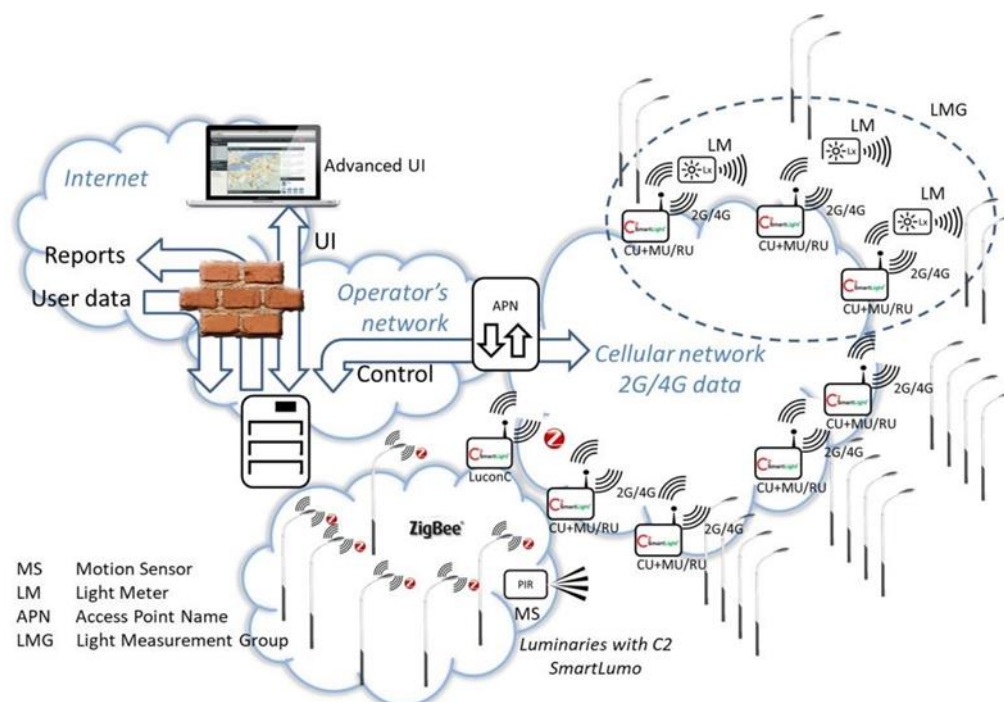
### 3 OHJAUSJÄRJESTELMÄT JA SOVELLUKSET

Valitsin työhön neljä erilaista katu- ja puistovalaisituksen ohjausjärjestelmien toimittajaa. Vertailun pääkohtana käytettiin C2 SmartLight -ohjelmistoa, sillä se on käytössä koko katu- ja puistovalaisituksessa Vaasassa. Seuraavissa luvuissa esitellään ja perehdytään tarkemmin jokaisen järjestelmän yleisiin ominaisuuksiin, käyttöliittymään, teknisiin ratkaisuihin, talouteen ja tietoturvaan. Kyseiset ominaisuudet valittiin vertailuun Vaasan kaupungin tarpeiden mukaan.

#### 3.1 C2 SmartLight

C2 SmartLight on Suomessa suunniteltu ja valmistettu ratkaisu ulkovalaisituksen ohjaukseen, valvontaan ja huollon seurantaan. Järjestelmän toiminta perustuu katuvalokeskuksiin asennettaviin ohjausyksiköihin, valaisimissa tai valaisinpylväissä oleviin valaisinkohtaisiin ohjaimiin ja ohjelmistopalveluun. Käyttäjä liittyy järjestelmään selainpohjaisella käyttöliittymällä käyttäen kaupallisia selainohjelmistoja. [4.]

C2 SmartLight -järjestelmään kuuluu avoimet standardit, joten se on täysin riippumaton valaisinvalmistajista ja valaistusteknologioista; näin ollen kaikki ulkovalaistusteknologiat toimivat sen kanssa. Järjestelmän tärkeisiin ominaisuuksiin kuuluu myös sen modulaarisuus, mikä tarkoittaa, että tilaaja voi hankkia tarvitsemansa laitemoduulit ja täydentää järjestelmää myöhemmin asiakastarpeiden muuttuessa. C2 SmartLight tarjoaa 24h/7vrk päivystävän teknisen tukipalvelun, joka mahdollistaa asiakaskohtaiset konfiguroinnit, vianseurannan ja -korjaukset etänä sekä asiakkaan erikseen tilaamat lisäpalvelut, kuten viranomaisilta, esimerkiksi poliisilta tulleet palvelupyynnöt. Alapuolella olevasta kuvasta 1 nähdään C2-järjestelmän arkkitehtuuri yhteyksien ja toiminnan osalta. [4.]



**Kuva 1.** C2 SmartLight -järjestelmäkaavio (C2 SmartLight).

### 3.1.1 Käyttöliittymä

C2 SmartLight-ohjausjärjestelmä toimii suomenkielisenä karttapohjaisena selainkäyttöliittymänä. Alla on listattuna käyttöliittymän keskeisimmät ja tärkeimmät ominaisuudet:

- Käyttöliittymästä on nähtävillä karttapohjalla käytössä olevien ohjainlaitteiden sijainti ja tyyppi.
- Käyttäjä pystyy sekä uudelleen nimeämään, kirjaamaan tarkentavia tietoja, että siirtämään karttapohjalla olevia symboleita.
- Käytettäessä aikataulutettua ohjausta, valaistuksen ohjaus tapahtuu käyttäjän asettamien sytytys- ja sammutusajankohtien mukaisesti tai käytettäessä manuaalista ohjausta käyttäjä voi sytyttää ja sammuttaa valot käyttöliittymän kautta määritellyksi ajaksi (esim. huolto).
- Ohjausyksiköiden asetusarvot ja parametrit voi asettaa selainkäyttöliittymän kautta. Myös ohjausyksiköiden tilatietojen, hälytysten ja mittausten seuranta onnistuu käyttöliittymän kautta.

- Käyttäjä pystyy määrittelemään, mistä vikatapauksista halutaan hälytys ja välitetäänkö tieto hälytyksestä sähköpostilla ja/tai tekstiviestinä.
- Valaistuksen tilatiedot esitetään käyttöliittymässä (valot päällä / sammutettu).
- Käyttöliittymässä indikoidaan eri värein erilaisia tilanteita. Esim. huollossa olevat keskukset näytetään erivärisin symbolein. Myös valaistusviat ilmoitetaan erilaisin värisymbolein.
- Erilaisin symbolein esitetään myös valaisinpisteet ja sähkökeskukset, joissa ei ole ohjaimia.
- Käyttöliittymä on myös muokattavissa käyttäjän tarpeiden mukaisesti. Siinä pystytään luomaan käyttäjän tarvitsemia pikapainikkeita, joihin on ohjelmoitavissa käyttäjän tarvitsemia ohjauskomentoja esim. jonkin tietyn alueen valaistus päälle/pois tai säätämään haluttujen alueiden tai kohteiden valaistustasoa.
- Käyttäjä pystyy luomaan ja määrittelemään itse haluamansa ohjausryhmät järjestelmään liitetyistä laitteista sekä nimeämään ne vapaasti.
- Käyttöliittymässä pystytään esittämään graafisesti keskuskohtainen pala- aika, energiankulutus sekä vaihekohtaiset mittaukset virroista ja jännitteestä. Lisäksi pystytään esittämään yksittäisen valoanturin mittaama luonnon valoisuus (lx). Eri antureiden mittaustiedoista muodostettu valoisuuden keskiarvotieto voidaan esittää reaaliajassa samoin kuin liikemäärälaskurien antamat aktiivisuustiedot. [2.]

Ohjausjärjestelmää on mahdollista käyttää mobiilikäyttöliittymän kautta. Se toimii myös karttapohjaisena. Käytettäessä mobiilikäyttöliittymää tunnistaa se automaattisesti käyttöalustan ja skaalaa käyttöliittymän näytön käyttöalustan mukaiseksi. Mobiilikäyttöliittymä sijoittaa myös käyttäjän karttapohjalle hänen sijaintipaikkansa mukaan ja näyttää käyttäjän lähialueella olevat ohjainlaitteet.

Mobiilikäyttöliittymä mahdollistaa erityisesti huollon tarpeet, sillä käyttöliittymällä on mahdollista kirjata kommentteja koskien yksittäistä ohjainlaitetta ja

tallettaa järjestelmään puhelimessa olevia ohjainlaitteeseen liittyviä tiedostoja. Lisäksi voidaan ottaa kuvia kohteesta ja tallentaa ne ohjainlaitteen tietoihin. Käyttöliittymän kautta on myös mahdollista merkitä yksittäisen ohjainlaitteen olevan huollossa. Se näkyy myös muille käyttäjille erivärisenä symbolina. Mobiilikäyttöliittymässä on huoltonäkymä, jossa esitetään tietoliikennesignaalin vahvuus, syöttöjännite ja tiedonsiirtomuoto (2G / 4G). [4.]

### 3.1.2 Tekniset ominaisuudet

Tässä luvussa käydään läpi C2 SmartLight -ohjausjärjestelmän tarjoamia tärkeimpiä teknisiä ominaisuuksia.

Mittaukset:

- Erillisellä mittausyksiköllä pystytään mittaamaan kuormavirrat ja jännitteet kolmikanavaisena mittauksena.
- Keskusyksiköllä on relekohtainen kuormantunnistus.
- Valoisuuden mittaus tehdään vähintään kolmen valoisuusanturin yhteismittauksena. Antureiden mittaustulosten laskettua keskiarvoa käytetään valaistuksen ohjauksessa. [2.]

Vikatiedot ja hälytykset:

- Hälytykset valaisinkohtaisista vioista (DALI 2 / DiiA).
- Hälytys palaneesta vaihekohtaisesta sulakkeesta.
- Hälytys koko sähkökeskusta koskevasta sähkökatkoksesta.
- Hälytys, mikäli rele pyrkii ohjaamaan valoja päälle tai pois, mutta valot eivät syty tai sammuu ohjauksen mukaan (kuormantunnistus). [2.]

Kaikista yllä mainituista hälytyksistä käyttäjä pystyy määrittelemään, mistä hän halua ilmoituksia sähköpostiin ja/tai tekstiviestinä. Hälytykset ovat priorisoitavissa ja seuranta määritettävissä käyttäjäkohtaisesti. [4.]

Varajärjestelmät:

- Valoisuuden mukaan tapahtuvalla sytytyksellä ja sammutuksella on vara-järjestelmänä astronominen kello.
- Valaisinkohtaisien ohjaimien sytytys/sammutus -toiminta on varmennettu astronomisella kellolla.
- Katuvalojen oikea-aikainen syttyminen/sammuminen ei ole riippuvainen keskustietojärjestelmästä. Vaikka yhteys keskustietojärjestelmään on menetetty, kaikki valot syttyvät ja sammuvat valoisuusantureiden ohjauksessa.
- Ohjauslaitteessa on lyhykestoinen (2 min.) varmennettu sähkönsyöttö (UPS). Sähkökatkoksen sattuessa ohjainlaite ilmoittaa ko. viasta hyödyntäen UPS-varavirtaa. [2.]

Yhteensopivuus ja muunneltavuus:

- Ohjausjärjestelmään pystytään tuomaan tietoa ulkopuolisista tietojärjestelmistä. Toteutettuja integraatioita ovat Ilmatieteen laitos, KeyLight dokumentointiratkaisu ja Fingridin tuottama Datahub-palvelu.
- C2 SmartLight on valaisinvalmistajista ja valaistusteknologiasta riippumaton. Järjestelmä toimii kaikkien ulkovalaistusteknologioiden kanssa.
- Valaistuskeskuksiin asennettavat laitteet ovat modulaarisia. Tilaaja voi hankkia tarvitsemansa laitemoduulit ja täydentää järjestelmää myöhemmin tarpeiden muuttuessa. [2.]

Järjestelmän lisälaitteistot:

C2 SmartLight -järjestelmään on saatavilla seuraavat lisälaitteistot valaistuksen ohjaukseen: Liiketunnistin, valoisuusanturi, lumentunnistin, lämpötilan mittaus ja kävijämäärän laskenta. [2.]

### **3.1.3 Tietoturva**

C2 SmartLight -ohjausjärjestelmä salaa kaiken dataliikenteen sekä käyttöliittymältä ohjausyksiköille että ohjausyksiköiden välillä aina yksittäistä

valaisinkohtaista ohjainta myöten. Kirjautuminen sekä tietojärjestelmään että yksittäiseen ohjausyksikköön ohjausyksikössä olevan USB-liitynnän kautta vaatii aina käyttäjätunnuksen ja salasanan. [2.]

Järjestelmän käytössä olevat tietoliikenneyhteyden salausmenetelmät ovat:

- Käyttäjän selain <-> tietojärjestelmäpalvelin; HTTPS.
- Tietojärjestelmäpalvelin <-> mobiilioperaattorin APN; SSL.
- Mobiilioperaattorin APN <-> Pääteleite (katuvalokeskus); A5-algoritmi.
- Pääteleite (katuvalokeskus) <-> Valaisinkohtainen ohjain; AES 128.
- Kaikki SMS-liikenne on myös salattu. Suojausmenetelmä on RC4 + tunnistus. [2.]

