

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Juha-Matti Ylijurva

RAKENNUSAUTOMAATIOVÄYLÄN LIITTÄMINEN SÄHKÖKES-  
KUKSIIN

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2014



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Huhtikuu 2014**  
**Sähkötekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
p. (013) 260 6800

**Tekijä**  
Juha-Matti Ylijurva

**Nimeke**  
Rakennusautomaatioväylän liittäminen sähkökeskuksiin

**Toimeksiantaja**  
Insinööritoimisto Jormakka Oy

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyössä tutkittiin rakennusautomaatiojärjestelmän rakentamisesta aiheutuvien kustannusten muuttumista, mikäli sähkökeskuksen kautta ohjattavat I/O-pisteet lisättäisiin valvonta-alakeskuksen sijasta väylällä sähkökeskuksen yhteyteen. Hyvin yleinen suunnittelumalli on kaapeloida sähkö- ja alakeskuksen väli tele- ja ohjauskaapeleilla, jotka pisteiden lisääntyessä ja välimatkojen kasvaessa nostavat kustannuksia huomattavasti.

Kustannusten selvityksessä käytettiin toimeksiantajan suunnittelun alla olevia kohteita, joiden pohjalta suoritettiin ryhmä- ja alakeskusten välisten kaapelointien urakkalaskentahinnasta arvio, jota vertailtiin samanpituisen väyläkaapelointiin. Kustannuslaskelman lisäksi tietoa kerättiin myös haastattelemalla muutamaa eri automaatiourakoitsijaa sekä suunnittelijaa yleisistä asennustavoista sekä kysymällä mielipiteitä ja kokemuksia väylätekniikan käytöstä. Työn yhteydessä selvitetään myös sähkökeskuksen suunnittelussa huomioon otettavia asioita sekä määräyksiä asennustapaan liittyen.

Tutkimustulokset tukevat I/O-yksiköiden siirtämistä lähemmäksi sähkökeskusta kaapelointikustannuksien vähentymisenä. Vaihtoehtoina ovat I/O-yksiköiden liittäminen joko suoraan sähkökeskuksen yhteyteen tai erilliseen moduulikoteloon keskuksen läheisyyteen. Kustannussäästön osuus on kuitenkin hyvin kohdekohtainen ja vaihtelee erillispisteiden määrän, järjestelmän laajuuden sekä keskusten välisten etäisyyksien mukaan. Asennustavan toteuttaminen vaatii ensimmäisten kohteiden kohdalla kuitenkin vielä tehostettua suunnittelutyötä sähkökeskukseen tarvittavan tilan ja sähköisten rakenteiden määrittämiseksi. Tulevissa kohteissa ensimmäisten kohteiden toteutustapoja hyödyntämällä ja kehittämällä, on mahdollista tehdä asennustavan suunnittelusta sujuvampaa.

**Kieli**  
suomi

Sivuja 37  
Liitteet 3  
Liitesivumäärä 5

**Asiasanat**  
talotekniikka, kustannuslaskenta, kaapelointi, sähkökeskus



**THESIS**  
**April 2014**  
**Degree Programme in Electrical Engineering**  
Karjalankatu 3  
FI 80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. +358 (13) 260 6800

Author  
Juha-Matti Ylijurva

Title  
Incorporating building automation bus to switchboards

Commissioned by  
Insinööritoimisto Jormakka Oy

Abstract

This thesis investigates the change in building costs of a building automation system, if I/O units, which are controlled from switchboard, are assembled to switchboard by fieldbus, instead of sub-distribution board. Common designing model is cabling between the switchboard and sub-distribution board by control and communication cables, which significantly raise building costs, if distances and the number of I/O-points increase.

In defining costs, the commissioner's design projects were used, in which the estimate of cables contract price between the switchboard and sub-distribution board were calculated, and that price was compared to the costs of bus-cabling the same length. In addition to costing, some automation contractors and designers were interviewed to collect some common opinions and experiences of using the bus-technology. Some notable things and regulations, concerning switchboard designing were also looked into, related to the installation method.

Investigation results support the assembling of I/O units closer to the switchboard to reduce cabling costs. Usable options are attaching I/O units either directly to switchboard or to an external box nearby. Cost saving efficiency is nevertheless very case-specific, and depending on the number of I/O-points, the extent of system and the distance between switchboard and sub-distribution board. Realization of this installing method requires still further designing to define the needed space and electrical components at the switchboard. Project planning will be more fluent in the future, if it is possible to utilize and develop the first project plans.

Language  
Finnish

Pages 37  
Appendices 3  
Pages of Appendices 5

Keywords  
building automation, costing, cabling, switchboard

# Sisältö

## Lyhenteet ja määritelmät

1	Johdanto .....	8
2	Rakennusautomaatio .....	9
3	Rakennusautomaatiojärjestelmän rakenne .....	9
3.1	Perinteinen automaatiojärjestelmä .....	10
3.2	Väyläpohjainen järjestelmä .....	12
3.3	Integroidut järjestelmät .....	13
3.4	Kehityksen kohteet rakennusautomaatiossa .....	14
4	Rakennusautomaation väylät .....	14
4.1	Eri vaihtoehtojen esittely .....	15
4.1.1	Modbus RTU .....	15
4.1.2	Modbus TCP .....	16
4.2	Käyttötarkoitukseen soveltuva väylätekniikka .....	17
5	Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelu .....	18
6	RAU-suunnitteluprosessi .....	19
7	Sähkölaitteistojen suunnittelu .....	21
7.1	Sähköturvallisuusvaatimukset .....	21
7.2	Jakokeskuksen turvallisuuteen vaikuttavat säädökset .....	23
8	Mallikohteiden tarkastelu .....	24
8.1	Toteutuksien väliset erot .....	25
8.2	Kustannusvertailu .....	25
8.2.1	Laskuesimerkki .....	26
9	Johtopäätökset .....	27
10	Pohdinta .....	30
	Lähteet .....	32

## Liitteet

Liite 1	Kaapeleiden yksikkökustannukset (taulukko)
Liite 2	Kaapeleiden kustannusvertailu (kuvaaja)
Liite 3	Alakeskukselta jakokeskuksille asennettavien kaapeleiden kustannusvertailu

## Lyhenteet ja määritelmät

a.c. Vaihtovirta (alternative current).

d.c. Tasavirta (direct current).

Erillispiste Sähkökeskuksen kautta ohjattava valvonta-alakeskuksen ohjauspiste.

LAN Paikallinen lähiverkko (Local Area Network).

LVIA Lämpö, vesi, ilmanvaihto, automaatio.

LVIS Lämpö, vesi, ilmanvaihto, sähkö.

RAU Rakennusautomaatio.

RS-232 Sarjaliikenteen liityntästandardi.

RS-422 Sarjaliikenteen liityntästandardi. Kehittyneempi versio RS232:sta.

RS-485 Electronics Industries Associationin (EIA) laatima sarjaliikennestandardi. Kehittyneempi versio RS422:sta.

RTU Modbus väyläprotokollan kehystyyppi (Remote Terminal Unit).

TCP/IP Tiedonsiirtoprotokolla.

## **SFS 6002:n määritelmät:**

### **(Sähköalan) ammattihenkilö**

Henkilö, jolla on soveltuva koulutus ja kokemus, joiden perusteella hän kykenee arvioimaan riskit ja välttämään sähkön mahdollisesti aiheuttamat vaarat.

### **Opastettu henkilö**

Henkilö, jonka ammattihenkilöt ovat opastaneet siten, että hän kykenee välttämään sähkön aiheuttamat vaarat.

**Maallikko** Henkilö, joka ei ole (sähköalan) ammattihenkilö eikä opastettu.

**Työalue** Työkohde (kohteet) tai -alue (alueet), jossa työskennellään, suunnitellaan työskenneltävän tai on työskennelty.

### **Jännitetyöalue**

Jännitteisten osien ympärillä oleva tila, jonne ulotuttaessa tai tunkeuduttaessa eristystaso sähköiskun välttämiseksi ei ole riittävä ilman suojaustoimenpiteitä.

**Lähialue** Rajoitettu tila, joka ympäröi jännitetyöaluetta.

**Sähkötyö** Työ sähkölaitteistossa tai sen läheisyydessä kuten testaus ja mittaus, korjaus, vaihtaminen, muuttaminen, laajentaminen, asentaminen ja tarkastaminen.

**Jännitetyö** Työ, jossa työn tekijä tarkoituksellisesti joko koskettaa jännitteistä osaa tai ulottuu jännitetyöalueelle joko kehonsa osilla tai käsiteltävillä työkaluilla, varusteilla tai laitteilla.

### Työskentely jännitteisten osien läheisyydessä

Työ, jossa työn tekijä kehonsa osilla, työkaluilla tai millä tahansa muulla esineellä ulottuu lähialueelle, mutta ei kuitenkaan ulotu jännitetyöalueelle.

### Työskentely jännitteettömänä

Työ sähkölaitteistossa, joka ei ole jännitteinen, eikä siinä ole varauksia, ja on tehty riittävät toimenpiteet sähköisen vaaran välttämiseksi.

### Pienoisjännite

Jännite, joka johtimien välillä tai johtimen ja maanvälillä ei normaalisti ylitä 50 V vaihtojännitettä (a.c.) tai 120 V sykkeetöntä tasajännitettä (d.c.). Tämä sisältää SELV, PELV ja FELV järjestelmät.

### Pienjännite

Jännite, joka normaalisti ei ylitä 1000 V (a.c.) tai 1500 V (d.c.).

### Suurjännite

Jännite, joka normaalisti ylittää 1000 V (a.c.) tai 1500 V (d.c.).

### Suoja

Eristetty tai eristämätön mikä tahansa suojarakenne tai -väline, jota käytetään estämään pääsy sähköisen vaaran aiheuttavaan laitteeseen tai sähkölaitteiston osaan.

### Suojus

Osa, joka suojaa suoralta koskettamiselta tavanomaisilta suunnilta.

### Kotelo; kotelointi

Osa tai rakenne, joka suojaa laitetta tietyiltä ulkoisten tekijöiden vaikutuksilta ja suojaa vaarallisten osien koskettamiselta kaikista suunnista.

# 1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Insinööritoimisto Jormakka Oy.

Opinnäytetyössä tutkittiin rakennusautomaatiojärjestelmän rakentamisesta aiheutuvien kustannusten muuttumista, mikäli sähkökeskuksen kautta ohjattavat I/O-pisteet lisättäisiin valvonta-alakeskuksen sijasta väylällä sähkökeskuksen yhteyteen. Hyvin yleinen suunnittelumalli on kaapeloida sähkö- ja alakeskuksen väli tele- ja ohjauskaapeleilla, jotka pisteiden lisääntyessä ja välimatkojen kasvaessa nostavat kustannuksia huomattavasti.

