



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jaakko Manninen

Valaistuksen ohjaus Smartlink- ja EcoStruxture-järjestelmällä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

30.8.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jaakko Manninen Valaistuksen ohjaus Smartlink- ja EcoStructure-järjestelmällä 30 sivua + 1 liite 30.8.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Projektipäällikkö Mikko Heikkinen Lehtori Tapio Kallasjoki
<p>Tässä insinööriyössä käsiteltiin valaistuksen ohjaustavan muutostyötä sähköurakoinnin näkökulmasta. Työ tehtiin Lsk Electricsin toimeksiannosta Päijät-Hämeen Jätehuollolle Kujalan jätekeskukseen.</p> <p>Työssä toteutettiin muutos vanhoista kellokytkinpohjaisista paikallisohjauksista Smartlink etähallintajärjestelmään sisältäen optioina energianmittauksen ja rekisterikilven luennan. Ohjauksen hallinta ja käyttöliittymän visualisointi tapahtui EcoStructure -ohjelmistolla lähiverkkoyhteyden kautta.</p> <p>Smartlink-etähallintajärjestelmä on muuttuvassa valaistusohjauksessa monipuolinen rajapinta, jonka liittäminen ModBus-väyläisiin laitteisiin on helppoa ja käyttömahdollisuudet monipuolisia.</p> <p>Työn tuloksena valmistui toimiva keskitetty valaistusohjaus. Insinööriyö myös avaa näkökulmia valaistusohjauksien muutostyölle sekä haasteille ja on esimerkkinä valaistusohjauksien muutostyön toteutukselle.</p>	
Avainsanat	Smartlink, katuvalaistus, IOT, sähkötekniikka

Author Title	Jaakko Manninen Lighting Control with Smartlink and EcoStruxture System
Number of Pages Date	30 pages + 1 appendix August 30th 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Mikko Heikkinen Project Manager Tapio Kallasjoki Senior Lecturer
<p>This thesis work concerns the modification of a lighting control from the perspective of electrical contracting. The work was commissioned by LSK Electrics to Päijät-Häme Waste Management PHJ Oy.</p> <p>The work was carried out by changing the lighting control from the clock and twilight switch-based control to the remote manageable Smartlink and EcoStruxture interface.</p> <p>The result of this project is an operational remote controllable smart lighting control with internet-based EcoStruxure user interface.</p>	
Keywords	SmartLink, Smart lighting, IOT, Automation system

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	IoT Valaistuksenohjauksessa	2
3	Smartlink-etäohjausjärjestelmä	3
4	Kenttäväylät	5
5	Projektin kohde ja alkutiedot	9
6	Valmistelevat työt ennen muutostyön aloittamista	10
7	Sähkökeskukset	12
8	Energianmittaus	18
9	Tiedonsiirto ja rekisterikilven luenta	20
10	Käyttöliittymän visualisointi	22
11	Muutokset ja käyttöönotto	24
12	Elinkaarikustannukset	25
13	Yhteenveto	27
	Lähteet	29

Liitteet

Liite 1. Nousujohtokaavio

Lyhenteet

IoT	Internet of Things. Esineiden internet.
MODBUS	Tiedonsiirron kenttäväylä.
PoE	Power over Ethernet, tiedonsiirtoverkossa tapahtuva tehonsiirtotekniikka.
RS-485	Differentiaalinen balansoitu sarjaliikenneväylä.
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol. Internet tietoliikenneprotokolla.
WLAN	Wireless Local Area Network. Langaton lähiverkkotekniikka.
UTP	Unshielded Twisted Pair. Tietoverkkokäyttöön tarkoitettu suojaamaton kierretty parikaapeli.

1 Johdanto

Insinööriyössä perehdytään katuvalaistusohjauksien muutostyöhön sähköurakoitsijan näkökulmasta. Kohdeprojektin tavoitteena on helpottaa valaistuksien ohjausmuutoksia sekä rakentaa jakokeskuskohtainen energianmittaus. Työ toteutetaan käyttäen Schneider Electricin toimittamaa Acti9 Smartlink -etähallintajärjestelmää. Lisäoptiona järjestelmään on valittu energianmittaus sekä rekisterikilven luenta.

Opinnäytetyö tehdään LSK Electrics Oy:lle, joka on kohdeprojektissa pääurakoitsijana. Muutostyön kohteena on Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy:n jätekeskuksen katuvalaistus Lahdessa. Muutostyön periaatteellisesta suunnittelusta vastasi Granlund Lahti Oy ja automaation ohjelmoinnista Schneider Electric Finland Oy. Tilaajapuolen valvontakonsulttina toimi KP-Suunnittelu Oy.

2 IoT Valaistuksenohjauksessa

Älykkäällä valaistuksenohjauksella tarkoitetaan keskitettyä rajapintaa, jolla ohjataan valaistusta esimerkiksi lähiverkkoyhteyden välityksellä. Järjestelmään on mahdollista liittää sensoreita ja muuta arvokasta informaatiota kerääviä komponentteja.

Esineiden internetin (IoT) käyttö valaistuksenohjauksessa on yleistynyt paljon 2010-luvulla. Kansainvälisten taloustutkimusten mukaan valaistuksenohjausjärjestelmien myyntiin odotetaan nelinkertaistuvan nykyisestä vuosikymmenen loppuun mennessä. (1.)

Esineiden internetin käytössä valaistuksenohjaukseen etuina on järjestelmän sopeutus käyttötilanteiden muutoksiin sekä kerätyn tiedon hyödynnettävyys muissa järjestelmissä. Älykkään valaistuksenohjauksen etuina ei ole ainoastaan saavutettu energiansäästö vaan myös järjestelmän keräämä arvokas tieto, jonka hyödyntäminen liiketoiminnassa voi ylittää moninkertaisesti energiansäästön kautta saavutetut kustannussäästöt.

Optimoitu valaistuksenohjaus pidentää valonlähteiden elinikää valaistuksen turhien käyttötuntien poistuessa ja vähentää huoltokustannuksia. Ohjaustapojen muutokset avaavat myös tulevaisuudessa uusia liiketoimintamalleja ja erilaisten järjestelmien sovelluksia.

3 Smartlink-etäohjausjärjestelmä

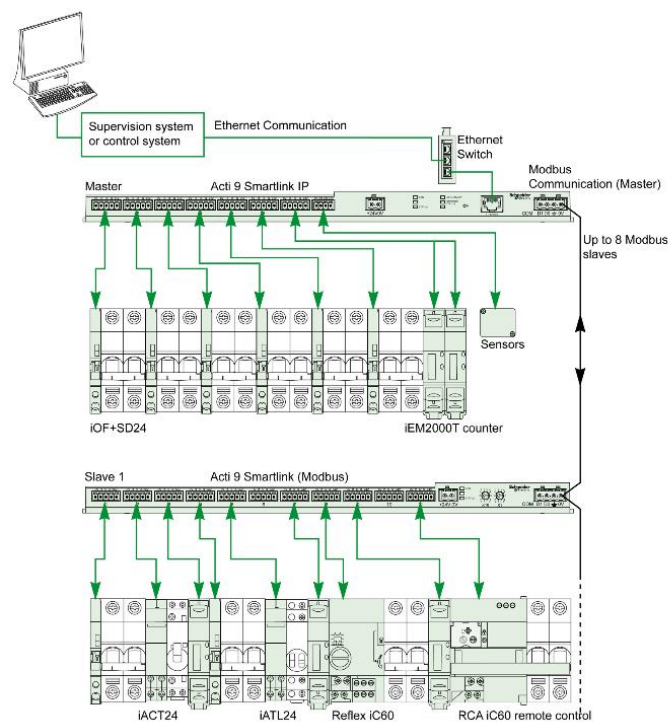
Smartlink-etäohjausjärjestelmällä tarkoitetaan modulaarista keskitettyä rajapintaa, joka on lisäkomponenttien avulla muokattavissa erilaisiin käyttötarkoituksiin.

Kattavien lisäkomponenttien ansiosta järjestelmän käyttötarkoituksen muokkaaminen erilaisille käyttötarkoituksille on helppoa. Yleisimpiä järjestelmän käyttöalueita ovat kuormanohjaukset, energianmittaus ja valvontakäyttö. (2.)

