

Joel Stenbäck

KNX-järjestelmän toteutus homeLYnk-logiikka- ohjaimella

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

4.4.2017

Tekijä Otsikko	Joel Stenbäck KNX-järjestelmän toteutus homeLynk-logiikkaohjaimella
Sivumäärä Aika	49 sivua 4.4.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Jarno Nurmio Sähkösuunnittelija Alarik Kuronen
<p>Insinööriyössä käsiteltiin KNX-automaatiojärjestelmän toteutusta käyttäen homeLynk-logiikkamoduulia. Tavoitteena oli toteuttaa helppokäyttöinen selainpohjainen visuaalinen käyttöliittymä järjestelmän ohjaamiseen erilaisilla verkkoon liitetyillä laitteilla, kuten älypuhelimilla ja PC:llä. Työssä keskityttiin KNX-järjestelmän etäohjaukseen verkon kautta ja luotiin visualisointipohja, jolla havainnollistetaan ja helpotetaan järjestelmän käytettävyyttä. Työ tehtiin sähkösuunnittelutoimisto Certimo Oy:lle.</p> <p>Työssä käsiteltiin myös KNX-järjestelmää yleisellä tasolla, kuten erilaisia järjestelmässä käytettäviä sovelluksia, suunnittelunäkökohtia ja tietoturvaseikkoja.</p> <p>Käytännön toteutuksen kautta työssä onnistuttiin ohjelmoimaan KNX-järjestelmä visualisointiohjauksella, jota ohjattiin langattoman lähiverkon kautta. Toteutusvaiheessa perehdyttiin homeLynk-moduulin liittämiseen järjestelmää ohjaavaksi laitteeksi ja moduulin ominaisuuksiin. HomeLynk-yksikkö valittiin ohjauslaitteeksi, johtuen sen kohtalaisen alhaisesta hinnasta ja teknisistä ominaisuuksista. Toteutuksessa asennuksessa oli mukana homeLynkin lisäksi virtalähde, himmenninyksikkö, ohjelmoitava painike ja liiketunnistin.</p> <p>Schneider Electricin homeLynk-logiikkamoduuli on hintaluokassaan kilpailukykyinen laite, jossa on monipuolinen käyttöliittymä ja se soveltuu hyvin pientalojen KNX-järjestelmien rungoksi. Laitteen ohjelmointi ja liittäminen muihin KNX-komponentteihin onnistui hyvin insinööriyössä. Lisäksi insinööriyö auttoi ymmärtämään laajemmin KNX-järjestelmien mahdollisuuksia.</p>	
Avainsanat	KNX, homeLynk, automaatiojärjestelmä, sähkötekniikka

Author Title	Joel Stenbäck Implementing KNX system with homeLynk logic controller.
Number of Pages Date	49 pages 04 April 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Jarno Nurmio, Senior Lecturer Alarik Kuronen, Electrical designer
<p>This thesis concerns implementing KNX system by using homeLynk logic controller. Main focus of the study was about controlling the KNX system remotely and creating a visualization of the premises which clarifies the usage of the system and makes it more approachable. The study was made for electrical planning company Certimo Oy.</p> <p>The study covers also KNX system on a general level, such as different applications that can be applied to the system, system planning aspects and security measures.</p> <p>By practical implementation of the system, a basic level KNX system was programmed and controlled by visualization software using the Wi-Fi network. The implementation phase of the study was dealing with programming the homeLynk unit into a control device of the KNX system and different properties of the homeLynk. The unit was chosen due to the cost-effectiveness and technical capabilities. The system which was installed included also a power source unit, a dimmer unit, a programmable switch and a motion detector.</p> <p>Schneider Electric's HomeLynk logic module is a competitive device in its price range. It has versatile user interface and it is well suited as the control unit for small-scale KNX systems. Programming the device and connecting it to other KNX components was relatively easy. The study also helped to understand the possibilities in KNX systems in a wider sense.</p>	
Keywords	KNX, homeLynk, automation system, electrical