Kustannustarkastelun kohteena olivat pelkästään kaapelin asennuskustannukset, jotka pitävät sisällään asennustavan, metrihinnan sekä kytkennän. Itse laitteistojen välisiä eroavaisuuksia sekä niiden kustannuksia ei tässä työssä tutkittu. Pääasiallinen syy tähän on RAU-urakoitsijoiden käyttämien laitteistojen väliset eroavaisuudet sekä niiden hankintahinnat, joiden selvittäminen olisi osoittautunut liian työlääksi. Kirjallisten lähteiden tueksi haastattelin muutamaa eri automaatiourakoitsijaa sekä suunnittelijaa kerätäkseni lisätietoa yleisistä asennustavoista sekä mielipiteitä ja kokemuksia väylätekniikan käytöstä.

Työn yhteydessä myös selvitettiin mahdolliset huomioonotettavat asiat niin rakennusautomaation kuin rakennussähköistyksenkin näkökulmasta. Erityisesti kiinnitettiin huomiota sähkökeskuksen suunnittelussa tapahtuviin muutoksiin.

Toimeksiantajan pyynnöstä ei työn yhteydessä eritelty erityyppisten kiinteistöjen välisiä kustannuseroja, esitelty referenssikohteista tarkempia tietoja taikka kootusti niihin liittyviä kustannuslaskelmia.



## 2 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatio määritellään automaattisiksi säätö-, valvonta-, ohjaus- ja hälytystoiminnoiksi, joiden avulla hallitaan kiinteistöjen LVIS-prosesseja. Parantuneet olosuhteet, energian säästö, vähentyneet rutiinityöt sekä pienentyneet henkilö- ja taloudelliset riskit ovat rakennusautomaation käytöstä koituvia hyötyjä. Kiristyneiden energiantehokkuusvaatimusten myötä LVIA- ja sähkötekniikan suunnittelu- ja toteutusperiaatteet sekä rakenteelliset ominaisuudet ovat muuttuneet merkittävästi. Säätötavoitteiden tarkentuminen, prosessien mukauttaminen erilaisiin käyttötilanteisiin sekä säätö- ja ohjausmahdollisuuksien laajentaminen yhä pienempiin kulutusyksiköihin ovat näkyvää seurausta tarpeettoman energiankäytön välttämisestä. [1, s. 9; 2, s. 49.]

Kehitys rakennusautomaatiossa pohjautuu yhä enemmän yleisen IT-tekniikan kehitykseen, joka suorituskyvyn ja ominaisuuksien lisääntymisestä huolimatta mahdollistaa laitteistojen alhaisen hintatason. Toisaalta kehitystä on ohjannut myös pyrkimys kiinteistöhuollon tehostamiseen sekä uusien palveluiden tarjontaan. Merkittävimpiä kehityksen kohteita ovat yleisen viihtyvyyden ja energiatehokkuuden parantaminen sekä ympäristön olosuhteiden parempi huomioonottaminen. [2, s. 93.]

## 3 Rakennusautomaatiojärjestelmän rakenne

Tietotekniikan kehittymisen myötä myös tiedonsiirtonopeudet ovat kasvaneet merkittävästi viime vuosien aikana. Suurista nopeuksista huolimatta automaatiojärjestelmä tulee jaotella pienempiin osakokonaisuuksiin jo pelkän tehonsyötön kannalta. Toinen merkittävä asia on myös järjestelmän luotettavuus viikaantumistapauksissa: osittelu ja erityisesti älykkyyden hajauttaminen tekee järjestelmän perustoimintavalmiudesta varmempaa. [1, s. 16.]

Järjestelmät voidaan periaatteessa jakaa kahteen osaan:

- keskitetyt eli hierarkkiset järjestelmät
- hajautetut järjestelmät.

Keskitetyn järjestelmän tapauksessa esiintyy aina useampia hierarkkisia tasoja, jossa ylempi taso määrää aina alempien tasojen toiminnan. Tämä tarkoittaa myös siirtyvän tiedon ja käskyjen menemistä tälle ylemmälle tasolle. [1, s. 16.]

Hajautetussa järjestelmässä jokainen yksikkö toimii riippumatta muista yksiköistä. Mikäli tietoa halutaan siirtää, se lähetetään vain niille yksiköille, jotka sen tarvitsevat. Jokainen osakokonaisuus kykenee yksinäiseen toimintaan eikä ylemmältä tasolta odoteta käskyjä. [1, s. 17–18.]

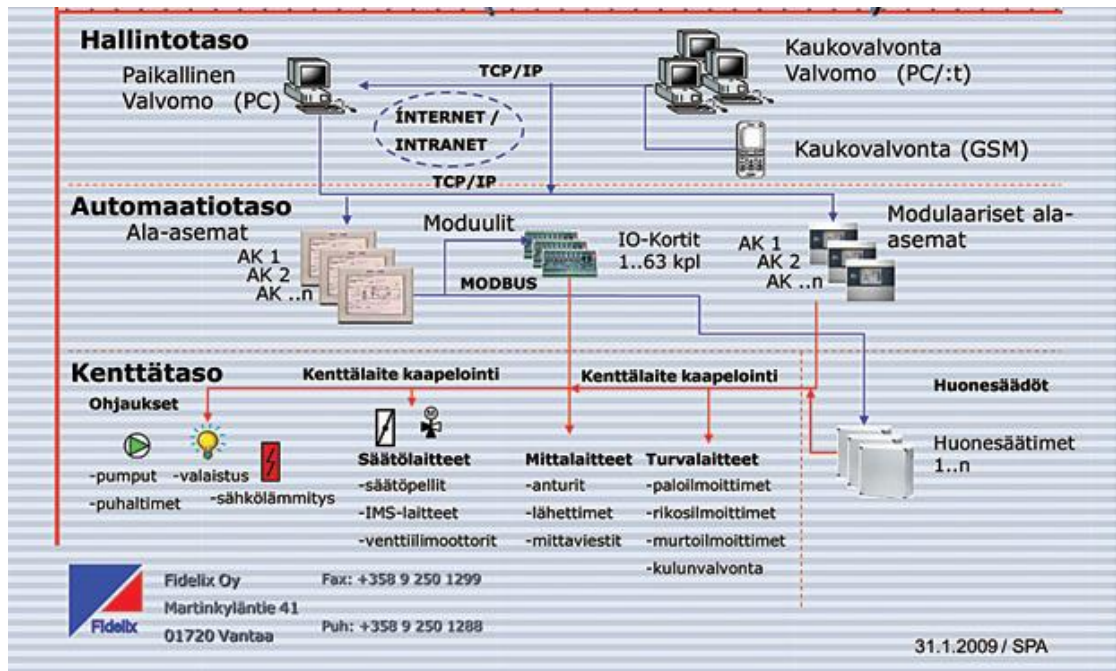
Järjestelmän sisäinen viestintä on mahdollista suorittaa fyysisillä jännite- ja virtaviesteillä tai vastaavasti digitaalisella väyläpohjaisella tiedonsiirtoratkaisulla. Perustava ero perinteisen johdotuksen ja väylän välillä on, että tieto kulkee kahden kiinteän pisteen välillä, kun väylän tapauksessa kaikki voivat lähettää ja vastaanottaa viestejä. Toimintaa voidaan verrata esim. puhelimeen ja radioliikennöintiin. Yhtä aikaa viestien lähettäminen ei kuitenkaan onnistu, joten väyliä varten täytyy olla protokolla, joka määrittelee käytännön puheenvuorojen jakamiseen. [2, s. 144; 1, s. 39.]

### **3.1 Perinteinen automaatiojärjestelmä**

Yleisesti tarkastellen rakennusautomaatiojärjestelmä rakentuu kolmesta päätasosta:

- hallintotaso
- automaatiotaso
- kenttätaso.

Hallintotasolle kuuluvat erilaiset keskus- ja etävalvomot, automaatiotasolle kuuluvat alakeskukset I/O-moduuleineen ja kenttätasolle sijoittuvat kenttälaitteet, joita ovat erilaiset anturit ja toimilaitteet. Rakennusautomaation yleistä rakennetta on esitelty kuvassa 1. [2, s. 93; 1, s. 16.]



Kuva 1. Rakennusautomaation yleinen rakenne [2, s. 94].

Hallintotason tehtävänä on toimia käyttäjärajapintana järjestelmään päin. Tämä tarkoittaa yleensä PC-valvomoa, josta käyttäjä voi esimerkiksi muuttaa prosessin asetteluarvoja, aikaohjelmia sekä vastaanottaa hälytyksiä ja vikailmoituksia. Kommunikaatio perustuu pääasiassa LAN-verkkoon ja laajakaistatekniikkaan pohjautuvaan internetyhteyteen etävalvonnassa. [2, s. 93–94.]

Automaatiotasolla keskinäisessä asemassa ovat itsenäiset alakeskukset sekä niihin liittyvät I/O-moduulit tai kiinteän I/O-pistemäärän käsittävä kokonaisuus. Alakeskus sisältää ohjelmat, jotka ohjaavat I/O-pisteiden kautta itse prosesseja, kuten IV-koneita, lämmönvaihtimia ym. Kommunikaatio automaatiotasolla perustuu yleensä lähiverkkoon ja TCP/IP-protokollaan, joka mahdollistaa nopean tiedonsiirron ja korkean verkon kapasiteetin. Verkossa liikkuu tietoa, jota käyttäjä voi hyödyntää niin valvomossa kuin eri alakeskusten välillä, esimerkiksi jos kiinteistössä on yksi ulkolämpötila- tai valoisuusanturi, jonka tietoa kaikki alakeskukset käyttävät. [2, s. 94–95.]

Kenttätasolla sisältyy järjestelmän anturit ja toimilaitteet. Anturit ovat mittalaitteita, jotka välittävät reaaliaikaista tietoa prosessista ja olosuhteista, esimerkiksi lämpötilasta tai ilmankosteudesta. Järjestelmä tulkitsee saamaansa tietoa ja ohjaa tarvittaessa toimilaitteita, jotta prosessi pysyy käyttäjän ja suunnittelijan ha-

luamissa tavoitteissa. Kenttätaso voi sisältää myös hajautettua I/O:ta, joka tarkoittaa sarjaväylällä alakeskuksen kanssa kommunikoivia I/O-moduuleita. Tätä digitaalista liikennöintikanavaa nimitetään kenttäväyläksi. [2, s. 95; 1, s. 20.]

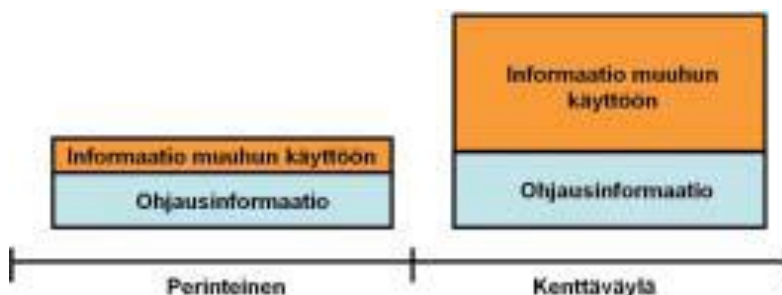
### 3.2 Väyläpohjainen järjestelmä

Väyläpohjainen automaatio tarkoittaa järjestelmää, jossa sähkötoimiset laitteet kommunikoivat keskenään itsenäisesti ilman keskustietokonetta. Tähän liittyvät vahvasti myös älykkäät kenttälaitteet, jotka tarjoavat rajapinnan muille järjestelmään liittyville komponenteille. Järjestelmän laajentaminen helpottuu käytössä olevan protokollan asettamissa rajoissa. [4, s. 4; 1, s. 36–37.]

