



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Talotekniikka (AMK)

# Langattomien ja langallisten antennireiden kustannusvertailu rakennusautomaatiossa

Jan Vainikainen

Opinnäytetyö, Toukokuu 2024

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2024**  
**Talotekniikan koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

**Tekijä**  
Jan Vainikainen

**Nimeke**  
Langattomien ja langallisten antureiden kustannusvertailu rakennusautomaatiossa

**Toimeksiantaja** Granlund Oy

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyössä vertailtiin langattomia ja langallisia automaatoratkaisuja tarkastelemalla Karelia ammattikorkeakoulun Wärtsilä-kampuksen A-, B- ja C-osassa käytettyjä langallisia ja vaihtoehtoisia langattomia rakennusautomaation antureita keskenään. Työssä selvitettiin langattomien ja langallisten rakennusautomaatiojärjestelmien toimintaperiaatteet ja tarkasteltiin molempien ratkaisujen hyötyjä ja haittoja. Lisäksi työssä tehtiin kustannusvertailut Wärtsilä-kampuksella toteutettujen langallisten ja vaihtoehtoisten langattomien antureiden investointi- ja elinkaarikustannuksien välillä. Tarkoituksena oli selvittää, olisiko langattomat anturit kustannuksiltaan varteenotettava vaihtoehto langallisille antureille. Lisäksi selvitettiin, mitä mahdollisia langattomia ratkaisuja pystytään hyödyntämään.

Rakennusautomaatiojärjestelmien toimintaperiaatteet selvitettiin eri tietolähteistä. Langallista ja langatonta tiedonsiirtoa sekä näiden järjestelmien kentälaitteita tarkasteltiin erikseen. Molempien ratkaisujen hyötyjä ja haittoja selvitettiin tutkimalla eri lähteitä. Kustannusarvioinnit tehtiin Granlund Oy:n tekemien rakennusautomaatiosuunnitelmien pohjalta käyttämällä Wärtsilä-kampusta esimerkkinä. Antureiden kustannukset saatiin laite-toimittajien yksikköhintaluetteloiden pohjalta. Kytkentöjen ja kaapelointien kustannukset saatiin sähköinfon yksikkökustannusten laskentaohjelmasta. Lopulta vertailtiin langallisten ja langattomien antureiden investointi- ja elinkaarikustannuseroja.

Opinnäytetyö osoittaa, että langattomien antureiden investointikustannukset ovat edullisemmat kuin langallisilla antureilla. Myös elinkaarikustannukset ovat langattomilla antureilla edullisemmat, mutta tätä ei voida täysin ennakoida mahdollisten huoltojen takia. Vaikka molemmilla vaihtoehdoilla on omat hyödyt ja haitat, langattomien järjestelmien epäluotettavuus suhteessa langallisiin on keskeinen syy siihen, miksi langattomia kentälaitteita ei ole laajasti käytössä kaikkialla.

**Kieli**  
suomi

Sivuja 32  
Liitteet  
Liitesivumäärä

**Asiasanat**  
rakennusautomaatio, tiedonsiirto, langaton tiedonsiirto, anturit



**THESIS**  
**May 2024**  
**Degree Programme in Building Services**  
**Engineering**  
Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author  
Jan Vainikainen

Title  
Cost Comparison of Wireless and Wired Sensors in Building Automation

Commissioned by Granlund Oy

#### Abstract

The thesis compared wireless and wired automation solutions by examining the wired and alternative wireless building automation sensors used in the A, B and C part of the Wärtsilä campus of Karelia University of Applied Sciences. The basic principles of wireless and wired building automation systems were clarified and the advantages and disadvantages of both solutions were examined. In addition, the study made cost comparisons between the investment and life-cycle costs of wired and alternative wireless sensors implemented on the Wärtsilä campus. The aim was to determine whether wireless sensors would be a cost-effective alternative to wired sensors. In addition, the potential wireless solutions that can be utilized were investigated.

The principles of building automation systems were studied from different sources. Wired and wireless data transmission and the field devices of these systems were examined separately. The advantages and disadvantages of both solutions were investigated by examining different sources. Cost estimates were made based on building automation plans created by Granlund Oy by determining the number of sensors on the Wärtsilä campus. The cost of the sensors was obtained from the unit price lists of the equipment suppliers. The costs of wiring and cabling were obtained from the unit cost calculator of the Sähköinfo. Finally, the investment and life-cycle cost differences between wired and wireless sensors were compared.

The thesis shows that the investment costs of wireless sensors are more advantageous compared to wired sensors. The life cycle costs are also lower for wireless sensors, but this cannot be fully predicted due to possible maintenance. Both solutions have their advantages and disadvantages, but unreliability of the wireless systems compared to wired systems is the main reason why wireless systems are not seen everywhere.

Language  
Finnish

Pages 32  
Appendices  
Pages of Appendices

Keywords  
building automation, data transmission, wireless data transmission, sensors

# Sisältö

1	Johdanto .....	1
2	Rakennusautomaatiojärjestelmä .....	1
2.1	Rakenne ja tasot .....	2
2.2	Valvomolaitteet .....	4
2.3	Alakeskuslaitteet .....	4
2.4	IO-pisteet .....	5
3	Langallinen tiedonsiirto .....	7
3.1	Langalliset kenttälaitteet .....	8
3.2	Kaapelit .....	9
3.2.1	NOMAK .....	10
3.2.2	JAMAK .....	11
3.2.3	KLMA .....	11
3.2.4	CAT-kaapelit .....	12
3.2.5	Valokuitukaapelit .....	12
3.3	Topologiat .....	13
4	Langaton tiedonsiirto .....	14
4.1	Langattomat kenttälaitteet .....	16
4.2	Langattomat tiedonsiirtotekniikat .....	16
4.2.1	WLAN .....	16
4.2.2	Bluetooth .....	17
4.2.3	ZigBee .....	17
4.2.4	EnOcean .....	18
5	Langallisten ja langattomien kenttälaitteiden vertailu .....	18
5.1	Hyödyt ja haitat .....	18
5.2	Elinkaarikustannukset .....	20
6	Antureiden kustannusvertailu Wärtsilä-kampuksessa .....	20
6.1	Langallisten antureiden kustannukset .....	22
6.2	Langattomien antureiden kustannukset .....	25
6.3	Antureiden hintavertailu rakennuksessa .....	26
7	Pohdinta .....	29
	Lähteet .....	31

## 1 Johdanto

Opinnäytetyössä vertaillaan langattomia ja langallisia automaatoratkaisuja tarkastelemalla Karelia ammattikorkeakoulun Wärtsilä-kampuksen A-, B- ja C-osassa käytettyjä langallisia ja vaihtoehtoisia langattomia rakennusautomaation antureita keskenään. Työssä tarkastellaan langattomien ja langallisten rakennusautomaatiojärjestelmien periaatteet ja tarkastellaan molempien ratkaisujen hyötyjä ja haittoja. Työssä tehdään myös kustannusvertailut Wärtsilä-kampuksella toteutettujen langallisten ja vaihtoehtoisten langattomien antureiden investointi- ja elinkaarikustannuksien välillä. Tarkoituksena on selvittää, olisiko langattomat anturit investointi- ja elinkaarikustannuksiltaan varteenotettava vaihtoehto langallisille antureille. Lisäksi selvitetään, mitä mahdollisia langattomia ratkaisuja pystytään hyödyntämään.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Granlund Oy. Granlund Oy on kiinteistö- ja rakennusalan asiantuntijakonserni, joka toimii ympäri suomea. Rakennusautomaatiosuunnittelun puolella pohdittiin, mistä aiheesta voisi olla hyötyä yritykselle ja suunnittelijoille. Opinnäytetyöstä on tarkoitus saada mahdollinen tuki päätöksentekoon suunnitellessa langatonta järjestelmää. Langattomia vaihtoehtoja kehitetään jatkuvasti ja ne tulisi ottaa huomioon suunnitellessa rakennusautomaatiojärjestelmää.

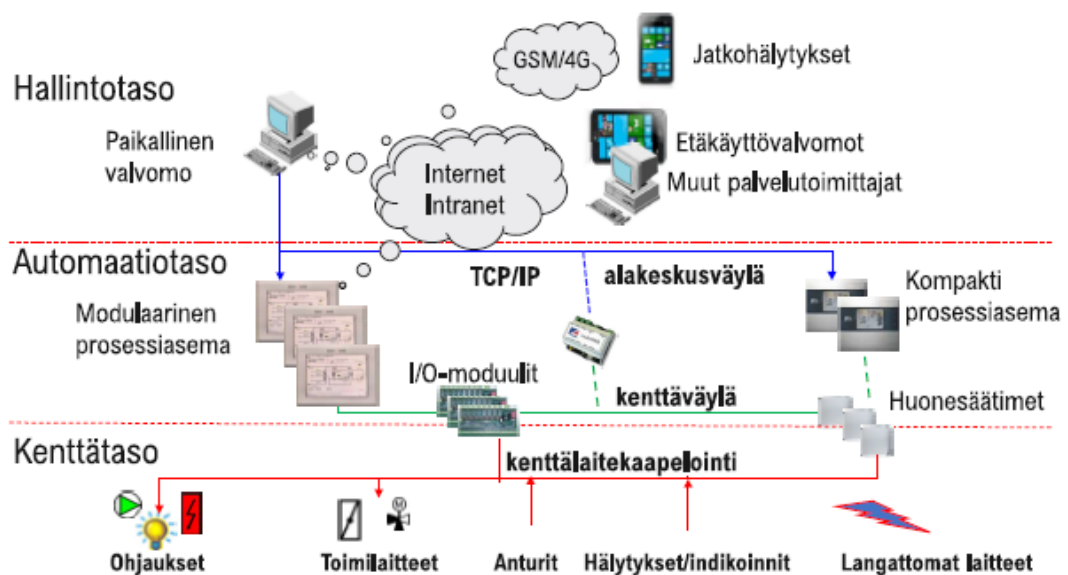
## 2 Rakennusautomaatiojärjestelmä

Rakennusautomaatiojärjestelmän avulla ohjataan, säädetään ja valvotaan rakennuksen teknisiä olosuhteita ja laitteita. Järjestelmällä pyritään automatisoimaan manuaaliset säätötyöt. Rakennusautomaatiolla ohjataan lämmitys-, ilmastovaihto-, jäähdytys- ja valaistusjärjestelmiä sekä yksinkertaisia sähkölaitteita, kuten sulana pitoja. Ohjaamalla kaikkia järjestelmiä keskitetysti, voidaan

olosuhteita hallita tarkemmin ja energiatehokkaammin. (Buildwise, Rakennusautomaatio tutuksi – Mitä on rakennusautomaatio? 30.1.2024.)