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	KNX yleisellä tasolla	2
2.1	KNX-järjestelmän hyödyt	3
2.2	Topologia	5
3	KNX-sovellukset	8
3.1	Valaistusohjaus	8
3.2	Verho- ja kaihdinohjaus	10
3.3	Lämmitys- ja ilmastointilaitteiden ohjaus	11
3.4	Mittauslaitteet	11
3.5	Hälytysjärjestelmät	12
5	Tiedonsiirtotavat	13
6	KNX-järjestelmän suunnittelu	15
6.1	Suunnittelun lähtökohdat	15
6.2	Järjestelmäsuunnittelu	17
7	Tietoturva	19
8	Visualisointi	22
9	KNX-järjestelmän toteutus visualisoinnilla käyttäen HomeLynk-järjestelmää	24
10	ETS-ohjelmointi	31
11	ETS-projektin yhdistäminen homeLynk-järjestelmään	39
12	homeLynk-järjestelmän liittäminen langattomaan lähiverkkoon	42
13	Kamerajärjestelmän liittäminen homeLynk-järjestelmään	43
14	Yhteenveto	45
	Lähteet	47

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoite on perehtyä KNX-järjestelmän asennukseen ja ohjelmointiin. Työssä käytetään Schneider Electricin homeLYnk-moduulia, jolla toteutetaan KNX-järjestelmän ohjaus. Tavoitteena on erityisesti toteuttaa helppokäyttöinen selainpohjainen visuaalinen käyttöliittymä järjestelmän ohjaamiseen erilaisilla verkkoon liitetyillä laitteilla, kuten älypuhelimilla ja PC:llä. Työssä perehdytään myös ETS-ohjelmiston käyttöön ja työssä käytettyjen väylälaitteiden ohjelmointiominaisuuksiin. Insinöörityön pääasiallinen tarkoitus on tehdä kustannustehokas perustason toteutus, jota voidaan tulevaisuudessa laajentaa tarpeen mukaan ja perehtyä erilaisten väylälaitteiden ominaisuuksiin.

Työ tehdään Certimo Oy:lle, joka on Helsingissä sijaitseva sähkösuunnittelutoimisto. KNX-järjestelmäsuunnittelun tarve kasvaa jatkuvasti ja käytännön osaamisen kautta suunnittelutyön laatu paranee sekä toteutetun työn kautta asiakkaille voidaan konkretisoida järjestelmän luomia mahdollisuuksia.

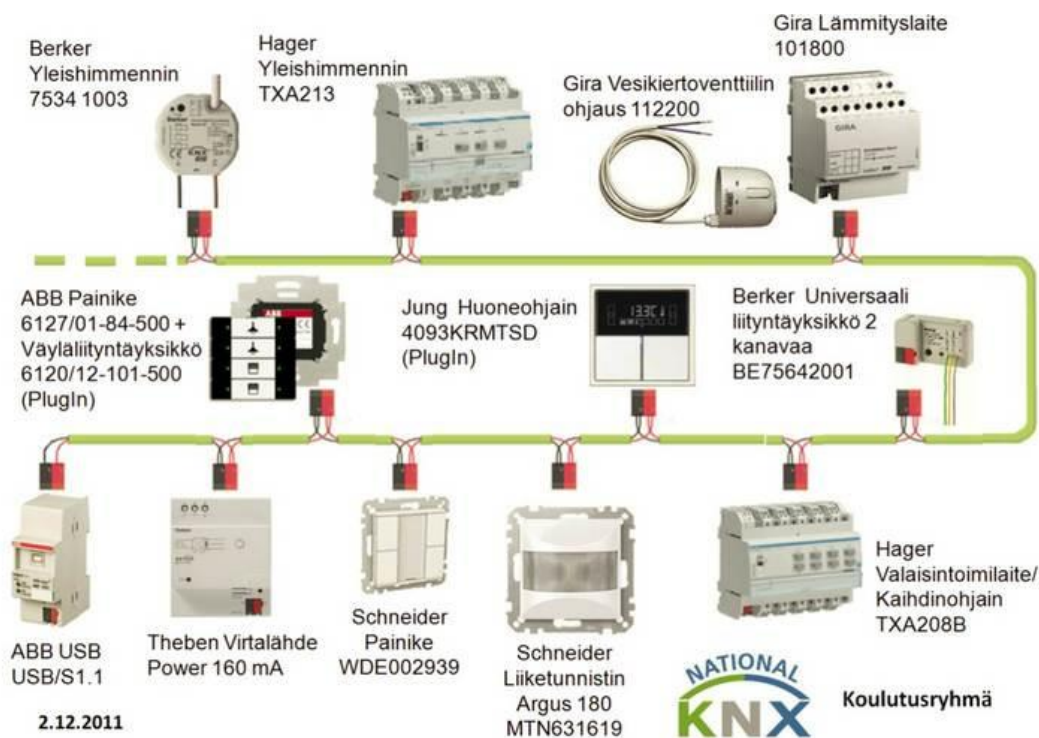
Automaatiojärjestelmien käyttö sähköisessä talotekniikassa luo uusia mahdollisuuksia tehdä toteutuksia, jotka palvelevat loppukäyttäjää mahdollisimman hyvin. Toisaalta sektori on erittäin monipuolinen ja elää jatkuvassa muutoksessa, jolloin erityisesti järjestelmäsuunnittelijan ammattitaito vaikuttaa kriittisesti lopputulokseen. KNX valittiin opinnäytetyöhön johtuen järjestelmän teknisistä ominaisuuksista, suuresta markkinaosuudesta ja luotettavista laitevalmistajista.