Kenttäväylät voidaan jaotella anturi-, laite- ja kenttäväyliksi: anturiväylä soveltuu mittausanturien tiedonsiirtoon prosessisäädölle, laiteväylää käytetään pienehköjen laitekokonaisuuksien ohjaamiseen ja kenttäväylä soveltuu laajempien kokonaisuuksien, kuten tuotantolaitoksien tai kiinteistöjen, säätöihin ja ohjauksiin. [1, s. 38–39; 2, s. 143–144.]

Kenttäväylän ansiosta voidaan käyttää myös ohjauksen sisältäviä tai monimuuttuja-antureita, jotka mahdollistavat itse mitta-anturin käsittelyn juuri mittaamaansa tiedon osalta ja kompensoinnin oikeaan suuntaan prosessin vastamaan tilaan. Lisäksi älykkäät kenttälaitteet mahdollistavat erilaiset vikadiagnostiikkatoiminnot ja ennakoivan huollon, jolloin laitteet itse ilmoittavat järjestelmälle omista vioistaan tai lähestyvän huollon tarpeesta. Kaksisuuntaisen liikennöinnin ansiosta laitteita voidaan myös virittää etätyönä valvomosta käsin. [1, s. 36–37, 40.]

Automaatiojärjestelmissä perinteisen analogisen virtasignaalista digitaalitekniikkaan siirtyminen mahdollistaa siis informaation siirron muuhun käyttöön väylää pitkin. ST-Käsikirja 21:n mukaan saatavan informaation määrää on mahdollista lisätä jopa 6–8-kertaiseksi perinteiseen johdotukseen nähden. [1, s. 40.]



Kuva 2. Informaation lisääntymismahdollisuus [1, s. 40].

### 3.3 Integroidut järjestelmät

Väylätekniikan laajamittainen hyödyntäminen rakennusautomaatiossa on vielä suhteellisen uusi asia, joten markkinoilla esiintyy vielä paljon kilpailua. Tästä syystä markkinoilla on tarjolla runsaasti eri väyliä ja väylästandardeja eri osapuolilta, mikä on johtanut vastaavasti lukuisten eri väyläprotokollia käyttävien laitteiden ja järjestelmien leviämiseen. Tällöin tulee vastaan väylien integraation tarve. [3, s. 26.]

Integraatio rakennusautomaatiossa tarkoittaa usean eri väylän yhteensovittamista keskenään, jolla pyritään saavuttamaan eri taloteknisten järjestelmien kokonaisuuden parempi hallinta yhdestä valvomosta käsin [3, s. 26; 2, s. 95–96].

Erilaisten väylien integraatio onnistuu yleensä teoriassa hyvin, mutta erityisesti saneerauskohteissa uuden ja vanhan väylätekniikan yhteen sovittamien tuottaa paljon ongelmia. Suurin ongelma tulee eri väylien käyttämien koodikielten yhteensovittamista, joka vaatii yleensä eri toimijoiden yhteistyötä, jotta työ onnistuisi nopeasti ja helposti. Avoimen protokollan järjestelmissä taas saadaan käytettävien laitteiden valikoimaa kasvatettua merkittävästi, jolloin järjestelmiin voidaan lisätä uusia laitteita miltä tahansa ko. väylästandardin mukaiselta valmistajalta. [3, s. 27–28.] Lisääminen voi olla myös osaltaan haastavaa, sillä vaikka protokolla on sama, laitteen valmistaja ei ota kantaa lähetettävän viestin sisältöön. Pitkät, usean rekisterin pituiset viestit voivat tuottaa ongelmia, sillä lukevat pitää yhdistellä, jotta saadaan haluttu viesti kasattua kokoon. [13]

Eri laitetoimittajien järjestelmiin on myös mahdollista liittää RAU-järjestelmän yhteyteen erilaisia valvontajärjestelmiä vakiona, kuten paloilmoitinkeskuksia sekä videovalvontaa. Tämä vaatii kuitenkin tiettyä erikoisosaamista urakoitsijalta, joka osaltaan hidastaa integroitujen järjestelmien yleistymistä. [13]

### **3.4 Kehityksen kohteet rakennusautomaatiossa**

Erityisesti järjestelmäintegraatiot on yksi suuri kehityksen kohde tulevaisuuden kannalta. Käyttäjälle ihanteellisinta olisi tietenkin että rakennuksen kokonaisuuden hallinta onnistuisi yhdestä ainoasta valvomosta. Suurin rajoittava tekijä on kuitenkin vaadittava laaja osaamisen taso, joka pudottaa useita, ainakin pienempiä, yrityksiä pois pelistä. Nykyään erilaisten väyläpohjaisten kulutusmittauksien lisääminen automaatiojärjestelmiin on kuitenkin jo arkipäivää, kuten esimerkiksi sähkön ja veden kulutusmittaukset. [10; 13]

Nykypäivän kiinteistössä merkittäviä kehityksen kohteita ovat myös koko ajan lisääntyvät olosuhdemittaukset, joiden avulla järjestelmän toimivuuden varmistaminen sekä energiatehokkuuden parantaminen on mahdollista. Järjestelmien muuttuessa monimutkaisemmiksi, käytettävyyden kannalta järjestelmät pyritään rakentamaan aina vain käyttäjää eniten palvelevimmiksi. Tätä auttaa muun muassa havainnollistavien kosketusnäyttöjen käyttäminen, joista näytetään käyttäjää varten ainoastaan tarpeellisen asiat, joka osaltaan selkeyttää käyttöä. [10; 12]

Useiden valmistajien kehittämät web-pohjaiset valvomot sekä pilvipalvelut mahdollistavat ajasta ja paikasta riippumattoman käytön, joka palvelumuotona on lisääntynyt valtavasti myös eri toimialoilla. [12]

## **4 Rakennusautomaation väylät**

Kenttäväylä on digitaalinen, kaksisuuntainen, väyläpohjainen tiedonsiirtojärjestelmä, joka yhdistää älykkäät kenttälaitteet ja muun automaation kattavaksi tie-

toverkoksi. Oikein rakennettuna väylätekniikka tarjoaa laajat mahdollisuudet kiinteistön valvontaan ja ylläpitämiseen sekä lisää huomattavasti muuntojoustavuutta. Eri järjestelmien kirjo markkinoilla on kuitenkin laaja, joten käyttötarkoitukseen sopivan ja tavoitteita vastaavan järjestelmän valinnassa tulee käyttää erityistä harkintaa kustannustehokkaan ratkaisun löytämiseksi. [1, 46–48; 2, s. 144.]

#### **4.1 Eri vaihtoehtojen esittely**

Erilaisten protokollien ominaisuudet vaihtelevat suuresti, kuten myös niiden soveltuvuus erilaisiin käyttökohteisiin. Tämä johtuu pääosin siitä, että eri valmistajilla on erilaisia vaatimuksia, joista ei ole päästy yhteisymmärrykseen. Valmistajien painottamia ominaisuuksia ovat esimerkiksi soveltuvuus reaaliaikaisiin sovellusten ohjaamiseen, helpompi laajennettavuus tai suuri tiedonsiirron nopeus. Opinnäytetyön pääpainon pysytellessä hajautetun I/O:n ratkaisuisissa, ei tässä tapauksessa esitellä kuin asiaan kuuluvat ja rakennusautomaatiossa yleisimmin käytetyt väyläratkaisut: Modbus RTU ja Modbus TCP. Kolmantena esimerkkinä voidaan mainita myös LON eli LonWorks™ -tekniikka, jonka käyttö nykymarkkinoilla on kuitenkin vähenemään päin. [11, s. 7.]

##### **4.1.1 Modbus RTU**

Modbus on vuonna 1979 julkaistu avoimeen verkkoarkkitehtuuriin perustuva tiedonsiirtoprotokollaperhe, joka alun perin kehitettiin ohjelmoitavien logiikoiden liittämiseen. Modbus on isäntä-renki protokolla, joka käyttää OSI-mallin<sup>1</sup> kerroksia 1 (fyysinen), 2 (siirtoyhteys) ja 7 (sovellus), sekä on laajalti käytössä teollisuuden sovelluksissa, energian optimointijärjestelmissä, pitkän matkan tiedonsiirrossa, ohjauspaneelien yhdistämisessä sekä etävalvontaratkaisuisissa. Modbus RTU on vain yksi kolmesta kehysratkaisusta, jota käytetään perinteisesti RS-485 sarjaväylän päällä kun halutaan verkkotopologiaksi monipisteyhteys. RS-232 sekä RS-422 tarjoavat vaihtoehdoksi ainoastaan kaksipisteyhteyden. RS-485-järjestelmässä voidaan käyttää yhtä isäntää ja enintään 31 renkiä, jolloin kaapelin enimmäispituus voi olla jopa 1,2 kilometriä. Kaapelityyppinä käyte-

---

<sup>1</sup> ISO-standardin (International Standards Organization) OSI-malli (Open Systems Interconnection) koostuu seitsemästä eri kerroksesta eli tasosta [1, s. 79]

tään yleensä suojattua parikaapelia päätevastuksineen. [1, s. 243–246; 3, s. 7, 10.] Modbus on yksi laajimmin käytetyistä tiedonsiirtoprotokollista nykypäivän rakennusautomaatiossa [10].

Tiedonsiirtomenetelmä on kiertokysely eli nk. pollaus. Siinä isäntälaitte lähettää rengille käskyn, joka sen saatuaan toteuttaa halutun toiminnon. Jos toiminto onnistui, renki lähettää isännälle takaisin vastauskehityksen, joka sisältää mahdollisen palautettavan datan. Tämä kysely suoritetaan jokaiselta laitteelta vuorotellen, sillä Modbus tiedonsiirto on jatkuvaa. Järjestelmän konfigurointivaiheessa on mahdollista myös määrittää tarvittaville laitteille tiheämpi kyselyväli, mikäli laitteita on paljon ja tiedonsiirto alkaa ruuhkautua [10]. [1, s. 244–246; 3, s. 8.]