Järjestelmään kirjautuessa on mahdollista myös ottaa käyttöön vahva tunnistautuminen. Tällöin käyttäjätunnuksen ja salasanan annon jälkeen tunnuksen liitettyyn puhelinnumeroon lähetetään PIN-koodi. Kirjautuminen järjestelmään tapahtuu vasta PIN-koodin syöttämisen jälkeen. [4.]

#### **3.1.4 Referenssit**

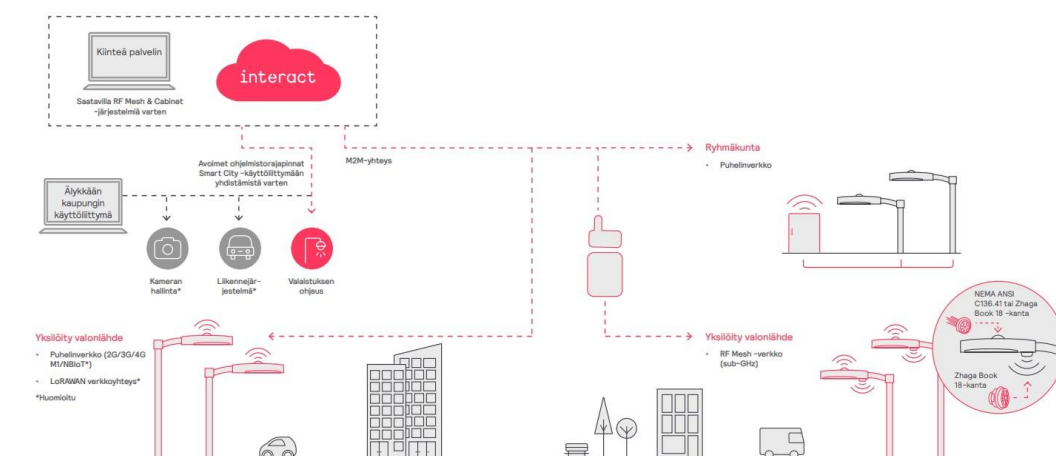
C2 SmartLightin suurimpia käyttäjiä ja kohteita ovat suomalaisista kaupungeista Helsinki, Tampere, Jyväskylä, Kuopio ja Vaasa. Niissä on mittavia kohteita, mutta C2 SmartLight on käytössä myös monissa muissa pienemmissä suomalaisissa kunnissa ja kaupungeissa sekä yksittäisissä kohteissa. [3.]

Yksi merkittävä kohde on myös E18-moottoritie Suomessa. Lisäksi kohteita ovat satamat Turussa, Porissa ja Raumalla, jotka kuuluvat vilkkaimmin liikennöityihin satamiin Suomessa. Ruotsissa kohteena on myös Karlskronan satama. [3.]

### **3.2 Signify – Interact City**

Signifyn Interact City on IoT-valmis älykäs valaistuksen ohjausjärjestelmä. Signify on entinen Philips Lighting -nimeä käyttänyt yritys. Se käyttää edelleen tuotteissaan Philips-brändiä.

Interact City -ohjausjärjestelmässä on avoimet ohjelmointirajapinnat ja standardit, joten sen kanssa on mahdollista integroida yhteensopivaksi kaupungin nykyinen katuvalaistus. Se on myös yhteensopiva erilaisten älykaupunkisovellusten kanssa, jotka mittaavat esimerkiksi ääntä ja ilmanlaatua. Alapuolella olevasta kuvasta 2 nähdään Interact City -järjestelmän arkkitehtuuri yhteyksien ja toiminnan osalta. [6.]



**Kuva 2.** Interact City -järjestelmäkaavio (Signify, 2021).

### 3.2.1 Käyttöliittymä

Interact City -ohjausjärjestelmä toimii karttapohjaisena selainkäyttöliittymänä. Alla on listattu käyttöliittymän keskeisimmät ja tärkeimmät ominaisuudet:

- Käyttöliittymästä on nähtävillä karttapohjalla käytössä olevien ohjainlaitteiden sijainti ja tyyppi.
- Käyttäjä pystyy sekä uudelleen nimeämään, kirjaamaan tarkentavia tietoja, että siirtämään karttapohjalla olevia symboleita.
- Ohjausyksiköiden asetusarvot ja parametrit voi asettaa selainkäyttöliittymän kautta. Myös ohjausyksiköiden tilatietojen, hälytysten ja mittausten seuranta onnistuu käyttöliittymän kautta.
- Käyttäjä pystyy määrittelemään, mistä vikatapauksista halutaan hälytys ja välitetäänkö tieto hälytyksestä sähköpostilla ja/tai tekstiviestinä.

- Liitettäessä valaisinkohtainen ohjain valaisimeen paikantuu se automaattisesti kartalle integroidun GPS:n avulla ja kytkeytyy automaattisesti Interact City -järjestelmään.
- Käyttöliittymä on muokattavissa käyttäjän tarpeiden mukaisesti.
- Käyttäjä pystyy luomaan ja määrittelemään itse haluamansa ohjausryhmät järjestelmään liitetystä laitteista sekä nimeämään ne vapaasti.
- Käyttöoikeuksia pystytään rajamaan käyttäjäkohtaisesti. [5.]

Ohjausjärjestelmää on myös mahdollista käyttää mobiilikäyttöliittymän kautta. Se toimii myös karttapohjaisena. Mobiilikäyttöliittymä toimii vastaavalla tavalla kuin selainversio, mutta tulossa on mobiililaitteille suunnattu ja konfiguroitu versio Interact City -ohjausjärjestelmästä. [5.]

### **3.2.2 Tekniset ominaisuudet**

Tässä luvussa käydään läpi Interact City -ohjausjärjestelmän tarjoamia tärkeimpiä teknisiä ominaisuuksia.

Mittaukset:

- Virran- ja maavuotojen mittaus on saatavilla erillisellä mittausmoduulilla.
- Energiankulutusmittaus saadaan valaisinkohtaisesti suoraan valaisinkohtaiselta ohjaimelta.
- RS485-rajapinta energiamittauksiin tulee suoraan keskukselta.
- Läsnaolo- ja liiketunnistus.
- Erilaiset säähän liittyvät mittaukset esim. äärisääilmiöissä
- Äänenlaadun ja -tasojen mittaus, esimerkiksi yhtäkkiset korkeat äänentäsoot. [14.]

Vikatiedot ja hälytykset:

- Valaistuskeskukseen on saatavilla ylijännitesuojamoduuli.

- Automaattiset ja reaaliaikaiset hälytykset valaisinkohtaisista vioista menevät suoraan (esim. huollolle).
- Hälytykset Multisensorilta, törmäyksentunnistus, yhtäkkiset korkeat ääntasot. [14.]

Kaikista yllä mainituista hälytyksistä käyttäjä pystyy määrittelemään, mistä hän halua ilmoituksia sähköpostiin ja/tai tekstiviestinä. Hälytykset ovat priorisoitavissa ja seuranta määritettävissä käyttäjäkohtaisesti.

Varajärjestelmät:

- Ohjaukset on varmennettu astronomisella kellolla.
- Battery-moduulilla saadaan virtaa keskusyksikölle sähkönsyötön häiriintyessä. [14.]

Yhteensopivuus ja muunneltavuus:

- Interact City -ohjausjärjestelmässä on avoimet ohjelmointirajapinnat ja standardit, joten se on mahdollista integroida yhteensopivaksi kaupungin nykyisen katuvalaistuksen kanssa.
- Avoimet ohjelmistorajapinnat antavat mahdollisuuden kolmansille osapuolille kehittää Interact Cityn kanssa toimivia uusia älykkäitä sovelluksia.
- Interact City Toimii suoraan noin 50:n eri yleisimmän valaisinvalmistajan kanssa. Haluttaessa saadaan toimimaan myös muiden valmistajien kanssa manuaalisesti käyttöönottamalla.
- Interact City on yhteensopiva TALQ-standardin kanssa. [14.]

Järjestelmän lisälaitteistot:

Interact City -ohjausjärjestelmään on saatavilla Interact Multisensor, joka mahdollista monia älykkäitä ratkaisuja kaupunkien valaistuksen ohjauksiin. Multisensor mahdollistaa seuraavia ominaisuuksia valaistuksen ohjaukseen: liiketunnistin, valoisuusanturi, lämpötilan mittaus, kävijämäärän laskenta ja törmäystunnistin. [5.]

### 3.2.3 Tietoturva

Interact City -ohjausjärjestelmä varmistaa, että kaikki viestintä on salattua, jotta ajastustoiminnot ja ohjauskomennot toimivat tehokkaasti ja turvallisesti. Ainoastaan rekisteröidyt laitteet voivat kommunikoida järjestelmän kanssa. Kaksiosainen suojausmekanismi estää kolmansien osapuolten pääsyn tietoihin niiden siirron aikana.

Kerätty data varmuuskopioidaan ja kryptataan säännöllisesti. Interact City noudattaa kansainvälisiä standardeja, kuten ISO/IEC 2700x ISMS-tietosuojastandardia ja ISA/IEC 62443-4-1-standardia, joka on suunniteltu erityisesti tuotekehitykseen. Signify on alan ensimmäinen yritys, joka on saavuttanut IEC 62443-4-1-standardin mukaiset tavoitteet.

### 3.2.4 Referenssit

Interact Cityä käytetään laajasti ympäri maailman. Sen tärkeimpiä referenssejä ovat maailman suurkaupunkeja, kuten New York ja Los Angeles, joissa valaisimia on hallittavana satoja tuhansia. Kohteena on myös suurkaupunkeja Euroopassa, mm. Saksassa, Puolassa ja Sveitsissä.

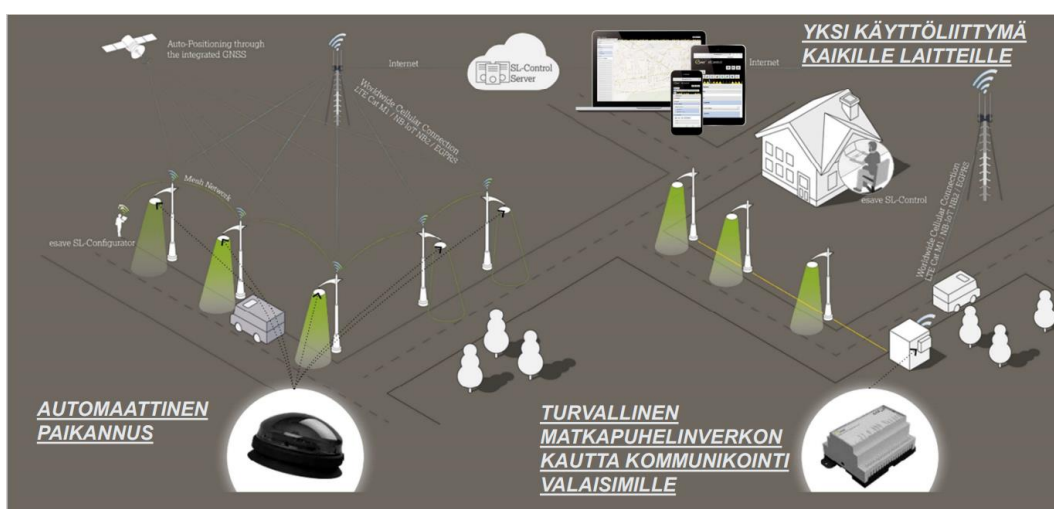
Suomessa isoista kaupungeista Interact City on käytössä Oulussa ja osittain Tampereella. Tampereella on toteutettu liikenne- ja kävijämäärään perustuvan dynaaminen ulkovalaistusratkaisu. Interact Cityä käytetään myös monissa yksittäisissä pienemmissä kohteissa. [6.]

## 3.3 Siteco Connect

Siteco Connect on Sitecon oma älykäs valaistuksen ohjausjärjestelmä, josta löytyy kolme erilaista ohjausratkaisua erilaisiin valaistuksenohjaustarpeisiin kaupungissa: Connect 11, jossa keskukset ja valaisimet ovat etäohjauksessa, Connect 21, jossa valaisinryhmä muodostaa paikallisen verkon ja Connect 31, jossa yksi valaisin

toimii itsenäisenä yksikkönä. Connect 11 sopii kokonaisen kaupungin ja sen kaikkien alueiden hallintaan. Sitä tullaan tässä työssä käyttämään vertailussa. [7.]

Siteco Connect -järjestelmässä on avoimet ohjelmointirajapinnat, joten sen kanssa on mahdollista integroida muita sovelluksia ja ohjelmia. Järjestelmä on myös modulaarinen, joten sitä pystytään laajentamaan tarpeiden mukaan. Alapuolella olevasta kuvasta 3 nähdään Siteco Connect -järjestelmän arkkitehtuuri yhteyksien ja toiminnan osalta. [7.]



**Kuva 3.** Siteco Connect -järjestelmäkaavio (Siteco).

### 3.3.1 Käyttöliittymä

Siteco Connect -ohjausjärjestelmää käytetään karttapohjaisena selainkäyttöliittymänä.