Topologia

Tiedonsiirto Smartlink -järjestelmässä tapahtuu Modbus -kenttäväylässä ja fyysisenä siirtotienä voidaan käyttää suoraa RS-485 sarjaliikenneväylää tai Ethernet-yhteyttä. Tiedonsiirto Smartlink -kenttälaitteilta EcoStructure-järjestelmään tapahtuu SmartX -automaatiopalvelimen avulla. Esimerkki Smartlink -järjestelmän topologiasta on esitetty kuvassa 1.

Acti 9 Smartlink Ethernet Communication System Block Diagram



Kuva 1. Smartlink-järjestelmän topologia (3, s.10).

Hyödyt

Smartlink -järjestelmällä luotu rajapinta lisää valaistuksen ohjauksen muokattavuutta erilaisten käyttötarkoitusten mukaan sekä tuo myös energiansäästöjä optimoidun valaistusohjauksen kautta. Järjestelmän laajennettavuus ja monikäyttöisyys on nykypäivänä eduksi älykkäiden sovelluksien kehittyessä. Etuina ei pelkästään ole mukavuuskäyttö ja helppo ohjaus, vaan järjestelmällä on myös helppo kerätä arvokasta dataa tarkasti esimerkiksi energiankulutuksesta kellonaikojen mukaan. Ohjauksien optimointi pidentää valonlähteiden käyttöikää ja vähentää mahdollisia huoltokustannuksia. Kerätyn datan avulla on mahdollista optimoida teollisia prosesseja ja seurata tarkasti tuotannon tilaa.

Toteutus

Suunniteltaessa valaistuksen ohjaustavan muutosta IoT -pohjaiseen järjestelmään on selvitettävä muutostyön kohteen soveltuvuus muutokselle sekä tarvittavien ohjauksien laajuus ja resurssit tiedonsiirtoverkon toteuttamiseen.

Komponentit

Järjestelmään on mahdollista lisätä Modbus RS485 -väylästandardin komponentteja sekä Schneider Electricin Acti9 -tuoteperheen valmiilla liitosjohdoilla varustettuja modulaarisia komponentteja. Yhteensopivat modulaariset komponentit ovat listattuna kuvassa 2.

Acti 9: Acti 9 iDPN
 Acti 9: Acti 9 iDPN Vigi
 Acti 9: Acti 9 DT40
 Acti 9: Acti 9 C40
 Acti 9: Acti 9 ITG40
 Multi 9: Multi 9 C60
 Acti 9: Acti 9 iID
 Acti 9: Acti 9 iSW-NA
 Acti 9: Acti 9 iC60
 Acti 9: Acti 9 DT60
 Linergy: Linergy FM
 Acti 9: Acti 9 iCT apukosketin
 Acti 9: Acti 9 I-NA
 Acti 9: Acti 9 Reflex iC60 Ti24 liitin
 Acti 9: iTL apukosketin
 Acti 9: iOF+SD 24
 Acti 9: iACT24
 Acti 9: iATL24
 Powerlogic: pulssilähtömittari
 Acti 9: RCA iC60

Kuva 2. Listaus modulaarisista komponenteista (2).

Asentaminen

Smartlink -laitteen ja moduulien asennus tapahtuu DIN-kiskoon. Tarvittaessa lisäkomponenteilla Smartlink -laitteen voi asentaa myös DIN-kiskon taakse tai päälle. Esimerkki komponenttien asennuksesta DIN-kiskoon kuvassa 3.



Kuva 3. Esimerkki modulaaristen komponenttien asennustavasta (2).

4 Kenttäväylät

Kenttäväylä on teollisen internetin tiedonsiirron protokolla, joka mahdollistaa tiedonsiirron kenttälaitteiden ja automaatiojärjestelmien välillä (4, s.3). Kenttäväylien fyysinen siirtotie on yleensä parikaapeli. TCP/IP-pohjaisten ratkaisujen myötä tiedonsiirto voi olla myös langatonta tai optista. Useat teollisen internetin kenttäväylät käyttävät fyysisinä siirtotieinä standardoituja sarja- ja tietoliikenneväyliä.

RS-485

RS-485 tarkoittaa tiedonsiirron standardia differentiaaliselle balansoidulle sarjaliikenneväylälle, johon on mahdollista liittää useita väylälaitteita samanaikaisesti (7). Kaksijohtimisessa RS-485 (Half Duplex) -väylässä tiedonsiirto tapahtuu yksi laite kerrallaan ja nelijohtimisessa (Full Duplex) väylässä tiedonsiirto on kaksisuuntaista (5, s.1). Väylien toimintaperiaatteet esiteltä kuvassa 4.

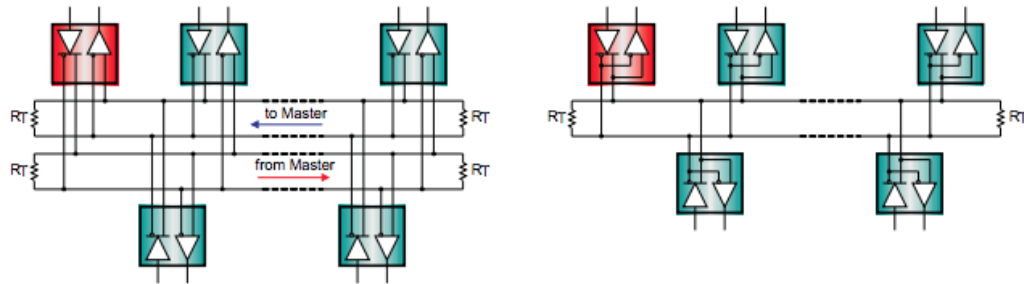
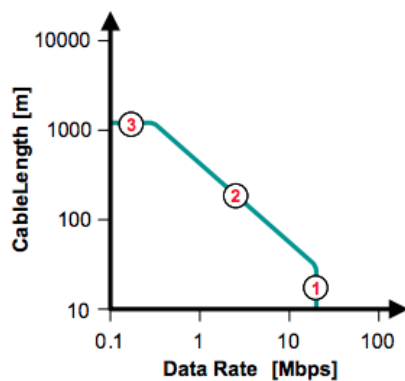


Figure 2. Full-Duplex and Half-Duplex Bus Structures in RS-485

Kuva 4. Tiedonsiirto RS-485 väylässä (5, s.2).

Tiedonsiirtonopeus riippuu kaapelin pituudesta kenttälaitteiden välillä. Esimerkiksi 12 metrin väyläpituudella saavutetaan suurin mahdollinen tiedonsiirtonopeus 10 Mb/s. Väylän maksimipituudella 1200 m tiedonsiirtonopeus on enää 0,1 Mb/s (6, s.2). Nykypäivän kehittyneemmät RS-485 -sovellukset yltävät jopa 40 Mb/s tiedonsiirtonopeuteen (5, s.5).



Kuva 5. Kaapelipituuden vaikutus tiedonsiirtonopeuteen RS-485 väylässä (5, s.5).

Väylän kaapelointi tapahtuu parikaapeleilla esim. UTP. Linjan alku- ja loppupäihin on sijoitettava 120 Ω :n päätevastukset, joilla ehkäistään signaalin heijastumisesta aiheutuvia häiriöitä. Kohteissa, joissa on paljon häiriöitä ja pitkä siirtoväli, on mahdollista käyttää myös 60 Ω :n päätevastuksia sekä 220 pF:n kondensaattoreita alipäästösuotimina (kuva 6). (5, s.3.)