#### **4.1.2 Modbus TCP**

Modbus TCP (tai TCP/IP) on käytännössä Modbus RTU protokolla TCP rajapinnalla, jota käytetään ethernet verkossa. TCP/IP toimii vain kuljetusprotokollana, eikä näin ollen määrittele mitä lähetetty viesti sisältää tai kuinka sen sisältämää dataa tulkitaan. Tämä on sovellusprotokollan tehtävä, joka tässä tapauksessa on Modbus. [9, s. 4]

IP on internet-protokolla, joka varmistaa lähetettävien pakettien reitityksestä ja osoitteistamisesta. Sen päällä voidaan ajaa useita verkko- tai kuljetuskerroksen protokollia, joista yleisimmin käytetty on TCP-protokolla. TCP on lähetysprotokolla, joka pitää huolta päätelaitteiden välisestä tiedonsiirtoyhteydestä, varmistaa että lähetetyt paketit vastaanotetaan oikein sekä lähettää hukkuneet paketit uudestaan. TCP/IP on maailmanlaajuinen standardi, joka on myös hyvin yleisesti käytetty internetin tietoverkkoprotokollan yhdistelmä. [9, s. 4.]

Modbus TCP siis yhdistää fyysisen tietoverkon (Ethernet) ja tietoverkkoprotokollan (TCP/IP) standardoituun tiedonsiirtoprotokollaan (Modbus).

Ethernet pohjaisen järjestelmän erityisiin vahvuuksiin kuuluvat erityisesti suuri tiedonsiirtonopeus sekä pitkät tiedonsiirtomatkat. Lisäksi yleiseen IT-teknologiaan pohjautuvat laitteet ja kaapeloinnit ovat edullisempia. Suuren no-



peuden mukana kuitenkin myös lähetettävän viestikehyksen koko kasvaa, jolloin nopean tiedonsiirron edut menevät hukkaan. Tämä toteutuu varsinkin rakennusautomaatiojärjestelmien tapauksessa, joissa on hyvin paljon hälytys-, indikointi ja muita on/off-tietoja. Kaapelointi ethernet verkossa suoritetaan yleensä kierretyllä parikaapelilla. [11, s. 7–8.]

Tiedonvälitys perustuu neljään viestityyppiin: pyyntö-, vahvistus-, osoitus- ja vahvistusviestiin. Renki lähettää aluksi pyyntöviestin, jonka isäntä vastaanotettuaan käsittelee sen osoitusviestinä. Tämän jälkeen isäntä palauttaa rengille vastausviestin. [11, s. 3.]

## **4.2 Käyttötarkoitukseen soveltuva väyläteknikka**

Käyttötarkoitukseen sopivan väyläteknikan valinnassa on tärkeää ymmärtää suunnittelun eri vaiheet, joiden avulla saadaan mahdollisimman tarkasti määritettyä järjestelmään vaikuttavat tavoitteet; energiankulutustavoitteet, toiminnalliset tavoitteet, muutosjoustavuustavoitteet ja kustannustavoitteet. Tämän jälkeen valitaan vasta sopivimmat ratkaisut eri tekniikoiden välillä. Lopullinen ratkaisu riippuu sovelluksesta, valituista laitteista, asiakkaan valinnoista sekä urakoitsijan tarjoamista vaihtoehdoista. [1. s.133; 2. s. 95, 174.]

Rakennusautomaation suunnittelun tavoitteena on kiinteistön käyttäjän ja ylläpitäjän tarpeiden tyydyttäminen. Tämä otetaan huomioon heti RAU-suunnitteluprosessin alkuvaiheessa tekemällä nk. tarvekartoitus, joka on yksi tärkeimpiä asioita em. prosessiin liittyen. Sen pohjalta voidaan valita järjestelmätyyppi, joka soveltuu parhaiten suunniteltavaan kohteeseen sekä vastaa parhaiten asetettuja tavoitteita. Tarpeet vaihtelevat merkittävästi kiinteistön omistajan sekä käyttäjän kesken, jolloin joudutaan tekemään kompromisseja parhaan vaihtoehdon löytymiseksi. [1, s. 136–138; 2, s. 174.]

Rakennuksen omistajan tarpeisiin vaikuttaa rakennuksen myyntiarvo eri ryhmien välillä, joita voivat olla mm. vuokralaiset tai mahdolliset ostajat. Tämä vaikuttaa automaatiojärjestelmän laatuun sekä kustannustehokkuuteen käyttötarpeista riippuen. Merkittävä seikka on myös turvallisuuden lisääntyminen miehittä-

mättömissä rakennuksissa, joissa voidaan tehokkaasti valvoa teknisien vaurioiden syntymistä sekä ehkäistä niitä. Tärkeää on myös RAU-järjestelmän toiminnallinen taso ja käytön monipuolisuus. Näillä tekijöillä voidaan vaikuttaa myös olennaisesti kiinteistön muiden järjestelmien käyttöarvon säilymiseen, joka puolestaan vaikuttaa kiinteistön tuottavuuteen. [1, s. 136–138; 2, s. 174.]

Käyttäjien tarpeet liittyvät yleensä viihtyvyyteen, käyttökustannuksiin sekä muutostajavuuteen, johon vaikuttaa myös käyttäjän oma mahdollisuus vaikuttaa toimintaolosuhteisiinsa. Järjestelmän suunnittelussa huomionarvoista on myös muutoksien reunaehtojen määrittely, jolloin vain sallittavat parametrit ja ominaisuudet ovat käyttäjien muunneltavissa. [1, s. 136–138; 2, s. 175.]

## **5 Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelu**

Rakennusautomaatiosuunnittelun kannalta voidaan lähtökohtana pitää rakennuksen omistajien, käyttäjien ja ylläpitäjien tarpeiden tyydyttäminen parhaalla mahdollisella tavalla. Tarkoituksena on suunnitella hyvin toimiva, edullinen sekä tarvittaessa laajennettava järjestelmä. [2, s. 167.]

Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnitelman tavoitteena on

- määrittellä järjestelmälle asetettavat tekniset ja toiminnalliset vaatimukset
- antaa yksiselitteiset tiedot rakennuttajalle ja urakoitsijalle tarjousten laskentaa sekä urakkasopimusta varten
- antaa riittävät tiedot toteutussuunnittelua, laitehankintoja, asennusta ja käyttöönottoa varten
- toimia päivitettyinä käytön ja ylläpidon loppudokumentointina
- toimia osana käyttö- ja huoltosuunnitelmaa [14].

Edellä mainittujen tavoitteiden lisäksi suunnitelmien tulee soveltua CAD-suunnitteluun, esitystavan tulee olla johdonmukainen ristiriitaisuuksien välttämiseksi sekä kaavioiden ja luetteloiden käyttöä tulee suosia monikäsitteisten selostusten sijaan [2, s. 167].

## 6 RAU-suunnitteluprosessi

Rakennusautomaation suunnitteluprosessi tavanomaisesti seuraaviin vaiheisiin:

- tarvekartoitus
- hankesuunnittelu
- luonnossuunnittelu
- lähtötietojen tarkistus
- toteutussuunnittelu
- suunnittelun todentaminen
- suunnittelukatselmus
- suunnittelun tarkastaminen
- suunnitelmien kelpuuttaminen
- rakennusaikaiset tehtävät
- käyttöönottoon liittyvät tehtävät
- erillistehtävät [2, s. 170–171; 1, s. 134].

Tarvekartoituksessa perustellaan peruskorjaushankkeen tarpeellisuus, selvitetään hankittava järjestelmä laajuuksineen sekä arvioidaan hankkeen taloudellisuutta. Tässä vaiheessa ei yleensä määritellä tiloille aseteltavia vaatimuksia kovin tarkkaan. [2, s. 171; 1, s. 136.]

Hankesuunnittelussa määritellään ko. hankkeen laajuus-, laatu-, kustannus- ja aikataulutavoitteet. Tässä vaiheessa tavoitellaan talotekniikan kannalta nimenomaan kokonaisuuden yhteensovittamista ja ymmärtämistä. Hankesuunnittelussa tulisikin olla mukana taho, jonka asiantuntemusta voidaan hyödyntää kohteen toiminnan tarpeiden sekä toteutusmahdollisuuksien selvitykseen myös pitkällä aikavälillä. [2, s. 171; 1, s. 142.]

Luonnossuunnitteluvaiheessa määritellään ne kohteen suunnitteluratkaisut ja vaihtoehdot, joiden avulla hankesuunnitteluvaiheen tavoitteet saavutetaan, sekä

tehdään järjestelmäkaavion ja järjestelmäkuvauksesta mallikaavioehdotukset [2, s. 171; 1, s. 144].

Lähtötiedot tarkastetaan ennen toteutussuunnittelun aloittamista. Lähtötietojen tarkastuksessa kirjataan ja tarkastetaan, että tarvittavat tiedot ovat tarpeeksi yksiselitteiset ja riittävät. Tarkistettavia tietoja ovat mm. kohteen laajuus, käyttötarkoitus sekä rakennustoimenpide, viranomaisvaatimuksien paikkansapitävyys, piirustuksien ja laskelmien yhteensopivuustarkistus sekä luonnossuunnitelmien läpikäynti. [2, s. 171–172.]

Tilaaajan hyväksytyä luonnossuunnitelmat, voidaan aloittaa toteutussuunnittelu, jonka yhteydessä tehdään kaikki urakkalaskentaan tarvittavat asiakirjat:

- työselitys
- järjestelmäkaavio
- säätökaaviot
- toimintaselostukset
- pisteluettelot
- laiteluettelo sekä
- asennuspiirustukset [2, s. 172; 1, s. 146].

Suunnittelun todentamisessa varmistetaan tilaaajan kanssa, että tehdyt suunnitelmat vastaavat niille asetettuja tavoitteita [2, s. 172].

Yleensä pääsuunnittelijan tai tilaaajan vastuulla on pitää jokaisen suunnitteluvaiheen päätyttyä suunnittelukatselmus, jossa hyväksytään joko suunnitteluaineisto sellaisenaan tai kirjataan yksilöidyt muutokset seuraavaa suunnitteluvaihetta varten [2, s. 172].

Suunnitelmat tarkastetaan joko projektin lopussa tai jonkin osakokonaisuuden päätyttyä, jolloin varmistetaan suunnitelmien oikeellisuus. Tarkastaja on yleensä projektin ulkopuolinen henkilö. Mikäli pakottavasta syystä tarkastaja on projektin sisäinen henkilö, hän ei voi tarkastaa omia suunnitelmiaan. [2, s. 172.]

Projektipäällikkö, joka on vastuussa suunnitelmien sisällöstä sekä vastaavuudesta asetettuihin tavoitteisiin, vastaa suunnitelmien kelpuuttamisesta myönteiseen lopputulokseen päätyneen tarkastuksen ja todentamisen jälkeen [2, s. 172.]

Rakennusaikaisen ja käyttöönottoon liittyvät tehtävät käsittävät suunnittelun käyttöönotto- ja rakentamisvaiheen laadunvarmistuksen. Tehtävien laajuus sovitaan erikseen osapuolten kesken. [2, s. 172.]