- Yksi käyttöliittymä kaikille laitteille, skaalautuu aina käytettävän laitteen mukaan.
- Käyttöliittymästä on nähtävillä karttapohjalla käytössä ohjainlaiteiden sijainti ja tyyppi.
- Käyttäjä pystyy uudelleen nimeämään, kirjaamaan tarkentavia tietoja ja siirtämään karttapohjalla olevia symboleita.

- Ohjausyksiköiden asetusarvot ja parametrit voi asettaa selainkäyttöliittymän kautta. Myös ohjausyksiköiden tilatietojen, hälytysten ja mittausten seuranta onnistuu käyttöliittymän kautta.
- Liitettäessä valaisinkohtainen ohjain valaisimeen paikantuu se automaattisesti kartalle integroidun GPS:n avulla ja kytkeytyy automaattisesti Siteco Connect -järjestelmään.
- Käyttöliittymä on muokattavissa käyttäjän tarpeiden mukaisesti.
- Käyttäjä pystyy luomaan ja määrittelemään itse haluamansa ohjausryhmät järjestelmään liitetystä laitteista sekä nimeämään ne vapaasti.
- Käyttöoikeuksia pystytään rajamaan käyttäjäkohtaisesti. [7.]

### 3.3.2 Tekniset ominaisuudet

Tässä luvussa Connect -ohjausjärjestelmän tarjoamia tärkeimpiä teknisiä ominaisuuksia.

Mittaukset:

- Energiankulutusmittaus valaisinkohtaisesti suoraan valaisinkohtaiselta ohjaimelta.
- RS485-rajapinta esim. energiamittaria varten.
- Liike- ja läsnäolotunnistus.
- Päälläolohistoria. [7.]

Vikatiedot ja hälytykset:

- Automaattiset ja reaaliaikaiset hälytykset valaisinkohtaisista vioista suoraan (esim. huollolle).
- Valaistusverkon kunnan monitorointi. [7.]

Kaikista yllä mainituista hälytyksistä käyttäjä pystyy määrittelemään, mistä hän halua ilmoituksia sähköpostiin ja/tai tekstiviestinä. Hälytykset ovat priorisoitavissa ja seuranta määritettävissä käyttäjäkohtaisesti.

Varajärjestelmät:

- Järjestelmän ohjaukset on varmennettu astronomisella kellolla. [7.]

Yhteensopivuus ja muunneltavuus:

- Siteco Connect käyttää avoimia ohjelmistorajapintoja, mikä mahdollistaa kolmannen osapuolen sovellusten integroinnin Connectin kanssa.
- Järjestelmä ja ohjaustekniikka voidaan ottaa käyttöön asteittain ja näin ollen käyttöönotto tai jälkiasennukset ovat käyttäjän päätettävissä. [8.]

Järjestelmän lisälaitteistot:

- Ulkoiset sensorit, kuten hämärätunnistin, liikennelaskuri tai sääasema ovat liitettävissä langallisesti. [7.]

### 3.3.3 Tietoturva

Siteco Connect -järjestelmän palvelimet sijaitsevat Itävallassa, muuten järjestelmään liittyvät tiedot tallennetaan pilvipalveluihin. Järjestelmä sisältää kattavan käyttäjähallinnan, joka mahdollistaa eri käyttäjäprofiilien ja käyttöoikeuksien määrittämisen. Käyttäjien autentikointi tapahtuu vahvalla kaksivaiheisella tunnistautumisella (2FA).

Siteco Connect -järjestelmä päivitetään säännöllisesti uusimmilla tietoturvapäivityksillä ja ohjelmistokorjauksilla. Järjestelmässä hyödynnetään verkkosegmentointia, joka rajoittaa pääsyn eri verkkoalueiden välillä. Kaikki järjestelmän toimet ja tapahtumat kirjataan tietoturvalokeihin. Näitä lokeja voidaan analysoida ja tarkastella mahdollisten tietoturvapoikkeamien havaitsemiseksi ja tutkinnaksi. [8.]

### 3.3.4 Referenssit

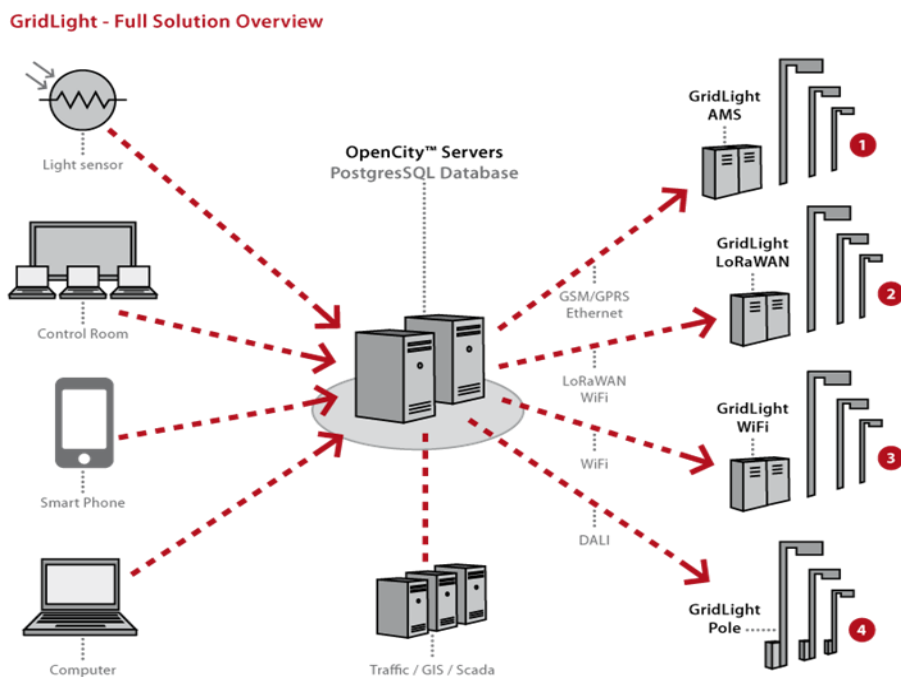
Siteco Connect -järjestelmä on käytössä useissa kohteissa ympäri Eurooppaa. Saksassa, Itävallassa ja Sveitsissä se on käytössä useissa isommissa kaupungeissa. Euroopassa myös monia isoja urheilustadioneita on toteutettu Sitecon toimesta.

Suomessa Siteco Connect on käytössä Tampereella osassa kaupunkia. Helsingissä järjestelmä on käytössä osana kaupungin älyvalaistushanketta. Yksittäisistä kohteista Suomessa Siteco on toteuttanut mm. Helsingin olympiastadion valaistuksen.

### 3.4 UPPA Traffic – Amplex GridLight

Amplex GridLight on tanskalaisen Amplexin kehittämä valaistuksenohjausjärjestelmä. Amplexin kanssa yhteistyössä ja jälleenmyyjänä Suomessa toimii UPPA Traffic Oy. Amplex on saanut alkunsa katuvalaistusjärjestelmien kauko-ohjauksen ja hallinnan alueelta. Myöhemmin toiminta on laajentunut älykkäisiin mittauksiin ja älykaupunkiratkaisuihin. [13.]

Amplex GridLight -ohjausjärjestelmässä on avoimet ohjelmistorajapinnat, joten se on yhteensopiva nykyisen valaistusinfran kanssa. Se on täysin modulaarinen järjestelmä, joka mahdollistaa järjestelmän laajentamisen tarpeen vaatiessa. Se voidaan integroida erilaisten älykaupunkisovellusten kanssa. Alapuolella olevasta kuvasta 4 nähdään GridLight-järjestelmän arkkitehtuuri yhteyksien ja toiminnan osalta. [9.]



**Kuva 4.** Amplex GridLight -järjestelmäkaavio (Amplex, 2022).

### 3.4.1 Käyttöliittymä

Amplex GridLight -ohjausjärjestelmä toimii myös karttapohjaisena selainkäyttöliittymänä. Alla on listattu käyttöliittymän keskeisimmät ja tärkeimmät ominaisuudet.

- Selainkäyttöliittymän karttapohjasta on nähtävillä käytössä olevien laitteiden sijainnit.
- Käyttöliittymästä pystytään ohjaamaan laitteiden ja valaisimien tilatietoja päälle/pois/huolto.
- Käyttöliittymässä erilaiset tilanteet on indikoitu eri värein.

- Laitteiden ja valaisinten tietoja pystytään muokkaamaan ja lisäämään huomioita sekä tarkentavia tietoja.
- Ohjausyksiköiden halutut asetusarvot ja parametrit pystytään asettamaan käyttöliittymän kautta.
- Käyttöliittymä on mahdollista muokata omien tarpeiden mukaisesti ja siinä on esimerkiksi mahdollisuus luoda haluamansa valaistusryhmät.
- Kaikki vika-, mittaus- ja hälytystiedot ovat nähtävillä käyttöliittymästä. Nähtävillä on myös järjestelmän erilaisia koostamia raportteja.
- Pääkäyttäjä pystyy rajaamaan käyttöoikeuksia käyttäjäkohtaisesti. [9.]

Amplex GridLight -ohjausjärjestelmää pystytään käyttämään myös mobiililaitteella, suoraan karttapohjaisena selainversiona. GridLight on myös mahdollista ladata suoraan mobiililaitteelle, siitä löytyy omat sovelluksensa sekä iOS- että Android-käyttöjärjestelmille. [9.]

### **3.4.2 Tekniset ominaisuudet**

Alla on esitelty tärkeimmät tekniset ominaisuudet, joita Amplex GridLight sisältää.

Mittaukset:

- Keskusyksikkö (AmsCPU) valvoo jännitearvoja kaikissa pääsyötön kolmessa vaiheessa.
- Keskusyksikkö pystyy myös mittaamaan ja ilmoittamaan vaihevioista ja päävirran katkoksista.
- Valaisinkohtainen ohjain (gridDOT) pystyy hakemaan mittarilukemat LED-ohjaimesta.
- AmsMBUS-moduulilla voidaan saavuttaa kaksisuuntainen tiedonsiirto eri valmistajien M-Bus-yhteensopivien sähkömittareiden kanssa
- AmsCurrent-moduuli pystyy valvomaan ja mittamaan epäsymmetristä maavuotoa ja virtojen muutoksia. [10.] [12.]

Vikatiedot ja hälytykset:

- Valaisinkohtaisilta ohjaimilta on mahdollisuus saada tieto valaisinkohtaisista vioista.
- Keskusyksikkö pystyy ilmoittamaan päävirtakatkoksista, vaihevioista, yli/alijännitteestä.
- Erilaisilla moduuleilla, kuten AmsMBUS- ja AmsCurrent-moduuleilla, saadaan tieto esim. maavuodosta ja tieto välittyy eteenpäin keskusyksikölle, joka ilmoittaa viasta [9]

#### Varajärjestelmät:

- AmsBattery-moduuli antaa virtaa keskusyksikölle sähkökatkoksen aikana ilmoittaakseen katkoksista [11].
- Astronominen kello on varajärjestelmänä valaistuksen ohjaukseen päivittäisen ohjelman mukaisesti.
- Sähkökatkon sattuessa laite tallentaa sen aikaiset datat laitteen muistiin ja siirtää ne pilveen palatessa taas online-tilaan. [9.]

#### Yhteensopivuus ja muunneltavuus:

- Amplex GridLight on täysin modulaarinen järjestelmä, jota pystytään muokkaamaan ja kasvattamaan tarpeen mukaan.
- Amplexilla on täysi REST- ja JSON-pohjainen API, mikä mahdollistaa integroinnin kolmannen osapuolen järjestelmiin.
- Amplex on yhteensopiva TALQ-standardin kanssa [9.]

#### Järjestelmän lisälaitteistot:

Amplex GridLightiin on mahdollisuus liittää älykkään kaupungin lisäosia, joita ovat esimerkiksi Traveltime ja AirQuality. Traveltime on palvelu, joka tarjoaa tarkkaa tilastollista ja reaaliaikaista tietoa siitä, kuinka kauan autolla kestää ajaa reittiä, joka kattaa useita mittausasemia.

Traveltime mahdollistaa mm. eri reittien aikavertailun reaaliajassa ja se osaa toimia ennakoivasti liikenneongelmien ja ruuhkien kohdalla. Tietoja voidaan käyttää valojen himmentämiseen, kun liikenne vähenee. [9.]

Amplexin AirQuality-sensori kuuluu osaksi Smart City -sovellusten valikoimaa, jonka avulla voidaan mitata ja seurata kaupungin ilmanlaatua. Tämä anturi integroituu saumattomasti Amplexin GridLight -ohjausjärjestelmään. AirQuality mahdollistaa mm. sekä sää- että ympäristötietojen mittauksen ja siinä on automaattinen hälytys kynnyksarvojen ylittyessä. [9.]

### **3.4.3 Tietoturva**

Amplex varmistaa järjestelmän täyden turvallisuuden SSL-salauksen avulla. Kaikki päätelaitteiden ja valaisinohjainten sekä palvelimen väliset yhteydet ovat SSL-suojattuja. Selainkäyttöliittymä hyödyntää HTTPS-salausta, ja sovellukset kommunikoivat palvelimen kanssa SSL-salauksen turvin. Kun päätelaitteet ja valaisinohjatimet käyttävät mobiiliverkkoa (GSM), niiden tiedonsiirto on suojattu yleisellä salauksella (GEA). LoRaWAN-standardi tarjoaa laitteille vahvan 128-bittisen salauksen, joka takaa korkean turvallisuustason. [9.]