2 KNX yleisellä tasolla

KNX on maailmanlaajuinen talo- ja rakennusautomaatiostandardi. Se on hyväksytty kansainväliseksi standardiksi (ISO/IEC 14543-3), eurooppalaiseksi standardiksi (CENELEC EN 50090 ja CEN EN 13321-1) ja kiinalaiseksi standardiksi (GB/T 20965). KNX-laitteita valmistaa kirjoittamisen aikana yli 400 eri valmistajaa ympäri maailmaa. KNX-protokolla liittää talotekniset järjestelmät yhteen, jolloin ne pystyvät kommunikoimaan keskenään. Tämä mahdollistaa erilaisten laitteiden tilatietojen välittämisen järjestelmässä, älykkään ohjauksen ja tehokkaan muokattavuuden. [1, s. 11; 2.]

KNX-järjestelmä käyttää tiedonsiirrossa kierrettyä parikaapelia, radioverkkoa, infrapuna-yhteyttä ja sähköverkkoa, joskin sähköverkkoa käyttävä Powerline-tekniikka on heikon luotettavuuden takia vähäisessä käytössä. [1, s. 51–67.]

Kuvassa 1. on KNX-järjestelmässä käytettyjä tyypillisiä väylälaitteita, jotka ovat liitetty toisiinsa parikaapelilla.



Kuva 1. KNX Finland Ry:n KNX-koulutusympäristön laitteet [3].

2.1 KNX-järjestelmän hyödyt

KNX:n etu muihin automaatiojärjestelmiin verrattuna on eri valmistajien järjestelmäkomponenttien keskinäinen yhteensopivuus. Laitetarjonnan suuren määrän takia järjestelmäsuunnittelija voi tehdä laitevalinnat kustannustehokkuuden, teknisten ominaisuuksien ja saatavuuden perusteella. [1, s. 11–12.]

Mikäli KNX-järjestelmää huolletaan tai päivitetään, standardoinnin takia tavarantoimituksen varmuus tulevaisuudessa ei ole riippuvainen yksittäisistä valmistajista. Koska KNX on avoin laitestandardi, markkinoilla nähdään tulevaisuudessakin uusia laitevalmistajia ja edistyneempiä KNX-laitteita. Kaikilla markkinoilla olevilla KNX-tuotteilla on oltava KNX-yhdistyksen myöntämä sertifikaatti, johon vaaditaan laite- ja ohjelmistotestausten läpäiseminen. Testeillä varmistetaan eri valmistajien laitteiden keskinäinen yhteensopivuus [4].

KNX-järjestelmän kaikki toimilaitteet ja anturit ovat liitetty samaan tiedonsiirtoväylään, mikä tehostaa järjestelmän käyttöönottoa, muutostöitä ja ohjattavuutta. Erityisesti suurissa kohteissa muutostöiden toteuttamisessa säästetään aikaa ja rahaa. Perinteiseen sähkötekniikkaan verrattuna KNX mahdollistaa monipuolisemmat ohjaustavat ja komponentit, joihin voidaan ohjelmoida parametreja digitaalisesti. Jos halutaan esimerkiksi valaistuksen kytkentäryhmiä muokata rakennuksen valmistumisen jälkeen, niin muutosten tekeminen KNX-järjestelmään onnistuu ETS-ohjelmalla vaivattomammin verrattuna tavanomaisesti toteutettuihin sähköjärjestelmiin. [1, s. 18.]