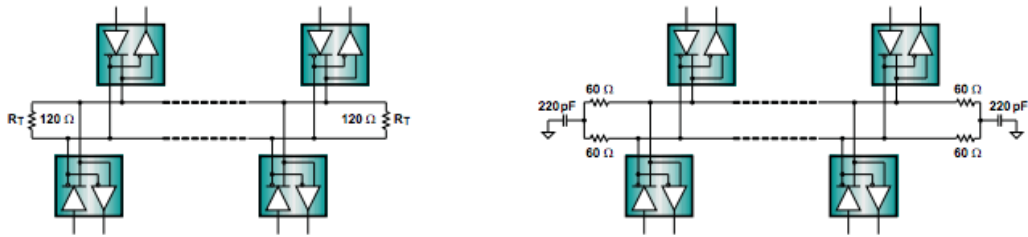
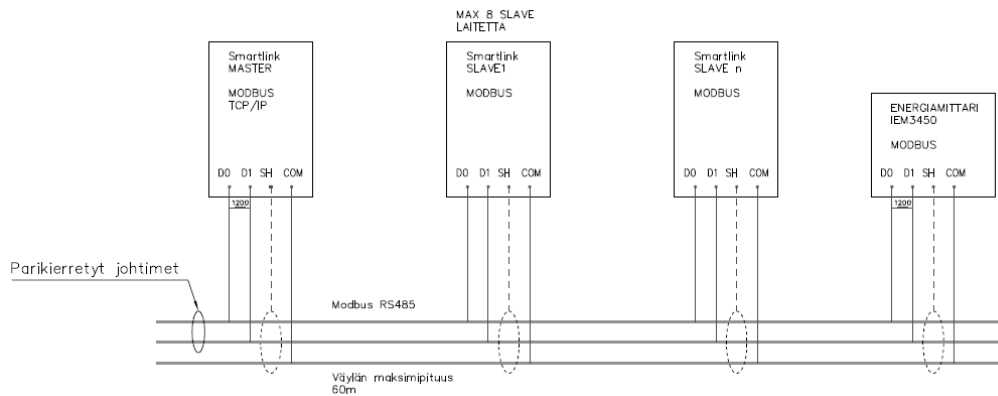


Figure 5. Proper RS-485 Terminations

Kuva 6. RS-485:n päätevastuskytkennät (5, s.3).

RS485 -väylän suositeltu maksimipituus Smartlink RS-485 Modbus -sovelluksessa on 1000 m (3, s.38). Esimerkki Modbus -väyläkytkennöistä Smartlink -sovelluksessa kuvassa 7.



Kuva 7. Esimerkkikytkentä Modbus RS-485 kentälaitteille Smartlink sovelluksessa.

Modbus TCP/IP

Modbus TCP/IP tarkoittaa osoitteellista tiedonsiirtoväylää, jolla toteutetaan tiedonsiirto Modbus -kentälaitteilta valvontapalvelimelle käyttäen TCP/IP-protokollaa (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) (6). Esimerkki Modbus TCP/IP -tiedonsiirron topologiasta kuvassa 8.

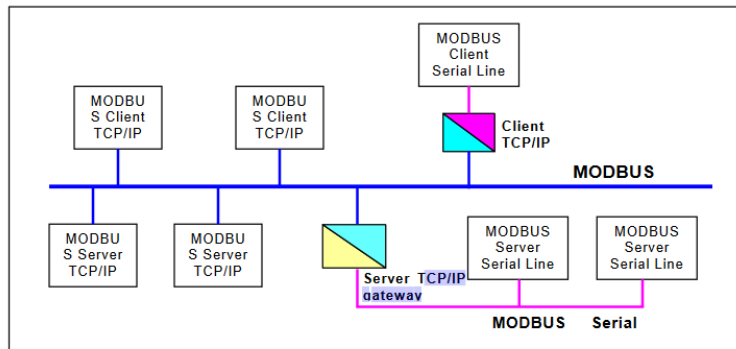


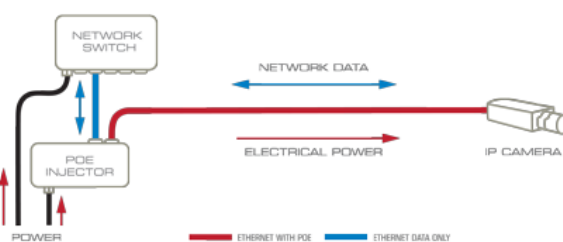
Figure 1: MODBUS TCP/IP communication architecture

Kuva 8. Modbus TCP/IP tiedonsiirtoväylän esimerkkikaavio (6).

PoE

Power over Ethernet (PoE) tarkoittaa tekniikkaa, jolla voidaan toteuttaa pienitehoinen tehonsyöttö parikaapelia pitkin Ethernet-verkon aktiivilaitteille. Tehonsyöttö järjestelmään tapahtuu PoE-injektorilla tai kytkimellä parikaapelin lähtöpisteessä (kuva 9).

Alkuperäinen vuoden 2003 standardi IEEE802.3af määrittelee PoE-laitteiden käyttöjännitteeksi 48 V DC ja maksimi tehoksi 12,95 W yhtä laitetta kohden. (8, s. 19.) Tekniikkaa voidaan käyttää vain Ethernet laitteiden kanssa, jotka ovat PoE yhteensopivia. Uudemmat IEEE802.3at Standardin mukaiset PoE+ -sovellutukset tukevat jo suurempia tehoja, 25,5 W laitetta kohden. (8, s.26.)



Kuva 9. Esimerkki PoE -injektorin käytöstä kameravalvonnassa (9).

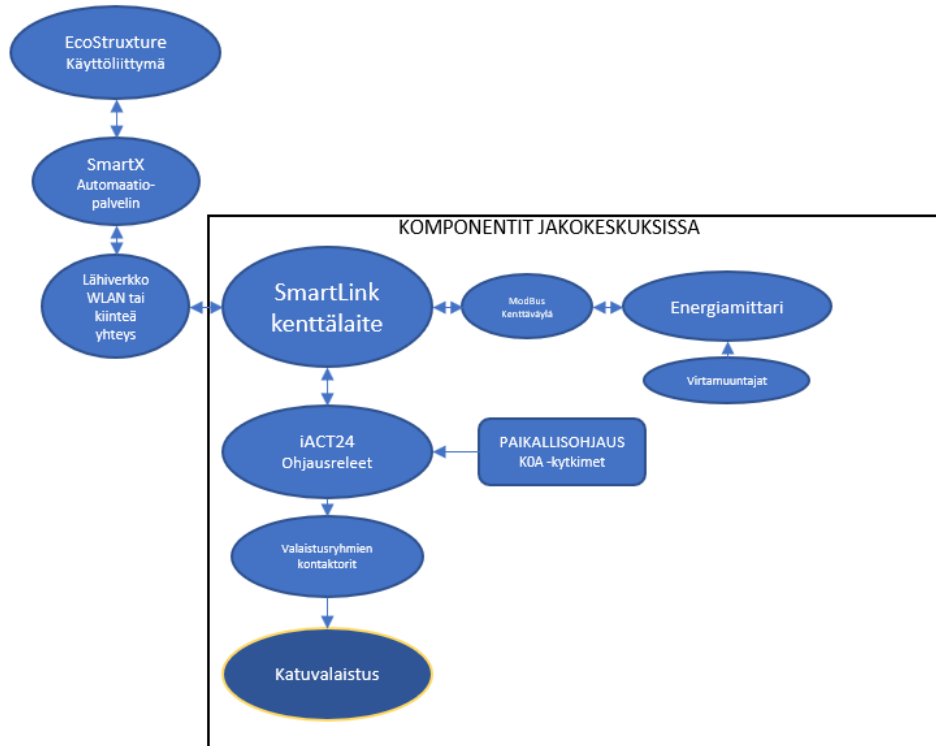
5 Projektin kohde ja alkutiedot

Projektissa muutostyön kohteena oli Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy:n jätekeskuksen valaistusohjaukset Lahden Kujalassa. Aikaisempi ohjaustapa kattoi hämärä- ja kellokytkin-pohjaisia paikallisia keskuskohtaisia ohjaustapoja alueella sijaitsevilla jakokeskuksilla.

Muutostyön tavoitteena oli helpottaa valaistuksen ohjauksien muokattavuutta muuttuvien käyttötarpeiden mukaan sekä saada tarvittava valaistus kulkureiteille yöaikaan kuorma-autojen liikkumista varten. Ohjausmuutoksiin lisättiin myös optiona jakokeskuskohtainen energianmittaus sekä portille rekisterikilven luenta.

Alueella olevat valonlähteet oli vaihdettu suurimmalta osin LED-valonlähteisiin alkuvuodesta 2018. Alueen valaistuksen kokonaisteho uusituilla valonlähteillä on 30,906 kW.

Suunnittelutoimiston toimesta kohteeseen oli valittu toteutettavaksi Smartlink -etäohjausjärjestelmä sekä ohjauksien hallintaa varten EcoStructure-käyttöliittymä. Sähköurakan hankintamenettelyä oli käytetty tarjouskilpailua. Toteutettavan järjestelmän topologia kuvassa 10.



Kuva 10. Toteutettavan järjestelmän topologia.