Kaikki päätelaitteiden tiedot tallennetaan palvelimelle PostgreSQL-tietokantaan. Asiakkaalla on mahdollisuus asentaa palvelimet joko omaan paikalliseen konesaliinsa tai Amplexin isännöimään konesaliin. Tällä hetkellä Amplexin palvelimet ovat sijoitettuna Irlannissa sijaitsevaan Amazon AWS -konesalikeskukseen. [9.]

### **3.4.4 Referenssit**

GridLight kattaa enemmän kuin 50 % kaikista Tanskan katuvalaistusohjauksista. Se kattaa niin pieniä, keskikokoisia kuin suuria tanskalaisia kaupunkeja. Esimerkkinä Aarhusin kunta, joka kattaa 59 000 valopistettä 604:llä valaistuskeskuksella ohjattuna. [13.]

GridLight-järjestelmää käyttää myös usea Pohjois-Euroopan tieviranomainen. Esimerkkinä Tanskan tiehallinto (Vejdirektoratet) ja Ruotsin liikennevirasto (Trafikverket). GridLight on myös käytössä Abu Dhabissa sisältäen 275 000 valopistettä 7700:lla valaistuskeskuksella ohjattuna, mikä on tällä hetkellä maailman isoin keskusohjattu järjestelmä. [13.]

## 4 JÄRJESTELMIEN VERTAILU JA KUSTANNUSLASKELMAT

Vertailtaessa sekä teknisiä että taloudellisia ominaisuuksia saatiin kattava kuva jokaisen järjestelmätoimittajan tarjoamista eduista ja soveltuvuudesta Vaasan kaupungin tarpeisiin. Kysymysten yhdenmukainen asettelu varmistaa objektiivisen vertailun eri toimittajien välillä. Tämä auttaa myös vertailemaan vastauksia suoraan keskenään. Perusteellinen arviointiprosessi auttaa varmistamaan, että lopullinen valinta vastaa parhaiten Vaasan kaupungin tarpeita ja tavoitteita sekä tarjoaa parhaan mahdollisen ratkaisun katu- ja puistovalaistuksen hallintaan.

### 4.1 Käyttöliittymien vertailu

Käyttöliittymän selkeys, ulkoasu ja sen tarjoamat ominaisuudet ovat iso osa järjestelmän käyttäjäkokemusta niin pääkäyttäjän kuin huollonkin kannalta. Kaikkien ohjausjärjestelmien käyttö perustuu karttapohjaiseen selainkäyttöliittymään, jota pystytään käyttämään kaikilla yleisimmillä kaupallisilla selainohjelmistoilla. Kaikki järjestelmät tukevat myös mobiililaitteikäyttöä. Mobiililaitteikäyttö tapahtuu myös selaimen kautta. GridLightilla on käytössään myös oma sovellus, joka on ladattavissa mobiililaitteille sen omista sovelluskaupoista. Interactin kenttäkäyttöön ollaan myös tuomassa omaa ladattavaa sovellustaan. C2 SmartLight ja Siteco Connect tunnistavat laitteen ja skaalaavat näkymän sen mukaan.

Tärkeintä käyttöliittymässä on sen tarjoamat mahdollisuudet hallita valaistuksen ohjausjärjestelmää sekä esittää nykyinen valaistus ja sen tila. Kaikissa järjestelmissä valaisinpisteet sekä valaistuskeskukset on esitetty karttapohjassa. Karttapohjassa on myös indikoitu eri värein erilaiset tilanteet, kuten päällä/pois sekä huolto- ja vikatilanteet. Tärkeää on myös, että edellä mainittuihin tilanteisiin pystytään vaikuttamaan käyttöliittymän kautta mm. ohjaamalla valoja päälle/pois yksittäin tai ryhmässä, kuittaamalla vikatilanteita tai tekemällä kirjauksia esim. valaisintyyppistä tai -mallista. Kaikki edellä mainitut ominaisuudet onnistuvat jokaisessa vertailussa olevassa järjestelmässä eikä mitään mainittavia eroja järjestelmistä löydy.

Ohjausjärjestelmiä käyttävät monet erilaiset tahot, joten on tärkeää, että järjestelmänvalvoja pystyy rajaamaan eri tahojen käyttöoikeuksia esim. huollolle ja liikuntapaikoista vastaaville. Jokaisen järjestelmän kohdalla se onnistuu. C2 SmartLightilla pystytään vielä erikseen rajaamaan oikeuksia niin, että esim. valaistusparametrien säätö kuuluu vain pääkäyttäjälle tai hälytykset vioista tulevat vain huollolle. Interact mahdollistaa käyttäjäoikeuksien antamisen pelastusviranomaisille, jotka pystyvät hätätilanteessa ohjaamaan valot täyteen kirkkauteen.

Käyttöliittymän räätälöitävyys omien tarpeiden ja tilanteiden mukaisesti nopeuttaa ja selventää huomattavasti järjestelmän käyttöä. Kaikissa järjestelmissä pystytään luomaan halutut ohjausryhmät ja tilanteet eri alueista ja kaduista. Laajimman muokattavuuden käyttöliittymälle tarjoaa C2 SmartLight, joka mahdollistaa käyttäjäkohtaisen käyttöliittymänäkymän luomisen ja näin ollen saatavuuden itselle tärkeihin tietoihin heti aloitusnäkyssä.

## **4.2 Teknisten ratkaisujen vertailu**

Ohjausjärjestelmien teknisissä ratkaisuissa järjestelmistä löytyi jo eroja. Vertailussa huomioitiin ohjausjärjestelmien tarjoama data vikatietojen, mittauksen ja hälytystietojen perusteella. Huomioon otettiin myös niiden modulaarisuus ja yhteensopivuus muiden järjestelmien kanssa.

Seuraavissa luvuissa tekniset ratkaisut on jaettu viiteen eri osa-alueeseen. Viimeisessä luvussa suoritetaan yhteenveto, jossa arvioidaan, miten kukin järjestelmä suoriutuu edellä mainituilla osa-alueilla. Yhteenveto tarjoaa hyvän kokonaiskuvan järjestelmien vahvuuksista ja heikkouksista.

### **4.2.1 Tietoliikenne-rajapinnat**

Aloitettaessa tietoliikenteestä järjestelmät tarjoavat laajan skaalan eri yhteyksiä, joilla ohjausta pystytään toteuttamaan. Kaikista järjestelmistä löytyy 2G- ja 4G- yhteydet. Tuki löytyy myös 3G-verkolle, mutta se on poistettu jo laajasti käytöstä Suomessa, joten sitä ei valaistusohjauksiin enää käytetä.

C2 SmartLight -ohjauslaitteen oletusyhteytenä on yllä mainittu 2G/4G, mutta optiona ohjaustavaksi on saatavissa kuitu- tai Ethernet-yhteys. Valaisinkohtaiset ohjaimet liikennöivät ZigBee 3.0 -protokollan avulla.

Interact tarjoaa yhteytenä puhelinverkon lisäksi valaisinkohtaisille ohjaimille LoRAWAN-verkkoyhteyttä sekä RF Mesh -verkkoa. GridLightin kommunikointi tapahtuu puhelinverkon lisäksi NB-IoT, LTE-M, LoRaWAN- ja WiFi-verkon välityksellä. Valaisinkohtaiseen ohjaukseen on saatavilla vielä edellä mainittujen lisäksi LTE-M1- yhteys. Siteco Connect -järjestelmän kommunikointi tapahtuu myös puhelinverkon kautta, mutta mahdollisuutena on käyttää valaisinkohtaisille ohjaimille NB-IoT- ja LTE-M- yhteyksiä.

#### **4.2.2 Mittaukset ja raportointi**

Jokaisesta järjestelmästä löytyy samankaltaisia mittausmahdollisuuksia. Kaikki järjestelmät pystyvät mittamaan ja esittämään tiedot erilaisin graafisein raportein energiankulutuksen ja paloajan osalta. Laajimman mittausdatan tarjoavat C2 SmartLight ja GridLight.

C2 SmartLight pystyy mittaamaan keskusyksiköltä relekohtaisen kuorman. Järjestelmään on erikseen saatavilla keskuksen asennettava mittausmoduuli, joka mittaa vaihekohtaiset jännitteet ja virrat. Valaisinkohtaisella ohjauksella valaisimen tehölähteeltä luettavat tiedot ovat polttoaika- (h), virta-, jännite- ja lämpötilatiedot. Kaikista edellä mainituista mittaustiedoista on saatavilla myös raportit.

Signify Interact mahdollistaa virran- ja maavuotojen mittaukset keskukselta erillisellä mittausmoduulilla. Valaisinkohtaisilta ohjaimilta on saatavilla energiankulutus ja paloikatiedot sekä myös raportit niistä. Älykaupunkilisäosat mahdollistavat vielä laajemmat mittaukset ja raportoinnit.

Amplex GridLight tarjoaa aikaisemmin mainitut muistakin järjestelmistä löytyvät perusmittaukset, mutta niiden lisäksi keskusyksikkö pystyy mittaamaan vaiheviat ja päävirran katkokset. Valaisinkohtainen ohjain (gridDOT) pystyy hakemaan

mittarilukemat LED-ohjaimelta. Erillisellä AmsCurrent-moduulilla pystytään mittaamaan epäsymmetristä maavuotoa ja virtojen muutoksia. Järjestelmästä löytyy myös Modbus rajapinta kWh-mittareille.

Siteco connect tarjoaa myös perusmittaukset ja raportoinnit muiden järjestelmien tavoin. RS485-rajapinta tarjoaa mahdollisuuden liittää järjestelmään erilaisia laitteita esim. virranmittauksen.

#### **4.2.3 Vikatiedot ja hälytykset sekä varajärjestelmät**

Kaikki järjestelmät pitävät jälleen sisällään paljon samankaltaisuuksia, kun puhutaan vika- ja hälytystiedoista. Jokainen järjestelmä pystyy ilmoittamaan valaisin-kohtaiset viat, mikäli käytetään valaisinkohtaisia ohjaimia. Järjestelmät voivat ilmoittaa myös päävirtakatkoksista sekä tilanteista, joissa valot eivät ole syttyneet ohjauksen mukaisella tavalla.

Järjestelmistä C2 SmartLight ja GridLight pystyvät ilmoittamaan keskuksen pala-neesta vaihekohtaisesta sulakkeesta sekä yli- ja alijännitteistä. C2 SmartLight pitää sisällään vielä erikseen kuormantunnistuksen, mikäli valot eivät syty ohjauksen mukaan. GridLightin mittausominaisuuksia voidaan jatkaa vielä AmsMBUS- ja AmsCurrent-moduuleilla ja näin saadaan hälytys maavuodoista, kaapelikatkoista ja sähkövarkauksista.

Hälytykset saadaan jokaisen järjestelmän käyttöliittymästä esiin niin, että niitä voidaan tarkastella kaikkia samasta näkymästä. C2 SmartLight, Interact ja Siteco Connect tarjoavat myös mahdollisuuden välittää hälytykset eteenpäin halutulle taholle sähköposti- tai tekstiviestein.

Laajimmat varajärjestelmät tarjoavat C2 SmartLight ja GridLight. Kaikissa järjestelmissä valaistuksen ohjauksen kaikissa vikatilanteissa varmistimena toimii astronominen kello, joka sytyttää ja sammuttaa valot ohjelman mukaisesti. C2 Smartlight pystyy ohjaamaan valoja myös pelkällä valoisuusantureiden ohjauksella. C2 SmartLight- ja GridLight-järjestelmät tarjoavat varmennetun akkukäyttöisen

sähkösyötön lyhyiden sähkökatkojen varalle. Lisäksi sähkökatkon sattuessa Grid-Light tallentaa senaikaiset datat laitteen muistiin ja siirtää ne pilveen palattaessa taas online-tilaan.

#### **4.2.4 Modulaarisuus ja yhteensopivuus**

Jokainen toimittaja tarjoaa järjestelmän, joka on modulaarinen ja helposti muokattavissa omien tarpeiden mukaan. Modulaarisuus tarkoittaa tässä tapauksessa ohjauslaitteiden, valaisinkohtaisten ohjaimien tai mittausantureiden lisäämistä alueiden laajentuessa ja valaisinryhmien kasvaessa.

Järjestelmät toimivat kaikkien eri valaistusvalmistajien ja valaistusteknologioiden kanssa yhteen. Poikkeuksena voidaan pitää Interactia, joka toimii 50:n ennalta määrätyn valaisinvalmistajan kanssa. Valmistajia pystytään lisäämään ja määrittelemään ottamalla yhteyttä Signifyyn, joka hoitaa tarvittavan prosessin.

Järjestelmiin on myös liitettävissä lisälaitteistoja kuten erilaisia antureita ja tunnistimia. Liitettävät ja yleisin käytetyimmät lisälaitteistot ovat samanlaisia toimintoiltaan eri järjestelmätoimittajilla.