## 2.1 Rakenne ja tasot

Rakennusautomaatiojärjestelmä voidaan jakaa kolmeen eri tasoon hierarkkisessa järjestyksessä: Hallintotaso, automaatiotaso ja kenttätaso (kuva 1).



Kuva.1 Hierarkkinen rakenne (ST-17 Rakennusautomaatiojärjestelmät, 60).

Hallintotasolla tarkoitetaan järjestelmän korkeinta tasoa, joka toimii käyttäjärajapintana järjestelmään päin. Käytännössä tällä tarkoitetaan PC (Personal Computer) -valvomoita, joita voi olla yksi tai useampi paikallistasolla eli kiinteistön sisällä. Kaupungit ja kunnat käyttävät usein etävalvomoa, johon voidaan keskittää helposti usean kiinteistön valvonta. Hallintotason yhteydenpito ja kommunikatio on yleensä paikallisesti Ethernet-väylä ja etävalvonnassa taas käytetään internetyhteyksiä. (ST-17 Rakennusautomaatiojärjestelmät, 59.)

Valvomossa voidaan katsoa ja tarkastella graafisia prosessikuvia eri järjestelmistä. Valvomoon myös saadaan tiedot hälytyksistä sekä voidaan tehdä muutoksia mm. aikaohjelmiin ja lämpötilojen asetusarvoihin. Valvomo- ja

hallintatasolla tehdään myös vaativat laskennat ja analyysit. (ST-17 Rakennusautomaatiojärjestelmät, 59.)

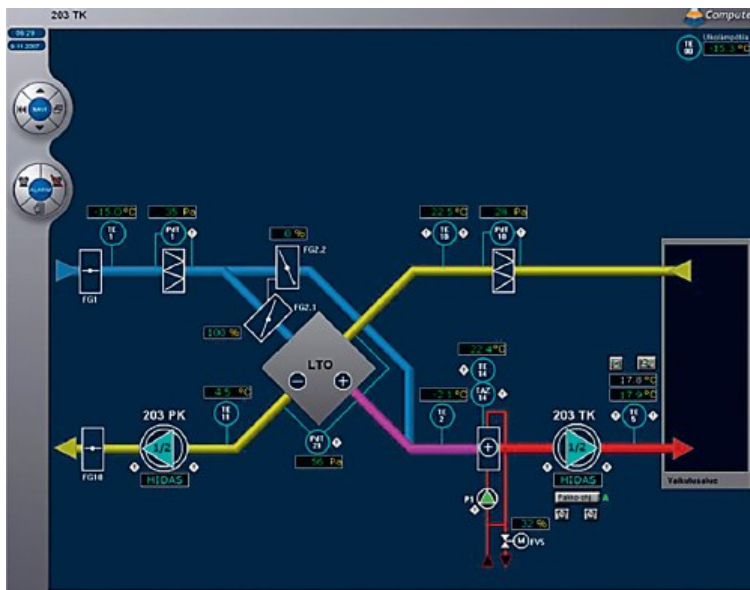
Automaatiotasoon kuuluvat itsenäiset alakeskukset ja niiden sisällä toimivat I/O-moduulit. Alakeskuksessa sijaitsevat ohjelmat, jotka ohjaavat prosesseja I/O-moduuleihin yhdistettyjen kenttälaitteiden välityksellä. Automaatiotasoon yhteydenpito ja kommunikaatio on yleensä LAN (Local Area Network) -verkkoon ja TCP-IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) -protokollaan perustuva. Normaali paikallisverkko toimii Ethernetilla, jossa on standardin CAT 6 -kaapelointi. Langatonta verkkoa (WLAN eli Wireless Local Area Network) käytetään mobiilien käyttölaitteiden yhteydessä. (ST-17 Rakennusautomaatiojärjestelmät, 60.)

Kenttätason tehtävänä on kerätä tietoa kenttälaitteiden, esimerkiksi antureiden avulla ja välittää tiedot eteenpäin automaatiotasolle. Automaatiotasoon alakeskusten ohjelmistot säätävät toimilaitteita niin, että suunnitelmien mukaiset asetellut tavoitteet saavutetaan. Esimerkiksi lämpötila-anturi lähettää tietoja alakeskukseen ja lämpötilaa ohjataan tarpeen mukaan säätöventtiilin avulla korkeammalle tai matalammalle. Kenttätasolla voi olla myös huonesäätimiä, jotka ohjaavat huoneeseen liittyviä venttiilejä ja puhaltimia. (ST-17 Rakennusautomaatiojärjestelmät, 61.)

Kenttätason toimivuus vaikuttaa ratkaisevasti järjestelmän toimivuuteen, joten sen suunnittelu ja toteutus tulee tehdä huolellisesti. Kenttätason yhteydenpito ja kommunikaatio on toteutettu yleensä heikkovirta kaapeloinnilla sekä väylän avulla. Myös langaton tiedonsiirto on yleistynyt viime vuosina. (ST-23 KNX-Järjestelmän perusteet, 18–19.)

## 2.2 Valvomolaitteet

Valvomolla valvotaan, ohjataan ja seurataan rakennuksen järjestelmiä paikallisesti ja etänä. Valvomon avulla voidaan oleellisesti vaikuttaa ihmisten viihtyvyyteen ja hyvinvointiin rakennuksessa sekä energiankulutukseen, josta koostuu kiinteistön suurin menoerä. Valvomosta voidaan helposti seurata laitteiden toimintoja graafisten käyttöliittymien avulla (kuva 2). Valvomo- ja hallintotaso on ihmisen ja järjestelmän välillä toimiva rajapinta. (ST-22 Rakennusten automaation valvomot, 8.)



Kuva 2. Graafinen käyttöliittymä (ST-22 Rakennusten automaation valvomot, 8).

Tekniikan ja ohjelmistojen jatkuvasti kehittyessä, täytyy myös valvomolaitteita ja ohjelmistoja päivittää säännöllisin väliajoin. Yleisesti valvomolaitteiden tekninen käyttöikä on 3–5 vuotta. (RT 18-10922, 32.)

## 2.3 Alakeskuslaitteet

Alakeskukset koostuvat pääosin I/O (Input/Output) -moduuleista, joihin voidaan kytkeä erityyppisiä I/O-pisteitä. Yhteen moduuliin voidaan kytkeä 8–40 fyysistä pistettä, jotka ovat muun muassa hälytystuloja, päälle/pois -ohjauksia ja erilaisia

antureita. Moduulit taas kytketään CPU (Central Processing Unit) -korttiin tiedonsiirtoväylän avulla. Alakeskuksien tyypillinen pistemäärä on noin 100, mutta isoissa kohteissa määrä voi kasvaa satoihin. (ST-17 Rakennusautomaatiojärjestelmät, 68.)

I/O-moduulien lisäksi alakeskuksessa on usein 24 Voltin AC (Alternating Current) -muuntaja kenttälaitteiden ja alakeskuksen jännitesyöttöä varten. Lisäksi alakeskuksesta löytyy 230 Voltin AC-pistorasia yleensä tietokoneita varten sekä pääkytkin ja häiriösuodattimet. Piirissä olevat toiminnot voivat myös vaatia katkeamattoman virransyötön eli UPS (Uninterrupted Power Supply) -laitteen. (ST-17 Rakennusautomaatiojärjestelmät, 71.)

Alakeskuksissa on hyvä olla paikallisnäyttö ja nykyään näytöt ovat hyvin yleisiä. Paikallisnäytöllä voidaan esittää pistelistauksia, graafisia prosessikuvia sekä tehdä käyttötilamuutoksia. (ST-17 Rakennusautomaatiojärjestelmät, 70.)

Myös alakeskukset tulee päivittää säännöllisin väliajoin. Alakeskuksien tekninen käyttöikä on noin 15 vuotta. Yleensä rakennuksiin tulee muutenkin tehdä rakennusautomaatiojärjestelmän uusiminen 15 vuoden välein. (RT 18-10922, 32.)

## **2.4 IO-pisteet**

Rakennusautomaatiojärjestelmän kenttälaitteet kytketään alakeskuksissa sijaitseviin I/O-moduuleihin. Yleensä puhutaan fyysisistä ja ohjelmallisista pisteistä. Fyysiset pisteet ovat laitteiden liityntäpisteitä ja ohjelmalliset pisteet ovat niin sanottuja fiktiivisiä pisteitä. Esimerkiksi huoneen lämpötilaa mitataan anturilla, joka on liitetty fyysisesti alakeskuksen I/O-moduuliin. Anturilta saadun tiedon mukaan ohjelmoidaan alarajahälytys. Kun lämpötila laskee aseteltuun lämpötilaan, saadaan aikaan ohjelmoitu hälytys. (ST-17 Rakennusautomaatiojärjestelmät, 72.)

Kosketintietoihin liittyvät tilatiedot ja hälytykset liitetään alakeskukseen digitaalisten tulopisteiden eli DI-pisteiden (Digital Input) avulla. Kenttälaitteen kosketin voi olla avautuva eli normally closed (NC) tai sulkeutuva eli normally open (NO).

Termeillä toisinaan myös ilmaistaan myös kytkimen tilaa ennen kuin asetettu raja-arvo on ylitetty. DI-moduuleilla on yleensä led-valo jokaiselle sisääntulolle, joka kertoo pisteen tilasta. (ST-17 Rakennusautomaatiojärjestelmät, 72.)

DO-pisteillä (Digital Output) eli digitaalisilla lähdöillä saadaan toteutettua erinäköiset on/off-toiminnot. Ohjaukset toteutetaan DO-moduulilla. Moduuleilla on yleensä 230 voltin kestävät releet, jolloin ne pystyvät ohjaamaan 24 voltin sekä 230 voltin AC kontaktoreita ja toimilaitteita. DO-moduuleilla on yleensä led-valo, joka kertoo releen tilan ja käsikytkin, jolla pystytään ohjaamaan paikallisesti ohjauspiste päälle, pois tai automaatile. (ST-17 Rakennusautomaatiojärjestelmät, 73.)