KNX oli vuonna 2011 tehdyn tutkimuksen mukaan Euroopan suosituin taloautomaatiojärjestelmien standardi ja sen käyttö on yleistynyt edelleen. Suomessa KNX on ollut kasvavassa suosiossa, joten KNX-asennuksiin ja käyttöönottoon erikoistuneita yrityksiä on kohtalaisen paljon. Yritysten lukumäärä tehostaa kilpailua, jolloin asiakkaat voivat valita useampien tarjouksien joukosta teknisesti ja kustannuksiltaan parhaan vaihtoehdon. KNX-taitoisille yrityksille myönnetään oikeus käyttää KNX Partner-logoa, mikäli yritys on suorittanut standardoidun teoria- ja näyttökokeen. Käyttämällä sertifioituja yrityksiä pystytään varmistumaan järjestelmän ammattitaitoisesta toteutuksesta projektin jokaisessa vaiheessa. Valmistajien toimittamien laitteistojen peruseräpäätteet ovat pääosin samantyyppisiä, joten ennalta tuntemattomien laitteiden ohjelmointi on helppo omaksua. [5; 6; 1, s. 16.]

Energiatehokkuuden parantaminen

Energiatehokkuus on uudistuotannossa ja korjausrakentamisessa yhä tärkeämpää, johdettua energiakustannusten noususta, tiukentuneista rakennusmääräyksistä ja tarpeesta vähentää hiilidioksidipäästöjä [7].

Kiinteistöissä energiaa käyttävien järjestelmien hallinnoinnilla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä sähkön- ja lämmönkulutuksessa, sekä alentaa kaasun ja veden käyttöä. Älykkäällä väyläpohjaisella mittauksella voidaan tuottaa kuluttajalle arvokasta reaaliaikaisista dataa eri energiamuotojen käytöstä, jonka perusteella konkretisoituu energian käyttötapojen vaikutukset kokonaiskulutukseen. [1, s. 29.]

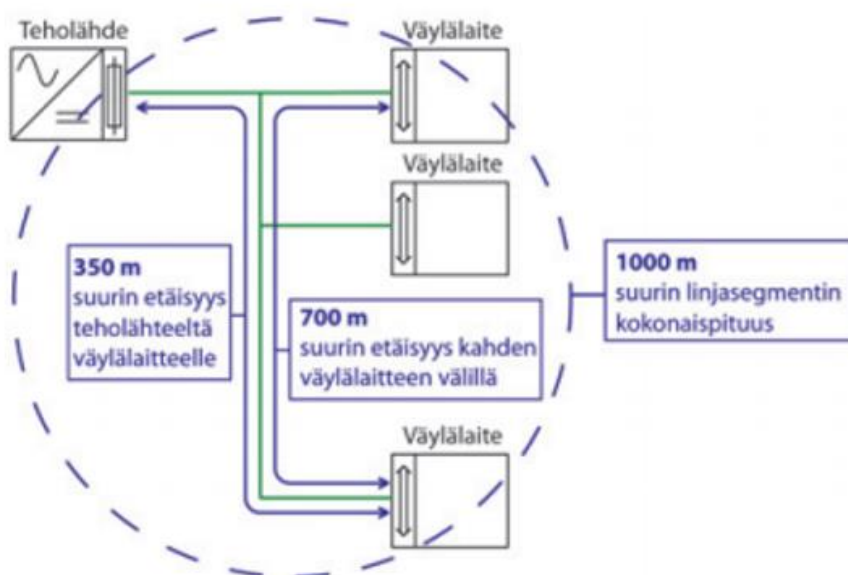
Esimerkiksi valaistusta ohjatessa älykkäillä järjestelmillä tilojen käytön mukaan saadaan suoranaista säästöä sähkönkulutuksessa. Päivänvaloa hyödyntämällä valaistuksen himennyksen ohjauksessa, on tila jatkuvasti valaistu mahdollisimman pienellä määrällä keinovaloa. Erityisesti suurissa toimistoissa saavutetaan merkittäviä energiansäästöjä älykkäällä valaistuksenohjauksella.

Ilmanvaihtokone voidaan asettaa automaattisesti säätyväksi hiilidioksidimäärän ja ilman kosteuden perusteella, jolloin koneen tehonkulutus on jatkuvasti optimaalisessa tilassa. Tämä lisää tilankäyttäjien oleskelumukavuutta ja voi jopa parantaa työtehokkuutta. Tehokas ilmankosteuden poisto ennalta ehkäisee homeille suotuisten kasvuolosuhteiden syntymistä ja vähentää homevaurion riskiä.