#### **4.2.5 Yhteenveto teknisistä ratkaisuista**

Tekniset ratkaisut ovat isoin osa koko järjestelmää ja ne kertovat, mitä järjestelmään kuuluu ja mitä se sisältää. Aloitettaessa tietoliikenne-rajapinnoista, kaikki järjestelmät pystyvät tarjoamaan samankaltaiset perusyhteydet puhelinverkon kautta. Jokaiselta löytyy myös LTE-yhteydet, joten järjestelmät ovat yhteyksiensä puolesta samalla tasolla.

Jokaisesta järjestelmästä on saatavilla perusmittaustiedot, joita ovat esim. palo-aika ja energiakulutus. Mittauksissa perusominaisuuksiltaan C2 SmartLight ja Grid-Light nousevat hieman yläpuolelle, sillä ne pystyvät tarjoamaan mittausdataa suoraan keskusyksiköltä. Jokaisen järjestelmän mittausominaisuuksia pystytään

kuitenkin laajentamaan erilaisilla mittausmoduuleilla. Ne tuovat toki järjestelmän kokonaiskustannukseen lisähintaa.

Vikatiedoissa laajimmat mahdollisuudet tarjoavat C2 SmartLight ja GridLight. Kumpikin järjestelmä tarjoaa perusominaisuutena laajan skaalan erinäisiä vikatietoja. Kaikissa järjestelmistä vikatiedot on esitetty samassa näkymässä. Vikatiedot pystytään välittämään eteenpäin C2 SmartLight-, Interact- ja Siteco Connect- järjestelmissä.

### **4.3 Tietoturvan vertailu**

Tietoturvan merkitystä ei voi nykypäivänä mitenkään aliarvioida, sillä kyberturvallisuusuhkat ovat lisääntyneet huomattavissa määrin. Jokaisen järjestelmän kohdalla oli kiinnitetty huomioita tietoturvariskeihin ja siihen, miten pystytään estämään järjestelmien luvaton käyttö. Järjestelmien tieturvaominaisuudet pitivät sisällään hyvin samankaltaisia asioita.

Kaikille järjestelmille oli yhteistä, että ne käyttävät salattuja yhteyksiä kaikessa viestinnässä. Järjestelmien verkkokäyttöliittymät käyttävät HTTPS-salausta. Verkko-yhteyksien salauksessa SLL-salausta käyttävät myös kaikki järjestelmät. Luvattomien väärinkäyttöjen estämiseksi jokaiseen järjestelmään pystytään rajaamaan erilaisia käyttöoikeuksia järjestelmänvalvojan toimesta.

Interact-järjestelmässä ainoastaan rekisteröidyt laitteet voivat kommunikoida sen kanssa, ja kaksiosainen suojaus estää kolmansia osapuolia pääsemästä tietoihin siirron aikana. C2 SmartLight -käyttäjien kirjautumiseksi järjestelmään valittavana on vahva tunnistautuminen. Tällöin käyttäjätunnuksen ja salasanan annon jälkeen tunnukseen liitettyyn puhelinnumeroon lähetetään PIN-koodi ja vasta PIN-koodin jälkeen kirjautuminen onnistuu. Yksittäiseen ohjausyksikköön kirjautuessa ohjausyksikössä olevan USB-liitynnän kautta vaatii se myös aina käyttäjätunnuksen ja salasanan.

Kaikki järjestelmät sisällyttävät itseensä hyvällä tasolla olevan tietoturvan ja näin ollen mikään järjestelmä ei ole erityisemmin muita parempi. Asiat, joita voidaan silti nostaa esiin, ovat mm. C2 SmartLightin vaativa vahva tunnistautuminen ja Interactin vaatima laitteiden rekisteröinti. Interact on saanut myös erityisen sertifikaatin järjestelmän turvallisuudesta ja tietoturvasta.

#### **4.4 Järjestelmien referenssejä**

Valaistuksen ohjausjärjestelmien referenssit vaihtelivat huomattavasti siihen nähden, onko kohteena Suomi vai ympäri maailmaa toteutetut ratkaisut. Suomessa toteutetuilta valaistuksenohjauksratkaisuilta laajimmat referenssit löytyvät C2 SmartLightilta. Valtaosassa Suomen kunnissa, joissa on käytössä älykkäitä katuvalaistuksen ohjausjärjestelmiä, ovat ne C2 SmartLightin toteuttamia esim. Helsingissä, Tampereella ja Jyväskylässä. Yksittäisiä kohteita löytyy myös kaupunkien sisältä mm. isommat satama-alueet, 150 km osuus E18-valtatietä ja muita yksityisiä toimijoita.

Muilta valaistuksen ohjausjärjestelmien toimittajilta löytyy yksittäisiä kaupunkeja tai kohteita Suomesta eli kovin laajoista ratkaisuista ei voida puhua. Amplex GridLight ohjaa valaistusta Espoon kaupungissa yhdessä kohteessa. Siteco Connect -järjestelmä on käytössä osassa Tampereen ja Helsingin kaupunkia. Signify Interact on käytössä Oulun kaupungilla.

Kansainvälisesti isoimmat referenssit ja kohteet löytyvät Signifyn Interact -järjestelmältä. Sillä on toteutettu monien ympäri maailmaa olevien suurkaupunkien valaistuksen ohjauksia mm. New York ja Los Angeles. Myös Euroopasta löytyy monia kohteita mm. Norjasta ja Sveitsistä. Kyseistä järjestelmää käytetään valaistuksen ohjaukseen myös monissa maailman isoimmista urheilustadioneissa.

Muilta ohjausjärjestelmiltä, kuten Amplex GridLightilta löytyy myös laajoja referenssejä ulkomailta. Se on laajasti käytetty omassa kotimaassaan eli Tanskassa, mutta myös Ruotsista löytyy isoja valaisinmääriä sisältäviä kohteita, kuten

Göteborg 47 500:lla valaisimella. Kansainvälisestikään järjestelmä ei ole jäänyt huomiotta, sillä Abu Dhabista löytyy ohjattavana 275 000 valaisimen kokonaisuus, joka kantaa myös titteliä ”isoin keskusohjattu valaisinohjausjärjestelmä maailmassa”.

Sitecon Connect -järjestelmä on käytössä myös kansainvälisesti. Sillä on toteutettu paljon projekteja mm. Saksassa kaupunkien sekä yksittäisten pienempien kohteiden valaistusta. C2 SmartLightilta ei löydy kansainvälisiä referenssejä muutamia kohteita Ruotsissa lukuun ottamatta. Se on keskittynyt lähinnä Suomen markkinoille.

Referensseistä puhuttaessa ei voida jättää huomioitta C2 SmartLightin laajuutta Suomen markkinoilla ja miten laajasti se on käytössä suomalaisissa kaupungeissa ja muissa isommissa yksittäisissä kohteissa. Näin ollen se pystyy tarjoamaan eniten käyttäjäkokemusta järjestelmän toiminnasta suomalaisten kaupunkien olosuhteissa. GridLight on myös käytössä monissa isoissa kaupungeissa pohjoismaissa suomen kaltaisissa olosuhteissa, joten se tarjoaa hyvän haasteen C2 SmartLightille.

#### **4.5 Lisäominaisuudet**

Lisäominaisuudet sisältävät myös monia tärkeitä seikkoja järjestelmien takuiden, tukipalveluiden sekä kotimaisuusasteen kannalta. Huomioon on otettu myös eri järjestelmien kyky kommunikoida ja vastaanottaa tietoa kolmansien osapuolten sovellusten kanssa.

Lisäominaisuuksien vertailu auttaa varmistamaan, että valittu järjestelmä ei ainoastaan täytä teknisiä vaatimuksia. Sen on tarjottava riittävä tuki, takuuvaihtoehdot ja yhteensopivuus kolmansien osapuolten sovellusten kanssa. Tärkeänä voidaan pitää myös järjestelmien kotimaisuusastetta.

#### **4.5.1 Takuu ja tukipalvelut**

Ohjausjärjestelmien takuuajoissa ei ollut oikeastaan mitään eroja, kaikki tarjosivat ilmaista 5 vuoden perustakuuta, jota on mahdollista laajentaa lisämaksusta aina 10 vuoteen asti. Takuu kattaa itse ohjausjärjestelmät sekä valojen ohjaamiseen tarvittavat komponentit.

Jokaisella järjestelmätoimittajalla on mahdollisuudet tarjota tukipalveluita omille järjestelmilleen, ja ne tarjoavat tukipalveluita suomesta käsin omilta toimipisteiltään. Tarjottavat tukipalvelut toki erosivat toisistaan palvelun laajuudella. Tukipalveluihin on otettu myös huomioon varaosat ja niiden saatavuus.

Järjestelmistä laajimmat tukipalvelut löytyvät C2 SmartLightilta, jolla on mahdollisuus tarjota ympärivuorokautinen 24 h / 7 vrk valvomopalvelu. Tukipalvelut ovat saatavissa suomen kielelle. C2 SmartLightilla on myös mahdollisuus toimittaa varaosia nopealla aikataululla omasta varastostaan.

Muilla järjestelmätoimittajilla tukipalvelut perustuvat sähköpostitukeen, johon luvattu vastausaika jokaisella on yleensä saman työpäivän aikana virka-ajat huomioon ottaen. GridLightilla tukeen on mahdollisuus virka-aikojen ulkopuolella erikseen sovittaessa. Tukipalveluiden kieli kaikilla järjestelmätoimittajilla on suomi ja englantia, Signify tarjoaa tukea myös ruotsiksi. Jokaiselta löytyy myös varasto, josta he pystyvät toimittamaan varaosia nopealla aikataululla.

#### **4.5.2 Kotimaisuusaste**

Kotimaisuusasteeltaan parhaana voidaan pitää C2 SmartLightia, jonka päätoimipiste löytyy Suomesta ja näin ollen kaikki sen suunnittelu-, huolto- ja tukipalvelutoiminta on keskittynyt Suomeen. Myös kaikki järjestelmään kuuluvat ohjausyksikköön kuuluvat laitteet valmistetaan ja kootaan Suomessa, luukuunottamatta piirilevyjen komponentteja.

Muiden toimittajien toimintamalli ja kotimaisuusaste on keskenään samankaltainen. Päätoimipaikka löytyy ulkomailta, mutta niille on Suomessa konttorit, jotka vastaavat Suomeen keskittyvien projektien toteuttamisesta. Suomen konttorit vastaavat myös tukipalveluista ja järjestelmien myymisestä Suomeen. Myös huolto- ja varaosapalvelut löytyvät Suomesta. Kaikkien järjestelmien komponentit valmistetaan ulkomailla.

#### **4.5.3 Ulkopuoliset järjestelmät**

Tärkeänä asiana voidaan pitää myös mahdollisuutta tuoda tietoa puolin ja toisin kolmannen osapuolien järjestelmistä, varsinkin jos halutaan viedä kehitystä älykaupunkimaiseen suuntaan. Pystytään esimerkiksi tarkkailemaan liikennettä, säätä ja ilmanlaatua erilaisin anturein ja näin ollen välittämään tärkeää tietoa eteenpäin. Ohjausjärjestelmät pystyvät myös vastaanottamaan tietoa tai toimiaan yhdessä ulkopuolisten järjestelmien kanssa. Jokaisen järjestelmän kohdalla on otettu nämä huomioon ja voidaan todeta, että kaikkien toimittajien järjestelmät sisältävät avoimet rajapinnat.

C2 SmarLightilla tiedonvaihto eri järjestelmien kesken on toteutettavissa REST API-rajapinnan kautta. API-rajapinnat suunnitellaan erikseen asiakastarpeiden mukaisesti. Valmiiksi toteutettuja integraatioita ovat mm. Ilmatieteen laitos, KeyLight-dokumentointiratkaisu ja Fingridin tuottama Datahub-palvelu.

Interact-järjestelmä antaa mahdollisuuden erilaisille ohjelmistokehittäjille kehittää ja suunnitella uusia järjestelmän kanssa toimivia sovelluksia. Erikseen Interactin kanssa yhteistyötä tehdään Axisin, SAP in, Ciscon ja Ruckusin kanssa, jotka liittyvät pääasiassa älykaupungin kehitykseen.

GridLight sisältää täysimittaiset REST- ja JSON API-rajapinnat kolmansille osapuolille. GridLight tukee ja pystyy integroitumaan maailmanlaajuisen TALQ-standardiin, johon perustuen kaupungit voivat ottaa käyttöön ohjausratkaisuja useilta

valmistajilta. Sitecon eSave ohjausjärjestelmä mahdollistaa myös avoimet API-rajapinnat.

#### **4.5.4 Yhteenveto lisäominaisuuksista**

Lisäominaisuudet koostuvat monesta eri osa-alueesta ja ne ovat myös tärkeä osa järjestelmän kokonaisuutta. Takuun osalta eroja järjestelmiin ei saada. Tukipalveluista ylivoimaisesti parhaiten erottuu C2 SmartLight, jolla on mahdollisuus ympärivuorokautiseen tukeen, muut eivät pysty tässä kategoriassa kilpailemaan.