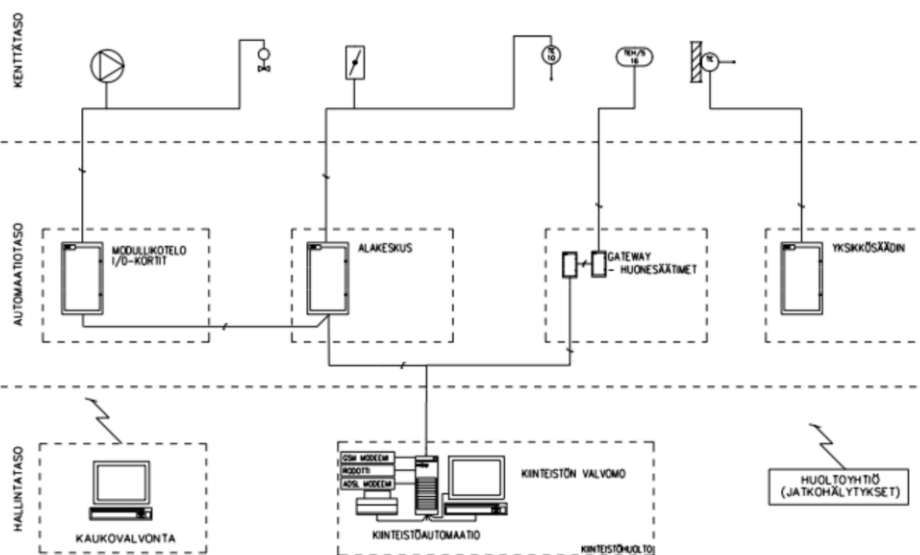
Alakeskusten AI-pisteisiin (Analog Input) eli analogisiin tuloihin liitetään erilaiset mittausanturit. Antureiden mittaussignaalit ovat yleensä PTC (Positive Temperature Coefficient)- tai NTC (Negative Temperature Coefficient)-elementtien vastusarvoja lämpötilaa mitattaessa. Pitoisuus- ja paineantureiden viestityypit ovat yleensä 0–10 voltin DC (Direct Current). Signaalit voivat olla myös virtaviestejä, jotka ovat suuruudeltaan 0–20 mA tai 4–20 mA. Viestit muunnetaan alakeskuksessa vastaamaan anturin teknisiä arvoja. (ST-17 Rakennusautomaatiojärjestelmät, 73.)

AO-pisteet (Analog Output) eli analogiset lähdöt ohjaavat peltien ja venttiilien toimilaitteita portaattomilla jänniteviesteillä. Portaattomalla viestillä tarkoitetaan, että laitteelle saadaan tarkkoja säätöarvoja on/off-toimintojen sijaan. Esimerkiksi venttiili voidaan säätää olemaan auki 60 %. Alakeskuksien laskemat ohjausarvot muutetaan analogiseksi jänniteviestiksi. Viestit ovat yleensä 0–10 voltin DC tai 2–10 voltin DC. Virtaviestejä käytetään, mutta niiden käyttö ei ole yhtä yleistä kuin jänniteviestien. (ST-17 Rakennusautomaatiojärjestelmät, 74.)

### 3 Langallinen tiedonsiirto

Jokaisella rakennusautomaation tasolla ja tasojen välillä tarvitaan tiedonsiirtoa. Tiedonsiirto perustuu langallisiin eli fyysisiin kaapeleihin tai langattomiin eli sähkömagneettisten aaltojen etenemiseen tilassa. Molempiin ratkaisuihin sisältyy useita toteutustapoja ja näiden ominaisuudet ja käyttösovellukset vaihtelevat paljon. Tiedonsiirtoa hyödynnetään järjestelmien ohjaukseen, säätämiseen, seurantaan sekä etähallintaan. Etähallintaa ja tiedonkeruuta varten, järjestelmät ovat yhteydessä internettiin, jolloin järjestelmiä voidaan hallita etäyhteyksien avulla. (ST-21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto, 44.)

Langallisessa tiedonsiirrossa kentälaitteet lähettävät ja vastaanottavat tietoa alakeskuksesta moduulien avulla (kuva 3). Langallinen tiedonsiirto voidaan jakaa perinteiseen järjestelmään eli aiemmin mainittuihin I/O-pisteisiin ja uudempaan, väylään perustuvaan asennukseen. I/O-pisteisiin perustuvassa järjestelmässä, jokaiselta kentälaitteelta vedetään erillinen kaapeli alakeskuksen I/O-moduulille. Perinteisen järjestelmän etuna on toimintavarmuus, koska jokaiselle laitteelle on oma kaapeli. Huonona puolena on taas kaapelointikustannukset. (ST 701.32, Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelu, 5.)



Kuva 3. Langallinen tiedonsiirto käytännössä (Suomen LVI-liitto, Ohje 7 Mittaus- ja säätölaitteet, 2).

Väylään perustuvan asennuksen periaatteena on, että perinteisen järjestelmän monilukuinen ohjauskaapelointi korvataan yhdellä väyläkaapelilla, joka kulkee laitteelta laitteelle, sekä laitteiden vaatimalla käyttöjännitekaapelilla. Väyläkaapelien avulla muokattavuus on helpompaa ja uusia kaapeleita ei yleensä tarvita, sillä kaikki laitteet toimivat väyläkaapelien avulla. Kaapelia säästyy, kun jokaisen laitteen kaapelia ei tarvitse erikseen vetää alakeskukseksi asti. Myös uuden laitteen lisääminen jälkeinpäin on helppoa, kun laite voidaan liittää samaan väylään muiden kanssa. Väyläkaapeli liitetään alakeskukseen väylämoduulin avulla. (ST-23 KNX-järjestelmän perusteet, 18.)

### **3.1 Langalliset kenttälaitteet**

Langalliset kenttälaitteet saavat virtansa kaapeleiden avulla jännitelähteestä ja ne myös lähettävät sekä vastaanottavat tietoa kaapeleiden avulla. Kenttälaitteista puhuttaessa tarkoitetaan rakennuksessa olevia laitteita, jotka mittaavat ympäristön olosuhteita ja jotka ohjaavat rakennuksen toimintoja, kuten lämpötilaa ja ilmanvaihtoa. Mittaavia kenttälaitteita kutsutaan antureiksi ja ohjaavia kenttälaitteita kutsutaan toimilaitteiksi. (ST 701.32 Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelu, 5.)

Yleisimmät rakennusautomaatiojärjestelmään liitetyistä antureista ovat lämpötila-antureita. Lämpötila-antureiden mittaus perustuu elementin resistanssin mittaukseseen. Yleinen mittausalue on 0...+60 °C ja -50...+50 °C. Valintaan vaikuttaa eniten käyttökohde sekä mitattava väliaine. Lisäksi antureita ovat paineanturit ja paine-eroanturit, joita käytetään nesteverkostojen ja IV-kanaviston paineiden mittauksissa. Muita antureita ovat mm. suhteellisen kosteuden-, kaasu-, hiilidioksidi-, valoisuus-, läsnäolo- ja vesivuotoanturit. Suurin osa antureista yhdistetään alakeskukseen AI-pisteiden avulla. (ST-17 Rakennusautomaatiojärjestelmät, 84.)

Toimilaitteet ovat laitteita, joilla ohjataan rakennusautomaatiojärjestelmän prosessia. Näillä ohjataan muun muassa ilmanvaihtopeltejä sekä nesteverkkoja. Toimilaitteet voivat olla joko kaksiasentoisia eli on/off-ohjauksella toimivia, jotka ovat liitetty alakeskuksen DO-pisteisiin tai suhteellisesti eli portaattomasti ohjattuja, jotka ovat liitetty alakeskuksen AO-pisteisiin. Portaaton ohjaus toteutetaan yleensä 0–10 voltin DC-viestillä. Toimilaitteiden moottoreiden käyttöjännite on yleensä 24 voltin AC/DC tai 230 voltin AC. Toimilaitteisiin kuuluvat erinäköiset venttiilit ja pellit. Venttiileitä ovat mm. pallo-, magneetti- ja läppäventtiili ja pelteihin ilmanvaihtopellit sekä palopellit. (ST 701.32 Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelu, 5.)

Langallisten kenttälaitteiden tekninen käyttöikä on noin 15 vuotta. Kenttälaitteet kuitenkin kehittyvät koko ajan ja näitä voidaan uusia useamminkin kuin 15 vuoden välein. Kenttälaitteen uusimassa täytyy myös arvioida, tarvitseeko kaapelia uusia vai selvitääkö vielä vanhalla kaapelilla. (RT 18-10922, 32.)

### **3.2 Kaapelit**

Langallisessa eli fyysisessä tiedonsiirrossa käytetään nimensä mukaisesti kaapeleita. Fyysisiin kaapelointeihin kuuluvat virta-, pari-, koaksiaalikaapelit ja optiset kuidut. Virtakaapeleita käytetään 230 voltin toimilaitteiden sähkönsyötössä. Parikaapeleita käytetään pääasiassa automaatiokaapeloinneissa. Koaksiaalikaapeleita käytetään radiotaajuisten signaalien siirrossa, esimerkiksi analogiset videosignaalit. Optisia kuituja käytetään televerkossa ja yleiskaapeloinneissa. (ST-16 Yleiskaapelointijärjestelmät, 137–138.)

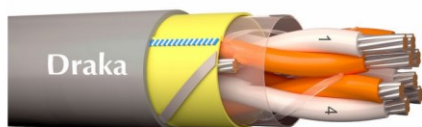
Antureissa, mittauslähettimissä, toimilaitteissa, indikoineissa ja hälytyksissä käytetään yleensä NOMAK, JAMAK ja KLMA-kaapeleita. Järjestelmien erojen takia tarvittava kenttäkaapelointi vaihtelee. Väyläkaapeloinnissa suositaan

erilaisia kaapeleita kuin perinteisessä järjestelmässä. Väyläkaapelointiin suositellaan parisuojuuttua kaapelointia ja perinteiseen I/O-pisteisiin käytetään parikierrettyä kaapelia. Alakeskuksien välillä käytetään yleensä standardin CAT 6-kaapelointia. Pitkillä etäisyyksillä voidaan käyttää myös valokuitukaapeleita. Valokuitukaapelia käytettäessä tarvitaan kuitumuunnin sähköisten signaalien muuntamiseksi optisiksi signaaleiksi ja takaisin. (ST-17 Rakennusautomaatiojärjestelmät, 103–104.)

Kaapelointien tekninen käyttöikä on noin 30 vuotta. Saneerauksia tehdessä tulee arvioida, onko kaapeleiden uusiminen järkevää ja tarpeellista. Vaikka laitteet uusittaisiinkin se ei välttämättä tarkoita, että kaapelitkin tulisi uusia, koska niiden tekninen käyttöikä on kuitenkin paljon pidempi. (RT 18-10922, 32.)

### 3.2.1 NOMAK

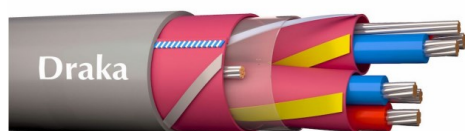
NOMAK-kaapeli on parikierrettyä instrumetointikaapelia (kuva 4). Sitä käytetään sähkölaitteiden automaatio-, prosessinohjaus- ja instrumetointikaapelointiin. Parikierretyt johdinparit sietävät häiriöitä paremmin. Johtimet ovat tinattua kuparijohdinta ja pareja löytyy kahdesta parista jopa 24:än pariin. (Prysmian, 2021.)



Kuva 4. Parikierretty NOMAK-kaapeli (Prysmian, NOMAK-HF DCA).

