

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

ELINKAARIKOULUN LANGATTOMAN ULKOVALAISTUKSEN OHJAUSJÄR- JESTELMIEN KANNATTAVUUSVER- TAILU

Opinnäytetyö

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Valtteri Korhonen			
Työn nimi Elinkaarikoulun langattoman ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmien kannattavuusvertailu			
Päiväys	13.6.2024	Sivumäärä/Liitteet	20/0
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Granlund Kuopio Oy			
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää elinkaarikoulun langattoman ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmien kannattavuusvertailu. Esimerkkikohteena käytetään Granlundin suunnittelemaa elinkaarikoulua. Vertailtavia järjestelmiä ovat C2 SmartLight, Casambi sekä Inventronics.</p> <p>Jokaisesta ohjausjärjestelmästä oli selvitettävä hintatiedot investointikustannuksia varten. Hintatiedot selvitetiin julkisista lähteistä, kontaktoimalla laitetoimittajia sekä käytettiin toimeksiantajalta saatuja tietoja. Granlundin elinkaarilaskentatyökalun avulla saatiin jokaiselle ohjausjärjestelmälle laskettua pitoaikana kertyvä kokonaiskustannus. Kannattavuusvertailu suoritettiin vertailemalla elinkaarilaskentatyökalun avulla saatuja hintatietoja ja järjestelmien vaatimustenmukaisuuden täyttymistä.</p> <p>Kannattavuusvertailun lopputulokseksi saatiin, että elinkaarikouluihin sopivin ohjausjärjestelmäratkaisu on toistaiseksi C2 SmartLight. Jatkossa kuitenkin suositellaan tarkkailemaan muiden laitevalmistajien ohjausjärjestelmäratkaisuja sekä yleistä hintakehitystä.</p>			
Avainsanat Elinkaarikoulu, langaton, ulkovalaisin, ohjausjärjestelmä, kannattavuusvertailu, hintatiedot			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author Valtteri Korhonen	
Title of Thesis Profitability Comparison of Wireless Outdoor Lighting Control Systems in Lifecycle School	
Date June 13, 2024	Pages/Appendices 20/0
Client Organisation /Partners Granlund Kuopio Ltd	
<p>Abstract</p> <p>The aim of the thesis was to examine the profitability comparison of wireless outdoor lighting control systems for a lifecycle school. The lifecycle school designed by Granlund was used as an example. The systems compared were C2 SmartLight, Casambi, and Inventronics.</p> <p>The price information for each control system had to be found for investment costs. The price information was obtained from public sources, by contacting equipment suppliers, and using information provided by the client. Granlund's lifecycle calculation tool was used to calculate the total cost accumulated during the lifecycle for each control system. The profitability comparison was carried out by comparing the price information obtained through the lifecycle calculation tool and the compliance of the systems.</p> <p>The result of the profitability comparison was that the most suitable control system solution for a lifecycle school for now was C2 SmartLight. However, it is recommended to continue monitoring the control system solutions of other equipment manufacturers and the general price development.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Lifecycle school, wireless, outdoor lighting, control system, profitability comparison, price information</p>	

SISÄLTÖ

ESIPUHE.....	5
1 JOHDANTO	6
1.1 Aihe	6
1.2 Toimeksiantaja	6
1.3 Työn toteutus	7
1.4 Määritelmät ja lyhenteet.....	7
2 ELINKAARIMALLILLA TOTEUTETTU ELINKAARIKOULU	8
2.1 Toimeksiantajan tavoitteet	8
2.2 Elinkaarikoulukohteen X asettamat vaatimukset	8
2.2.1 Ulkolipat, opasteet ja ulkokellot	8
2.2.2 Pihakatokset, ulkorakennusten ulkovalaistus ja julkisivuvalaistus	8
2.2.3 Pelikentät.....	8
2.2.4 Pysäköintipaikka, etupiha, keittiön huoltopiha, pohjoinen kulkuväylä ja välituntipiha	9
3 LANGATTOMAT VALONOHJAUSJÄRJESTELMÄT	10
3.1 Hyödyt	10
3.2 Vertailtavat järjestelmät	10
3.2.1 C2 SmartLight	10
3.2.2 Casambi.....	12
3.2.3 Inventronics	13
4 ELINKAARIKUSTANNUSTEN LASKENTA	14
4.1 C2 SmartLight.....	14
4.2 Casambi	14
4.3 Inventronics	15
5 KANNATTAVUUSVERTAILU.....	16
6 YHTEENVETO.....	18
LÄHTEET	19

ESIPUHE

Tämä työ on tehty Granlund Kuopio Oy:lle sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelman opinnäytetyönä. Kiitos Granlund Kuopio Oy:n suunnittelujohtaja Timo Oravaiselle, joka toimi työni ohjaajana. Haluan kiittää myös kaikkia Granlund Kuopio Oy:n työntekijöitä, jotka tekivät kanssani yhteistyötä. Oli hienoa huomata, että työkiireistään huolimatta eri yritysten yhteyshenkilöt sekä Granlund Kuopio Oy:n yhteyshenkilöt suhtautuivat avoimesti ja avuliaasti tutkimustyöhön. Kiitos Savonia-ammattikorkeakoulun lehtori Niilo Kärkkäiselle, joka toimi opinnäytetyötä ohjaavana opettajana.

Kuopiossa 13.6.2024

Valtteri Korhonen

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Granlund Kuopio Oy (jäljempänä Granlund). Opinnäytetyö aihe on saatu toimeksiantona suunnittelujohtaja Timo Oravaiselta. Opinnäytetyön tavoitteena on löytää ratkaisu, joka on kustannustehokas ja täyttää kaikki elinkaarikoulukohteeseen asetetut vaatimukset. Kannattavuusvertailu suoritetaan kolmen eri langattoman ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmän välillä, jotka toimeksiantaja on määritellyt. Jokaisesta ohjausjärjestelmästä on selvitettävä hintatiedot investointikustannuksia varten. Hintatiedot selvitetään julkisista lähteistä, kontaktoimalla laitetoimittajia sekä käytetään toimeksiantajalta saatuja tietoja. Tämän tutkimustyön avulla toimeksiantaja saa tarkempaa tietoa ohjausjärjestelmien vaatimuksienmukaisuudesta ja kustannuksista.