Erillistehtäviä voivat olla esimerkiksi erilaisten mittausten hyödyntäminen ja tutkiminen jo olemassa olevasta järjestelmästä, joiden laajuuksista on sovittava erikseen [2, s. 172].

## **7 Sähkölaitteistojen suunnittelu**

Sähkölaitteiston suunnittelu on yksi rakennussuunnitteluun liittyvä erityissuunnittelualue, jossa ratkaistaan mm. sähkölaitteiston toiminnallisia tavoitteita sekä turvallisuustekijöitä. Vaikka sähkösuunnittelutoiminta ei olekaan vuoden 1996 jälkeen ollut pätevyysvaatimuksin säännelty alue, on sähkösuunnitelmien mukaisten sähköasennusten täytettävä sähköturvallisuusvaatimukset. [15]

### **7.1 Sähköturvallisuusvaatimukset**

Sähkölaitteen ja -laitteiston käytön pitämiseksi turvallisena sekä näiden sähkövirran ja magneettikentän välityksellä aiheuttamien vahinkojen estämiseksi on eduskunnan päätöksen mukaisesti säädetty sähköturvallisuuslaki 14.6.1996/410. Em. laki määrittelee toisessa luvussa sähkölaitteiden ja -laitteistojen suunnittelun, rakentamisen, valmistuksen sekä korjauksen niin, että

- niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa,

- niistä ei aiheudu sähköisesti tai sähkömagneettisesti kohtuutonta häiriötä, sekä
- niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.

Sähkölaitteistoihin kohdistuviin toimenpiteisiin ja erityisesti sähkötöiden tekemiseen on olemassa tiettyjä vaatimuksia ja määräyksiä, joiden täyttyminen on tärkeää henkilöturvallisuuden kannalta sekä omaisuusvahinkojen välttämiseksi. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen sähköalan töistä (KMTp 516/1996) mukaan ”Sähkötyöllä tarkoitetaan sähkölaitteen korjaus- ja huoltotyötä sekä sähkölaitteiston rakennus-, korjaus- ja huoltotöitä”. Näin ollen sähkökeskus luokitellaan sähkölaitteistoksi, eikä siihen liittyviä sähkötöitä saa tehdä jännitteisten osien läheisyydessä ilman asiankuuluvaa ammattitaitoa. Tämän kuvauksen toimiessa lähtökohtana, voidaan kuitenkin tehdä soveltavia toimia, jotka mahdollistavat myös opastettujen henkilöiden korjaus- tai huoltotoimenpiteet sähkölaitteistossa. [5, § 29h]

Esimerkiksi juuri pienoisjännitelaitteiden liittämässä sähkökeskuksen yhteyteen on otettava suunnittelupöydällä muutamia asioita huomioon, jotta myöhemmässä vaiheessa ei tule yllätyksiä: mikäli tilaaja haluaa käyttää huoltotoimenpiteiden yhteydessä sellaisen yrityksen palveluita, jolla ei ole sähkötöiden tekemiseen tarvittavia pätevyksiä ja sähköalan ammattihenkilön ammattitaitoa omaavaa työntekijää, voidaan sähkökeskuksen suunnittelussa kiinnittää asiaan huomiota, ettei pienoisjännitelaitteiden huoltotoimenpiteitä luokitella sähkötöiksi. [6]

Em. soveltavia toimia voidaan suorittaa turvallisen etäisyyden määrittelyssä jännitteisiin osiin, jotta voidaan tarjota huolto- ja korjaushenkilöstölle turvallinen työalue. KMTp 516/1996 velvoittaa myös tarvittaessa rajaamaan, suojaamaan ja merkitsemään suojaamattomat jännitteiset osat, jottei työssä tai työkohteeseen mentäessä tai sieltä poistuttaessa työn suorittaja joudu tahattomasti tai tietämättään jännitteisten osien läheisyyteen. Pienoisjännitteelle ei kuitenkaan tarvitse soveltaa näitä turvaetäisyyksiä. Mikäli työalue ulottuu niin lähelle koskettussuojaamattomia jännitteisiä osia, että sähkötyöturvallisuus voi vaarantua,

- osat on eristettävä luotettavasti työalueesta,

- työkohde on erotettava jännitteettömäksi tai
- työssä on käytettävä erityisiä jännitetyömenetelmiä ja ohjeita sekä erikoiskoulutettua henkilöstöä, jolla on tarvittava perehdytys sekä siihen tarkoitukseen soveltuvat työvälineet ja varusteet. [6, Liite Y; 5, § 29, f–g.]

## 7.2 Jakokeskuksen turvallisuuteen vaikuttavat säädökset

Jakokeskuksen suunnittelun yhteydessä on tehtävä päätöksiä keskuksen käsiteltävyydelle valtuutettujen henkilöiden suorittamaa huoltoa varten. Sitä varten on valmistajan ja käyttäjän keskenään sovittava yhden tai useamman erinäisen vaatimuksen täyttymisestä keskukseen liittyen, joita on esitelty pienjännitekeskuksista määritetyn yleisvaatimuksen kohdassa 8.4.6.2.2–8.4.6.2.4. [7, 8.4.6.2.1.]

Keskus pitää suunnitella ja rakentaa siten, että valmistajan ja käyttäjän sopimat toimenpiteet voidaan suorittaa, kun keskus on käytössä ja jännitteinen. Näitä voivat olla esimerkiksi silmämääräiset tarkastukset, releiden ja elektroniikkalaitteiden asettelu ja kuittaus, sulakkeiden ja merkkilamppujen vaihtotyö sekä tietyt vianpaikallistamistoimenpiteet. [7, 8.4.6.2.2.]

Jotta em. huolto olisi mahdollista, on täytettävä tietyt edellytykset huoltotoimintaan liittyviin luoksepäästävyys vaatimuksiin. Näiden sovittujen rakenneperiaatteiden valinta riippuu eri tekijöistä kuten käyttöoloista, huoltoväleistä, huoltohenkilöstön pätevyydestä jne. Tällaisia toimenpiteitä voivat olla:

- riittävä tila toimintayksiköiden tai toimintayksikköryhmien välillä
- rakennettujen ja siten sijoitettujen suojien käyttäminen, että estetään kosketus em. yksiköiden kanssa
- suojatun tilan käyttäminen jokaiselle toimintayksikölle tai ryhmälle
- mahdollisuus keskusvalmistajan määrittämän tilapäissuojan lisäämiseen.

[7, 8.2.6.2.3.]

Mikäli on myöhemmin tarpeellista lisätä toimintayksiköjä tai ryhmiä keskuksen muun osan ollessa jännitteinen, pitää asiasta aikaisempien kohtien mukaisesti sopia valmistajan ja käyttäjän kesken. Nämä vaatimukset koskevat myös lähte-

vien lisäkaapeleiden asentamista ja liittämistä, aikaisempien kaapeleiden ollessa jännitteisiä. [7, 8.4.6.2.4.]

Em. suojausmenetelmät korostuvat erityisesti, mikäli huoltoa tekevällä henkilöllä ei ole KTMP 516/1996 määrittämää sähköalan ammattihenkilön pätevyyttä. Tällöin huoltoa suorittavaa henkilöä käsitellään ammattitaidosta ja opastuksesta riippuen joko maallikkona tai opastettuna henkilönä, jolloin sovelletaan erilaisia vaatimuksia työskentelystä jännitteisten osien läheisyydessä. Automaatiourakoitsijalla olisikin suositeltavaa olla sähköpätevyys 3, jolloin hänellä on mahdollisuus työskennellä muista riippumattomasti ja itsenäisesti. Tämä on kuitenkin vain suositus, sillä pääosin automaatiourakoitsijan vastuulla ovat vain heikkovirta-asennukset. [5; 2, s. 31]

## **8 Mallikohteiden tarkastelu**

Opinnäytetyössä vertailtiin automaatoratkaisuiltaan hyvin erityyppisiä kohteita, joiden avulla oli tarkoitus selvittää kiinteistön tyyppikohtaisten erojen vaikutusta erillispisteiden määrään sekä sen myötä I/O-yksiköiden siirron kannattavuutta sähkökeskuksen yhteyteen. Referenssi kiinteistöjen tyypit olivat:

- myymälärakennus
- terveydenhoitoalan kiinteistö
- palvelutalo sekä
- oppilaitos.

Eriyisen tarkastelun kohteena olivat ryhmäkeskuksen ja alakeskuksen välisen kaapeloinnin kustannukset, sekä niiden vertailu väylätekniiseen toteutukseen. Laitteistojen hintavaikutusta en tässä tapauksessa ottanut huomioon ollenkaan, sillä minun on mahdotonta tietää millä, ja minkä hintaisilla, laitteistoilla kukakin urakoitsija voi kyseisen kohteen rakentaa. Tämän vuoksi oletetaan että laitteistot pysyvät samanlaisina, riippumatta siitä asennetaanko laitteet ryhmäkeskuksen vai alakeskuksen yhteyteen.



Toimeksiantajan pyynnöstä en työn yhteydessä esittele tarkempia laskelmia tai tietoja kohteista. Liitteessä 3 on esitelty erään referenssikohteen alakeskuksen ja sähkökeskusten välisten kaapelointien laskenta ja kustannusvertailu Excel-  
taulukkona. Keskusten nimet on myös muutettu.

## 8.1 Toteutuksien väliset erot

Joidenkin urakoitsijoiden järjestelmissä I/O-yksiköiden siirtäminen sähkökeskukseen ei edes muuta järjestelmän rakennetta. Perinteisesti alakeskuksella sijaitsevat I/O-yksiköt on jo keskenään kaapeloitu väylällä toisiinsa, joten ainoastaan väyläkaapelin pituus tässä tapauksessa muuttuu.

Pääasialliset erot näkyvät kaapeloinnin keventymisenä. Joissain tapauksessa sähkökeskukselle tulee jo esimerkiksi sähkön kulutusmittauksen yhteyteen väyläkaapelointi, joten sijoitettava I/O-yksikkö voisi suoraan hyödyntää tätä väylää, eikä erillistä kaapelointia I/O-yksikölle tarvita.

Muita eroavaisuuksia olisi mahdollisesti automaatiopisteiden huonompi hyötykäyttö. Alakeskuksessa kaikki pisteet kaapeloidaan sinne, joten on mahdollista käyttää kaikki pisteet mahdollisimman tehokkaasti. Sähkökeskukselle tuotaisiin vain lähellä olevat pisteet, jolloin täytyisi miettiä onko sinne kannattavaa edes viedä I/O-yksikköä, mikäli suuri osa pisteistä jää käyttämättä. Tämä pätee, mikäli yksiköissä on kiinteä lukumäärä I/O-pisteitä. [12]

## 8.2 Kustannusvertailu

Kaapeleiden tyypit ja lukumäärät on selvitetty sähkökeskusten piirikaavioista, ja etäisyydet mitattu vahvavirtajärjestelmien johdotuspiirustuksista johtoreittejä pitkin. kaapelihyllyjen mahdollisia korkeusvaihteluja ei ole otettu huomioon, sillä laskelmat ovat puhtaasti vahvavirtajohdotuskuvien pohjalta. Kerrosten välisissä läpivientitapauksissa laskin korkeuseron lattian korkeusarvojen erotuksella, joten oletetaan että kaapelihyllyt ovat jokaisessa kerroksessa samalla korkeudella. Lisäksi jokaiselle kaapelille on laskettu kahden metrin kytkentävara molem-

piin päihin, eli yhteensä neljä metriä lisää kaapelin pituutta. Tämä perustuu omaan arviooni kytkentävarasta.