Aikapohjaista sähkön hinnoittelua käyttävälle kuluttajalle älykkästä ohjauksesta on hyötyä, koska KNX voidaan ohjelmoida käyttämään esimerkiksi lämmityslaitteita, lämminvesivaraajaa ja valaistusta vuorokaudenajan perusteella. [1, s. 29.]

2.2 Topologia

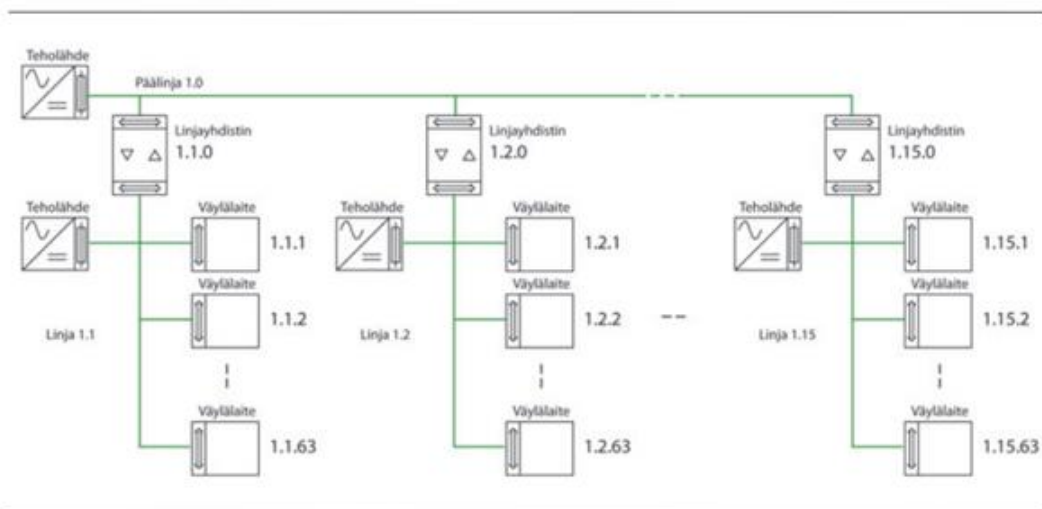
KNX-järjestelmän pienin vyöhyke on linjasegmentti. Yhteen linjasegmenttiin saadaan enimmillään virtalähteen lisäksi 64 väylälaitetta. Maksimietäisyys yhdessä linjasegmentissä virtalähteeltä väylälaitteelle on 350 m, kahden väylälaitteen keskinäinen maksimietäisyys on 700 m eikä linjasegmentin kokonaispituus saa ylittää 1000 m, kuten on kuvassa 2. havainnollistettu. [1, s. 57–59.]



Kuva 2. Suurimmat sallitut kaapelipituudet linjasegmentissä. [1, s. 58.]

Jos jokin ehdoista ei täyty, niin joudutaan järjestelmä toteuttamaan useammalla linjasegmentillä. Suurta KNX-järjestelmää suunnitellessa on syytä jakaa jokainen linjasegmentti logiikkaa käyttäen, kuten esimerkiksi jakaa rakennuksen kerrokset omiin linjasegmentteihin tai jakaa suuremman rakennuksen jokainen kerros itäiseen ja läntiseen segmenttiin.

Linjayhdistimillä linjasegmentit liitetään toisiinsa. Jokaisessa linjasegmentissä on oma linjayhdistimensä, ja niitä yhdistävä kaapeli on nimeltään päälinja. Alue on topologian nimitys, kun enintään 15 linjasegmenttiä on yhdistetty päälinjaan. Jokaisessa segmentissä on oma virtalähteensä. Käytetty kaapelityyppi ei eroa rakenteen eri osissa. Kuvassa 3. on aluetopologia luotu yhdistämällä linjat linjayhdistimien avulla päälinjaan.



Kuva 3. Alue sisältää enintään 15 linjasegmenttiä yhdistettynä päälinjaan. [1, s. 59.]

Verkon ruuhkautumisen välttämiseksi ainoastaan tarpeelliset sanomat välitetään linjayhdistimien ja päälinjan välillä. Jokaisen linjasegmentin sisäiset sanomat näkyvät vain kyseisessä linjasegmentissä.