1.1 Aihe

Opinnäytetyön aihe on elinkaarikoulun langattoman ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmien kannattavuusvertailu. Opinnäytetyön tavoitteena on löytää ratkaisu, joka on kustannustehokas ja täyttää kaikki elinkaarikoulukohteeseen asetetut vaatimukset. Aluksi kartoitetaan markkinoilla olevat vaihtoehdot langattomat ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmät, jonka jälkeen suoritetaan elinkaarikustannuksien kannattavuusvertailu kahden potentiaalisimman vaihtoehdon sekä nykyisen C2 SmartLight-ohjausjärjestelmän välillä.

Tällä hetkellä Granlund käyttää tämän työn esimerkkikohteessa langattoman ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmänä C2 Smartlight-ohjausjärjestelmää, sillä se tukee elinkaarikoulujen ulkovalaistuksen säädettävyyteen liittyviä vaatimuksia. Tämän työn esimerkkikohteena ja vertailun perusteena käytetään jo suunniteltua koulukeskusta. Kohteen tarkempia tietoja ei voida avata sillä kyseessä on yritysalaisuuden alaisia tietoja. Kohdetta kutsutaan jatkossa ”kohde X”.

Tutkimustyön kannattavuusvertailussa elinkaarijaksona käytetään elinkaarihankkeissa yleistä 20 vuoden palvelujakoa. Elinkaarikustannusten arviointityökaluna käytetään Granlundin omaa laskentatyökalua, joka huomioi investointikustannusten lisäksi energia-, huolto- ja ylläpitokulut annetulla elinkaariyksiköllä sekä huomioi annetun koron diskonttaamalla edellä mainitut kulut nykyarvoon.

1.2 Toimeksiantaja

Granlund on voimakkaasti kasvava rakennus- ja kiinteistöalan asiantuntijayhtiö. Granlund panostaa alan tuottavuuden parantamiseen, digitalisaation edistämiseen, uusiin energiaratkaisuihin sekä vastuullisuuteen. Granlund on perustettu vuonna 1960. Yrityksen tärkeimpiä tavoitteita on parantaa kiinteistöjen toimivuutta ja älykkyyttä sekä samalla parantaa ihmisten hyvinvointia rakennetussa ympäristössä. Toimialoihin kuuluu talotekninen suunnittelu, kiinteistöjohtamisen palvelut ja ohjelmistot, energia-, ympäristö- ja kiinteistöalan konsultointi, rakennuttaminen ja valvonta sekä isännöinti.

Granlundilla on tällä hetkellä käytössä strategia nimeltään Plan G, joka on luotu yhdessä henkilöstön kanssa. Missioihin kuuluu hyvin vahvasti hyvinvointia ihmisille, rakennuksille ja ympäristölle. Tärkeänä tavoitteena on parantaa kiinteistöjen toimivuutta, älykkyyttä ja samalla ihmisten hyvinvointia rakennetussa ympäristössä. Kiinteistö- ja rakennusalan vastuullisena toimijana Granlundin tahtotila on vastata ilmastonmuutoksen hillintään sekä kestäväen kasvun tukemiseen. Granlund uskoo vahvasti, että näihin tavoitteisiin päästään uusia digitaalisia ratkaisuja hyödyntämällä sekä yhteistyöllä

asiakkaiden ja sidosryhmien kanssa. Granlundin visio on: "Kohti kestäväää ja älykästä tulevaisuutta. Yhdessä." (Granlund Oy julkaisuaika tuntematon).

1.3 Työn toteutus

Aineistoa tätä työtä varten kerätään pääasiallisesti julkisista lähteistä, valmistajilta sekä Granlundilta. Elinkaarikustannusten arviointityökaluna käytetään Granlundin omaa laskentatyökalua, joka huomio investointikustannusten lisäksi energia-, huolto- ja ylläpitokulut annetulla 20 vuoden elinkaarijaksolla sekä huomioi annetun koron diskonttaamalla edellä mainitut kulut nykyarvoon. Elinkaarikustannuslaskentatyökalun saaduista tuloksista laaditaan taulukko, jonka avulla kannattavuusvertailu voidaan suorittaa. Lopuksi julkaistaan tutkimustyön tulos kustannustehokkaasta näkökulmasta sekä kirjataan muita mahdollisia huomioita tuloksista. Työssä voidaan hyödyntää Granlundin aikaisempia suunnitelmia sekä kokemuksia. Työ toteutetaan Granlundin Kuopion toimipisteellä sekä etätöinä.

1.4 Määritelmät ja lyhenteet

RTS-ympäristöluokitus = Rakennustiedon ympäristöluokitus, joka ohjaa kestävän kehityksen mu-
kaista rakentamista ja kiinteistön ylläpitoa

BLE = Bluetooth Low Energy, lyhyen matkan langaton verkkoteknologia

Mesh-verkko = Mesh-verkko on usean Mesh-laitteen muodostama verkko

ZigBee = ZigBee on IEEE 802.15.4-standardin mukainen lyhyen kantaman vähävirtainen tietoliiken-
verkko

Diskonttaus = Tulevaisuuden rahavirran nykyarvon laskeminen

Elinkaarimalli = Public Private Partnership (PPP), elinkaarimalli on hankintamalli, jossa yksityisen sek-
torin toimija vastaa julkisen hankkeen toteuttamisesta ja rahoittamisesta. Elinkaarimalli on sopimus-
kokonaisuus, jolla rakennuksen suunnittelu, rakentaminen ja ylläpito hankitaan yhtenä kokonaisuus-
tena

Elinkaarikoulu = Elinkaarikoulu on käsite, joka viittaa koulurakennukseen tai -alueeseen, joka suunni-
tellaan ja toteutetaan kestävän kehityksen periaatteita noudattaen koko rakennuksen elinkaaren ajan

2 ELINKAARIMALLILLA TOTEUTETTU ELINKAARIKOULU

Elinkaarikoulut suunnitellaan kestäväää tekniikkaa hyödyntäen sekä talotekniikan huollettavuutta mietitään jo suunnittelun aikana. Elinkaarimallilla toteutetuissa kouluissa rakennusliike kantaa vastuun kohteen suunnittelun ja rakentamisen lisäksi ylläpidosta noin 20 vuoden ajan. Tällä tavoin varmistetaan, että valmiit tilat ovat muuntojoustavat ja käyttäjille terveelliset sekä investoinnin arvo säilyy. Elinkaarikohteiden suunnittelussa korostuvat pitkäikäiset valinnat, hyvä sisäilman laatu ja kustannus- tehokas ylläpito.