Sähkökuvista mitatun kaapelin pituuden perusteella laskin arvion ko. kaapelin hinnasta asennuksineen. Käytin tietolähteenäni sähköurakan yksikkökustannuksia 2013/I, josta valitsin kaapelin asennustavaksi OH (ojennettuna hyllylle) hintaluokasta A, sekä lisäsin kaapelin kytkentähinnan.

Kaapeloinnin kannattavuus saadaan laskettua vanhan- sekä väyläkaapeloinnin erotuksesta. Eri tilanteissa käytetään erilaisia väyläkaapelointeja, joten laskennan kohteena olivat Modbus RTU:ssa käytetyt kaksi- ja neliparinen JAMAK sekä Modbus TCP väylässä yleisesti käytetty CAT6-tietoverkkokaapeli.

### 8.2.1 Laskuesimerkki

Suoritetaan laskuesimerkki, jossa korvataan 50 metriä NOMAK 12\*2\*0,5 -instrumentointikaapelia JAMAK 4\*(2+1)\*0,5 -väyläkaapelilla. Tarvittavat tiedot yksikkökustannuksista löytyvät liitteestä 1.

NOMAK-kaapelin kustannukset, ojennettuna hyllylle:

$$50m \times 5,58 \text{ €/}m_{NOMAK} + 33,63 \text{ €/}kpl_{NOMAK} = \mathbf{312,63 \text{ €}}$$

JAMAK-kaapelin kustannukset, ojennettuna hyllylle:

$$50m \times 3,61 \text{ €/}m_{JAMAK} + 32,31 \text{ €/}kpl_{JAMAK} = \mathbf{212,81 \text{ €}}$$

Kaapelointien välinen erotus:

$$312,63 \text{ €} - 212,81 \text{ €} = \mathbf{99,82 \text{ €}}$$

Tässä esimerkitapauksessa väyläkaapelointi tulisi 99,82 euroa halvemmaksi, kuin perinteisen kaapeloinnin käyttäminen.

## 9 Johtopäätökset

Kaapeloinnin osalta, ainakin kaikissa referenssikohteina käyttämissäni kiinteistöissä, kustannustehokkaampi ratkaisu oli liittää väyläkaapeloinnin avulla I/O-yksiköt sähkökeskuksen yhteyteen. Taloudellinen hyöty oli kohteesta ja toteutustavasta riippuen 600–15000 euroa, joka on prosentuaalisesti tarkasteltuna 39–85 % edullisempi verrattuna vanhaan kaapelointiin.

I/O yksiköiden lisääminen sähkökeskuksen yhteyteen kylläkin vaatii, että osataan määritellä jo urakkalaskentavaiheessa automaatiolaitteiden vaatiman tilavarauksen suuruus. Tämä on ehdoton tieto keskusvalmistajalle oikean kokoisen kotelon rakentamiseksi. Suunnitelmien loppuunsaattaminen on myös tärkeää saada jo urakkalaskentavaiheeseen, jolloin saadaan lopullinen hintavaikutus eikä synny lisäkustannuksia urakoitsijan laskuttamista lisätöistä. Ensimmäiset kohteet lisäävät nimenomaan suunnittelutyötä, jotta saadaan määritettyä riittävä tilanvaraus sähkökeskuksen suunnitteluun. Tästä kuitenkin saadaan tulevia kohteita varten jo jonkinlainen käsitys ja mallipohjia luotua, minkä kokoisen tilan tietty määrä kaapeloitavia pisteitä vaatii. Sähkökeskuksen sisäinen rakenne vaatii myös suunnittelutyötä keskusvalmistajan kanssa kustannustehokkaimman ratkaisun löytämiseksi.

Pelkkien erillispisteiden kaapeloinnin lisäksi hyötyä saadaan mikäli muita läheisyydessä olevia, valvonta-alakeskukselle normaalisti kaapeloitavia, ohjauspisteitä voidaan kaapeloida lähempänä sijaitsevalle ryhmäkeskukselle: esimerkiksi palopeltien laukaisutiedot tai erilaiset hälytykset. Jokaisen lisättävän pisteen kohdalla täytyy kuitenkin arvioida pisteen kriittisyys, joka määrää onko tietoa luotettavaa tuoda väylää pitkin, mikäli väylä ei jostain syystä toimitakaan. Pisteiden kriittisyyden arvioinnissa voidaan ottaa myös huomioon, halutaanko äly sijoittaa keskuksen hajautetun I/O:n mukana. Tämä tuo osaltaan toimintavarmuutta, mikäli väyläyhteys alakeskukselle menee poikki, jolloin älykäs yksikkö jatkaa toimintaansa itsenäisesti. Älykkyyden hajauttaminen on yksi verkon haavoittuvuutta vähentävä tekijä.

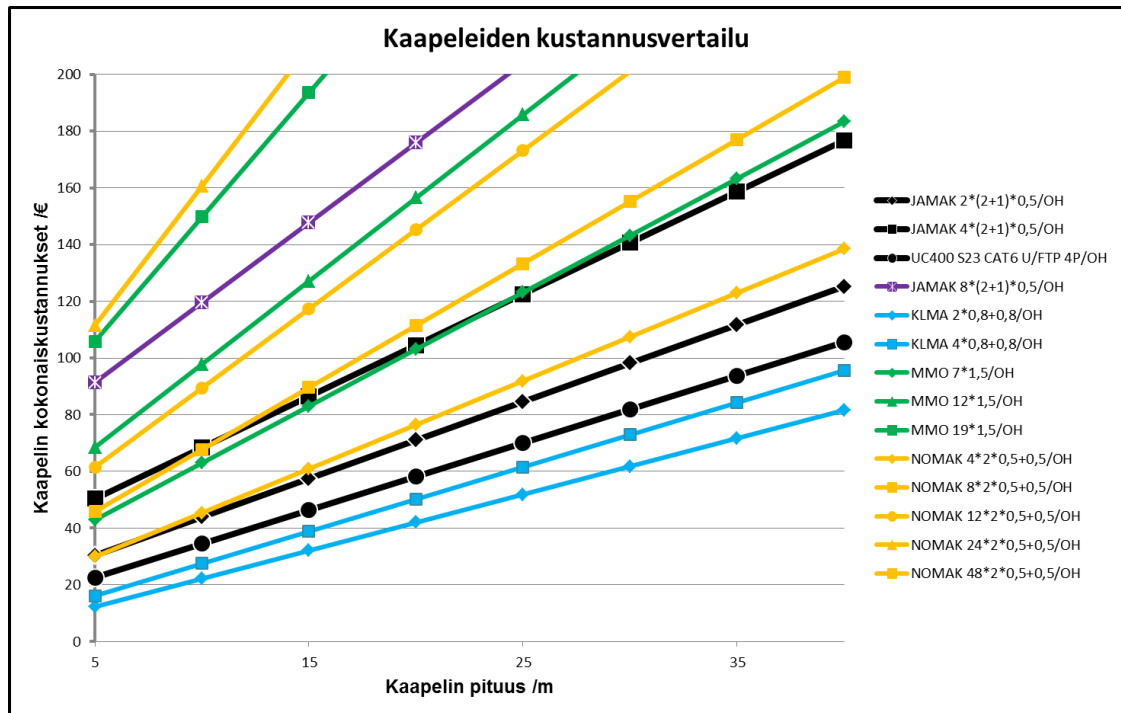
Ryhmäkeskusten sijaan voidaan miettiä myös erillistä moduulikotelo, johon I/O-yksiköt voidaan sijoittaa. Tämä vaatii asennuspaikan määrittelyn itse kotelolle, mutta ei vaadi niin paljoa suunnittelua sähkökeskuksiin liittyen.

Automaatiolaitteistojen huollon kannalta on hankala sanoa, onko parempi sijoittaa laitteet keskitetyksi vai hajauttaa. Keskitetyssä sijoittelussa laitteet ovat kiinteistöä tuntemattomalle helposti löydettävissä, mutta taas hajautettuna laitteet ovat lähempänä itse kulutuspisteitä, jolloin huoltotoimet ja siihen liittyvä testaaminen on helpompaa. Uskonkin että tässä asiassa esiintyvät omat hyvät ja huonot puolensa molemmissa tilanteissa.

Väyläkaapeloinnin tuomat hyödyt on mahdollista saada näkyviin jo urakointivaiheessa, jolloin urakoitsijoiden kaapelointityön loppuunsaattamista voidaan helpottaa. Mikäli keskuksen suunnitteluvaiheessa varataan rakennusautomaatiolle oma osionsa ja sisäiset johdotukset päätetään riviliittimille, voi sähköasentaja suoraan kytkeä kaapelin päät niille kuuluville paikoilleen. Näiltä riviliittimiltä on keskuksen sisäisen johdotuksen kautta yhteys automaatiolaitteistolle tarkoitettuun keskuksen osioon, jossa taas RAU-urakoitsija voi tehdä omat kytkentänsä. Työssä täytyy kuitenkin noudattaa riittävää varovaisuutta sekä kiinnittää huomiota urakoitsijoiden väliseen kommunikointiin, ettei kytketä jännitteitä päälle keskeneräisiin asennuksiin. Riviliittimien käyttäminen selkeyttää urakkarajoja sekä kytkentöjen tekemistä, mutta toisaalta lisää kytkentätyötä jonkin verran. Aikaisemmassa tavassa ohjauskaapelit kytkettiin suoraan I/O yksiköille ja nyt pitää asentaa välikaapelointi yksikön ja riviliittimen välille.

Kannattavuus yksittäisen kaapelin korvaamiseen väylällä riippuu kaapelin tyyppistä sekä pituudesta. Urakkalaskennassa jokaiselle kaapelille lasketaan hinta, joka siis sisältää kaapelin metrihinnan sekä asennustavan, johon lisätään vielä kytkentähinta. Liitteessä 1 on esitelty yleisimpien referenssikohteiden laskennassa käyttämiäni kaapelityyppejä sekä niiden asennuskustannuksia sekä kytkentähintoja. Liitteessä 2 on sama taulukko esitetty kuvaajan muodossa, josta nähdään jokaisen kaapelin kustannukset pituuden funktiona. Liitteen 2 suurennettu kuvaaja on myös esitelty kuvassa 3.