6 Valmistelevat työt ennen muutostyön aloittamista

Alueen kartoitus

Ennen muutostyön aloittamista oli perehdyttävä perusteellisesti alueella sijaitseviin jakokeskuksiin ja kartoitettava muutostyön vaatima tilantarve. Useimmissa jakokeskuksissa jouduttiin asentamaan lisäkoteleita, joihin sijoitettiin etäohjauksen ja tiedonsiirron vaatimat komponentit.

Alueen laajuuden takia oli kartoitettava muutoksen kohteena olevien jakokeskusten työntekijöiden sähkökatkojen vaikutus mahdolliseen muuhun alueella tapahtuvaan käyttöön ja suunniteltava sähkökatkot keskuskohtaisesti niin, ettei siitä koidu työn tilaajapuolelle tuotannollista ja taloudellista haittaa. Jakokeskusten kuormana oli pääosin alueella tapahtuvan tuotannon tarvitsema energia ja alueen valaistus. Listausta asennustyön kohteena olevista jakokeskuksista taulukossa 1.

Taulukko 1. Asennustyön kohteena olevat jakokeskukset.

1	PK MIKROTURBIINI
2	JK.KK ETELÄINEN
3	PHJ 2006.1
4	PHJ2007.1
5	PHJ2007.2
6	PHJ2007.3
7	PHJ2007.4
8	PHJ2013.01
9	PHJ2014.1
10	PHJ2015.01
11	PHJ2005.2
12	PHJ2008.01
13	JK1.05
14	PHJ2017.01

Nousujohtokaaviosta (liite 1) voidaan tarkastella asennustyön kohteena olevien jakokeskusten sijainti alueella.

Tavaratilaukset ja toimitukset

Acti9- laitteiden ja virtamuuntajien toimituksen hoiti Schneider Electric. Muut projektiin liittyvät materiaalit tilattiin LSK Electricin kanssa yhteistyössä toimivilta tavarantoimittajilta ja valmistajilta. Tilausjärjestelmänä käytössä oli Visma L7 sekä jakokeskustilauksissa tarjouspyyntökyselyt.

Tiedonsiirtoverkko

Alueella oli mahdollista käyttää kiinteää yhteyttä tai rakentaa pidemmille etäisyyksille langattomia verkkoyhteyksiä WLAN-tukiasemien avulla. Suurimmassa osassa keskukset tiedonsiirto toteutettiin langattoman verkon tukiasemilla, sillä lähellä ei ollut mahdollisia jakamoita kiinteälle yhteydelle.

Ennen työn alkua oli kartoitettava langattoman verkon antennien sijainnit ja suuntaukset. Samalla valittiin työn tilaajan hyväksymät jakokeskuskohtaiset tukiasemat. Haasteita langattoman verkon toteutukselle aiheuttivat alueella vallitsevat korkeuserot.

Työpiirustukset

Ennen projektin alkua oli laadittava asentajille työpiirustuksia ohjauskytkentöjen muutoksia varten sekä toteutuksen periaatekuvia. Piirustusten piirtäminen tapahtui CADS Planner -ohjelmistolla ja työtapaakohtaisten ohjeiden laadinta MS Word -ohjelmalla.

Työn organisointi

Työstä laadittiin aikataulukkaavio (Gantt-kaavio) projektin työvaiheiden ja keskusten jännitekatkojen ajoittamiseksi. Samalla laadittiin myös työmenetelmäkohtainen ohjeistus keskuksilla tehtäville muutostöille. Yleisesti muutostöihin varattiin yksi päivä jakokeskusta kohden, ellei samalla tehty myös muita korjaustoimia.

7 Sähkökeskukset

Keskusten rakenne

Alueella sijaitsevat sähkökeskukset olivat yleisesti rakenteeltaan maajalustallisia katujakokaappeja (kuva 11) ja kennotyyppisiä jakokeskuksia.



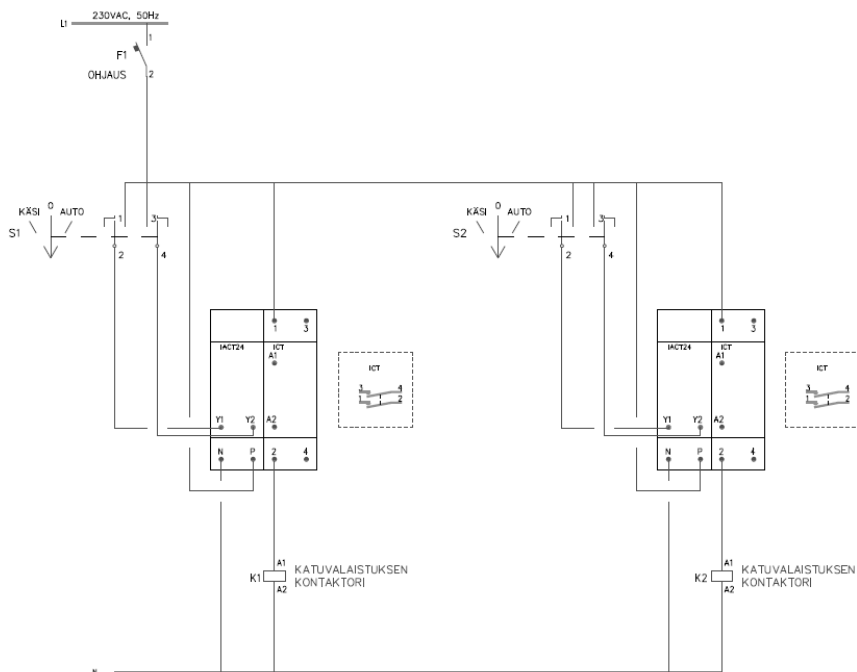
Kuva 11. Alueella sijaitseva katujakokaappi.

Kontaktorihjaukset ja paikalliskäyttö

Jakokeskuksissa oli mahdollisuus käyttää valaistusta paikallisesti automaatti- tai käsikäyttöllä. Vanha ohjaustapa ohjasi suoraan valaistusryhmien kontakteita käsikäytöllä tai hämäräkytkimen ja kellokytkimen avulla määriteltujen viikko-ohjelmien mukaan.

Paikalliskäyttökytkimet muutettiin ohjaamaan Smartlink-järjestelmän älykkäitä IACT24-releitä, jotka ohjaavat valaistuksen kontakteita (kuva 12). Samalla purettiin vanhat kellokytkinohjaukset ja hämäräkytkimet pois.

Paikalliskäyttökytkimien kytkentämuutos aikaisemmasta suorasta kontaktorihjauksesta IACT24-releiden ohjaukseen mahdollistaa paikalliskäyttökytkinten tilan indikoinnin ja seurannan Smartlink-järjestelmässä.



Kuva 12. Paikalliskäyttökytkimien piirikaavio.

Lisäkotelot

Keskuksien tilanpuutteen vuoksi useimmissa katujakokaapeissa ohjauskomponentteja varten asennettiin keskuksen pienvirtaosan vierelle lisäkotelot (kuva 13).



Kuva 13. Ohjauskomponenttien asennus lisäkoteloon.

Lisäkoteloiden valintaan vaikuttivat alueilla muodostuva pöly ja mahdollinen ulkotiiloissa pinnalle tiivistyvä kosteus. Tästä johtuen lisäkoteloiden koteloitiluokaksi valikoitui IP66. Ulkokäyttöön tulevissa asennuksissa oli myös huomioitava asennettavien laitteiden lämpötilakestoisuus.

EMC-vaatimukset ja ylijännitesuojus

Laitteiden sijoittelussa pyrittiin välttämään Smartlink-laitteiden sijoitusta lähelle suurivirtaisia kiskostoja mahdollisten induktiivisten tai kapasitiivisten kytkentöjen aiheuttamien häiriöiden välttämiseksi. Asennettavat laitteet täyttivät CE-merkinnällä olennaiset EMC-direktiivien 2014/30/EU ja 2014/53/EU suojausvaatimukset.

Alueen laajuuden takia oli otettava huomioon myös ilmastollisten ylijännitteiden mahdollisuus laitteiden valinnassa. Aluevalaistuksien kaapelointi oli toteutettu pääosin maakaapeleilla. Tievalaistuksessa oli myös lyhyitä osuuksia kaapeloituna ilmajohtoina riippukierrekaapelilla (AMKA). Alueella sijaitsevista jakokeskuksista ei ollut keskuskohtaisia ylijännitesuojia.