### 3.2.2 JAMAK

JAMAK-kaapeli on parisuojattua instrumetointikaapelia (kuva 5.) Myös JAMAK-kaapelia käytetään sähkölaitteiden automaatio-, prosessinohjaus- ja instrumetointikaapelointiin. JAMAK-kaapelilla on erinomainen häiriösuojauskyky, koska sillä on NOMAK:iin verrattuna lisäksi myös erillinen parisuojaus, jonka materiaali on foliota. Johtimet ovat tinattua kuparijohdinta ja pareja löytyy kahdesta parista 48:an pariin. (Prysmian, 2021.)



Kuva 5. Parisuojattu JAMAK-kaapeli (Prysmian, JAMAK-HF Dca).

### 3.2.3 KLMA

KLMA-kaapeli on suojattua merkinantokaapelia (kuva 6). Sitä käytetään kiinteissä sisäasennuksissa kiinteistöautomaatiossa, merkinanto-, valvonta- ja turvajärjestelmissä. Kaapeli ei ole parikierrettyä eikä parisuojattua, joten se on alttiimpi ulkoisille häiriöille. KLMA:ta ei nykyisin suositella käytettäväksi väyläkaapeloinnissa. Johtimet ovat tinattua kuparijohdinta ja kaapelia löytyy 2:sta johtimesta 4:än johtimeen. (Prysmian, 2021)



Kuva 6. Parisuojattu KLMA-kaapeli (Prysmian, KLMA-HF DCA).

### 3.2.4 CAT-kaapelit

CAT-tietoverkkokaapeleita käytetään alakeskuksien välisessä yhteydenpidossa, yleiskaapelointijärjestelmien toteutuksessa ja myös joissain kenttälaitteissa, kuten huonesäätimissä. CAT-kaapeleita on erilaisia ja niiden ominaisuudet vaihtelevat suojaukselta sekä tiedonsiirtonopeudelta. Tällä hetkellä eniten käytetään CAT-6 kaapelia. (kuva 7). Kaapelit ovat kierrettyä parikaapelia. (Prysmian, 2021)



Kuva 7. Parikierretty CAT6-kaapeli (Prysmian, UC400 Cat.6 U/UTP 4p HF Dca).

### 3.2.5 Valokuitukaapelit

Valokuitukaapeleita (kuva 8) käytetään alakeskuksien välisessä tiedonsiirrossa CAT-kaapeleiden lisäksi. Optinen tiedonsiirto on nopeampaa ja mahdollistaa useiden kilometrien etäisyydet. Valokuitu myös kestää erinomaisesti häiriöitä, koska siinä ei ole käytetty minkäänlaista metallia. Tämän ansiosta valokuitu on immuuni sähkömagneettisille häiriöille. Sähköiset signaalit muutetaan kuitumuuntimessa optisiksi signaaleiksi, jonka jälkeen ne lähetetään vastaanottiin, jotka muuntavat optiset signaalit takaisin sähköisiksi signaaleiksi. (Phoenix contact, Valokuitukaapelit, 2024.)

Valokuitukaapeleita on yksimuoto- sekä monimuotokuitukaapeleita. Näiden suurin ero on kuidun sydämen halkaisija, joka on yksimuotokuidussa paljon pienempi. Yksimuotokuitu on myös nopeampi ja mahdollistaa jopa 100 km:n etäisyyden. Monimuotokuitu on taas hitaampi ja etäisyydet ovat pienempiä, alle kilometrin. Monimuotokuidun kustannukset taas ovat yksimuotoa pienemmät. (Patchbox, Single Mode vs Multimode-kuidut: Mitä eroa niillä on? 15.6.2022.)



Kuva 8. 4-kuituinen valokuitukaapeli (Nestor, Valokuitukaapeli maa G652D K2000 - FYO2PMU 4xSM).

### 3.3 Topologiat

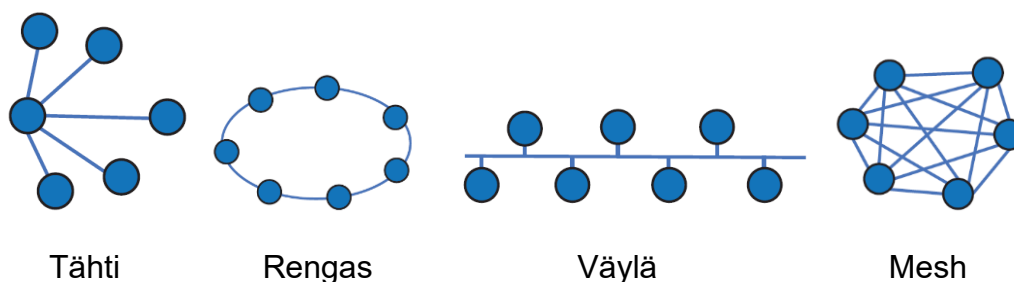
Topologia tarkoittaa verkon muotoa tai rakennetta. Topologiasta puhuttaessa voidaan tarkoittaa joko fyysistä tai loogista topologiaa. Fyysisellä topologialla tarkoitetaan verkon fyysistä rakennetta eli käytännössä kaapelointitapaa. Loogisella topologialla taas tarkoitetaan verkon loogista toimintaperiaatetta. Topologiaa tulee miettiä suunnitellessa väyläpohjaista tai langatonta järjestelmää. (ST-21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto, 16.)

Tähtitopologian peruseriaate (kuva 8) on kytkeä kaikki laitteet yhteen pisteeseen, niin sanottuun tähtipisteeseen, jonka kautta viestit pääsevät kulkemaan. Tähtipiste toimii kaikkien laitteiden yhdistäjänä. Tämän heikkoutena on tähtipisteen korostunut merkitys, koska tähtipisteen rikkoutuminen tekee verkon toimintakyvyttömäksi. Hyvä puoli tähtitopologiassa on se, että yksittäisen yhteyden tai kaapelin katkeaminen ei estä muun verkon toimintaa. (ST-21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto, 17.)

Rengastopologian peruseriaate (kuva 8) on kytkeä verkon runkokaapeli renkaan muotoon. Rengastopologiassa viesti kulkee laitteelta toiselle ja tämän takia vain yksi laite kerrallaan kuulee viestin. Renkaassa verkon laitteet toimivat myös signaalintoistimina, eli käytännössä ne lukevat viestin verkosta ja lähettävät sen eteenpäin. Tämän heikkoutena on se, että vain yhden laitteen rikkoutuminen voi johtaa pahimmassa tapauksessa koko verkon pysähtymiseen. (ST-21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto, 17.)

Väylätopologiassa (kuva 8) verkon laitteet on yhdistetty samaan kaapeliin, jonka päitä ei ole liitetty toisiinsa. Väylätopologiassa on käytännössä vain yksi kaapeli laitteiden viestien kuljettamiseen. Tämän takia vain yksi laitepari voi viestiä väylällä kerrallaan. Väylän heikkous onkin se, että kaapelin katketessa verkon toiminta lakkaa katkenneeseen pisteeseen. Väylätopologian hyötyjä on yksinkertaisuus, laaja levinneisyys ja helppo uusien laitteiden yhdistämisen mahdollisuus. (ST-21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto, 16.)

Mesh-topologialla (kuva 8) tarkoitetaan verkkoa, jossa kaikki laitteet ovat suorassa yhteydessä keskenään. Tämä on teoriassa paras topologia, koska verkko jatkaa toimintaansa, vaikka jokin laite hajoaisi tai kaapeli katkeaisi. On olemassa myös osittain yhdistettyjä mesh-verkkoja, joissa vain osa laitteista ovat suorassa viestinnässä keskenään. Mesh-topologiaa ei oikeastaan käytetä langallisissa verkoissa, koska kaapelointimäärät ja tilantarpeet kasvavat yleensä liian suuriksi. Langattomissa verkoissa mesh-topologia taas on yleinen, koska langattomuudessa ei ole kaapeloinnin rajoituksia. (ST-21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto, 18.)



Kuva 8. Topologiat (ST-21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto).

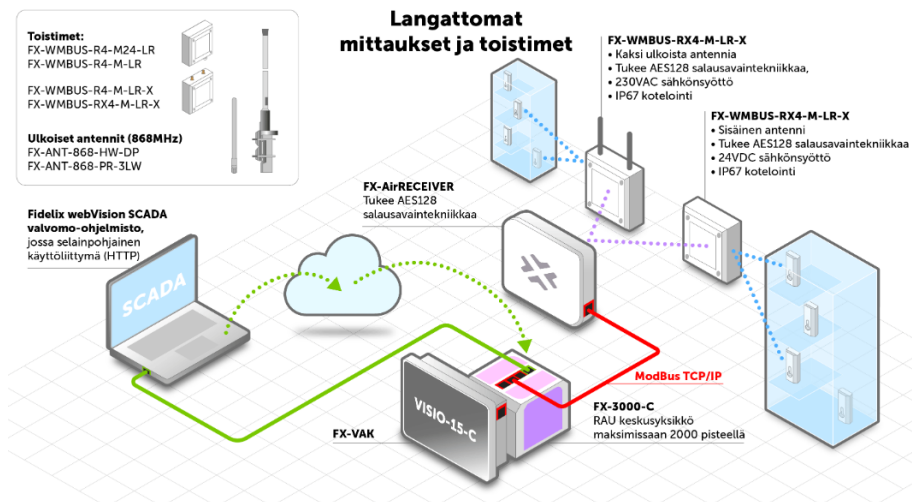
## 4 Langaton tiedonsiirto

Langaton tiedonsiirto talotekniikassa on lisääntynyt vuosi vuodelta. Langattomilla ratkaisuilla voidaan parantaa asennuksien muunneltavuutta. Tänä päivänä on yleisesti hyvä huomioida rakentamisessa erilaisten langatonta tiedonsiirtoa käyttävien järjestelmien mahdollisuudet. Langattomiin tiedonsiirto ratkaisuihin

kuuluvat kaikki tiedonsiirtoratkaisut, joissa ei käytetä kaapelia tiedonsiirtämiseksi. Joissain kenttälaitteissa voi olla esimerkiksi virransyöttöön tarkoitettu kaapeli, mutta itsessään tieto voidaan siirtää langattomalla yhteydellä. (ST-21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto, 44.)

Langattomien ratkaisuiden tiedonsiirtoon kuuluvat mm. radioaallot ja näköyhteydellä toimiva infrapunaverkko. Radioverkon käyttö rakennusautomaatiossa on infrapunaverkkoa paljon yleisempää, koska näköyhteyden vaatiminen rajaa käyttösovelluksia paljon pois. Radioverkkoihin kuuluvat esimerkiksi WLAN, Bluetooth ja ZigBee. Näköyhteydellä toimiva infrapuna on hyödyllinen tapauksissa, joissa tietoliikenne halutaan pitää rakennuksen tai huoneen sisällä. (ST-21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto, 44, 46.)