Kuvaajista nähdään selkeästi että erityisesti johdinlukumäärän lisääntyessä kytken hinnan kasvaa niin suureksi, että jo pelkästään se tekee väyläkaapeloinnin käyttämisestä kustannustehokkaampaa. Kuvaajassa on väyläkaapelointiin laskennassa käyttämäni kaapelit esitetty mustalla värillä.



Kuva 3. Kaapeleiden kustannusvertailu (Liite 2)

Rakennusautomaatiossa automaatiojärjestelmältä ei juuri vaadita nopeutta ohjauksissa ja säädöissä, jonka takia reaaliaikaisen tiedonsiirron väylät ovat lähinnä teollisuuden käytössä. Tämän vuoksi, ainakaan nopeutensa puolesta, ei tavanomaisissa kiinteistöissä automaatiojärjestelmän väylätekniikaksi ole tarpeellista valita Modbus TCP – väylää RTU:n sijaan. Nopeinta reagointiaikaa vaativat ohjaukset ovat yleensä käyttöveden säätö sekä valo-ohjaukset. Esimerkiksi käyttöveden säädön yhteydessä suositellaan enintään sekunnin viivettä. Ottaen kuitenkin huomioon, että säädöllä ohjattavan moottoriventtiilin ajoaika on yleensä 17–30 sekuntia [10; 12], ei prosessin toimivuuden kannalta ole luultavasti suurta merkitystä reagoiko säätö 1 vai 5 sekunnissa, mikäli itse moottoriventtiili ei pysy säädön mukana.

Sen sijaan vanhan yleiskaapeloinnin hyödyntäminen voi saneerauskohteissa osoittautua todella kustannustehokkaaksi ratkaisuksi. Yleensä uutta rakentaes-

sa halutaan kuitenkin pitää yleiskaapelointi sekä RAU-kaapelointi erillään häiriöiden vähentämiseksi. Toinen erinomainen käyttökohde Ethernet pohjaiselle tiedonsiirrolle on sähkön kulutusmittaukset, joissa esiintyy hyvin paljon sähköisiä häiriöitä suurien sähkövirtojen ja magneettikenttien takia. Modbus TCP tiedonsiirtoväylä ei ole niin altis näille häiriöille kuin esimerkiksi Modbus RTU.

Rakennusautomaatiojärjestelmissä jokaiselle toimilaitteelle ei väyläyhteyden vieminen ole tarpeellista. Yksittäisen lämpötilan, kosteusmittauksen tai tilatiedon tapauksissa ei yleensä ole kannattavaa maksaa enemmän väyläyhteensopivasta toimilaitteesta, eikä yksittäisen toimilaitteen johdottaminen yleensä ole halvempaa väyläkaapelillakaan. Mikäli halutaan useita tietoja tai ohjauksia samasta pisteestä, toimilaitteelle vaaditaan virittämistä etätyöskentelynä tai muuten väyläyhteensopivalle toimilaitteelle esitetään erilliset perusteet, on se varteenotettava vaihtoehto. Väyläpohjaisen laitteen uusiminen sen rikkoutuessa ei välttämättä olekaan suoraan mahdollista ellei juuri vastaavaa laitetta ei löydy, vaan järjestelmää joudutaan muuttamaan uuden laitteen ohjelmointia varten.

Yleisimmin käytettyjä väyläyhteensopivia laitteita rakennusautomaatiossa ovat erilliset huonesäätimet, taajuusmuuttajat sekä kulutusmittaukset [10; 12; 13].

## 10 Pohdinta

Opinnäytetyössä mielestäni saatiin hyvin kasattua yhteen nimenomaan huomi-oonotettavia asioita rakennusautomaation hajauttamisessa sähkökeskukseen. Asennustapaa tukemaan suoritettut kustannuslaskelmat toivottavasti rohkaisevat myös ko. asennustavan käyttämistä tulevissa suunnittelukohteissa.

Laskentamenetelmien tarkkuudesta verrattuna todellisiin kuluihin on hyvin vaikea sanoa, sillä uskoisin urakkalaskentatapoja olevan monenlaisia. Tähän työhön suoritettut laskennat on kuitenkin laskettu keskenään samalla tavalla, joten mahdollisissa eroavaisuuksissa kaikki laskennat ovat ainakin keskenään ver-

rannollisia. Uskoisin kuitenkin että kustannuslaskelmat toimivat hyvin juuri suuntaa antavina tietoina.

Tarkempaa tietoa rakennusautomaatiojärjestelmistä sekä suunnittelusta ei löytynyt kuin muutamasta lähteestä. Järjestelmiin perehtyneissä opinnäytetöissä oli taas käytetty pääasiassa samoja lähteitä, joten varsinkin teoriaosuuden lähteet jäivät aika suppeaksi. Kuitenkin haastatteluina keräämäni tiedot toivat hyvää lisätietoa sekä käytännön näkökulmia asioihin, jotka toivat varmuutta pohdintaa suorittaessani.

Aiheen rajaus oli varsinkin alussa äärimmäisen suuressa roolissa, sillä en osannut kuvitellakaan kuinka paljon työtä opinnäytetyöni teetti jo tässä laajuudessaan. Lisäksi sisällysluettelon sekä teoriaosuuden muotoilu asetti omat haasteensa, jotta sisältö pysyisi johdonmukaisena ja mahdollisimman tiiviinä. Kirjoittaessani yritin mahdollisimman hyvin pohjustaa myös perusasioita, jotta asiaan vähemmän perehtyneemmät henkilöt voisivat myös hyötyä tutkimuksesta.

Rakennusautomaatio- ja sähkösuunnittelun yhteensovittaminen sekä sähkötekniikkaan liittyvien standardien huomioonottaminen oli osaltaan hyvinkin haastavaa, mutta teki samalla tutkimustyön tekemisestä mielekäästä. Automaatiotekniikkaa on ollut opetussuunnitelmassani aika vähän, joka oli myös yksi niistä syistä, jonka vuoksi halusin tehdä siihen liittyvän opinnäytetyön.

Seuraava askel tutkimustuloksien todentamiseksi olisi suorittaa urakointikohde ko. asennustapaa käyttäen. Tämä selvittäisi todelliset kustannukset sekä mahdollisesti ilmenevät käytännön ongelmat, joita ei ole osattu ottaa huomioon. Laajemmassa tutkimuksessa voisi myös ottaa huomioon sähkökeskuksen laajentamisesta ja mahdollisista laitteistomuutoksista aiheutuvat kustannukset.

## Lähteet

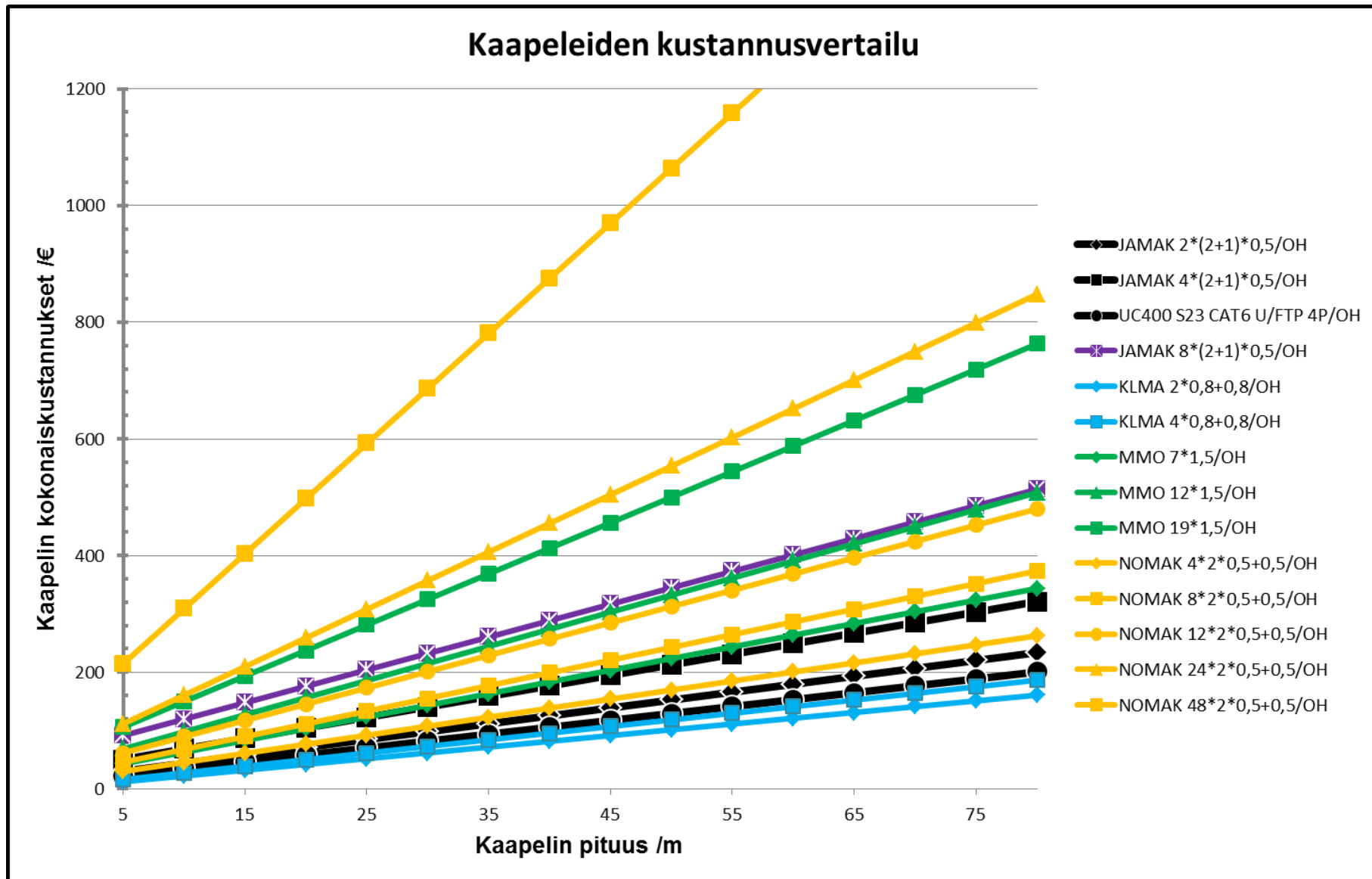
1. ST-Käsikirja 21. Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät. Sähkötieto ry. Espoo 2006. ISBN: 952-5600-30-0.
2. ST-Käsikirja 17. Rakennusautomaatiojärjestelmät. 3. uusittu painos. Sähkötieto ry. Espoo 2012. ISBN 978-952-231-071-2.
3. Ylitalo, J. Rakennusautomaation väylät ja integraatio. Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikka. Helsinki. 2012. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2012121219255>. [Luettu 7.11.2013]
4. ABB Oy. KNX-taloautomaatio tuoteluettelo 2012. Saatavissa: [http://abb.smartpage.fi/fi/taloautomaatio\\_tuoteluettelo\\_2012/files/taloautomaatio\\_tuoteluettelo\\_2012.pdf](http://abb.smartpage.fi/fi/taloautomaatio_tuoteluettelo_2012/files/taloautomaatio_tuoteluettelo_2012.pdf). [Luettu 15.3.2014].
5. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähköalan töistä 5.7.1996/516. Teoksessa: SFS-käsikirja 600-2. 1. painos. Helsinki. Syyskuu 2012.
6. SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus. 2.painos, 2005.
7. SFS-EN 61439-1:2013 Pienjännitekeskukset. osa 1: Yleisvaatimukset. 2. painos. Suomen standardoimisliitto SFS. Vahvistettu: 6.5.2013. Helsinki.
8. Wago®. Building Automation. 1.0GB. 12/2010. Printed in Germany. 0888-0195/0100-3601.
9. Acromag®. Introduction to Modbus TCP/IP. 2005. 8500-765-A05C000. [http://www.prosoft-technology.com/kb/assets/intro\\_modbustcp.pdf](http://www.prosoft-technology.com/kb/assets/intro_modbustcp.pdf). [Luettu 15.3.2014]
10. Puuronen, N. Rakennusautomaatiosuunnittelija. Insinööritoimisto Jormakka Oy. Haastattelu. 14.3.2014.
11. Rinta-Paavola, T. Ethernet-pohjaisen modbus-kortin hyödyntäminen Qt Creatorilla. Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Konetekniikka. Helsinki. 2010. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2010061812386>. [Luettu: 16.3.2014]
12. Haaranen, A. & Turunen, A. Automaatioinsinööri. KAP-TEK Oy. Haastattelu. 19.3.2014.
13. Ikonen, P. Automaatioinsinööri. Schneider Electric Buildings Finland Oy. Haastattelu. 21.3.2014.
14. Mikkola, J. Rakennusautomaatiosuunnittelu. Tutkintotyö. EVTEK. 2002.
15. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Sähkölaitteistot - hankintapäätös ja suunnittelu. Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteistot/Hankintapaatos-ja-suunnittelu/>. [Luettu: 22.3.2014].
16. Sähköturvallisuuslaki 14.6.1996/410. Teoksessa: SFS-käsikirja 600-2. 1. painos. Helsinki. Syyskuu 2012.