Ylijännitteet voidaan jakaa pitkäaikaisiin ja lyhytaikaisiin ylijännitteisiin. Pitkäaikaisten ylijännitteiden jännitetaso on useasti matala. Lyhytaikaisten transienttiylijännitteiden kesto on sekunnin murto-osia ja jännite voi nousta kymmeniin tai satoihin megavoltteihin. Transienttijännitteet voivat kytkeytyä galvaanisesti, kapasitiivisesti tai induktiivisesti. (10, s.79.)

Salamaniskun yhteydessä syntyy ja siirtyy transienttijännitteitä, jotka voivat kytkeytyä maakaapelin lähelle iskeneen salaman aiheuttaman maan potentiaalieron nousun tai induktiivisen kytkeytymisen takia. Salamaniskuista kytkeytyneet transienttijännitteet aiheuttavat usein vahinkoa. Käytännössä todennäköistä vaaraa esiintyy vähintään 500 metrin päässä salaman iskeytymispaikasta. (10, s.81.)

Standardi IEC 60664-1 määrittelee pienjännitejärjestelmän sähkölaitteiden vaaditut syöksyjännitekestoisuudet ylijänniteluokkien mukaan.

Taulukko 2. Sähkölaitteiden ylijänniteluokat ja syöksyjännitekestoisuudet (10, s.82).

Asennuksen nimellijännite V	Laitteille vaadittu impulssiylijännitteen kestävyys			
	kV			
Kolmi-vaihe- järjestelmä	Laitteet asennuksen liittymiskohdassa (ylijänniteluokka IV)	Pää- ja ryhmä- johtojen laitteet (ylijänniteluokka III)	Laitteet (ylijänniteluokka II)	Eryteisesti suojatut laitteet (ylijänniteluokka I)
230/400	6	4	2,5	1,5
400/690	8	6	4	2,5
1000	12	8	6	4

Ylijänniteluokka IV Sähkölaitteet, jotka on tarkoitettu käytettäväksi asennuksen syöttöpisteessä tai sen läheisyydessä esimerkiksi pääkeskuksen syötön puolella

Ylijänniteluokka III Sähkölaitteet, jotka liittyvät kiinteään sähköasennukseen pääkeskuksessa tai siitä eteenpäin

Ylijänniteluokka II Sähkölaitteet, esimerkiksi kotitalouskojeet, kädessä pidettävät työkalut ja vastaavat kuormitukset

Ylijänniteluokka I Sähkölaitteet, joka ovat hyvin herkkiä ylijännitteille. Laitte soveltuu liitettäväksi rakennuksen kiinteään sähköverkkoon edellyttäen, että suojaus transienttiylijännitteiden rajoittamiseksi määrätulle tasolle tehdään laitteen ulkopuolella.

Taulukosta 2 katsottuna kohteeseen asennettavien sähköverkkoon kytkettyjen laitteiden on täytettävä ylijänniteluokan 2 vaatimukset.

Toteutuksen haasteet

Muutamilla katujakokaapeilla havaittiin useita ongelmia. Keskuksissa ei ollut mahdollista asentaa lisäkoteloa katujakokaapin sisäpuolelle pienvirtaosan läheisyyteen. Samoissa keskuksissa oli myös sähköturvallisuuspuutteita (kuva 14). Kaikkein ongelmallisimmat keskuksat korvattiin kokonaan uusilla jakokeskuksilla ja yksi sisätiloissa sijainnut keskus kytkentätalaltaan kunnostettiin.

Projektin alussa ilmeni, ettei kahdelta urakkaan sisältyvältä jakokeskukselta lähtenyt valaistuslähtöjä, mutta keskuksille oli määritelty asennettavaksi ohjaus sekä energianmittaus. Kyseiset keskuksat sovittiin jätettäväksi urakasta pois ja hyvitetäväksi urakan kokonaissummasta.



Kuva 14. Ongelmallisen katujakokaapin kytkentätila.

Työskentely keskuksilla

Jakokeskuksien sähkökatkoista riippuen jouduttiin osittain tekemään asennuksia lähityönä, jolloin on otettava huomioon jakokeskuksissa sijaitsevat suurivirtaiset kiskostot. Lähityön osalta sovellettiin standardin SFS600-2 kohtaa 6.4.3.

Yleisin työskentelytapa asennuksissa oli työskentely jännitteettömänä, noudattaen standardin SFS600-2 määrittämiä 6.2 työskentely jännitteettömänä:

Kun työkohde sähkölaitteistosta on määritelty, tehdään seuraavat viisi tärkeää toimenpidettä seuraavassa määritellyssä järjestyksessä, ellei ole välttämätöntä toimia muulla tavalla: -Täydellinen erottaminen -jännitteen kytkemisen estäminen -laitteiston jännitteettömyyden toteaminen – työmaadoittaminen – suojaus lähellä olevilta jännitteisiltä osilta. (11, s.63.)

Asennustyötä toteutti kahden kokeneen sähköasentajan työryhmä keskuskohtaisten suunnitelmien ja työtapaohjeen perusteella. Myös alueen käytönjohtajaa oli informoitu tapahtuvista muutostöistä ja muutoksen kohteena olevista jakokeskuksista.

Kaapeloinnille omat haasteensa aiheutti pienois- ja pienjänniteosien läheisyys. Pienjännitekaapelointi jakokeskuksen ja lisäkotelon välillä toteutettiin käyttäen muovivaippakaapeleita (MMO, MMJ). Muutamissa keskuksissa johdotus tapahtui sisäisesti johtimilla (ML, MK). Pienois- ja pienjänniteosien läheisyyden osalta vaadittavat asennustavat määrittelee standardi SFS600-1: 414.4.

Lyhyet väyläkaapeloinnit toteutettiin instrumentointikaapelilla (NOMAK) ja pienoisjännitekaapelointi merkinantokaapeleilla (KLMA). Modulaaristen Acti9 -komponenttien johdotus ja kytkentä tapahtui laitteiden valmistajan toimittamia valmiita liitosjohtoja käyttäen.

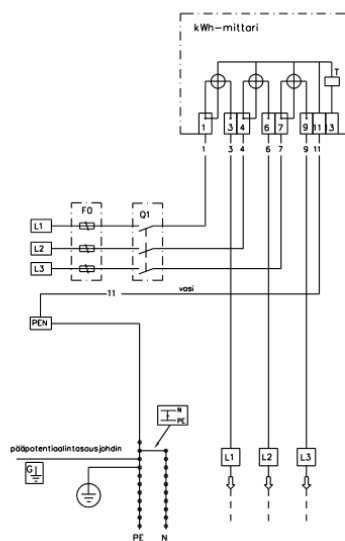
Vedonpoistona kaapeloinnille käytettiin holkkitiivisteitä ja laippatiivisteellä kaapelien välitöntä kiinnitystä. Läpivienneissä käytettiin myös tarvittaessa kalvotiivisteitä.

8 Energianmittaus

Energiamittareina kohteessa käytettiin Schneider Electricin IEM 3250 ja IEM 3450 älykkeitä energiamittareita, jotka yhdistyvät Smartink-laitteeseen Modbus-kenttäväylän avulla. PowerLogic PM5100 verkkoanalysaattoreita asennettiin kahden sisätiloissa sijaitsevan keskuksen kansiosaan. Energianmittauksen tavoitteena oli mitata keskuskohtaista kokonaisenergian kulutusta. Valittavana on kaksi tapaa energianmittaukseen: suora ja epäsuora mittaus.

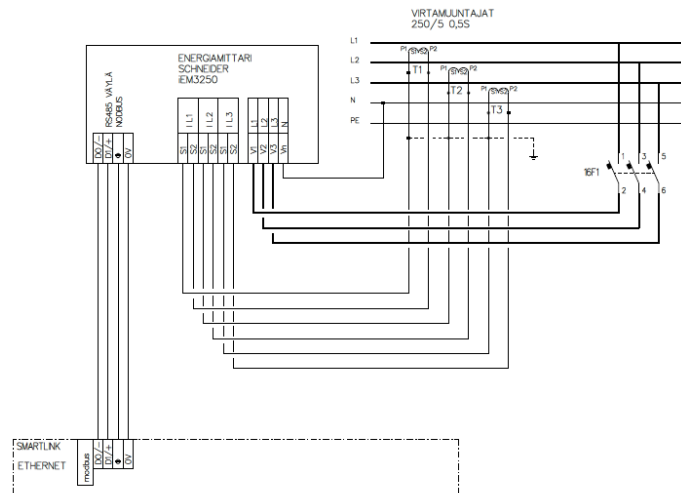
Suoralla energianmittauksella tarkoitetaan mittaustapaa, jossa virta kulkee suoraan energiamittarin läpi (kuva 15). Tällä mittaustavalla mittaria edeltävä sulakekoko on ≤ 63 A.