Opetustilojen pitää olla monikäyttöisiä ja muunneltavia, ja siksi kaikkea tekniikkaa pyritään ohjaamaan tarpeenmukaisesti tilojen käytön mukaan. Esimerkiksi ilmanvaihdon ja valaistuksen pitää olla säädettävissä. Kiertotalous otetaan huomioon elinkaarikoulujen materiaalivalinnoissa. Esimerkiksi tontilta puretuista vanhoista rakennuksista voidaan hyödyntää kierrätysjätteitä, joista tehdään uuden koulun väliseiniä. Työmaalla pyritään myös välttämään hukkaa ja suosimaan uusiutuvaa energiaa. Elinkaarihankkeissa asetetaan usein ilmasto- ja ympäristötavoitteita. Kotimainen RTS-ympäristöluokitus antaa eri suunnittelualoille ja työmaavaiheelle selkeät kriteerit, joilla ohjataan kestäväää rakentamista.

2.1 Toimeksiantajan tavoitteet

Granlundin suunnittelijoiden tavoitteena on varmistaa elinkaarikouluissa hyvät sisäolosuhteet, energiatehokkaat järjestelmät ja elinkaarikestävät materiaalivalinnat. Tekniikan huollon helppoutta mietitään jo suunnitteluvaiheessa, koska se vaikuttaa merkittävästi rakennuksen käyttökustannuksiin mm. älykkäitä LVI- ja sähköjärjestelmiä voidaan valvoa etänä, jolloin järjestelmä ilmoittaa vikatilanteista automaattisesti (Granlund Oy julkaisuaika tuntematon).

2.2 Elinkaarikoulukohteen X asettamat vaatimukset

Tutkimustyön esimerkkikohteenä käytetään jo suunniteltua koulukeskusta, kohde X. Kyseisen elinkaarikoulu kohteen langattomalle ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmälle määritetyt vaatimukset on kuvattu seuraavissa kappaleissa.

2.2.1 Ulkolipat, opasteet ja ulkokellot

Valaistusryhmää ohjataan ulkovaloisuuden mukaan (on/off). Kun ulkovaloisuuden arvo on alle asetusarvon, valaisimet syttyvät 100 % teholle.

2.2.2 Pihakatokset, ulkorakennusten ulkovalaistus ja julkisivuvalaistus

Valaistusryhmää ohjataan ulkovaloisuuden ja aikaohjelman mukaan. Kun ulkovaloisuuden arvo on alle asetusarvon, julkisivuvalaisimet syttyvät esisäädetylle teholle ja muut 100 % teholle.

2.2.3 Pelikentät

Valaistusryhmiä ohjataan ulkovaloisuuden ja kenttäkohtaisen aikaohjelman mukaan. Kun ulkovaloisuuden arvo on alle asetusarvon, valaisimet syttyvät 20 % teholle. Kenttäkohtaisilla painikkeilla voidaan valoteho nostaa 100 % ennalta asetelluksi ajaksi (esim. 1 h). Ajan kuluttua valoteho palautuu

20 % tasolle. Aikaohjelma estää valotehon noston painikkeella yöaikaan (esim. klo 22–06) tai sammuttaa valaistuksen kokonaan.

2.2.4 Pysäköintipaikka, etupiha, keittiön huoltopiha, pohjoinen kulkuväylä ja välituntihiha

Valaistusryhmiä ohjataan ulkovaloisuuden ja ohjausryhmäkohtaisen aikaohjelman mukaan. Kun ulkovaloisuuden arvo on alle asetusarvon, valaisimet syttyvät täydelle teholle. Aikaohjelmalla voidaan rajoittaa valaistusteho alennetulle (esim. 20 %) teholle yön ajaksi (Oravainen, Timo 2024).

3 LANGATTOMAT VALONOHJAUSJÄRJESTELMÄT

Langattomassa valaistuksen ohjauksessa signaalit kulkevat radioaaltojen kautta, eikä matalajännitekaapeleita tarvita. Langattomat laitteet kommunikoivat Mesh-verkon kautta, ja laitteiden poistaminen, lisääminen ja vaihtaminen on vaivatonta ja turvallista. Älykkäässä valaistuksessa käytetään langatonta Mesh-verkkoa, joka perustuu pienitehoiseen lyhyen kantaman radioteknologiaan, joista yleisimmät ovat Bluetooth Low Energy (BLE) ja ZigBee. Näiden välillä on jonkin verran eroja sekä liitettävyydessä, vaadittavan laitteiston (sillat, reitittimet) määrässä että toiminnallisuuksissa (Helvar 2024).

Langattomia järjestelmiä suunnitellessa on varmistettava, että laitteet pystyvät viestimään keskenään eli etäisyyksien on oltava kunnossa. Langattomia kohteita määritettäessä on tärkeää tunnistaa järjestelmien toiminnallisuudet sekä yhteen toimivuus, sillä kaikki markkinoilla tarjolla olevat langattomat valonohjausjärjestelmät eivät ole integroitavissa keskenään. Langatonta valonohjausjärjestelmää suunnitellessa tulee ottaa huomioon, että järjestelmä täyttää yhteentoimivuusvaatimukset ja tulevaisuuden tarpeet (Helvar 2024).

3.1 Hyödyt

Langattoman valonohjausjärjestelmän asennus sekä käyttöönotto on helppoa, koska asennukseen tarvitaan ainoastaan sähkönsyöttö sekä ohjauslaite. Ohjauslaitteena voi toimia mobiilisovellus tai langaton kytkin. Kun tila muuttuu, langattoman valonohjausjärjestelmän etuja on helppo skaalattavuus vastaamaan uusia tarpeita, sillä laitteita on helppo lisätä, poistaa tai vaihtaa. Langattoman valonohjauslaitteen asennuksen hyötyjä ovat pienemmät kustannukset, sillä tarvittavan sähkökaapelin määrä on huomattavasti perinteistä kohdetta vähäisempi, kun valaisimen ohjauskaapelointia ei tarvita ollenkaan. Tämän ansiosta säästetään työaika ja materiaaleja, ja asennusaika lyhenee merkittävästi erityisesti paikoissa, joissa johdotus olisi vaikeaa. Etuihin lukeutuu myös käyttäjävälisyys sillä ohjelmointi sekä käyttäminen voidaan toteuttaa mobiiliapplikaatiolla. Tämä tuo joustavuutta, sillä muutoksia voi tehdä milloin vain, myös etänä (Helvar 2024).