Eri linjasegmenteissä sijaitsevia väylälaitteita voidaan yhdistää toisiinsa ryhmäosoitteilla. Tällöin käyttöönotossa linjayhdistimille ja väylälaitteille annetaan yhteinen ryhmäosoite. Väylälaitte antaa sanoman, jonka linjayhdistin kopioi toiselle samassa ryhmäosoitteessa olevalle linjayhdistimelle, joka taas välittää sanoman eteenpäin väylälaitteelle. Esimerkiksi eri linjasegmenteissä sijaitsevia valaisimia voidaan ohjata yhdellä painikkeella.

Tarvittaessa järjestelmän rakennetta voidaan kasvattaa 15 alueeseen, joissa on jokaisessa 15 linjasegmenttiä. Tällöin maksimilaitemäärä on 14 400. Tässä tilanteessa muodostetaan runkolinja, johon liitetyt alueyhdistimet yhdistävät eri alueet keskenään. Alueyhdistimet eivät fyysisesti eroa linjayhdistimistä. [1, s. 59–64.]

Väylälaitteiden osoitteet

KNX-järjestelmässä jokaisella väylälaitteella on yksilöllinen osoite. Osoite esitetään kolmella pisteellä erotetun luvun sarjana. Luku 1.2.14 ilmaistuna sanallisesti olisi ensimmäisen alueen, toisen linjasegmentin 14. väylälaitte. Alueita voi olla enimmillään 15, linjasegmenttejä alueessa enimmillään 15 ja linjasegmentissä korkeintaan 255 väylälaitetta, joten suurin mahdollinen osoite on 15.15.255 ja pienin 0.0.0. Yhdistimille varataan aina

numero 0, esimerkkinä alhaisimman tason yhdistimelle, linjayhdistimelle 1.1.0. Mikäli numeron ollessa 1.0.0. on kyseessä korkeamman tason yhdistin eli alueyhdistin.

Linjatoistimilla on mahdollista kasvattaa linjasegmentin väylälaitteiden määrää 64:sta aina 255:een. Lisäämällä linjayhdistimen jälkeen linjaan kolme linjatoistinta saadaan linja jaettua neljään linjasegmenttiin, joissa kaikki sanomat kopioidaan keskenään. Tässä tapauksessa ensimmäinen linjatoistin saa osoitteen 1.1.64 ja sen perässä olevat väylälaitteet 1.1.65-1.1.127. Kaikki linjatoistimet kytketään ensimmäiseen linjasegmenttiin.

Pää- ja runkolinjoihin voidaan myös kytkeä väylälaitteita, jolloin esimerkiksi päälinjaan asennettujen laitteiden osoitteet ovat muotoa X.0.1-X.0.63. Linjassa olevien yhdistimien määrä vie kapasiteettia muilta väylälaitteilta. [1, s. 62–64.]

3 KNX-sovellukset

Kuvassa 4. on esitetty joitain yleisiä KNX-järjestelmän käyttösovelluksia. KNX-järjestelmän etuna on, että siihen voidaan integroida useita erilaisia toimintoja samaan kokonaisuuteen.



Kuva 4. KNX-järjestelmän sovellusesimerkit [8].

3.1 Valaistusohjaus

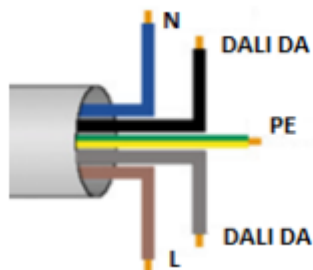
Hyvin toteutetulla valaistuksella ja valaistusohjauksella on useita hyötyjä, kuten viihtyvyyden lisääminen, näkemisen helpottaminen, energiatehokkuuden parantaminen ja parhaimmillaan optimaalinen valaistus lisää vireystilaa, joka parantaa työtehokkuutta ja oppimistuloksia.

Kustannus- ja energiatehokkuutta kasvatetaan ohjaamalla valaistustasoa tilojen käytön perusteella ja hyödyntämällä luonnonvaloa. Kuumissa olosuhteissa vähentynyt keinovalon käyttö johtaa pienempään jäähdytystarpeeseen. [9; 10].