Energianmittaus toteutettiin epäsuoralla mittaustavalla, käyttäen mittamuuntajina virtamuuntajia keskuksen nimellisvirran mukaisesti. Yleisin jakokeskuksen nimellisvirta alueella oli 250 A, jonka takia oli käytettävä epäsuoraa energianmittaustapaa (kuva 16).



Kuva 15. Suora mittaustapa (12).

Epäsuoraa mittaustapaa käytettäessä käytetään mittamuuntajina virtamuuntajia, joiden koko valitaan keskuksen nimellisvirran mukaisesti. Epäsuoraa mittaustapaa käytetään, kun mittaria edeltävä sulakekoko on >63A.



Kuva 16. Epäsuora mittaustapa.

Schneider Electricin toimittamat virtamuuntajat olivat kooltaan 300/5A Ik 0,5 ja 400/5A Ik 0,5. Mittamuuntajien tarkkuusluokan energian kulutusmäärien mukaan määrittelee SFS 3381 taulukko 10.1c (ks. taulukko 3).

Taulukko 3. Mittamuuntajien tarkkuusluokat SFS 3381 mukaan (13, s.5).

Taulukko 10.1c. Mittarien ja mittamuuntajien tarkkuusluokat

Vuosittainen energian kulutus MWh	Mittarien tarkkuusluokka	Mittamuuntajien tarkkuusluokka
alle 1 000	2	0.5
1 000...10 000	1	0.2
yli 10 000	0.5 ¹⁾	0.2

¹⁾ Hyvin suurten energiamäärien mittauksessa käytetään tarkkuusluokan 0,2 mittareita.

Virtamuuntajien pitkien toimitusaikojen takia osassa jakokeskuksia käytettiin avattavia virtamuuntajia, jotka antavat ulos jännitetietoa virran sijaan. Avattavissa virtamuuntajissa on sisäinen vastus, jonka ylimenevää jännitetietoa analysoidaan energiamittarilla.

Kyseisten virtamuuntajien asennuksessa ratkaistavana ongelmana oli kiinnityspisteiden puute, virtamuuntajien kiinnitykseen sovellettiin asennuskiskoja (kuva 17).



Kuva 17. Avattavia virtamuuntajia tuettuna asennuskiskoilla.

9 Tiedonsiirto ja rekisterikilven luenta

Tiedonsiirron kenttäväylää varten alueelle rakennettiin kattava WLAN-verkko ja jakokeskuskohtaiset tukiasemat. Osassa jakokeskuksia yhteys oli mahdollista toteuttaa kiinteästi lähellä olevan jakamon kautta. Haasteita WLAN-verkon toteutukselle aiheuttivat alueella vallitsevat korkeuserot.

Tiedonsiirron langattomien tukiasemien laitteiksi jakokeskuksille valikoitui Planet WAP-252N WLAN-tukiasemat erillisillä antennilla. Tukiasemien tarvitsema tehonsyöttö tapahtui parikaapelia pitkin Power over Ethernet (PoE) tekniikalla.

Tehonsyötön PoE-injektorit ja virtalähteet asennettiin ohjauskomponenttien kanssa samaan lisäkoteloon. Antenniputkena käytettiin XYHO 42 x 2,5 alumiiniputkea ja verkko-yhteyden liitosjohtoina valmiita RJ45 CAT6 UTP -liitosjohtoja. Antennien liittäminen tukiasemaan tapahtui N-liittimillä varustetuilla koaksiaalikaapeleilla.

Teollisen internetin käytön lisääntyminen asettaa myös haasteita laitteiden tarvittavalle tietoturvalle. Kunnollisella automaatiojärjestelmien suojauksella vältetään niiden väärinkäyttöä ja mahdolliselta laitteiden valjastukselta palvelunestohyökkäyksiin. (14.)

Kohdeprojektissa tietojärjestelmien konfiguroinnista ja tietoturvasta vastasi Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy.

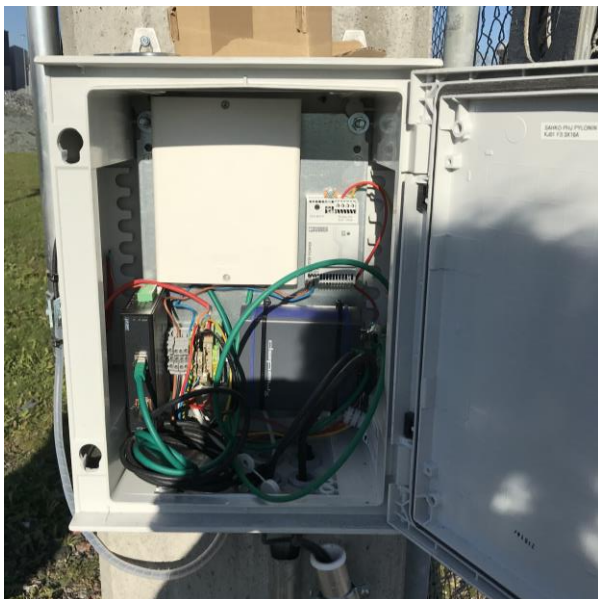
Rekisterikilven luenta

Jätekeskuksen portille toteutettiin rekisterikilven luenta, jonka tarkoituksena on lukea saapuvan kuorma-auton rekisterikilpi yöaikaan, kun jäteasema on suljettu. Rekisterikilven luennan onnistuttua, järjestelmä sytyttää valot kuorma-autolle määritellyille kulkureille sekä avaa portin.

Rekisterikilven luenta tapahtuu portilla olevan lukija- ja analysointilaitteen avulla (kuvat 18, 19). Järjestelmä on yhdistetty kulunvalvonnan järjestelmään (Esmikko), jonka kautta tapahtuu portin kulkuluvan hallinta sekä portin avaus.



Kuva 18. Rekisterikilven luentalaite asennettuna jätekeskuksen portille.



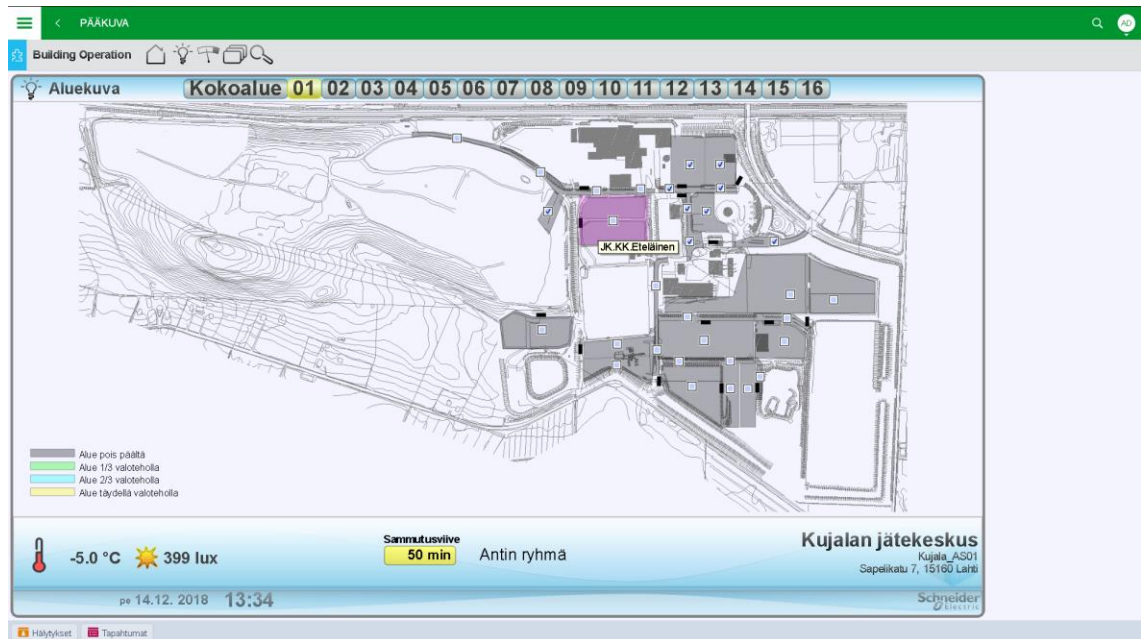
Kuva 19. Rekisterikilven tunnistuslaitteisto.