Kotimaisuusasteen osalta SmartLight on myös ylivertainen oman valmistuksen ja tuotteiden suunnittelun takia. Ulkopuolisten järjestelmien osalta jokaiseen valaistuksenohjausjärjestelmään pystytään tuomaan tietoa erinäisistä ulkoisista lähteistä. Kaikki sisältävät avoimet rajapinnat ja erinäisiä yhteistyösovelluksia. C2 SmartLight erottuu edukseen, sillä sen pystyy integroimaan esim. Fingridin tai Keylightin kanssa.

#### **4.6 Kustannuslaskelmat**

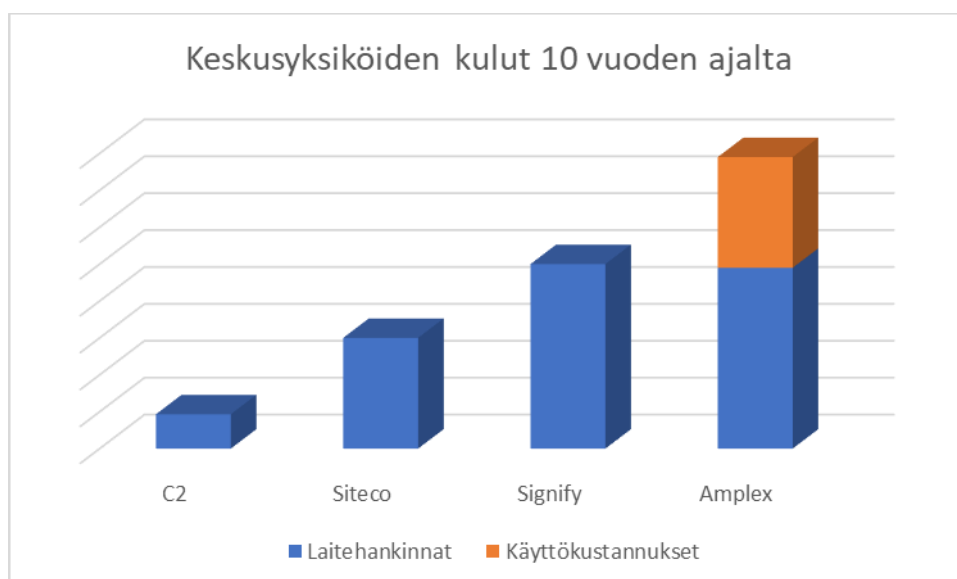
Järjestelmien ollessa teknisiltä ominaisuuksiltaan lähellä toisiaan, tärkeimmäksi ominaisuudeksi tällöin muodostuu ohjausjärjestelmän ja sen komponenttien hinnat ja ylläpito. Järjestelmätoimittajien kanssa on sovittu, että ohjausjärjestelmän ja siihen liittyvien komponenttien yksikkökohtaisia hintoja ei tulla esittämään opinnäytetyössä, vaan vertailu suoritetaan prosentuaalisesti. Esitetyt kustannuslaskelmat ovat suuntaa antavia ja perustuvat karkeaan arvioon lopullisista kustannuksista.

Järjestelmien kokonaiskustannuksiin on monta vaikuttavaa tekijää. Osalla järjestelmätoimittajista on kiinteän laitehinnan lisäksi erilaisia vuosittaisia maksuja eri komponenteille ja järjestelmän ylläpidolle. Järjestelmätoimittajilla on myös monia erilaisia ratkaisuja valaistuksen ohjaukseen ja hallintaan, jotka voivat vaikuttaa lopulliseen hintaan. Tällaisia laitteistoja ovat erilaiset mittausmoduulit, anturit ja sensorit, valaisinkohtaiset ohjaimet ja muut Zhaga-liitännäiset ohjainlaitteet.

#### 4.6.1 Katuvalokeskukset

Katuvalokeskuksia Vaasassa on noin 200 ja jokaisesta keskuksista löytyy ohjausjärjestelmään kuuluva keskusyksikkö. Katuvalokeskuksista löytyy myös mahdollisia mittausmoduuleita, lisärelelyksikköjä ja valaisinkohtaisten ohjaimien tukiasemia. Laskennassa käytettiin nykyistä katuvalokeskusten määrää. Laskenta sisältää laitteiden hankintahinnat ja sen jälkeiset vuosittaiset ylläpitokustannukset. Ylläpitokustannusten vuoksi laskennassa käytettiin 10 vuoden ajanjaksoa, jotta saadaan selvyys käyttökustannuksista pidemmällä aikavälillä.

**Taulukko 1.** Keskusyksiköiden kulut 10 vuoden ajalta.



Taulukossa 1 nähdään hintojen jakautuminen eri laitevalmistajien välille, jos laitteita oltaisiin hankkimassa nykyisen katuvalokeskus määrän mukaan sekä nykyisillä laitehinnoilla. On otettava kuitenkin huomioon, että Vaasan kaupungilla on käytössä tällä hetkellä C2-laitteet, joita ei tarvitse erikseen lähteä vaihtamaan. Muiden valmistajien laitteet täytyisi vaihtaa erikseen jokaiseen keskukseseen. Tämä aiheuttaa määrittelemättömän vaihtotyökustannuksen ja näin ollen lisää lopullista käyttökustannushintaa.

Vertailussa on myös otettava huomioon, että eri laitevalmistajien tarjoamat paketit ovat erilaisia kokonaisuuksia ja sisältävät eri komponentteja, mikä selittää

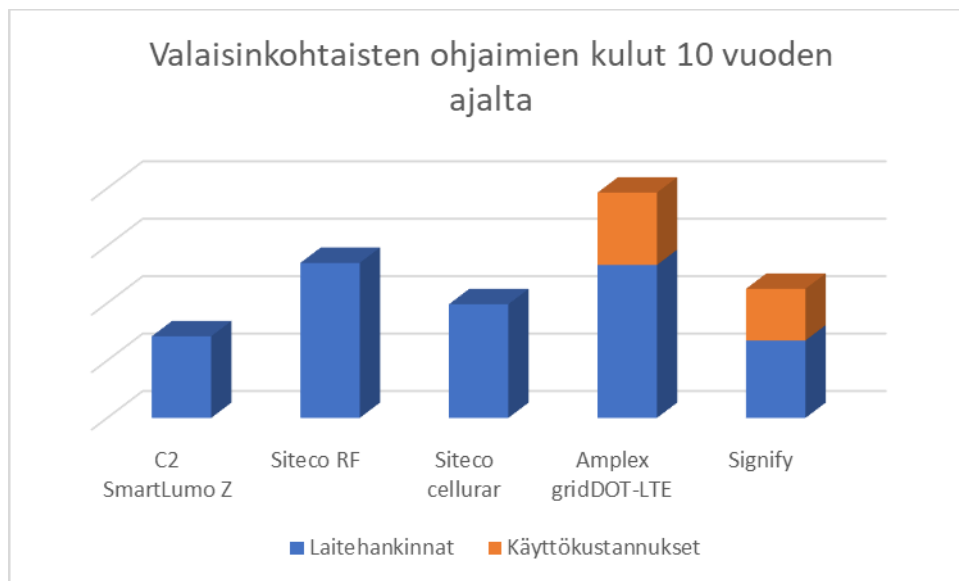
hintaeroja. C2 ja Signify sisältää vain pelkän keskusyksikön, Siteco keskusyksikön ja viideksi vuodeksi yhteydet, Amplexin GridLight sisältää samaan pakettiin keskusyksikön, yhteydet, virranmittausmoduulit, virtamuuntajat, antennin ja yhteydet 10 vuoden ajaksi, joten vaikka järjestelmä on kallein, tarjoaa se silti eniten teknisiä mahdollisuuksia sisällytettynä hintaan.

Lopulliseen hintaan on otettava huomioon myös relelähtöjen määrä keskusyksikköä kohden. GridLight ja Connect tarjoavat kumpikin kolme relelähtöä keskusyksiköltä, kun taas C2 vain yhden relelähdön. Katuvalokeskuksilta, joissa on vain kolme johtolähtöä riittää näin ollen vain yksi keskusyksikkö ilman lisärelelyksikköjä.

#### **4.6.2 Valaisinkohtaiset ohjaimet**

Valaisinkohtaisia ohjaimia Vaasasta löytyy tällä hetkellä n. 900 ja määrä on koko ajan kasvussa siirryttäessä LED-valaistukseen yhä lisääntyvissä määrin. Laskennassa käytettiin valaisinkohtaisten ohjainten nykyistä määrää.

Valaisinkohtaisten ohjaimien kohdalla kokonaishintaan on kaksi isoa vaikuttavaa tekijää, laitteen hinta ja sen käytöstä aiheutuvat kustannukset eli tietoliikennemaksut. Vuosittaisten maksujen vuoksi vertailussa käytetään 10 vuoden ajanjaksoa, jolloin saadaan selkeä kuva käytön kokonaiskustannuksista.

**Taulukko 2.** Valaisinkohtaisten ohjainten kulut 10 vuoden ajalta.

Taulukosta 2 nähdään hintajakauma valaisinkohtaisten ohjainten osalta 10 vuoden aikajaksolle. C2:n ja Sitecon suurena etuna voidaan pitää käyttökustannusten sisällyttämistä laitteen hintaan. Muiden järjestelmien osalta käyttökustannukset ovat suuria ja ne tulevat yhä kasvavamaan valaisinkohtaisten ohjainten lisääntyessä uuden valaistuksen sekä valaisinvaihtojen myötä.

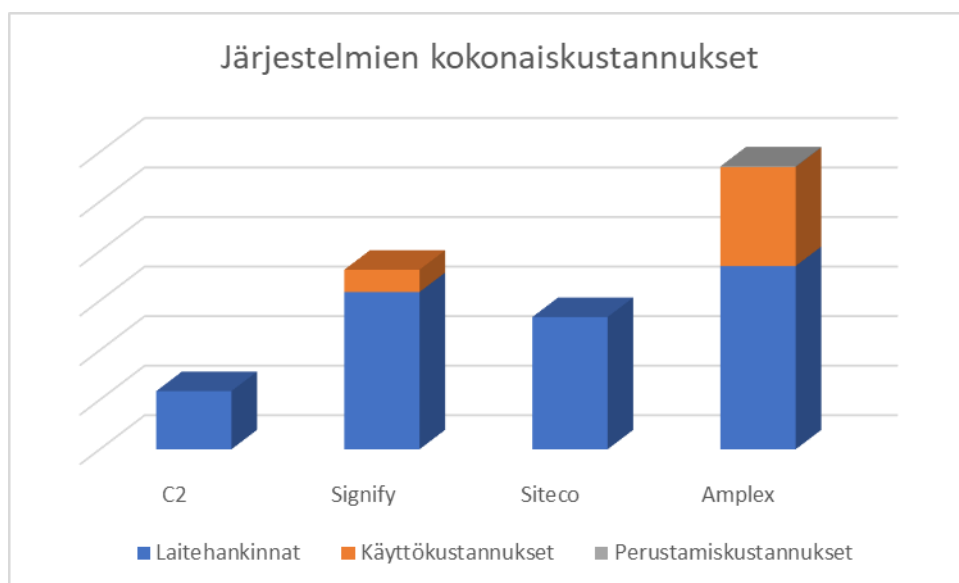
Vertailussa on kuitenkin otettava huomioon, että Vaasan kaupungilla on käytössä C2:n laitteisto myös valaisinkohtaisten ohjainten osalta, jolloin nykyiset ohjaimet (n. 900 kpl) eivät aiheuta minkäänlaisia kustannuksia. Valaisinkohtaiset ohjaimet kuitenkin lisääntyvät koko ajan ja taulukosta nähdään, että C2 on kustannusten osalta kannattava toimittaja, vaikka ohjainten määrä kaksinkertaistuisi tulevaisuudessa.

#### 4.6.3 Yhteenveto kustannuslaskelmista

Järjestelmien lopullisiin kustannuksiin vaikuttaa monet erilaiset tekijät. Näitä tekijöitä ovat järjestelmän eri komponentit, joita ovat keskusyksikkö, valaisinkohtaiset ohjaimet, erilaiset mittalaitteet ja anturit. Muita hintaan vaikuttavia tekijöitä ovat järjestelmän perustamis-, ylläpito- ja käyttökustannukset.

Vertailussa keskityttiin erityisesti komponenttien osalta keskusyksikköön ja valaisinkohtaisiin ohjaimiin sekä niiden perustamis- ja käyttökustannuksiin. Nämä edellä mainitut asiat on yhdistetty yhdeksi vertailuksi alla olevassa taulukossa (taulukko 3). Kokonaiskustannusvertailussa on käytetty myös 10 vuoden aikaväliä, jotta saadaan selvyys pitkän aikavälin kustannuksista. Taulukko skaalautuu myös niin, että siitä saadaan myös yhden vuoden otanta kustannuksien osalta.