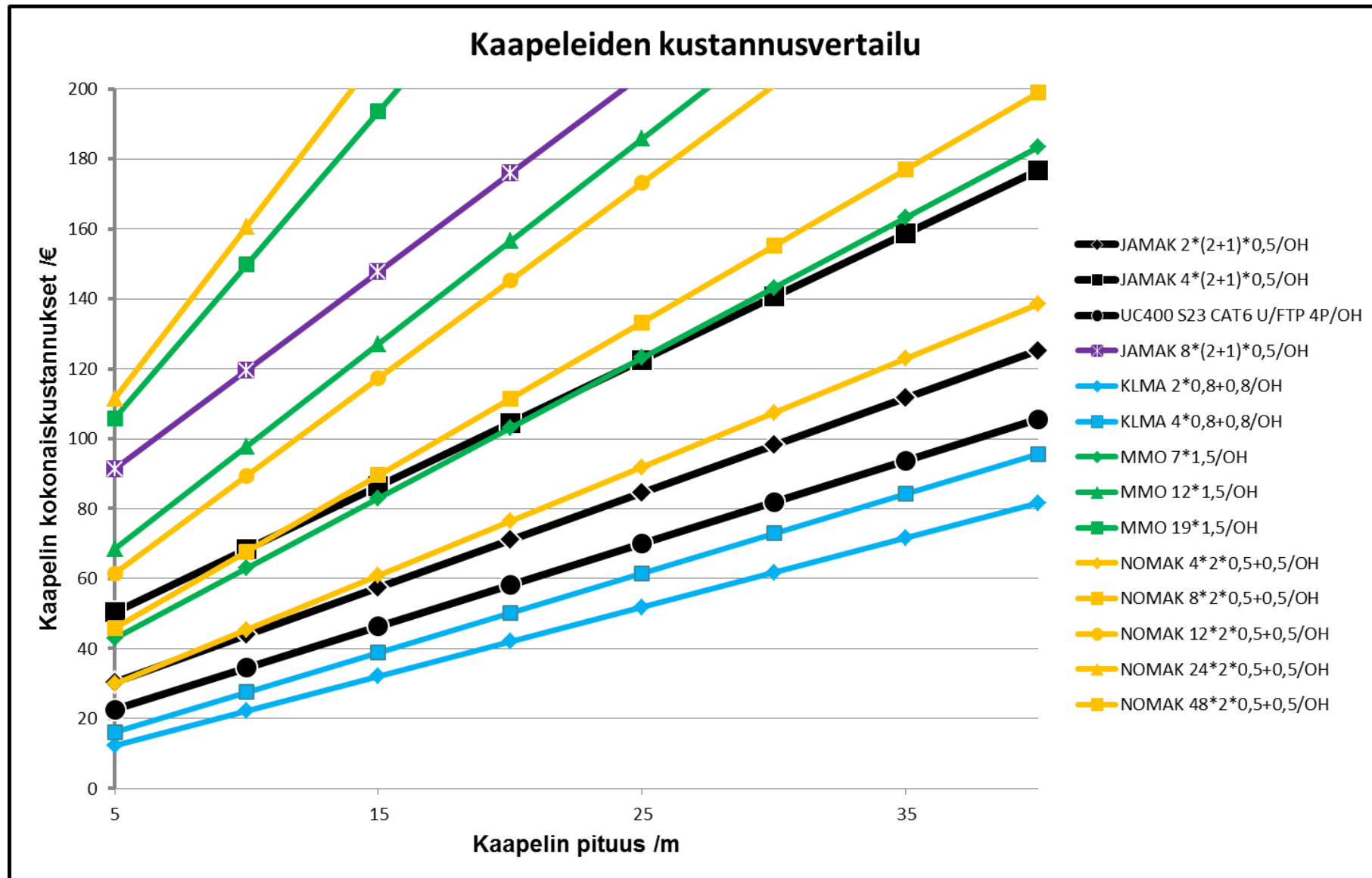
## Kaapeleiden yksikkökustannukset

Kaapeli	Hinta (€/m)	KytKentä (€/kpl)
JAMAK 2*(2+1)*0,5/OH	2,71	16,84
JAMAK 4*(2+1)*0,5/OH	3,61	32,31
JAMAK 8*(2+1)*0,5/OH	5,63	63,25
UC400 S23 CAT6 U/FTP 4P/OH	2,37	10,8
KLMA 2*0,8+0,8/OH	1,98	2,4
KLMA 4*0,8+0,8/OH	2,27	4,8
MMJ 3*1,5S/OH	2,57	9,8
MMJ 3*2,5S/OH	3,25	10,92
MMO 7*1,5/OH	4,01	22,88
MMO 12*1,5/OH	5,86	39,22
MMO 19*1,5/OH	8,76	62,1
NOMAK 4*2*0,5+0,5/OH	3,1	14,44
NOMAK 8*2*0,5+0,5/OH	4,37	24,04
NOMAK 12*2*0,5+0,5/OH	5,58	33,63
NOMAK 24*2*0,5+0,5/OH	9,82	62,43
NOMAK 48*2*0,5+0,5/OH	18,88	120,01

Kaapeleiden kustannusvertailu



## Kaapeleiden kustannusvertailu (suurennettu)



## Alakeskukselta jakokeskuksille asennettävien kaapeleiden kustannusvertailu

<b>Jakokeskus 1</b>	<b>€/m</b>	<b>/KYT (€)</b>	<b>yht. €</b>
MMO 12*1,5/OH	5,86	39,22	273,62
			<b><u>273,62</u></b>
Pituus	40 m		
			<b>Erotus</b>
JAMAK 2*(2+1)*0,5/OH	2,71	16,84	125,24
JAMAK 4*(2+1)*0,5/OH	3,61	32,31	176,71
UC400 S23 CAT6 U/FTP 4P/OH	2,37	10,8	105,6
			<b><u>168,02</u></b>
<b>Jakokeskus 2</b>	<b>€/m</b>	<b>/KYT (€)</b>	<b>yht. €</b>
MMO 7*1,5/OH	4,01	22,88	203,33
NOMAK 4*2*0,5+0,5/OH	3,1	14,44	153,94
			<b><u>357,27</u></b>
Pituus	45 m		
			<b>Erotus</b>
JAMAK 2*(2+1)*0,5/OH	2,71	16,84	138,79
JAMAK 4*(2+1)*0,5/OH	3,61	32,31	194,76
UC400 S23 CAT6 U/FTP 4P/OH	2,37	10,8	117,45
			<b><u>239,82</u></b>
<b>Jakokeskus 3</b>	<b>€/m</b>	<b>/KYT (€)</b>	<b>yht. €</b>
MMO 7*1,5/OH	4,01	22,88	463,98
			<b><u>463,98</u></b>
Pituus	110 m		
			<b>Erotus</b>
JAMAK 2*(2+1)*0,5/OH	2,71	16,84	314,94
JAMAK 4*(2+1)*0,5/OH	3,61	32,31	429,41
UC400 S23 CAT6 U/FTP 4P/OH	2,37	10,8	271,5
			<b><u>192,48</u></b>
<b>Jakokeskus 4</b>	<b>€/m</b>	<b>/KYT (€)</b>	<b>yht. €</b>
MMO 12*1,5/OH	5,86	39,22	232,6
			<b><u>232,6</u></b>
Pituus	33 m		
			<b>Erotus</b>
JAMAK 2*(2+1)*0,5/OH	2,71	16,84	106,27
JAMAK 4*(2+1)*0,5/OH	3,61	32,31	151,44
UC400 S23 CAT6 U/FTP 4P/OH	2,37	10,8	89,01
			<b><u>143,59</u></b>

<b>Jakokeskus 5</b>	<b>€/m</b>	<b>/KYT (€)</b>	<b>yht. €</b>	
MMO 12*1,5/OH	5,86	39,22	80,24	
NOMAK 4*2*0,5+0,5/OH	3,1	14,44	36,14	
			<b><u>116,38</u></b>	
Pituus		7 m		
				<b>Erotus</b>
JAMAK 2*(2+1)*0,5/OH	2,71	16,84	35,81	<b><u>80,57</u></b>
JAMAK 4*(2+1)*0,5/OH	3,61	32,31	57,58	<b><u>58,8</u></b>
UC400 S23 CAT6 U/FTP 4P/OH	2,37	10,8	27,39	<b><u>88,99</u></b>

LOPPUVERTAILU	VANHA	YHT:	<b><u>1443,85</u></b>	
	2xJAMAK	YHT:	<b><u>721,05</u></b>	EROTUS <b><u>722,8</u></b>
	4xJAMAK	YHT:	<b><u>1009,9</u></b>	EROTUS <b><u>433,95</u></b>
	CAT 6	YHT:	<b><u>610,95</u></b>	EROTUS <b><u>832,9</u></b>