Käytännössä langaton tiedonsiirto (kuva 9) toimii siten, että anturit lähettävät signaaleita joko suoraan alakeskuksessa olevaan keskusyksikköön tai yhdyskäytävään, josta tieto taas viedään eteenpäin keskusyksikköön. Periaate on siis sama kuin langallisessa tiedonsiirrossa, mutta ilman kaapelia. Kuitenkin johdotusta tarvitaan virransyötössä yhdyskäytävälle ja vahvistimelle, sekä tiedonsiirrossa yhdyskäytävän ja keskusyksikön välillä. Langattomien antureiden ja yhdyskäytävän välillä voi olla vahvistimia, jotka parantavat signaalia. (Fidelix, Langaton M-Bus -järjestelmä vie rakennusautomaation uudelle aikakaudelle, 13.12.2021.)



Kuva 9. Langaton tiedonsiirto käytännössä (Fidelix, Langaton M-Bus, 13.12.2021).

## 4.1 Langattomat kenttälaitteet

Langattomat kenttälaitteet saavat virtansa paristoista tai niillä on virransyöttöön tarkoitettu kaapeli. On myös olemassa langattomia antureita, jotka saavat tarvitsevana energian ympäristöstään. Suurin osa langattomista kenttälaitteista on antureita. (ST-21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto, 44.)

Langattomia toimilaitteita löytyy erilaisia huonesäätimiä, radiaattori- ja ilmanvaihtoventtiileitä. Langattomat toimilaitteet eivät ole tällä hetkellä yhtä yleisessä käytössä kuin anturit, mutta niille löytyy joitain käyttökohteita. Esimerkiksi langattomia radiaattori-, ilmanvaihtoventtiileitä ja säätöpeltejä voidaan käyttää hyödyksi kiinteistöissä, joissa saneerauksen yhteydessä tehtävät kaapeloinnit ovat hankalia. (Thermokon, Tuotevalikoima: Langattomat, 2023.)

Langattomissa antureissa eniten käytetyt anturit ovat lämpötila-antureita, mutta saatavilla on myös hiilidioksidi-, kosteus-, valoisuus- ja läsnäoloantureita. Antureiden signaalia voidaan vahvistaa erillisillä vahvistimilla. (Fidelix, Tuotekategoria: Langattomat anturit, 2024.)

Langattomien kenttälaitteiden tekninen käyttöikä on noin 15 vuotta. Täytyy kuitenkin huomioida, että paristot eivät välttämättä kestä tätä ajanjaksoa, jolloin paristot tulee vaihtaa ja tämä tuo lisäkustannuksia. Tämän takia hankinnassa pitää arvioida kuinka kauan kenttälaitteet selviävät ilman huoltoa. (RT 18-10922, 32.)

## 4.2 Langattomat tiedonsiirtotekniikat

### 4.2.1 WLAN

WLAN eli Wireless Local Area Network on yleisin langattomissa verkoissa käytetty tekniikka. Verkon rakentamiseen käytetty tekniikka on IEEE 802.11 eli Wi-Fi. WLAN sopii alakeskusten ja valvomotason väliseen kommunikointiin ja

tiedonsiirtoon. WLAN käyttää 2,4 GHz:n ja 5 GHz:n taajuusalueita. Sisätiloissa WLAN-verkon kantama on noin 30–50 metriä ja tiedonsiirtonopeus voi olla yli 1 Gbit/s. Nopeus on kuitenkin normaalisti noin 120 Mbit/s. Kenttälaitetasolla WLAN:ia ei oikeastaan käytetä, koska pienemmät tiedonsiirtokapasiteetit riittävät aivan hyvin. (Elisa, WLAN-verkon ominaisuudet ja ongelmatilanteet, 2024.)

#### **4.2.2 Bluetooth**

Bluetooth on langaton ja lyhyen kantamaan tiedonsiirtoon tarkoitettu avoin standardi ja se kehitettiin jo vuonna 1998. Bluetoothilla voidaan saavuttaa 100 m kantaman ja 3 Mbit/s tiedonsiirtonopeuden. Bluetoothin käyttötaajuus on 2,4 GHz. Bluetooth vie vähän energiaa ja sopii hyvin antureiden tiedonsiirtoon. Bluetoothin ongelmana on huono liitettävyyys suuriin verkkoihin, joissa on yli 40 anturia. Omakotitalon sovelluksissa se toimii erittäin hyvin. (Bluetooth Technology Overview, 2024.)

#### **4.2.3 ZigBee**

ZigBee on lyhyen kantaman ja pienen tehonkulutuksen omaava langaton tiedonsiirtotekniikka. ZigBeen pääideana on erittäin pieni tehonkulutus, jolloin se sopii hyvin antureihin. Se on laajasti käytetty myös rakennusautomaation eri sovelluksissa, kuten valaistuksen ohjauksissa ja paikantamisessa. ZigBeessä on 250 kbit/s tiedonsiirtonopeus ja sen käyttötaajuus on 2,4 GHz. (ST-17 Rakennusautomaatiojärjestelmät, 91.)

ZigBeen kantama ulkotiloissa on 10–100 metriä ja sisätiloissa luotettavasti 10–20 metriä. ZigBeen vahvuus kuitenkin on MESH-verkossa. Jokainen

verkkovirralla toimiva laite toimii langattoman ZigBee signaalin reitittimenä, jolloin jokainen johdotettu laite laajentaa verkon kantavuutta. (Schneider Electric, ZigBee verkon kantavuus, 2024.)

#### **4.2.4 EnOcean**

EnOcean on langattomaan tiedonsiirtoon tarkoitettu tekniikka, jossa tiedonsiirtoon tarvittava energia saadaan ympäristöstä. Käytännössä anturit siis saavat tarvittavan energiansa esimerkiksi liikkeestä, värinästä, valosta tai lämpötilaeroista. Tämän ansiosta antureita ei tarvitse jälkeinpäin huoltaa, joka lisää paljon käyttömahdollisuuksia. EnOceanin kantama voi olla jopa 300 metriä ulkotiloissa, mutta sisätiloissa kantavuus vaihtelee 10–30 metrin välillä rakenteiden aiheuttaman vaimenemisen takia. EnOceanin käyttötaajuus on 868 MHz ja tiedonsiirtonopeus on 125 kbit/s. (Automation Community, EnOcean Wireless Communication Protocol, 30.12.2023)

## **5 Langallisten ja langattomien kenttälaitteiden vertailu**

### **5.1 Hyödyt ja haitat**

Langallisuuden suurin etu on luotettavuus. Kaapelit kuljettavat laitteelle jatkuvasti virtaa, joten tehon loppumisesta ei tarvitse huolehtia. Langallisten kenttälaitteiden tekninen käyttöikä on noin 15 vuotta ja tämän ajan ne yleensä toimivat ilman suurempia tarvittavia huoltotoimenpiteitä. Langalliset kenttälaitteet ovat yleensä halvempia verrattuna langattomiin. Myös tiedonsiirto on kaapeleiden avustuksella varmempaa ja ulkoisia häiriötekijöitä on vähän. Lisäksi tietoturva

on parempi langallisessa järjestelmässä. Koska langattomuus ei yllä luotettavuudellaan langallisten ratkaisujen tasolle, tulisi kriittisimmät sovellukset toteuttaa langallisilla menetelmillä. (ST-23 KNX-järjestelmän perusteet, 19.)

Langallisten kenttälaitteiden suurimpana haittana taas voidaan pitää asennuskustannuksia. Kaapeleiden asentaminen on aikaa vievää ja itse materiaali voi tulla hyvinkin kalliiksi. Asennuksen jälkeen myös joustavuus on huonompaa, jos haluttaisiin vaikka vaihtaa laitetta tai laitteen paikkaa. Sijoittelu täytyy myös miettiä tarkemmin, sillä kaapelireittejä ei ole kaikkialla. (ST-21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto, 46, 96.)

Langattomat kenttälaitteet tuovat mukanaan paljon hyötyjä: kaapeloinnin säätöt, nopea asentaminen, joustavuus ja sijoittelun mahdollisuus paikkoihin, joihin langallista kenttälaitetta ei saada. Vanhojen rakennuksien saneerauksien yhteydessä johtojen asentaminen aiheuttaa useasti ylitsepääsemättömiä esteitä, jolloin langattomuus on etulyöntiasemassa. (ST-21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto, 94.)

Langattomuudessa on myös omat haittansa: tehon saanti, paristojen vaihtotarve, häiriöherkkyys ja tietoturvallisuus. Laittevalmistajien ilmoittaman tehon perusteella ei voida suoraan sanoa kuinka suuri signaalin kantama on, koska etäisyys ja kiinteistön rakenteet heikentävät kenttälaitteiden signaalia. Tämän takia jokaisen anturin toimivuus ja signaalin vahvuus on mitattava paikan päällä toimivuuden varmistamiseksi. Myös paristojen kestoajat voivat vaihdella laitevalmistajien ilmoittamista ajoista. Tietoturvan huomioon ottaminen on erityisen tärkeää langattomissa järjestelmissä, koska ulkopuolisen on helpompi päästä käsiksi langattomaan viestiliikenteeseen. Tämän takia viestien suojaus, salaus ja viestittäjien tunnistaminen on olennaista. (ST-21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto, 97–98.)