3.2 Vertailtavat järjestelmät

Elinkaarikustannusten tutkimustyö aloitetaan määrittämällä toimeksiantajan kanssa kolme ohjausjärjestelmää, joiden hintatietoja tulen vertaamaan. Työssä vertailtavat ohjausjärjestelmät ovat C2 Smartlight, Casambi sekä Inventronics. C2 SmartLight on käytössä Granlundilla nykyisin elinkaari-koulu kohteissa, joten siksi mukana vertailussa. Casambi on kiinnostanut Granlundia aikaisemmin, joten siitä syystä se päätyi vertailuun mukaan. Inventronics ohjausjärjestelmä nousi uutena tuttavuutena esille sähkömessuilta ja se päätettiin ottaa mukaan vertailuun. Aluksi kerätään tietoa järjestelmien toiminnasta, ohjelmoinnista, hinnoista sekä mahdollisesti muista aiheista, jotka nousevat tärkeiksi projektin onnistumisen kannalta.

3.2.1 C2 SmartLight

C2 SmartLight Oy on suomalainen teknologiayritys, joka tarjoaa älykkäitä valaistuksen ohjausratkaisuja. C2 SmartLight-ohjausjärjestelmän avulla älykäs valaistuksen ohjaus onnistuu langattomasti. Valaistukseen liittämällä erilaisia sensoreita ja antureita saadaan aikaan valaistus, joka muuttuu ja

mukautuu vaikka lämpötilan tai keliolosuhteiden mukaan. Ohjausjärjestelmän kaikki laitteet muodostavat langattoman Mesh-lähiverkon ZigBee:n avulla. C2 SmartLight -tuotteet ovat modulaarisia ja keskenään yhteensopivia. Jos peruspaketti ei riitä, sitä on helppo laajentaa ja räätälöidä tarpeen mukaan. Alla kuvattuna C2 SmartLight tuotteita, joita kohteessa X voidaan hyödyntää (C2 SmartLight Oy julkaisuaika tuntematon).

C2 SmartCity on ohjausratkaisu, jonka avulla jokainen järjestelmän käyttäjä voi muokata pienohjelmien avulla etusivusta omanlaisensa. Etusivun voi muokata näyttämään suoraan esimerkiksi kenttälaitteiden tilatiedot, sensorien mittausdatat, valaistuksen käyttötunnit ja energiankulutukset. Mobiilikäyttöliittymä mahdollistaa erinomaisesti kenttälaitteiden hallinnan, seurannan sekä käyttäjän karttapohjaisen paikannuksen, jonka ansiosta maastossa lähimpänä olevat ohjainlaitteet löytyvät helposti. Datan hyödyntäminen on yksi C2 SmartCityn keskeisistä periaatteista. Integraation avulla mahdollistuu reaaliaikainen tiedonkeruu monista eri lähteistä ja sen hyödyntäminen valaistuksen ohjauksessa sekä infrastruktuurin hallinnassa.

Kenttälaitteiden hallinta on toteutettu ohjausratkaisussa karttapohjaan perustuvalla kokonaisuudella, jossa käyttäjä voi valita näytettäväksi OpenStreetMap sekä Google Maps karttapohjat. Järjestelmän käyttäjien on mahdollista luoda omia ohjausryhmiä karttapohjan kautta, joka on huollettavuuden näkökulmasta erinomainen ominaisuus. Tällä tavoin huolto voi luoda ryhmiä laitteista huoltoreittien mukaisesti sekä halutessaan ohjailta niitä esimerkiksi laittamalla huolto-ohjauksen päälle. Muita käyttäjiä ajatellen ominaisuus on hyödyllinen esimerkiksi erilaisten tapahtumien osalta, koska kartalta voi valita halutut keskukset ja ohjata niitä aikataulujen sekä tarpeiden mukaisesti.

Ohjausratkaisun raportointinäköymä mahdollistaa graafisten paloika- ja energiankulutusraporttien luomisen sekä näyttämisen. Käyttäjä voi valita raportointijakson viikko-, kuukausi- tai vuositasolla. Raportoinnit voi myös automatisoida käyttäjän määrittelemällä aikavälillä, jolloin ne lähetetään automaattisesti sähköpostiin. Järjestelmään lisätyt suunnitelmat, ohjeet, yms. dokumentit ovat kaikkien ennalta määritettyjen käyttäjien saatavilla. Järjestelmään saa käyttöön myös dynaamisen ohjausominaisuuden, jonka avulla valaistusta voidaan ohjata ulkoisten sensoritietojen avulla esimerkiksi sääasema tai liikennemäärälaskurit (C2 SmartLight Oy julkaisuaika tuntematon).

C2 SmartLight painonappi on ratkaisu alueille, jonka valaistusta halutaan hallita paikan päällä. Tämän työn esimerkikohteen urheilukentät ovat sopivia painonapin käyttökohteita. Painonappi voidaan sijoittaa käyttäjäystävälliseen paikkaan, josta valot on helppo laittaa päälle, esimerkiksi urheilukentän sisääntuloväylän yhteyteen. Painonappi on rakennettu ilkeäkestäväksi ja sen on luvattu kestävän -40°C ... $+50^{\circ}\text{C}$. Langattomuus mahdollistaa vaivattoman asennuksen suunniteltuun paikkaan ilman uusia ohjauskaapelointeja. Painonapin sisään on integroitu C2 SmartLumo -ohjain, joka on langattomassa radioyhteydessä valaisimissa olevien ohjaimien kanssa. Valaistuksen asetukset ovat myös muunneltavissa, jonka ansiosta on mahdollista ohjelmoida erilaisia viikkoaikatauluja (C2 SmartLight Oy julkaisuaika tuntematon).

C2 SmartLumo Z on älykäs valaisinohjain C2 SmartCity-toiminnallisuuksien ohjaukseen. C2 SmartLumo Z on etähallittava ja soveltuu esimerkikohteen aluevalaistuksen ohjaukseen. Ohjaus on mah-

dollista toteuttaa ennalta ohjelmoidun aikataulun mukaisesti, sisäisen astronomisen kellon ohjauksessa tai ohjaukseen liitettyjen sensoreiden havaintojen mukaan. Ohjausparametreja on mahdollista muokata yksitellen tai ryhmänä C2 SmartLight -keskusohjauksen kautta tai vaihtoehtoisesti tämä voidaan suorittaa langattomasti paikan päällä kohteessa. C2 SmartLumo Z:n käyttölämpötila on määritetty $-40^{\circ}\text{C}...+70^{\circ}\text{C}$ (C2 SmartLight Oy julkaisuaika tuntematon).