**Taulukko 3.** Järjestelmien kokonaiskustannukset.



Kokonaiskustannuksien osalta erot olivat suuria, mutta on otettava huomioon jokaisen järjestelmän osalta, mitä hintaan sisältyy. C2:ssa kokonaishinta kasvaa suuremmaksi, kun järjestelmään lisätään erilaisia mittausjärjestelmiä ja anturiratkaisuja. Lisäyksistä huolimatta C2 pystyy tarjoamaan edelleen kilpailukykyisimmän hinnan. Signifyssa ja Sitecossa myös kokonaishinta kasvaa, kun järjestelmiin lisätään halutut lisälaitteistot. Amplexin osalta korkeaa hintaa selittää ratkaisun laajuus, johon on sisällytetty kaikki tarvittavat mittauslaitteistot ja komponentit valmiiksi. Amplexin kokonaiskustannusta nostaa kuitenkin vuosittaiset käyttökustannukset niiden ollessa yli kolmannes lopullisesta hinnasta.

Järjestelmiin kuuluvien katuväläistyskeskusten ulkopuolisten mittalaitteiden ja antureiden vertailua ei erikseen tehty, koska eri järjestelmätoimittajien ratkaisut

eroavat toisistaan eikä vertailua saada yhdenmukaiseksi näiden osalta. Näiden laitteiden vaikutus kokonaiskustannukseen on välillä 1–10 % ratkaisusta riippuen, joten se ei vaikuta oleellisesti lopputulokseen.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Järjestelmien vertailun jälkeen voidaan tehdä johtopäätökset jokaisesta järjestelmästä. Luku on jaettu kahteen alalukuun järjestelmien kannalta, teknisiin ominaisuuksiin ja taloudelliseen vertailuun. Tässä luvussa tuodaan esiin järjestelmien parhaat puolet ja niiden soveltuvuus Vaasan kaupungille. Luvussa myös löydetään parhaat ratkaisut valaistuksenohjaukseen nykytilanne ja tulevaisuus huomioiden.

### 5.1 Yleisesti

Kaupunkien valaistusta ohjaavat ohjausjärjestelmät ja niihin liittyvät komponentit ovat ottaneet valtavia kehitysaskelia eteenpäin viimeisen 10 vuoden aikana. Voidaan puhua jopa, siitä että nykyiset järjestelmät ovat ilmastoteko, sillä ne tukevat kaupunkien energiatehokkuutta vähentämällä huomattavasti mm. energiankulutusta ja valosaastetta. Järjestelmien kehityksen on mahdollistanut valaistuksen kehittyminen ja erityisesti LED-valaisimien yleistyminen, mutta kaupunkien katu- ja puistovalaistusverkostot sisältävät yhä edelleen paljon purkausvalaisimia. Purkausvalaisimista luovutaan vähitellen korvaamalla niitä LED-valaisimilla.

Ohjausjärjestelmien tekniset ratkaisut ovat myös kehittyneet huomattavasti. Nykyisissä järjestelmissä on luovuttu pelkän kello- ja hämäräkytkimen varaisista ohjauksista. Valaistuksenohjaus nykyisillä järjestelmillä on täysin itsenäistä ja monen tekijän summa, riippuen siitä, millaisia ratkaisuja on haluttu käyttää. Järjestelmiin on saatavilla paljon erilaisia antureita, jotka pystyvät mm. mittaamaan liikettä, valoisuutta, lämpötiloja ja jopa lumesta takaisin heijastuvaa kirkkautta.

Ohjausjärjestelmien kehittymisen ansiosta niihin on saatu omat käyttöliittymänsä ohjauksen selkeyttämiseksi ja helpottamiseksi. Käyttöliittymästä pystytään hallitsemaan koko kaupungin valaisimia, joitain LED-valaisimia jopa yksilökohtaisesti. Yhteytenä käytetään GSM- tai LTE yhteyksiä, joten kaikki kommunikaatio tapahtuu langattomasti. Käyttöliittymistä nähdään myös nykyään kaikki vika-

hälytystilanteet, mikä helpottaa huomattavasti huollon toimintaa, sillä tiedetään jo heti mistä vikaa lähdetään etsimään.

## 5.2 Järjestelmät

Voidaan todeta, että jokainen järjestelmä soveltuisi Vaasan kaupungin katu- ja puistovalaistuksen ohjaukseen. Nykyisin Vaasan kaupungilla käytössä oleva C2 SmartLight oli vertailukohtana muihin ohjausjärjestelmiin.

Teknisen ja järjestelmäpuolen osalta voidaan todeta, että kaikki järjestelmät ovat hyvin lähellä toisiaan ja tarjoavat samankaltaisia ominaisuuksia ja toimintoja toisiinsa nähden. Eniten eduksi erottuu kuitenkin Vaasan kaupungin tarpeet huomioiden C2 SmartLight, joka pystyy tarjoamaan eniten mahdollisuuksia teknisten ominaisuuksien puolesta joka osa-alueella, joihin on huomioitu mittaukset, vikatiedot ja niistä raportointi, yhteysprotokollat ja varmentavat järjestelmät. Käyttöliittymä on myös C2 SmartLightilla parhaiten räätälöitävissä omien tarpeiden mukaan. C2 SmartLightin puolesta puhuu myös sen erinomaiset tuki- ja huoltopalvelut. Se on ainoa järjestelmätoimittaja, joka tarjoaa 24/7 tuen. Etuna voidaan pitää myös isoa kotimaisuusastetta, sillä järjestelmän ja siihen liittyvät ohjauskomponentit on valmistettu Suomessa. C2 SmartLightilla on myös laajimmat referenssit Suomessa toimimisesta.

Vertailussa C2 SmartLightin hyvänä haastajana voidaan pitää Amplexin toimittamaa GridLight-järjestelmää. GridLight tarjoaa lähes samat tekniset ominaisuudet kuin C2 SmartLight. GridLightin etuna voidaan pitää keskusyksikön hieman laajempia kytkentämahdollisuuksia kuin C2 SmartLightilla. GridLightin keskusyksiköstä löytyy vakioina kolme relelähtöä ja Modbus-rajapinta kWh-mittareille. GridLight häviää hieman käyttöliittymän muokattavuudessa omiin tarpeisiin nähden. GridLight on myös Suomessa vielä tuntematon ja vähän käytössä oleva järjestelmä. Tämä vaikuttaa myös siihen, että verkosto ja tukipalvelut eivät ole vielä kovin laajat. Tulevaisuudessa se on hyvin potentiaalinen vaihtoehto resurssien laajentamisessa.

Sitecon Connect -järjestelmä vastaa ominaisuuksiltaan hyvin paljon aiemmin mainittuja järjestelmiä, mutta rajatummin ominaisuuksin mittaustietojen, varajärjestelmien sekä hälytysten osalta. Se on hyödynnettävissä parhaiten uuden Zhaga-liitääntä tukevan katuvalaistuksen kanssa, sillä monet järjestelmään liitettävät lisälaitteistot vaativat kyseisen liitännän. Siinä on tuki myös langallisille ratkaisuille rajatummin. Etuna voidaan pitää keskusyksikön sisältämät kolme relelähtöä ja RS485-rajapinnan. Suomessa vähemmän tunnettu ja käytetty ratkaisu.

Signifyn Interact -järjestelmä pystyy tarjoamaan myös paljon yhteneväisiä ominaisuuksia yllä mainittujen järjestelmien kanssa. Interactin osittaisena rajoitteena toimii ennalta määrätyt valaisinvalmistajat, joiden kanssa järjestelmä toimii yhteistyössä. Se tarjoaa kuitenkin laajimmat mahdollisuudet älykaupunkiratkaisuihin. Interactia pystytään hyödyntämään parhaiten uuden katuvalaistuksen kanssa, joka tukee Zhaga-liitääntä. Järjestelmän edut ja äly saadaan parhaiten esiin käyttämällä Zhaga-liitännän vaativaa multisensoria. Interactilla laajimmat maailmanlaajuiset referenssit, Suomessa se ei ole käytössä yhtä laajasti.

### **5.3 Talous**

Taloudellisessa vertailussa järjestelmien osalta saatiin selviä ja isoja eroja. Vertailussa oli otettu huomioon järjestelmien keskeisimmät ominaisuudet, keskusyksikön ja valaisinkohdaiset ohjaimet sekä niiden käyttökustannukset. Nämä komponentit muodostavat suurimman osan järjestelmien kokonaiskustannuksesta. Huomattavaa oli, että pelkkien laitehankintojen jälkeen kustannukset eivät loppu siihen, vaan osassa järjestelmiä on otettava huomioon vuosittaiset käyttökustannukset, jotka voivat olla mittava osa kokonaiskustannuksia pitkällä aikavälillä.

Vertailun lopputuloksena voidaan pitää yhtä selkeää muista erottuvaa järjestelmää, joka oli C2 SmartLight. C2 pystyy erottumaan kaikissa vertailussa kategorioissa taloudellisuudellaan ja näin ollen myös kokonaiskustannus jää edullisimmaksi. Huomioon otettavaa on kuitenkin se, että laskettuun hintaan katuvalaistuskeskuksen osalta on huomioitu vain keskusyksikkö, mahdolliset mittaussmoduulit

ja lisäreleeyksiköt nostavat kokonaiskustannusta. Tilanteessa, jossa kokonaiskustannus kaksinkertaistuisi kyseisen järjestelmän osalta, olisi se silti vertailun edullisen vaihtoehto.

Taloudellisen vertailun osalta haastajana C2 SmartLightille voidaan pitää Sitecon toimittamaa järjestelmää. Huomioitavaa on kuitenkin, että myös Sitecon järjestelmään joudutaan erikseen hankkimaan mahdollisia lisälaitteyksikköjä eikä se pysty tarjoamaan yhtä laajasti teknisen puolen ominaisuuksia kuin C2. Kummankin edellä mainitun järjestelmän isona etuna voidaan pitää kuukausimaksuttomuutta, jolla ne pystyvät ottamaan ison edun kilpailijoihinsa nähden.

Signify ja Amplex ovat vertailun kalleimmat järjestelmät suurimmaksi osaksi vuositteisten käyttökustannusten vuoksi. Isoin asia kuitenkin muihin järjestelmiin nähden on se, mitä Amplex tarjoaa teknisien ominaisuuksiensa puolesta. Amplex sisältää kaikki katuvalokeskukseen tarvittavat komponentit mukaan lukien keskusyksikön ja mittaukset. Tämän asia huomioiden kalleimmaksi järjestelmäksi jää Signify.

## 6 LOPPUTULOKSET JA POHDINTA

Työ oli kokonaisuutena mielenkiintoinen toteuttaa ja lopputulosta voidaan pitää selkeänä. Työn aikana oma osaaminen syveni huomattavasti liittyen puisto- ja katuvalaistusinfraan sekä valaistuksen ohjaukseen. Työn toteuttamista helpotti huomattavasti työn alkuvaiheilla luodut selkeät tavoitteet ja ääriviivat, miten vertailua lähdetään toteuttamaan ja millaisia järjestelmätoimittajia halutaan ottaa mukaan. Kaikki järjestelmätoimittajat olivat erittäin yhteistyöhaluisia ja tiedonkeruu työtä vertailua varten oli helppo toteuttaa. Hyvän toteutussuunnitelman ansioista kerätyn tiedon yhteen koostaminen ja sitä kautta vertailun suorittaminen oli helppoa. Haasteita työssä aiheutti enimmäkseen tiedon määrän laajuus. Tietomassasta täytyi löytää tärkeimmät ja oleellisimmat asiat.

Vertailun avulla saatiin hyvää näyttöä sille, että nykyisin käytössä oleva C2-järjestelmä on teknisiltä ratkaisuiltaan monipuolisin ja kätevin sekä kokonaiskustannuksiltaan edullisin järjestelmä. Hyviä haastajia saatiin kuitenkin tuotua vertailun kautta esiin. Amplexin GridLight -järjestelmä pystyi haastamaan erityisen hyvin teknisien ratkaisujen puolesta, mutta taas taloudellisuuden puolesta se oli iso häviöjä korkeiden käyttökustannusten puolesta. Sitecon Connect -järjestelmä pystyi taas haastamaan taloudellisuutensa puolesta, mutta se hävisi teknisissä ratkaisuissa C2 SmartLightille. Signify Interact -järjestelmän vahvuudet ovat älykaupunkiratkaisuissa, mutta pelkässä valaistuksenohjauksissa se ei pystynyt haastamaan suoraan C2 SmartLightia millään osa-alueella, vaan sijoittui vertailussa keskitasolle.

Vaasan kaupungilla on käytössään tällä hetkellä Suomen markkina-alueen paras katu- ja puistovalaistuksen ohjausjärjestelmä sekä teknisiltä että taloudellisilta ominaisuuksiltaan. Näin ollen nykyistä järjestelmää ei ole tarvetta lähteä kilpailuttamaan, vaan paras ratkaisu on käytössä olevan C2-ohjausjärjestelmän ylläpito ja kehittäminen. Uskon, että myös tulevaisuudessa C2 SmartLight on kilpailukykyisin

järjestelmä, vaikka kaupungit ja valaistuksenohjausjärjestelmät siirtyvät yhä enemmän älykkäisiin ratkaisuihin.