## 5.2 Elinkaarikustannukset

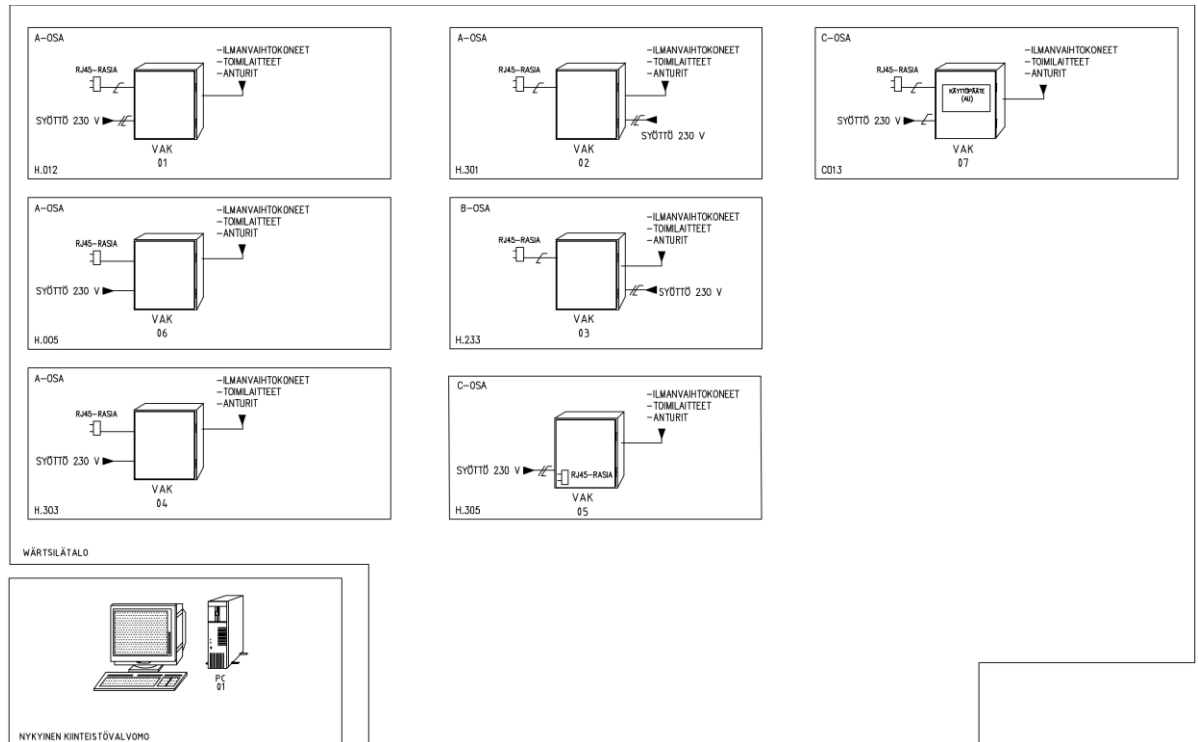
Elinkaarikustannuksiin kuuluvat investointi-, käyttö- ja huoltokustannukset (Swegon, Elinkaarikustannukset, Luettu 12.4.2024). Langallisilla kenttälaitteilla tähän kuuluvat pääasiassa investointikustannukset, koska käyttökustannuksia ei laitteiden hankinnan ja kaapeleiden vedon jälkeen enää tule. Huoltokustannuksia tulee joissain tapauksissa, mutta kuitenkin harvemmin.

Langattomien kenttälaitteiden investointikustannukset ovat yleensä pienemmät kuin langallisten. Langattomat laitteet ovat usein kalliimpia, mutta kaapeleiden veto ja laitteiden kytkentä on yleensä kalliimpaa kuin langattomien ja langallisten kenttälaitteiden hintojen erotus. Nykyään langattomien mittausantureiden paristot voivat riittää laitteentoimittajien mukaan 12–16 vuodeksi, jolloin paristojen vaihdoista ei aiheudu ylimääräisiä kuluja. Heikot signaalit eivät ole myöskään niin suuri haitta, sillä antureiden kanssa saa vahvistimia ja toistimia, jotka auttavat signaalin kulkua. Langattomien laitteiden tapauksessa kuitenkin huollon tarve on huomioitava tarkemmin, sillä paristot eivät usein kestä ilmoitettua aikaa. Tämän seurauksena niiden vaihdosta voi tulla huomattava kuluerä. (Fidelix, Langaton M-Bus -järjestelmä vie rakennusautomaation uudelle aikakaudelle, 13.12.2021.)

## 6 Antureiden kustannusvertailu Wärtsilä-kampuksessa

Antureiden investointi- ja elinkaarikustannuksille voidaan suorittaa kustannusarviointi, jossa tarkastellaan molempien järjestelmien hankinta-, asennus- ja mahdolliset huoltokustannukset. Esimerkkinä toimii Karelia-ammattikorkeakoulun Wärtsilä-kampus.

Wärtsilä-kampuksen rakennusautomaatiojärjestelmä (kuva 10) kostuu kiinteistövalvomosta, valvonta-alakeskuksista ja rakennuksen toimintoja ohjaavista toimilaitteista sekä olosuhteita mittaavista antureista. Järjestelmä on liitetty kaupungin rakennusautomaatiojärjestelmään ja kiinteistövalvomoon.



Kuva 10. Wärtsilä-kampuksen järjestelmäkaavio (Granlund Oy, 11.8.2023).

Wärtsilä-kampuksen koko rakennusautomaatiojärjestelmä on toteutettu langallisesti. Rakennus on nelikerroksinen ja alakeskuksia löytyy seitsemän kappaletta. Alakeskukset ovat liitettyinä TCP/IP-väylään. Kenttälaitteet ovat liitettyinä alakeskuksiin NOMAK- ja JAMAK-kaapeleilla. Lämpötila- (TE), hiilidioksidi- (QE) ja kosteusantureita (ME) löytyy rakennuksesta 38 kappaletta (taulukko 1).

	TE	TE/QE	ME
Kellarikerros	8	0	0
1.Kerros	13	6	1
2.Kerros	5	4	0
3.Kerros	1	0	0
<b>Yht.</b>	<b>27</b>	<b>10</b>	<b>1</b>

Taulukko 1. Karelian ammattikorkeakoulussa sijaitsevien antureiden määrät.

Antureiden määrät on laskettu Granlund Oy:n tekemien rakennusautomaatio-suunnitelmien pohjalta. Jokaisessa rakennuksen hiilidioksidianturissa on myös lämpötilamittaus samassa. Tämän takia taulukossa on merkintä TE/QE.

## 6.1 Langallisten antureiden kustannukset

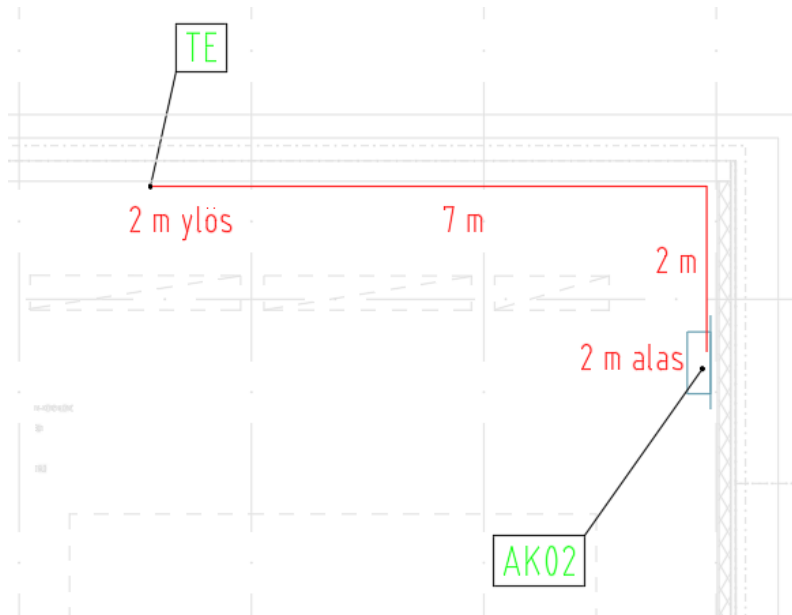
Langallisten antureiden kustannuksissa tulee ottaa huomioon antureiden, kaapelointien sekä kytkentöjen hinnat. Lisäksi langallisillakin antureilla on myös välillä huoltotarpeita. Laskennoissa keskitytään lämpötila-, hiilidioksidipitoisuus- ja kosteusantureihin, sillä nämä ovat myös langattomasti toteutettavissa olevia ratkaisuja. Antureiden kappalemäärän selvityksen ansiosta, voidaan laskea kuinka paljon rakennuksen anturit ovat suunnilleen kustantaneet (taulukko 2). Taulukosta nähdään langallisten antureiden yksikköhinnat ja kappalemäärät sekä näiden kustannukset.

	TE	TE/QE	ME	
Yksikköhinta	50 [€] ALV 0 %	350 [€] ALV 0 %	230 [€] ALV 0 %	
Kappalemäärä	27	10	1	
<b>Yht.</b>	<b>1350 [€]</b>	<b>3500 [€]</b>	<b>230 [€]</b>	<b>5080 [€]</b>

Taulukko 2. Langallisten antureiden hinnat.

Antureiden kustannuksien esimerkkeinä on käytetty muutaman ison laitetoimittajan hintojen keskiarvoa. Hinnat eivät ole julkista tietoa. Halvimmasta kalleimpaan antureita löytyy 40–500 euron välillä. Hinnat riippuvat täysin antureiden ominaisuuksista. Antureihin saadaan esimerkiksi läsnäolotunnistimia ja häkämittauksia, jolloin hinnat kasvavat huomattavasti. Pelkät lämpötila-anturit ovat kuitenkin halvimmasta päästä.

Alakeskuksien ja antureiden sijainnit sekä näiden välisten kaapelointien välimatkat ovat selvitetty ja laskettu pohjapiirustuksista. Kaapelointimatkojen laskennat on toteutettu kuvassa 11 näkyvän periaatteen mukaisesti. Jokainen anturi on kaapeloitu lähimpänä olevalle alakeskukselle. Esimerkissä lämpötila-anturilta (TE) nousee alakatossa sijaitseville kaapelireiteille ja tästä edetään alakeskukselle. Keskuksen luona kaapeleilla laskeudutaan katosta alakeskukselle sen verran, että kaapelit saadaan kytkettyä. Lämpötila-anturin (TE) johdotuksen pituus alakeskukselle (AK02) esimerkissä (kuva 11) on 13 metriä.



Kuva 11. Periaatekuva anturin johtimen pituudesta.

Anturin johtimen pituuden laskuperiaatteen mukaan voidaan laskea kaikkien anturien kaapelointimatkat. Kaapelointien pituudet on laskettu kerroksittain (taulukko 3) niin, että kunkin kerroksen tuloksissa näkyy kyseessä olevan kerroksen kaikkien anturien kaapelointien pituudet.



Kellarikerros	160
1.Kerros	400
2.Kerros	180
3.Kerros	10
Yht.	750







Taulukko 3. Kaapelointien matkat metreissä.

Kaapelointimatkojen laskemisen jälkeen lasketaan asennuksien ja kaapeleiden vetojen kustannukset sähköinfon yksikkökustannusten laskentaohjelmalla (kuva 12). Ohjelma on aputyökalu urakoitsijoille, tilaajille ja suunnittelijoille. Yksikkökustannusohjelman voidaan valita jokaiseen tapaukseen tarkoituksenmukaisin asennustapavaihtoehto. Yksikkökustannusohjelman hinnoittelu perustuu suurimpien tukkureiden sähkötarvikehinnastoihin. Työhinnat taas perustuvat Sähkötekniset työnantajat STTA ry:n ja Sähköalojen ammattiliitto ry:n työehtosopimuksen mukaiseen urakkahinnoitteluun. (Sähköinfo Oy, 13.4.2024.)

Kuva 12. Sähköinfon yksikkökustannusohjelma (Sähköinfo Oy, 2024).