C2LM valoisuusanturin tehtävä on mitata ympäristön valoisuutta. Se on erityisesti optimoitu 0–50 luxin valoisuustasolle, jolla ulkovalaistuksen päälle-pois-ohjaukset tapahtuvat. Tämän työn esimerkkikohteeseen on laskettu riittävän yksi valoisuusanturi. Valoisuusantureita on mahdollista asentaa korkeintaan yhdeksän kappaletta kullekin mittausalueelle Ohjausjärjestelmä kerää valoisuusantureiden mittaustulokset ja muodostaa niistä keskiarvon. Jos joku valoisuusantureista vioittuu, järjestelmä osaa myös hylätä kyseisen valoisuusanturin mittaustuloksen. C2LM valoisuusanturin käyttölämpötila on määritetty $-40^{\circ}\text{C}...+55^{\circ}\text{C}$ (C2 SmartLight Oy julkaisuaika tuntematon).

Keskusyksikkönä toimii C2CU, joka valvoo ja ohjaa valaistusta ohjelmoitujen arvojen mukaan. C2CU myös mahdollistaa etähallinnan verkon yli mobiilikäyttöliittymän avulla. Tämän ansiosta kenttälaitteita voi hallita sekä valvoa missä tahansa. C2CU:n käyttölämpötila on määritetty $-40^{\circ}\text{C}...+60^{\circ}\text{C}$ (C2 SmartLight Oy 2021).

C2 LuconC on tukiasema, jonka tehtävä on välittää ohjaus- ja monitorointitietoa ohjauskeskuksen ja C2 SmartLumo -ohjaimien välillä langattomasti radiotaajuudella. Tässä kannattavuusvertailussa C2 LuconC hinta on sisällytetty suoraan keskusyksikön hintaan (C2 SmartLight Oy julkaisuaika tuntematon).

3.2.2 Casambi

Casambi Technologies Oy on vuonna 2011 Timo Pakkalan ja Elena Lehtimäen perustama yritys. Casambi on tällä hetkellä markkinoiden kärkeisijolla oleva langaton valaistusohjausjärjestelmä, joka perustuu Bluetooth Low Energyyn (Casambi Technologies Oy 2024).

Ohjausjärjestelmän kaikki laitteet luovat langattoman Mesh-lähiverkon BLE:n avulla. MESH-topologian toimintaperiaatteessa jokainen solmukohta on Casambi-laite eli esimerkiksi valaisin. Valaisinohjaimien (Casambi Zhaga) välinen tiedonsiirtoetäisyys on 70 metriä ja käyttölämpötila on määritetty $-40^{\circ}\text{C}...+70^{\circ}\text{C}$. Jokainen solmukohta on suunniteltu ja asennettu kuuluvuusalueelle, jotta ne voivat ottaa yhteyttä toisiin solmuihin. Tällä tavoin verkosta saadaan luotettava ja vahva. Tämän ansiosta verkko ei pääse kaatumaan, vaikka jokin laite välissä vikaantuisikin.

Valaistuksen ohjaus onnistuu Casambi-sovelluksella. Sovellusta voidaan käyttää iOS- ja Android-älylaitteissa ja se on ilmainen. Järjestelmällä on mahdollista asentaa langattomat ja patterittomat kytkimet valaistuksen ohjausta varten ja tämä mahdollistaa, että kytkimilläkin voidaan ohjata yksittäistä valaisinta, tai isompaa valaisinryhmää. Valaisimia ei ryhmitellä kaapeloinnillisesti vaan ohjelmallisesti sovelluksen avulla. Valaisimia voidaan ohjata joko yksilöinä tai ryhmänä. Mikäli on tarvetta hallinnoida ja tehdä muutostöitä, niin Casambissa on mahdollista hyödyntää gatewayta, jolloin haluttuihin Casambi-verkkoihin pääsee etänä.

Järjestelmän ajastintoiminnon avulla valaistus voidaan ajastaa päälle ja pois, tai vaikka himmentää haluttuun aikaan kellonaika tai jopa päivä/viikko tarkkuudella. Energian kulutus saadaan minimoitua Casambin päivänvalotunnistuksen avulla, joka tunnistaa auringon valon ja säätää valaistusta sen mukaan. Järjestelmässä voidaan hyödyntää tarvittaessa liiketunnistimia, joiden avulla valaistus ohjautuu päälle vain tarvittaessa. Casambissa voidaan luoda haluttuja valaistustiloja ja ohjata niitä joko kytkimen, läsnäoloanturin tai vaikka ajastuksen kautta (Casambi Technologies Oy 2024; KVS Oy julkaisuaika tuntematon).

3.2.3 Inventronics

Inventronics Inc on vuonna 2007 perustettu johtava maailmanlaajuinen valmistaja, joka valmistaa laajan valikoiman valaistustuotteita, kuten LED-ajureita, antureita, ohjausjärjestelmiä ja LED-moduuleja (Inventronics Inc 2024).

Inventronics tarjoaa HubSense sovelluksen, jonka avulla valaistujärjestelmiä voidaan ohjata, suunnitella, konfiguroida ja käyttöönottaa älypuhelimien ja mobiilisovelluksen kautta (Android ja IOS). Sovelluksessa hallintayhteys perustuu Qualified Bluetooth Mesh -tekniikkaan, jolloin käyttäjän tulee olla Bluetooth kantaman päässä. Näin ollen Inventronics ei tarjoa mahdollisuutta etähallintaan verkon yli.

Järjestelmän laitteet muodostavat langattoman Mesh-lähiverkon BLE:n kautta. Inventronicsissa valaisinohjaimina toimivat tutkasensori (QBM D4I HF P Z) sekä valosensori (QBM D4I LS P Z). Tutkasensori havaitsee kylmät kohteet, kuten ajoneuvot 16 metrin alueelta ja se voidaan yhdistää muihin QBM D4I sensoreihin. Valosensori huomioi luonnonvalon tason ja säätää sitten valaisimen haluttuun kirkkauteen sisäänrakennetun valaisuusanturin avulla. Valosensorit voidaan yhdistää muihin QBM D41 -sensoreihin. Molempien sensoreiden asennuskorkeus maksimissaan 15 metriä. Langaton kantama on jopa 50 metriä sensorilta sensorille (Laitetoimittaja 2024).