## LÄHTEET

- [1] Lehto, Tommi. Vaasan kaupunki Katuvalaistuksen yleissuunnitelma ja suunnitteluohje. [Julkaisematon]. 2019. [Viitattu: 10.10.2023].
- [2] Lista C2 SmartLight ratkaisun pääominaisuuksista. [Julkaisematon]. [Viitattu: 17.10.2023].
- [3] C2 SmartLight Refenssit. [Internet]. [Viitattu: 18.10.2023]. Saatavilla: <https://c2smartlight.com/referenssit/>
- [4] C2 SmartLight Järjestelmäkuvaus. [Julkaisematon]. [Viitattu: 18. 10 2023].
- [5] Interact-City-brochure. [Internet]. [Viitattu: 24.10.2023]. Saatavilla: <https://www.assets.signify.com/is/content/Signify/Assets/interact/finland/20210128-interact-city-brochure.pdf>
- [6] Interact-City-brochure. [Internet]. [Viitattu: 24.10.2023]. Saatavilla: <https://www.assets.signify.com/is/content/Signify/Assets/interact/united%20states/20201022-interact-city-brochure.pdf>.
- [7] Siteco Esitys. [Julkaisematon]. [Viitattu: 25.10.2023].
- [8] Alinen N. Key account manager. [Sähköposti]. 26.11.2023.
- [9] GridLight brochure (Main brochure) – Finish. [Internet]. [Viitattu: 01. 12 2023]. Saatavilla: [https://amplex.dk/wp-content/uploads/br\\_GridLight\\_fi.pdf](https://amplex.dk/wp-content/uploads/br_GridLight_fi.pdf)
- [10] Amplex Products. AmsCPU-IO. [Internet]. [Viitattu: 04.12.2023]. Saatavilla: <https://amplex.dk/products/amscpu-io/>
- [11] Amplex Products. AmsBattery. [Internet]. [Viitattu: 04.12.2023]. Saatavilla: <https://amplex.dk/products/amsbattery/>

[12] Amplex Products. AmsCurrent. [Internet]. [Viitattu: 04.12.2023]. Saatavilla: <https://amplex.dk/products/amscurrent/>

[13] Amplex Gridlight Esitys. [Julkaisematon]. [Viitattu: 4.12.2023].

[14] Interact Design for sustainable smart cities. [Internet]. [Viitattu: 29.04.2024]. Saatavilla:

<https://www.assets.signify.com/is/content/Signify/Assets/interact/global/20240422-interact-design-for-sustainable-smart-cities.pdf>

## LIITTEET

## LIITE 1

	#	Ominaisuus	C2	Signify	Amplex - UppaTraffic	Siteco
Yleiset	1.1	Valaistuksen ohjausjärjestelmä	C2 Smartlight	Interact	Amplex Gridlight	Siteco Connect
	1.2	Järjestelmän käyttämät tietoliikennerajapinnat	GPRS/4G, ZigBee 3.0	2G/4G, gps, LoRAWAN	2G/4G, NB-IoT, LTE-M, LoRaWAN, Wifi	GSM, RF
	1.3	Ohjausyksiköiden eri laitemoduulien sekä valaisinkohtaisten ohjaimien ohjelmistot ovat päivitettävissä langattomasti etänä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Käyttöliittymä	2.1	Käyttöliittymä: internet-selaimen kautta vai sovelluspohjainen	Suomenkielinen karttapohjainen selainkäyttöliittymä.	Karttapohjainen selainkäyttöliittymä ja myös sovelluspohjainen.	Karttapohjainen selainkäyttöliittymä.	Karttapohjainen selainkäyttöliittymä.
	2.2	Mahdollisuus mobiilikäyttöliittymään ja sen mahdollistamat ominaisuudet	Erikseen mobiililaitteelle suunniteltu skaalautuva ja karttapohjainen mobiilikäyttöliittymä.	Käyttö onnistuu mobiililaitteilla, tulossa on uusi kenttäkäyttöön suunniteltu käyttöliittymä mobiililaitteille.	Sisältää sovellukset kenttätyöskentelyä varten sekä iOS- että Android-käyttöjärjestelmille.	Kyllä, skaalautuu aina käytettävän laitteen mukaan.
	2.3	Käyttöliittymän räätälöitävyys omien tarpeiden mukaan	On mahdollista, esim. pikapainikkeet ja itselle tärkeät näkymät.	On mahdollista.	Pystytään luomaan omia ohjausryhmiä.	Käyttöliittymässä kohteet ja kadun nimet järjestettävissä haluttuun järjestykseen ja omiksi ryhmikseen.

	2.4	Käyttöoikeuksien rajoitus esim. huolto, muut ulkoiset toimijat	Käyttöoikeuksien määrittely käyttäjäkohtaisesti. Käyttäjille määritettävissä katselu-, hallinta- tai admin-tason oikeudet.	Kyllä onnistuu käyttäjäkohtaisesti, myös poliisi ja pelastuslaitos on otettu huomioon.	Kyllä pystytään antamaan käyttäjäkohtaisesti tiettyjä alueita hallittavaksi.	Kyllä, pääkäyttäjä pystyy jakamaan käyttöoikeuksia tarpeen mukaan.
	2.5	Järjestelmän tilatiedot nähtävillä: valot päällä/pois, huollossa olevat laitteet, vikatilanteet	Kyllä, kaikki nähtävillä. Erilaiset tilanteet ilmaistu myös eri värein.	Kyllä nähtävillä, eri väreillä indikoitu.	Kyllä nähtävillä sekä selainpohjaisen ohjausliittymän kautta että mobiilisti. Indikoitu eri väreillä erilaiset tilanteet.	Kyllä nähtävillä sekä selainpohjaisen ohjausliittymän kautta että mobiilisti. Indikoitu eri väreillä erilaiset tilanteet.
	2.6	Ohjausyksiköiden asetusarvot ja parametrit voi asettaa selainkäyttöliittymän kautta sekä mahdollisuus tehdä muita kirjauksia laitteisiin liittyen	Kyllä, käyttäjä pystyy sekä uudelleen nimeämään, kirjaamaan tarkentavia tietoja että siirtämään karttapohjalla olevia symboleita.	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Tekniset ratkaisut	3.1	Saatavilla olevat mittaukset	Ohjausyksiköllä kuormavirtojen ja -jännitteiden kolmekanavainen mittaus.	Energiankulutusmittaukset suoraan valaisinkohtaisilta ohjaimilta, virtojen ja maavuodon mittaukset.	Jännite, virta, energiankulutus, älykaupunkilisäosat, maavuotovirtamittauksen sisääntulo, Modbus-rajapinta kWh-mittareille.	Energiankulutusmittaukset, mahdollisuus esim. virran mittauksiin RS485-rajapinnan kautta.
	3.2	Mitä vikatietoja on saatavilla	Valaisinkohtaiset viat, palaneesta vaihekohtaisesta sulakkeesta, sähkökatkoksista keskuksilla.	Automaattiset hälytykset valaisinkohtaisista vioista.	Valaisinkohtaiset viat, maavuotovirrat.	Valaisinkohtaiset viat, valaistusverkoston kunnan monitorointi.

3. 3	Käytettävissä olevat järjestelmän luomat raportit	Käytettävissä olevat raportit: paloaikaraportti, energiankulutusraportti, kävijämääräraportti halutuilta laskureilta.	Energiakulutus, kävijämäärä/liikemäärä.	Energiakulutus, älykaupungin mahdollistamat lisäosat.	Energiankulutusraportit.
3. 4	Ohjauksen varajärjestelmät	Astronominen kello. Ohjauslaitteessa on lyhytkestoinen (2 min.) varmennettu sähkönsyöttö (UPS).	Astronominen kello, erillisellä Battery-moduulilla sähkönsyöttö häiriötilanteissa.	AmsBattery antaa virtaa päätelaitteelle sähkökatkoksen aikana ilmoittaakseen katkoksista, akkukäyttöinen reaaliaikainen kello tai GPS sen varmistamiseksi, että moduulissa on aina oikea aika.	Astronominen kello.
3. 5	Järjestelmän ilmoittamat hälytykset	Hälytykset valaisinkohtaisista vioista, palaneesta vaihekohtaisesta sulakkeesta, koko sähkökeskusta koskevasta sähkökatkoksesta ilmoitus releen havaitessa syttymisessä häiriön.	Valaisinkohtaiset viat, hälytykset Multisensorilta.	Valaisinkohtaiset viat, maavuotovirrat.	Valaisin- ja keskuskohtaiset viat.

	3.6	Yhteensopivuus eri valaisinvalmistajien ja valaisinteknologioiden kanssa	Kyllä, sisältää avoimet rajapinnat.	Toimii suoraan noin 50:n eri yleisimmän valaisinvalmistajan kanssa, haluttaessa saadaan toimimaan myös muilla valmistajilla manuaalisesti käyttöönotettaessa.	Kyllä, sisältää avoimet rajapinnat.	Kyllä, sisältää avoimet rajapinnat.
	3.7	Keskuksen modulaarisuus, muunneltavuus ja laajennettavuus	Kyllä, kohteen käyttötarpeiden mukaan ja esim. laajennukset onnistuvat.	Valaisinkohtaisia ohjaimia pystytään lisäämään tarpeen mukaan.	Amplex GridLight on modulaarinen järjestelmä, jota pystytään haluttaessa laajentamaan tarpeen mukaan.	Kyllä onnistuu. Siteco Connect 11:ssä helposti laajennettavissa.
	3.8	Järjestelmään liitettävät lisälaitteistot valaistuksen ohjaukseen	Liiketunnistin, valoisuusanturi, lumentunnistin.	Liiketunnistin, valoisuusanturi, törmäystunnistin.	Liiketunnistus, valoisuusanturit.	Hämärätunnistin, liiketunnistus, liikennelaskuri.
	3.9	Valaisimen himmennystaso on ohjattavissa mittalaitteista saatavan analogiatiedon mukaan	Kyllä	Kyllä	Kyllä	kyllä
Tietoturva	4.1	Tietoliikenneyhteyden salaus	Päästä päähän salattu tietoliikenneyhteys, vahva tunnistautuminen, valojen päälle/pois ohjauskomentojen välitys on varmennettu varayhteydellä, esim. dataliikenne varmennettu tekstiviestillä.	Toimii suoraan noin 50:n eri yleisimmän valaisinvalmistajan kanssa. Haluttaessa saadaan toimimaan myös muilla valmistajilla manuaalisesti käyttöönotettaessa.	Korkein SSL-salaus koko järjestelmässä. Selainkäyttöliittymä käyttää salaukseen HTTPS-salausstandardia ja sovellukset SSL-salausta palvelimen ja sovelluksen välillä.	Fyysinen serveri on Itävallassa, muutoin pilvessä.

	4.2	Käyttöoikeuksien määrittely käyttäjäkohtaisesti	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
	4.4	Mahdollisuus ottaa käyttöön kirjautumisessa järjestelmään vahva tunnistautuminen	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Muuta	5.1	Järjestelmän takuu-aika	Perustakuu 5 v, laajennettu 10 v	Perustakuu 5 v, laajennettu 10 v	Perustakuu 5 v, laajennettu 10 v	Perustakuu 5 v, laajennettu 10 v
	5.2	Tukipalveluiden mahdollisuus, esim ympärivuorokautisuus, ruotsinkielinen tuki	(24h/7vrk) toiminnassa oleva valvomopalvelu. Tukipalvelut tuotetaan suomen kielellä.	Suomenkielinen ja ruotsinkielinen tuki sähköpostilla.	Tukipalveluista vastaa Suomessa tällä hetkellä UppaTrafic, tuki toimii virka-aikana.	Kyllä saatavilla, Siteco vastaa Suomessa virka-aikana.
	5.3	Järjestelmään voitavissa tuoda tietoa ulkopuolisista tietojärjestelmistä (Keylight)	Toteutetut integraatiot: Ilmatieteen laitos, KeyLight-dokumentointiratkaisu ja Fingridin tuottama Datahub-palvelu.	Kyllä, ohjelmistokehittäjillä myös mahdollisuus kehittää ja suunnitella järjestelmän kanssa uusia sovelluksia, avoin rajapinta.	Kyllä, avoimet rajapinnat.	Kyllä avoimet rajapinnat, kolmansien osapuolten sovellukset onnistuvat.
	5.4	Järjestelmän kotimaisuusaste: suunnittelu, komponenttien valmistus-, kasaus- ja huolto	Ohjelmisto ja komponentit suunniteltu ja valmistettu Suomessa, huolto Suomessa.	Komponenttien valmistus ulkomailla, huoltopalvelut Suomessa. Ohjelmistokehitys- ja suunnittelu pääosin ulkomailla, mutta Suomessa myös kehitystä.	Komponenttien valmistus ulkomailla Suomeen nähdessä (Tanska), huoltopalvelut Suomessa. Ohjelmistokehitys ja suunnittelu pääosin ulkomailla (Tanska).	Komponenttien valmistus ulkomailla, huolto ja varaosapalvelut Suomessa.
	5.5	Suomen ilmasto-olosuhteiden huomionnointi laitteiden toimivuuden kannalta	Laitteistot on suunniteltu toimimaan Suomen ilmasto-olosuhteissa.	Kyllä. Laitteita käytössä myös Pohjois-Norjassa, joten toiminta on ääriolosuhteissa testattu.	Kyllä, toiminta testattu Pohjoismaissa.	Kyllä, testattu toiminta Suomessa.