Antureiden kaapeloinneissa on käytetty NOMAK-HF Dca 2x2x0,5+0,5 kaapelia, joten valitaan tämä ohjelmasta. Kaapeliin saadaan valittua monia eri asennustapoja (kuva 13). Valitaan tähän kaapelimatkat oikaistuna johtoteillä sekä kyt-

HAKUTULOKSET (15 KPL / 252 KPL) RYHMITTELY  

	NIMI	ASENNUSTAPA	YKSIKKÖ
00	NOMAK-HF Dca 2x2x0,5+0,5 /O	O Uppo/putkeen/ontelo/kanaali/putketon	M 
01	NOMAK-HF Dca 2x2x0,5+0,5 /O+JM	O+JM Asennettuna putkeen+muoviputki	M 
02	NOMAK-HF Dca 2x2x0,5+0,5 /OTA	OTA Kaapelinjohtimen veto toisen asentamiin putkiin	M 
03	NOMAK-HF Dca 2x2x0,5+0,5 /M	M Asennus maahan	M 
07	NOMAK-HF Dca 2x2x0,5+0,5 /O+JAPP	O+JAPP Asennettuna putkeen+alumiiniputki kiveen	M 
10	NOMAK-HF Dca 2x2x0,5+0,5 /OJ	OJ Oikaistuna johtoteille	M 

Kuva 13. NOMAK-HF Dca 2x2x0,5+0,5 kaapelin asennustapojen valinta (Sähköinfo Oy, 2024).

Kaapelimatkaan laitetaan aiemmin laskettu tulos (taulukko 3) eli 750 metriä. Kytkentään taas laitetaan rakennukseen asennettujen antureiden määrä eli 38. Näiden yhteiskustannukseksi saadaan 3241 euroa (kuva 14).

WÄRTSILÄ  
2023 - 2 - 13.11.2023 - OLETUSTASO: C

LATAA HINNOITTELUOHJEET 1 x 3 241,26 € = 3 241,26 €

OLETUSPOSITIO (2 KPL ) OLETUSTASO: C		1 x 3 241,26 € = 3 241,26 €					
NIMI	PAKETTI	MÄÄRÄ	KERROIN	TASO	YKS. HINTA	HINTA (ALV 0%)	
NOMAK-HF Dca 2x2x0,5+0,5 /OJ	0280300 10	750	1	C -	3,89	2917,5	-
NOMAK-HF Dca 2x2x0,5+0,5 /KYT	0280300 25	38	1	C -	8,52	323,76	-

Kuva 14. NOMAK-kaapelin kytkentä- ja kaapelointienkustannukset (Sähköinfo Oy, 2024).

Yksikkökustannusohjelmasta saatujen tuloksien ja antureiden hintojen selvityksen jälkeen saadaan laskettua langallisten antureiden investointikustannukset (taulukko 4). Taulukosta nähdään antureiden, kaapelointien ja asennuksien kustannukset euroina sekä kokonaiskustannuksiin nähden prosentteina.

	Hinta [€]	Kustannukset prosentteina
Anturit	5080 [€]	61 %
Kaapeloinnit	2917 [€]	35 %
Kytkenät	323 [€]	4 %
<b>Yht.</b>	<b>8320 [€]</b>	

Taulukko 4. Langallisten antureiden investointikustannukset.

Huomataan, että investointikustannukset koostuvat pääasiassa itse antureiden hinnasta sekä kaapeloinneista. Kytkentöjen kustannukset taas ovat pienet verrattuna antureihin ja kaapelointeihin. Langallisilla antureilla huollon tarve on harvempaa jatkuvan virransyötön ansiosta, joten elinkaarikustannuksiin ei lisätä muuta investointien lisäksi.

## 6.2 Langattomien antureiden kustannukset

Rakennuksen anturit olisi voitu toteuttaa myös langattomasti, jolloin investointi- ja elinkaarikustannukset muuttuisivat. Langattomien antureiden investointihintaan (taulukko 5) kuuluvat itse laitteet ja käyttöönotto. Kaapeloinnit ja kytkennät jäävät langattomista antureista pois, sillä kaapeleita ei tule ja kytkentöjä ei näin

ollen tarvitse tehdä. Taulukosta 5 nähdään langattomien antureiden yksikköhinnat ja kappalemäärät sekä näiden kustannukset.

	TE	TE/QE	ME	
Yksikköhinta	100 [€] ALV 0 %	300 [€] ALV 0 %	230 [€] ALV 0 %	
Kappalemäärä	27	10	1	
<b>Yht.</b>	<b>2700 [€]</b>	<b>3000 [€]</b>	<b>230 [€]</b>	<b>5930 [€]</b>

Taulukko 5. Langattomien antureiden investointikustannukset.

Antureiden kustannuksien esimerkkeinä on käytetty muutaman ison laitetoimitajan hintojen keskiarvoa. Hinnat eivät ole julkista tietoa. Halvimmasta kalleimpaan antureita löytyy 100–500 euron välillä. Hinnat riippuvat täysin antureiden ominaisuuksista. Langattomien antureiden investointikustannukset on helppo laskea, mutta niiden elinkaarilaskenta on eri asia. Huoltojen tarvetta ei voida käytännössä ennakoida, koska paristojen kestot ja antureiden kuuluvuudet vaihtelevat. Elinkaarilaskennassa voidaan kuitenkin olettaa, että elinkaaren aikana langattomien antureiden paristot joudutaan vaihtamaan vähintään kerran.

### 6.3 Antureiden hintavertailu rakennuksessa

Langallisten antureiden investointikustannuksiin otetaan huomioon antureiden hankintahinnat, kaapeloinnit sekä asennukset. Ensin selvitettiin montako anturia Wärtsilän-kampuksella sijaitsee sekä antureiden yksikköhinnat. Antureiden kustannushintojen jälkeen selvitettiin kaapelointien sekä kytkentöjen hinnat sähköinfon yksikkökustannusten laskentaohjelmalla. Näiden kustannukset yhteenlaskettuna saatiin langallisten antureiden investointikustannukset, jotka olivat 8320 euroa (taulukko 4).

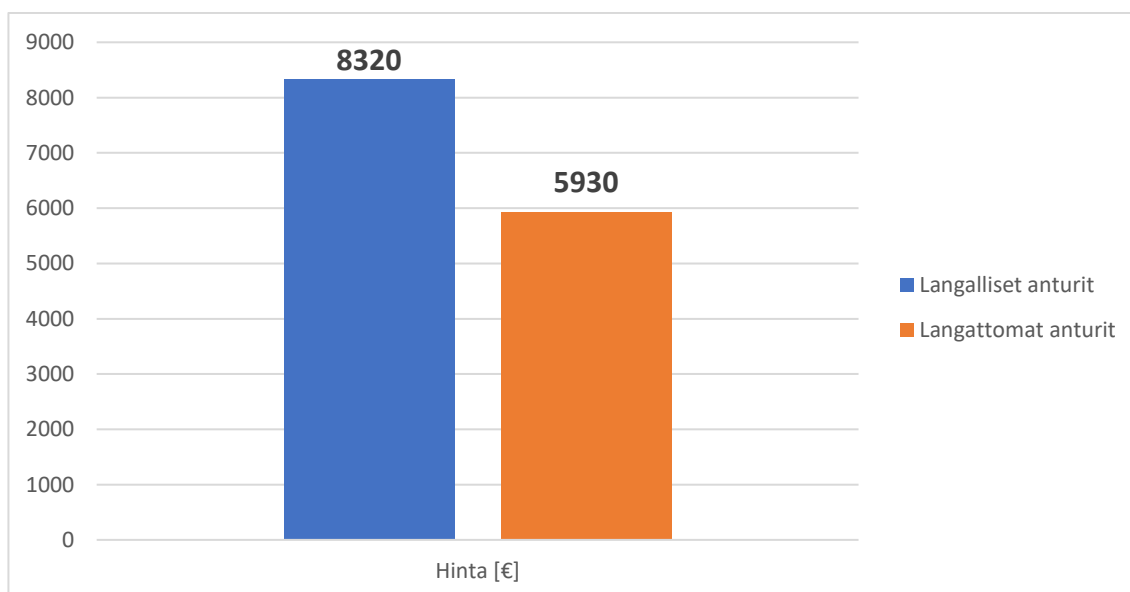
Langallisten antureiden investointikustannuksien jälkeen laskettiin vaihtoehtoisten langattomien antureiden kustannukset. Langattomien antureiden tapauksessa investointikustannuksiin lasketaan antureiden hankintahinnat ja tämän lisäksi ei muuta. Kytkentöjä ja kaapelointeja ei langattomiin antureihin lasketa. Langattomien antureiden investointikustannukset olivat 5930 euroa. Taulukosta

(taulukko 6) nähdään langallisten ja langattomien antureiden investointikustannuksien erot.

	Langallisten antureiden investointikustannukset	Langattomien antureiden investointikustannukset
TE	1350[€]	2700 [€]
TE/QE	3500[€]	3000 [€]
ME	230[€]	230 [€]
Kaapeloinnit	2917 [€]	0 [€]
Kytkenä	323 [€]	0 [€]
<b>Yhteensä</b>	<b>8320 [€]</b>	<b>5930 [€]</b>

Taulukko 6. Langallisten ja langattomien antureiden investointikustannusten vertailu.

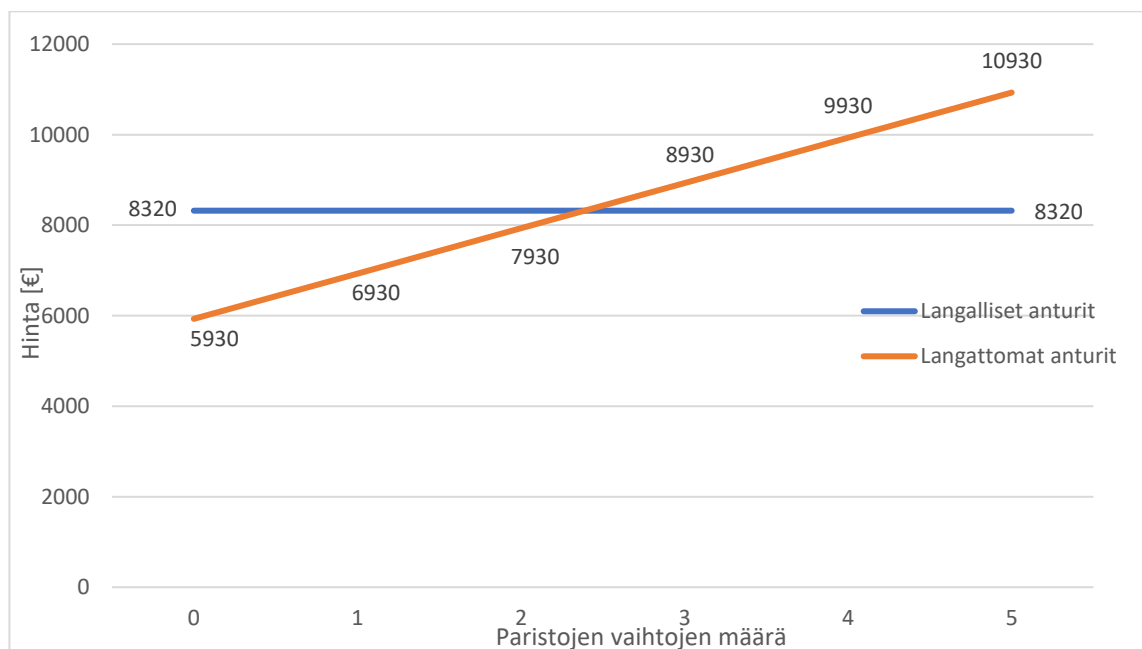
Huomataan, että kustannuksiin vaikuttavat eniten antureiden hinnat ja kaapelointi. Antureiden kustannuksista myös nähdään, että jotkin langattomat anturit voivat olla edullisempia kuin langalliset anturit. Tämä pätee tässä esimerkissä yhdistettyihin lämpötila-/hiilidioksidiantureihin. Investointikustannuksien vertailussa (kuvio 1) saatiin langattomia antureita suosivat tulokset.