4 ELINKAARIKUSTANNUSTEN LASKENTA

Jokaisesta ohjausjärjestelmästä on selvitettävä investointikustannuksia varten valaisinohjaimen, painonapin, keskusyksikön sekä valoisuusanturin hintatiedot. Nämä hintatiedot selvitetään julkisista lähteistä, kontaktoimalla laitetoimittajia sekä käytetään toimeksiantajalta saatuja tietoja. Zhaga-liittimen lisähinta valaisimessa, valaisinohjaimen asennus sekä käyttöönotto määritetään toimeksiantajan toimesta taulukkoon ennalta.

Ohjausjärjestelmien hintatietojen selvitystyön valmistuttua suoritetaan elinkaarikustannusten laskenta. Elinkaarikustannusten arviointityökaluna käytetään Granlundin omaa Excel-pohjaista laskentatyökalua, joka huomioi investointikustannusten lisäksi energia-, huolto- ja ylläpitokulut annetulla 20 vuoden elinkaarijaksolla sekä huomioi annetun koron diskonttaamalla edellä mainitut kulut nykyarvoon. Jokaisen ohjausjärjestelmän hintatiedot on esitetty omissa taulukoissa ja kaikki hinnat ovat esitetty muodossa ALV 0 %.

Laskentatyökaluun kirjataan ohjausjärjestelmien investointikustannuksien lisäksi alla mainitut asiat, jotka toimeksiantaja on määrittänyt:

- Rakennuksen pitoaika: 20 vuotta
- Laskentakorko: 3 %
- Sähköenergian hinta: 15,00 s/kWh
- Tarkasteluajankohta: 2024–2044
- Valaistuksen käyntiaika: 4500 h/a (100 % teholla 2000 h/a ja 20 % teholla 2500 h/a)
- Huolto-/vaihtotyökustannus: 60 e/h
- C2 SmartLight ohjausjärjestelmään lisätään tietoliikenne- ja lisenssikuluja 12 € / kk

4.1 C2 SmartLight

Jokaiselle tuotteelle on esitetty (TAULUKKO 1.) kappalehinta ja käytettyjen kappaleiden määrä. Kappalehinta kerrottuna käytettyjen kappaleiden määrällä saadaan jokaisesta tuotteesta aiheutuvat kustannukset. C2 SmartLight ohjausjärjestelmästä kertyvät investointikustannukset on esitetty hinta yhteensä rivillä.

TAULUKKO 1. C2 SmartLight investointikustannukset (Korhonen 2024, CC BY-SA)

C2-SMARTLIGHT	€/kpl	kpl	€/yht
Valaisinohjain	78	107	8346
Painonappi	200	4	800
Zhaga-liittimen lisähinta valaisimessa	25	107	2675
Valaisinohjaimen asennus	5	107	535
Keskusyksikkö	1570	1	1570
Valoisuusanturi	280	1	280
Käyttöönotto	60	8	480
Hinta yhteensä			14686

4.2 Casambi

Jokaiselle tuotteelle on esitetty (TAULUKKO 2.) kappalehinta ja käytettyjen kappaleiden määrä. Valoisuusanturi on valmiiksi sisäänrakennettu valaisinohjaimeen, joten valoisuusanturille ei ole laskettu

erillistä kappalehintaa. Kappalehintaa kerrottuna käytettyjen kappaleiden määrällä saadaan jokaisesta tuotteesta aiheutuvat kustannukset. Casambi ohjausjärjestelmästä kertyvät investointikustannukset on esitetty hinta yhteensä rivillä.

TAULUKKO 2. Casambi investointikustannukset (Korhonen 2024, CC BY-SA)

CASAMBI	€/kpl	kpl	€/yht
Valaisinohjain	149,59	107	16006,13
Painonappi	240	4	960
Zhaga-liittimen lisähinta valaisimessa	25	107	2675
Valaisinohjaimen asennus	5	107	535
Keskusyksikkö	800	1	800
Valoisuusanturi	0	1	0
Käyttöönotto	60	8	480
Hinta yhteensä			21456,13

4.3 Inventronics

Jokaiselle tuotteelle on esitetty (TAULUKKO 3.) kappalehintaa ja käytettyjen kappaleiden määrä. Valoisuusanturi on valmiiksi sisäänrakennettu valaisinohjaimen, joten valoisuusanturille ei ole laskettu erillistä kappalehintaa. Kappalehintaa kerrottuna käytettyjen kappaleiden määrällä saadaan jokaisesta tuotteesta aiheutuvat kustannukset. Inventronics ohjausjärjestelmästä kertyvät investointikustannukset on esitetty hinta yhteensä rivillä. Muista ohjausjärjestelmistä poikkeavaa teki se, että Inventronics ohjausjärjestelmä vaatii lisäksi kahdeksan kappaletta tutkasensoreita toimiakseen. Inventronics ohjausjärjestelmään ei ole myöskään saatavilla ollenkaan ulkokäyttöön soveltuvaa painonappia, joten sille ei voida laskea hintaa. Keskusyksikölle ei ole laskettu hintaa, koska ohjausjärjestelmä käyttää ilmaista HubSense puhelinsovellusta.

TAULUKKO 3. Inventronics investointikustannukset (Korhonen 2024, CC BY-SA)

INVENTRONICS	€/kpl	kpl	€/yht
Valaisinohjain	70	107	7490
Tutkasensori	10	8	80
<i>Painonappi</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
Zhaga-liittimen lisähinta valaisimessa	25	107	2675
Valaisinohjaimen asennus	5	107	535
Keskusyksikkö	0	1	0
Valoisuusanturi	0	1	0
Käyttöönotto	60	8	480
Hinta yhteensä			11260