Tunnistuslaitteiston asetuksien määrittelyn hoiti Schneider Electric ja integroinnin kulunvalvontajärjestelmään Turvakolmio Oy.

10 Käyttöliittymän visualisointi

Automaatiojärjestelmissä visualisoinnilla tarkoitetaan käyttöliittymää, jolla voidaan tehdä määrittämiä järjestelmälle sekä seurata järjestelmän keräämää dataa. Selainpohjaista käyttöliittymää on mahdollista käyttää tietokoneilla tai älylaitteilla. Järjestelmän visualisointi yksinkertaistaa järjestelmän käyttöä ja helpottaa uusien parametrien asettamista. Visualisoinnista on myös mahdollista seurata järjestelmän laitteiston toimintatilaa.

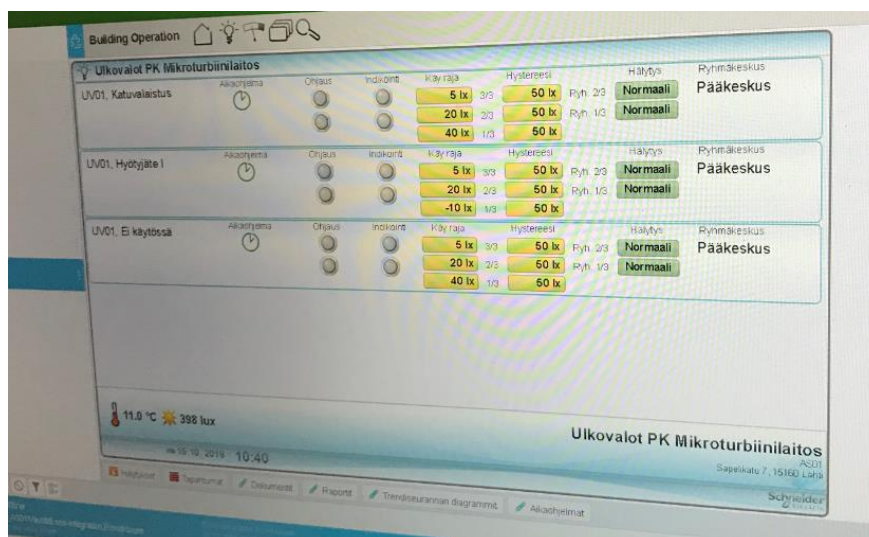
Kohdeprojektissa laitteiston konfiguroinnista ja visualisoinnista vastasi Schneider Electric. Käyttöliittymäksi oli valittu selainpohjainen Schneider EcoStructure. Käyttöliittymän visualisointien ohjelmointi tapahtui Schneider Electricin SmartStructure-ohjelmistolla. Alueella tapahtuvien valaistusohjausten indikointi näkyy visualisoinnissa pisteinä (kuva 20).



Kuva 20. Visualisoinnin yleisnäkymä.

Valaistusohjaus

Valaistusohjauksessa ohjelmaan määritettiin viikkotoiminnot ja valoisuusanturin raja-arvot (kuva 21). Rekisterikilven luentaa varten on määritelty valaistuksen sammutusviive, jonka aikana oletetusti alueella liikunut ajoneuvo on poistunut.



Kuva 21. Esimerkki valaistusohjauksien parametreista.

Järjestelmä kerää energiamittaus tietoa keskuskohtaisesti ja tilastoi käytetyn energian määrän kilowattitunteina (kWh) tai megawattitunteina (MWh) (kuva 22). Energiämittauksesta saadaan lisäksi tilastoitua hetkellisiä huipputehoja käyttöaikojen mukaan ja verkkoanalysointoreista myös kuorman tehokertoimia ($\cos \varphi$).



Kuva 22. Esimerkinäkymä energiamittauksen tilastoinnista (15).

11 Muutokset ja käyttöönotto

Projektin loppuvaiheessa ilmeni urakan tilaajapuolelta tarve ohjata valaistusta myös portaattain. Kyseisestä ohjaustavasta ei ollut mainintaa sähkötyöselityksessä tai merkittävää vaiheistusjakoa aikaisemmillä ohjaustavoilla aluepiirustuksissa. Valaistusohjaus oli toteutettu suunnitelmissa määriteltyjen valaistusalueiden mukaisesti. Valaistuksen porrashaus tarkoittaa valaistuslähdeissä vaihekohtaisia ohjauksia.

Valaistusohjauksen portaat 1/3, 2/3 ja 3/3 toteutettiin lisäämällä 2 kpl IACT24 -releitä ja valaistusryhmien kontaktoreita jokaiseen jakokeskukseen. Samalla tarkistettiin myös vaiheistusjaot valonheitinpylväissä, joihin oli alkuvuodesta 2018 vaihdettu uudet valonlähteet.

Ennen järjestelmän toimintakokeita asennuksille tehtiin standardin SFS 6000:6-61 ja sähköturvallisuuslain 1135/2016 §43 määrittelemä käyttöönottotarkastus. Yleisesti käyttöönottotarkastuksissa ei löytynyt toteutetuista asennuksista puutteita. Yhdellä

jakokeskuksella havaittiin ajoittaista sulakkeiden palamista valaistuselähdössä, eristysvastusmittauksissa paljastui vian aiheuttajaksi maahan asennetun kaapelin eristevika. Havaitusta kaapeliviasta laadittiin tiedoksi tieto sähkölaitteiston haltijalle.

Toimintakokeissa testattiin paikallisohjausten toimivuus ja etäohjauksien toiminta yhteistyössä automaatiourakoitsijan kanssa.

Jokaisen muutoksen kohteena olleen jakokeskuksen piiri- ja nousukaaviot päivitettiin vastaamaan toteutettuja muutoksia. Päivitetyt kaaviot sekä laitteiden käyttö- ja huolto-ohjeet luovutettiin sähkölaitteiston haltijalle työn luovutuksen jälkeen.

12 Elinkaarikustannukset

Esimerkkikohteessa vuosittaisiin elinkaarikustannuksiin vaikuttivat pääosin asennetun järjestelmän hankintahinta ja arvioitu käyttöikä. Energiansäästöllä saavutettavat kustannukset valaistuksen ohjaustavan muutoksella esimerkkikohteessa ovat haasteellisia arvioida, koska valaistuksen käyttö riippuu pitkälti alueella tapahtuvasta tuotannosta.

Järjestelmän toteutuksen hankintakustannuksiin vaikuttaa merkittävästi tiedonsiirtoverkon toteutustapa. Esimerkkikohteessa toteutettiin tiedonsiirtoa WLAN-verkolla sekä kiinteällä yhteydellä. Tässä insinööriyössä esitettyjen tuotteiden hintatiedot ovat vähittäiskappalehintoja tavarantoimittajilta ja valmistajilta, eivätkä ne ota huomioon mahdollisia urakoitsijakohtaisia alennusprosentteja. Tarvikekustannukset eriteltynä taulukossa 4.

Taulukko 4. Tarvikkeiden hinnat ja arvioitu asennustyö tuntiperusteisesti. Kustannus yhtä jakokeskusta kohden. (Hintatiedot: Schneider Electric, SLO ja eSoft.)

KPL	Tuote	Tuotekoodi	Hinta €
1	Acti 9 Smartlink Si B	A9XMZA08	192,98
4	iACT24 Smartlink ohjain iCT-kontaktorille	A9C15924	160,44
4	iCT moduulikontaktori 25A 2s 24VAC	A9C20132	40,20
3	Virtamuuntaja 300/5A Ø26 12x40 15x32	METSECT5MB030	37,65
1	iEM3250 energiamittari CT x/5 Modbus	A9MEM3250	110,16
1	Phaseo teholähde 1~ 24VDC 1,2A 30W	ABL8MEM24012	32,76
1	Asennuskotelo EKTH 560X280X100	S3420125	95,50
1	Kotelon kansi ja lisätarvikkeet	S3420175	141,36
1	Kaapelit, johtimet ja pientarvikkeet		69,78
1	Wlan tukiasema	Planet-WAP-252N	166,05
1	Wlan antenni	PLANET-ANT-FP14D	77,34
2	Antenniputki	S1440185	25,00
1	PoE Injektori	PLANET-IPOE-162	95,08
1	Virtalähde 24V/1,75A	S2704006	109,00
1	Asennustyö	Arvioitu tuntiperusteisesti.	632,00
	Yhteensä (alv 0%)		1792,32

Karkeat hankintakustannukset esimerkkikohteessa ovat yhteensä 18770,58 euroa. Laskelma ei ota huomioon käyttöliittymän visualisoinnista, suunnittelusta ja lisätöistä aiheutuvia kustannuksia.