Kuvio 1. Antureiden investointikustannuksien vertailu Wärtsilä-kampuksella.

Langattomien antureiden investointikustannukset ovat noin 71 % langallisten antureiden kustannuksista. Mahdollisia kustannussäästöjä tulisi kyseessä olevassa kohteessa investointikustannuksien erotus eli 2390 euroa. Olettaen, että huoltokustannuksia ei tulisi antureiden elinkaaren aikana, joka on noin 15 vuotta, langattomat anturit olisivat edullisempi vaihtoehto.

Elinkaarikustannuksien vertailussa (kuvio 2) otetaan huomioon investointi-, käyttö- ja huoltokustannukset. Käyttökustannuksia ei anturien asennuksien jälkeen tule, mutta huoltoja voi hyvin mahdollisesti tulla niin langallisilla kuin langattomilla antureilla. Langattomilla antureilla huoltaminen on todennäköisempää paristojen loppumisen takia. Jos oletetaan, että molemmilla järjestelmillä ei tule 15 vuoden elinkaaren aikana muuta huoltotarvetta kuin paristojen loppuminen, voidaan laskea karkea elinkaarikustannusarvio antureiden huoltokäyntien perusteella.



Kuvio 2. Antureiden elinkaarikustannuksien vertailu paristojen vaihtomäärään nähden.

Arvioidaan, että Wärtsilä-talon kaikkien langattomien antureiden paristojen vaihto kustantaisi noin 1000 euroa. Kustannusarvio perustuu automaatiourakoitsijan arvioimaan hintaan. Taulukosta huomataan, että kahden paristojen

vaihdon jälkeen langattomat anturit ovat vielä kannattavampia, mutta kolmannen vaihdon jälkeen ne menevät elinkaarikustannuksissa langallisia antureita kalliimmaksi. Antureiden paristojen kestoksi arvioidaan nykyään vähintään kahdeksan vuotta, joten yleisesti voidaan olettaa, että paristot mahdollisesti vaihdetaan ainakin kerran anturin elinkaaren aikana. Yksittäisillä antureilla paristot voivat toki loppua useammin, mutta näiden vaihto on myös halvempaa kuin kaikkien antureiden paristojen vaihto. Näiden tietojen perusteella, langattomat anturit ovat todennäköisesti elinkaarikustannuksiltaan halvempi vaihtoehto.

## 7 Pohdinta

Langalliset kenttälaitteet eivät ole lähitulevaisuudessa häviämässä mihinkään, vaikka niiden asentaminen olisikin kalliimpi vaihtoehto. Langallinen tiedonsiirto on luotettavampi vaihtoehto turvallisuuden ja toimivuuden kannalta. Kustannuksien osalta saneerauskohteissa täytyy ottaa huomioon, että kaapeleiden tekninen käyttöikä on kaksi kertaa pidempi kuin itse kenttälaitteiden. Tämä tarkoittaa sitä, että kenttälaitteiden vaihtojen yhteydessä ei välttämättä tarvitse uusia kaapeleita, mikä säästää kustannuksia ja näin ollen langallisten kenttälaitteiden uusiminen voi olla halvempaa kuin langattomien. Kuitenkin jokainen kohde on erilainen, joten kaapelien kunto tulee aina tarkistaa erikseen saneerauksen yhteydessä.

Langattomien antureiden investointikustannukset ovat yleensä pienemmät kuin langallisten antureiden. Niiden sijoittelun joustavuus on myös hyvä etu verrattuna langallisiin antureihin. Elinkaarikustannukset riippuvat taas täysin antureiden huoltotarpeesta. Langattomien järjestelmien käyttöönotto ei tosin ole aina helppoa, sillä järjestelmän olleessa uusi, urakoitsijan tulee opiskella järjestelmää ja tämä voi aiheuttaa lisäkustannuksia tilaajalle. Antureita joudutaan mahdollisesti huoltamaan asennuksen jälkeen paristojen loppumisen tai huonon kuuluvuuden takia. Yleensä voidaan olettaa, että langattomien antureiden paristot vaihdetaan vähintään kerran niiden elinkaaren aikana, jolloin langaton järjestelmä on edullisempi. Kuuluvuuden kannalta antureiden paikkoja ei

käytännössä pysty ennalta mittaamaan, koska todellisuudessa pienikin heitto voi estää signaalin kuuluvuuden. Nykyajan langattomien antureiden paristojen kestot ja signaalien kuuluvuudet ovat kuitenkin hyvät, joten langattomat järjestelmät ovat hyvä vaihtoehto uusissakin kohteissa, joissa ei ole erityisiä turvallisuuden kannalta kriittisiä järjestelmiä. Vaikka langattomien antureiden asennus on yleensä halvempaa, tulee elinkaarikustannuksia, luotettavuutta ja turvallisuutta miettiä kaikissa sovelluksissa.

Suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden on hyvä olla tietoisia tarjolla olevista tuotteista ja vaihtoehdoista. On hyödyllistä tietää, että langattomia vaihtoehtoja antureiden lisäksi on myös erilaiset säätölaitteet, kuten radiaattori-, ilmanvaihdonventtiilit ja säätöpellit sekä tulomodulit, jotka muuntavat langalliset mittaukset langattomiksi viesteiksi. Erityisesti saneerauskohteissa langattomien kenttälaitteiden käyttö tulisi aina olla vartenotettava vaihtoehto, sillä asentaminen on nopeampaa ja kustannukset ovat todennäköisesti halvemmat. Tällaisia saneerauskohteita ovat esimerkiksi vanhat rakennukset, museot ja modernisoitavat rakennusautomaatiojärjestelmät.

Langattomia ratkaisuita kannattaa uskaltaa suunnitella ja tarjota vaihtoehtona erilaisiin kohteisiin. Kaiken kaikkiaan, sekä langallisten että langattomien antureiden sekä toimilaitteiden käyttöä tulee arvioida jokaisessa kohteessa erikseen, jotta voidaan varmistua kustannustehokkaasta ja toimivasta ratkaisusta.

## Lähteet

- Automation Community. 30.12.2023. EnOcean Wireless Communication Protocol. <https://automationcommunity.com/enOcean-wireless-communication/>
- Bluetooth. 2024. Bluetooth Technology Overview. <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>
- Buildwise. 30.1.2024. Rakennusautomaatio tutuksi – Mitä on rakennusautomaatio? <https://www.buildwise.fi/rakennusautomaatio-tutuksi/>
- Climecon. 2022. MyAir-venttiili. <https://climeconair.com/fi-fi/tuote/myair-venttiili/>
- Elisa. 2024. WLAN-verkon ominaisuudet ja ongelmatilanteet. <https://yriytysille.elisa.fi/ohje/wlan-verkon-ominaisuudet-ja-ongelmatilanteet>
- Fidelix. 13.12.2021. Langaton M-Bus -järjestelmä vie rakennusautomaation uudelle aikakaudelle. <https://news.fidelix.fi/ajankohtaista/langaton-m-bus-j%C3%A4rjestelm%C3%A4>
- Fidelix. 2024. Tuotekategoria: Langattomat anturit. <https://www.fidelix.com/fi/tuotekategoriat/anturit/>
- Prysmian. 2021. NOMAK-HF DCA. Tuote-esite. <https://fi.prysmian.com/>
- Prysmian. 2021. JAMAK-HF DCA. Tuote-esite. <https://fi.prysmian.com/>
- Prysmian. 2021. KLMA-HF DCA. Tuote-esite. <https://fi.prysmian.com/>
- Prysmian. 2021. UC400 Cat.6 U/UTP 4p HF Dca. Tuote-esite. <https://fi.prysmian.com/>
- Phoenix contact. 2024. Valokuitukaapelit. <https://www.phoenixcontact.com/fi-fi/teknologiat/valokuitukaapelit#ex-y83jh>
- Patchbox. 15.6.2022. Single Mode vs Multimode-kuidut: Mitä eroa niillä on?. <https://patchbox.com/fi/blog/single-mode-vs-multimode-fiber-difference/>
- RT 18-10922. 2008. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot. Rakennustieto
- Schneider Electric. 2024. Mikä on Wiser-laitteiden langattoman ZigBee verkon kantavuus? <https://www.se.com/fi-fi/faqs/FAQ000219909/>
- Sonepar. 2024. Valokuitukaapeli maa G652D K2000 - FYO2PMU 4xSM. <https://verkkokauppa.sonepar.fi/fi/valokuitukaapeli-maa-g652d-k2000-fyo2pmu-4xsm-0217106#>. 2.4.2024.
- ST-Käsikirja 16. 2019. Yleiskaapelointijärjestelmät. Espoo. Sähkötietyo ry
- ST-Käsikirja 17. 2018. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Tampere. Sähkötietyo ry
- ST- Käsikirja 21. 2022. Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto. Espoo. Sähkötietyo ry
- ST- Käsikirja 22. 2023. Rakennusten automaation valvomot. Espoo. Sähkötietyo ry
- ST- Käsikirja 23. 2019. KNX-järjestelmän perusteet. Tampere. Sähkötietyo ry
- ST-Kortti 701.32. 18.8.2022. Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelu. Harri Pulkkinen, Granlund Oy
- Suomen LVI-liitto. 2016. Ohje 7 Mittaus- ja säätölaitteet. <https://kosteusvauriokorjaus.savonia.fi/materiaalipankki/download/25-suomen-lvi-liitto/234-ohje-7-mittaus-ja-saatolaitteet>
- Swegon. 2024. Elinkaarikustannukset. <https://www.swegon.com/fi/oppaat/rakennustyyppit/asuntoilmanvaihto-opas/elinkaarikustannukset/>
- Sähköinfo Oy. 2024. <https://severi.sahkoinfo.fi/software>

Thermokon. 2023. Tuotevalikoima: Langattomat. <https://www.thermokon.fi/langattomat/>