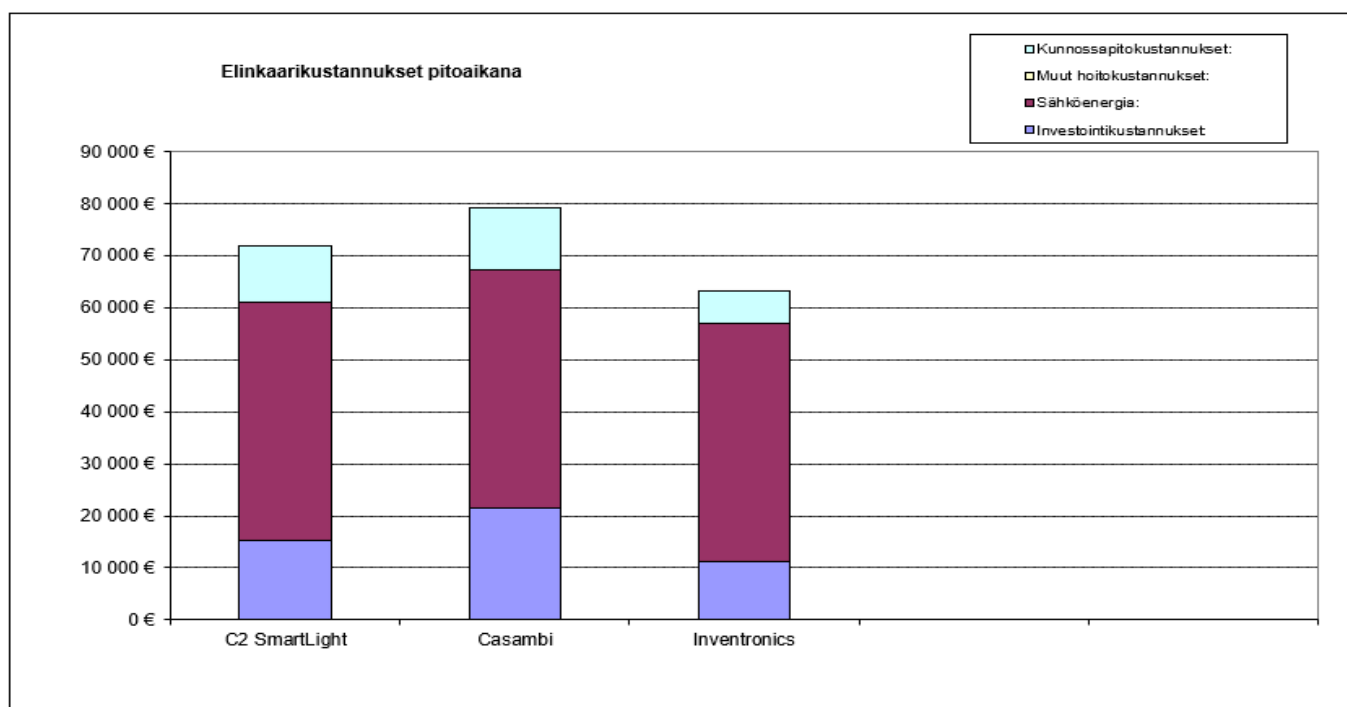
5 KANNATTAVUUSVERTAILU

Granlundin elinkaarilaskentatyökalun avulla saadaan jokaiselle ohjausjärjestelmälle laskettua elinkaarikustannuksien pitoaikana kertyvä kokonaiskustannus. Kokonaiskustannus koostuu investointikustannuksista, sähköenergiasta, muista hoitokustannuksista sekä kunnossapitokustannuksista. Ohjausjärjestelmien investointikustannukset ovat eritelty kappaleissa 4.1, 4.2 ja 4.3. Energiankulutus määritetään jokaiseen laskentaan samoilla arvoilla, joten lopputuloksissa ei ole sähköenergian osalta eroa. Muut hoitokustannukset ovat nolla euroa, sillä komponenttien oletetaan kestävän koko tarkastelujakson ajan. Kunnossapitokustannuksissa on huomioitu valaisimien uusiminen kerran koko elinkaaren aikana. Kunnossapitokustannukset sisältävät uudelleenrakentamisen 20 vuoden pitäjän jälkeen diskontattuna nykyarvoon eli kohteelta edellytetään uutta vastaavaa luovutuskuntoa.

TAULUKKO 4. Kannattavuusvertailu (Korhonen 2024, CC BY-SA)

	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3
	C2 SmartLight	Casambi	Inventronics
Elinkaarikustannukset pitoaikana, nykyarvo			
Investointikustannukset:	15 406 €	21 456 €	11 260 €
Sähköenergia:	45 748 €	45 748 €	45 748 €
Muut hoitokustannukset:	0 €	0 €	0 €
Kunnossapitokustannukset:	10 642 €	11 887 €	6 238 €
Yhteensä	71 796 €	79 091 €	63 246 €
Erotus edullisimpaan		7 295 €	-8 550 €

TAULUKKO 5. Kannattavuusvertailu graafisessa muodossa (Korhonen 2024, CC BY-SA)



Kannattavuusvertailun (TAULUKKO 4.) lopputuloksena huomataan Inventronics-ohjausjärjestelmän olevan selvästi edullisin vaihtoehto. C2 SmartLight sijoittui toiseksi edullisemmaksi vaihtoehdoksi, kun taas Casambi sijoittui arvokkaimmaksi vaihtoehdoksi. C2 SmartLight ohjausjärjestelmän investointikustannukset nousevat laskentatyökalua käytettäessä hieman, koska kyseiseen laskentaan lisätään pakolliset tietoliikenne- ja lisenssikulut, jotka ovat 12 € kuukaudessa. Lisätyt kulut vaikuttavat lopulliseen investointikustannukseen minimaalisesti, joten tällä ei ole merkitystä kannattavuusvertailun lopputuloksen kannalta. Tuloksista huomataan Inventronics ohjausjärjestelmän olevan 8550 euroa edullisempi vaihtoehto toiseksi sijoittunutta C2 SmartLight ohjausjärjestelmään verrattaessa ja 15845 euroa edullisempi kolmanneksi sijoittunutta Casambi ohjausjärjestelmään verrattaessa.

Inventronics osoittautuu kannattavuusvertailussa edullisemmaksi vaihtoehdoksi, mutta se ei täytä ennalta määritetyille kohteelle asetettuja vaatimuksia. Tämän tutkimustyön ollessa käynnissä Inventronicsilta puuttuu ulkokäyttöön soveltuva painonappi sekä etähallintamahdollisuus, jotka ovat tämän tutkimustyön kannalta merkityksellisimpiä kohteelle asetettuja vaatimuksia.

Casambin ohjausjärjestelmä täyttää kaikki asetetut vaatimukset, mutta tämän tutkimustyön tuloksien perusteella voidaan todeta sen olevan huomattavasti arvokkaampi kuin C2 SmartLight, joten kustannustehokkaassa mielessä ei ole syytä valita Casambi ohjausjärjestelmää.