Järjestelmän tavoiteltu käyttöikä on noin 10 vuotta ja arvioituna korkokantana voidaan pitää 4 %.

$$K_{ann} = \frac{i(1+i)^a}{(1+i)^a - 1} * K_{inv} = \frac{0,04(1,04)^{10}}{(1,04)^{10} - 1} * 18770,58€ = 2314,24€ / \text{vuodessa.}$$

Elinkaarikustannukset kapitaloituna nykyarvoon 10 vuoden aikana:

$$K_{ek} = K_{ann} * a = 10 * 2314,24 = 23142,40 €$$

13 Yhteenveto

Insinööriyössä esiteltiin valaistuksen ohjaustavan muutostyö paikallisohjauksista älykkääseen keskitettyyn valaistusohjaukseen. Työn aikana nousi esiin muutostyöstä koituvat edut sekä järjestelmän asennustyön monimuotoisuus.

Projektin toteutus rakentui tilaajan ja suunnittelijan valitsemiin ominaisuuksiin sekä käyttötarkoituksiin. Käyttöliittymän visualisoinnilla ja etähallittavalla Smartlink-rajapinnalla saatiin toteutettua helppokäyttöinen ja kattava ohjaustapa, josta saadaan kerättyä energianmittaustietoa sekä ohjattua valaistusta joustavasti.

Voiko tätä työtä hyödyntää muussa vastaavassa hankkeessa? Mikäli toteutetaan vastaava järjestelmä, prosessi voi olla pitkälti samanlainen. Työ avaa näkemyksiä urakoinnin mahdollisista haasteista ja on esimerkkinä teknisestä toteutustavasta.

Voisiko valaistuksen tilaa seurata mitatun virtatiedon perusteella ja tämän perusteella indikoida valaisimien tarvitsevia huoltoja? Voisi, jos energianmittaus on tehty valaistukselle ryhmäkohtaisesti.

Projektin aikana ajatuksena pyöri myös järjestelmän kannattavuus ja mahdollinen takaisinmaksuaika. Maksaako järjestelmä itseään takaisin tai onko sen toteutus ylipäättään kannattavaa? Toteutuksen kannattavuus riippuu ohjattavien kuormien energiankulutuksesta ja ohjaustapojen sekä muun kerätyn datan tarpeellisuudesta. Kohdeprojektin osalta voidaan todeta selkeitä muutostyön kannattavuutta tukevia seikkoja.

Älykkäät valaistuksenohjausjärjestelmät tulevat yleistymään paljon seuraavien vuosikymmenten aikana, mikä lisää erilaisten muuttuvien esineiden internetiin pohjautuvien järjestelmien kysyntää.

Järjestelmien muutostyötä suunniteltaessa tulisi ottaa huomioon suunnittelun tärkeys sekä suunnittelijan pätevyys kyseisille järjestelmille, jotta tilaajan toiveet järjestelmästä toteutuvat parhaalla mahdollisella tavalla ja toteutettavan järjestelmän komponenttien valinnat ovat järkeviä sekä pitkäikäisiä.

Kattava tiedonsiirtoverkko on myös tärkeä osa ja mahdollisesti merkittävä lisäkustannus laajan valaistuksenohjauksen toteutuksessa teollisen internetin järjestelmällä.

Sähköurakoitsijalle

Sähköurakoitsijalle ohjaustavan muutostyö on pääpiirteittäin suoraviivaista urakointityötä, mikäli suunnitelmat ovat laadittu hyvin ennakkoon ja ovat riittävän kattavia. Mikäli tämä ei toteudu, on urakoitsijan perehdyttävä toteutettavaan järjestelmään huomattavasti enemmän ja hankittava tietoa järjestelmän toteutuksesta esimerkiksi järjestelmän toimittajalta.

Projektin johtamisessa on kiinnitettävä huomiota järjestelmän asennukseen pätevien sähköasentajien valintaan ja laadittava tarvittaessa työtapakohtainen ohjeistus helpottamaan toteutusta. Työn laatua ja toteutusta tulisi seurata riittävästi projektin alkuvaiheessa.

Sähköurakkana tarjotun laajamittaisen valaistuksen ohjaustavan muutostyön toteutus voi olla taloudellisesti riskialtis, mikäli työmenetelmät ja muutostyön toteutuksen haastavuus eivät ole tarkasti tiedossa urakkalaskentavaiheessa.

Lähteet

- 1 Jurvansuu ym. 2016. Älykäs valaistus tuottaa arvokasta dataa. Verkkoaineisto. <www.promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Alykas-valaistus-tuottaa-arvokasta-dataa>. 12.10.2016. Luettu 30.9.2018.
- 2 Acti9 Smartlink tietoliikennejärjestelmä. 2018. Verkkoaineisto. Schneider Electric. <www.se.com/fi/fi/product-range-presentation/61356-acti-9-smartlink/#tabstop>. Luettu 15.10.2018.
- 3 Acti9 Smartlink Modbus communication system. 2015. Verkkoaineisto. Schneider Electric. <http://77.221.237.111/flipbooks/Acti_9_Smartlink_Modbus_Communication_System_-_User_Manual/content/Modbus_User_Manual.pdf>. Luettu 15.10.2018.
- 4 ABB TTT käsikirja 2000-07. 2000. Verkkoaineisto. <www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/05_0_Automaation%20tietoliikenne.pdf>. Luettu 1.11.2018.
- 5 Kugelstadt, Thomas. 2016. The RS-485 Design guide Verkkoaineisto. Texas Instruments. <www.ti.com/lit/an/slla272c/slla272c.pdf>. 1.10.2016. Luettu 20.10.2018.
- 6 Modbus TCP. 2018. Verkkoaineisto. Ozeki Ltd. <www.ozeki.hu/index.php?owpn=5858>. Luettu 2.11.2018.
- 7 RS-485. 2017. Verkkoaineisto. Wikipedia. <www.fi.wikipedia.org/wiki/RS-485> 9.3.2017. Luettu 2.11.2018.
- 8 Eisen, Morty. 2009. Introduction to PoE and the IEEE802.3af and 802.3at Standards. Verkkoaineisto. Marcum Technology. <www.ieee.li/pdf/viewgraphs/introduction_to_poe_802.3af_802.3at.pdf>. 29.10.2009. Luettu 1.11.2018.
- 9 Introduction to PoE. 2016. Verkkoaineisto. Veracity UK Ltd. <www.veracityglobal.com/resources/articles-and-white-papers/poe-explained-part-1.aspx>. 2016. Luettu 15.11.2018.
- 10 ST-käsikirja 37. EMC ja rakennusten sähkötekniikka. 2018. Espoo: Sähkötietyöry.
- 11 SFS-käsikirja 600-2. Osa 2: Sähkötyöturvallisuus, erityisasennukset ja liittyvät standardit. 2015. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.

- 12 Suora kWh mittaus. 2008. Verkkoaineisto. Ensto Electric Oy. <www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/etuotanto/0705016/5hZP2MojJ/KWhmittaus_301.pdf>. 30.4.2008. Luettu 15.11.2018.
- 13 ABB TTT- käsikirja 2000-07, luku 10. 2000. Verkkoaineisto. <www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/10_1_Mittaus-%20ohjaus-%20ja%20suojalaitteet.pdf>. Luettu 1.11.2018.
- 14 Vuoden 2016 läpimurto: IoT. 2017. Verkkoaineisto. Viestintävirasto. <www.viestintavirasto.fi/kyberturvallisuus/tietoturvanyt/2017/01/ttn201701241501.html>. 24.1.2017. Luettu 15.11.2018.
- 15 EcoStruxture Building operation. 2018. Verkkoaineisto. Schneider Electric. <www.schneider-electric.com/hk/en/work/solutions/system/s4/building-systems-power-manager/overview.jsp>. 1.1.2018. Luettu 15.11.2018.

Liite 1

Nousujohtokaavio