Kannattavuus- ja ominaisuusvertailun perusteella esimerkkipöytäkohteen tyyppisiin elinkaarikohteisiin sopivin ohjausjärjestelmäratkaisu on C2 SmartLight, joka on toimeksiantajalla parhaillaan käytössä. C2 SmartLight täyttää kaikki kohteelle ennalta määritetyt vaatimukset ja on Casambia edullisempi vaihtoehto.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä elinkaarikoulun langattoman ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmien kannattavuus- ja ominaisuusvertailu. Esimerkkikohteena käytettiin Granlundin suunnittelemaa elinkaarikoulua. Vertailtavat järjestelmät olivat C2 SmartLight, Casambi sekä Inventronics.

Kannattavuusvertailun lopputuloksena voidaan todeta, että vastaavan tyyppisiin elinkaarikohteisiin sopivin ohjausjärjestelmäratkaisu on C2 SmartLight. Tutkimustyön perusteella havaittiin Inventronics-ohjausjärjestelmän olevan selvästi edullisin vaihtoehto, C2 SmartLight sijoittui toiseksi edullisemmaksi vaihtoehdoksi ja Casambi sijoittui arvokkaimmaksi vaihtoehdoksi. Inventronics ei kuitenkaan täytä kaikkia ohjausjärjestelmälle asetettuja vaatimuksia. C2 SmartLight täyttää kaikki määritetyt vaatimukset ja on Casambia edullisempi vaihtoehto. Näin ollen parhaaksi vaihtoehdoksi osoittautui C2 SmartLight, joka onkin parhaillaan käytössä eli tällä hetkellä muutokselle ei ole tarvetta.

Mielestäni kannattaa kuitenkin selvittää ja tarkkailla, voiko Inventronics jatkossa käyttää muiden valmistajien painonappeja tai onko laitevalmistaja muulla tavoin ratkaissut ongelman, sillä heidän ohjausjärjestelmänsä pärjäsi hintavertailussa parhaiten. Inventronics voi hyvinkin olla tulevaisuudessa varteenotettava vaihtoehto elinkaarikoulukohteissa, jos vaatimukset täyttyvät, etähallinnan mahdollisuudet parantuvat sekä hinta pysyy edelleen edullisena.

Insinööriopintojen aikana mielenkiintoni on toden teolla herännyt sähkösuunnittelua kohtaan ja tästä innostuneena hain sähkösuunnittelijan tehtävää Granlundille. Työskennellessäni sähkösuunnittelijan tehtävässä sain mahdollisuuden tehdä tämän opinnäytetyön Granlundille. Innostuin aiheesta välittömästi, sillä koin toimeksiannon merkitykselliseksi yritykselle sekä mielekkääksi projektiksi itselleni.

LÄHTEET

Työssä on käytetty seuraavasti tekoälyä:

ChatGPT 2023. OpenAI. GPT-4.0. Käytetty kielentarkistukseen, kesäkuu 2024. <https://chatgpt.com/>

Yllä olevat tiedot muodostuvat seuraavista tiedoista:

Granlund Oy julkaisuaika tuntematon. Meistä. Verkkajulkaisu <https://www.granlund.fi/meista/>. Viitattu 13.3.2024.

Kuntarahoitus 5.9.2018. Elinkaarimallin ABC. Verkkajulkaisu <https://www.kuntarahoitus.fi/ajankoh-taista/elinkaarimallin-abc-osa-1-mika-on-elinkaarimalli>. Viitattu 13.6.2024

Granlund Oy julkaisuaika tuntematon. Referenssit. Verkkajulkaisu <https://www.granlund.fi/referens-sit/elinkaaari-ja-allianssikoulujen-suunnittelu/>. Viitattu 15.3.2024.

Oravainen, Timo 2024. Elinkaarikoulukohteen asettamat vaatimukset. Yksityinen sähköpostiviesti 4.3.2024. Viestin saaja: Valtteri Korhonen.

Helvar 2024. Mitä on langaton valonohjaus? Verkkajulkaisu <https://helvar.com/fi/mita-on-langaton-valonohjaus/#1612214288624-a24657a2-e39d>. Viitattu 29.4.2024.

C2 SmartLight Oy julkaisuaika tuntematon. Etusivu. Verkkajulkaisu <https://c2smartlight.com/>. Viitattu 29.4.2024.

C2 SmartLight Oy julkaisuaika tuntematon. C2 SmartCity ohjausratkaisu. Verkkajulkaisu <https://c2smartlight.com/ratkaisut/tuotteet-ja-palvelut/c2smartcity/>. Viitattu 29.4.2024.

C2 SmartLight Oy julkaisuaika tuntematon. C2 SmartLight painonappi. Verkkajulkaisu <https://c2smartlight.com/ratkaisut/tuotteet-ja-palvelut/c2smartlightpainonappi/>. Viitattu 29.4.2024.

C2 SmartLight Oy julkaisuaika tuntematon. C2 SmartLumo. Verkkajulkaisu <https://c2smart-light.com/c2smartlumo/>. Viitattu 1.5.2024.

C2 SmartLight Oy julkaisuaika tuntematon. C2LM valoisuusanturi. Verkkajulkaisu <https://c2smart-light.com/ratkaisut/tuotteet-ja-palvelut/c2lm/>. Viitattu 1.5.2024.

C2 SmartLight Oy 2021. Central Unit C2CU. Esite. https://drive.google.com/file/d/1-tbE725nKROHZ5u_Cunf1PTOPi3cF0Az/view. Viitattu 1.5.2024.

C2 SmartLight Oy julkaisuaika tuntematon. C2 LuconC. Verkkajulkaisu <https://c2smartlight.com/ratkaisut/tuotteet-ja-palvelut/c2-luconc/>. Viitattu 2.5.2024.

Casambi Technologies Oy 2024. About us. Verkkajulkaisu <https://casambi.com/about-us/>. Viitattu 2.5.2024.

KVS Oy julkaisuaika tuntematon. Casambi. Verkkajulkaisu <https://kvsoy.fi/casambi>. Viitattu 15.5.2024

Inventronics Inc 2024. About us. Verkojulkaisu <https://www.inventronics-co.com/about-us/>. Viitattu 15.5.2024.

Laitetoimittaja 2024. Tietoja Inventronics ohjausjärjestelmästä. Yksityinen sähköpostiviesti 3.3.2024. Viestin saaja: Valtteri Korhonen.