KNX-yhteensopivat valaistusohjausjärjestelmät

DALI on digitaalinen valaistuksen ohjausväylä valaisimien elektronisille liitäntälaitteille, joka on standardoitu maailmanlaajuisesti. DALI jaetaan kiinteistöissä korkeintaan 64 osoitteen vyöhykkeisiin, jotka yhdistetään rajapinnoilla KNX-väylään. Yksi valaisin tarvitsee vähintään yhden osoitteen ja esimerkiksi RGB-valaisimet tarvitsevat kolme. KNX/DALI-rajapinta toimii DALI-linjan virtalähteenä. Osoitteelliset valaisimet voidaan jakaa DALI-linjassa 16 valaisimen kytkentäryhmiin, jolloin ryhmää ohjataan samanaikaisesti KNX-sanomilla. Suurempien ryhmien ja yksittäisten valaisimien ohjaamiseen voidaan ryhmittely tehdä KNX:n puolella, mutta DALI-linjan hitaus saattaa aiheuttaa ryhmän valaisimissa eriaikaista reagointia. Ryhmittelyä voidaan muuttaa ohjelmallisesti, jolloin muutoksia sähköasennuksiin ei tarvita.

DALI-väylää käyttävät valaisimet voidaan kaapeloida esimerkiksi MMJ5x1,5mm²S-kaapelilla, jolloin vapaaksi jäävät kaksi vaihejohdinta kytketään DALI-väylän signaalijohtimiksi, kuten kuvassa 5. on esitetty. DALI-väylän asennustopologiassa ei saa käyttää suljettuja renkaita, mutta muuten topologia on vapaa. Maksimipituus DALI-linjassa on 300 m. [11.]



Kuva 5. DALI-järjestelmän kaapelointi MMJ5x1,5S kaapelilla. [11, s. 10.]

1–10V:n analogista signaalia käytetään valaistuksen kirkkauden ohjaukseen. Säädintomilaite ohjaa säätöpiirin vastuksen avulla liitäntälaitteelle palautuvaa jännitettä, jolloin valaisimen kirkkaus muuttuu jännitteen muutoksen seurauksena. Toimilaitteen releohjauksella valaistus sytytetään tai sammutetaan. Järjestelmässä ohjauskaapelointi toteutetaan, kuten DALI-väylässä mutta jokainen kytkentäryhmä on kaapeloitava kiinteästi keskukselle. Tämä lisää asennuskustannuksia ja vaikeuttaa muutosten tekemistä, joten järjestelmän käyttö ei ole kovin suosittua. [1, s. 173–174.]

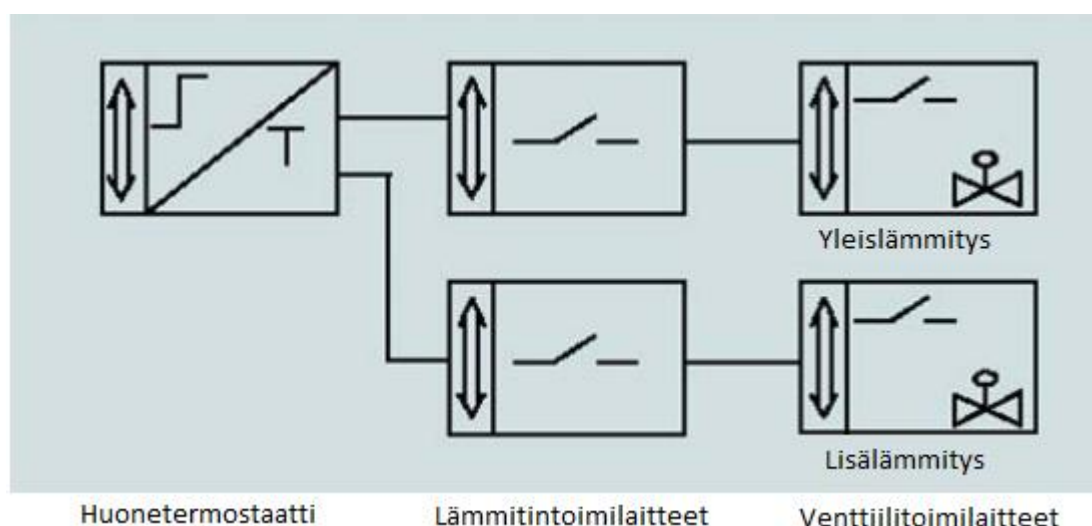
Selkeäkäyttöisillä *binäärirajapinnoilla* säädetään laitteita päälle ja pois, mutta välitettävien signaalien määrä tulisi pitää kohtuullisen alhaisena, jotta datasanomien välittämisessä välttyttäisiin tukoksilta. KNX-binäärirajapinnat soveltuvat valaistuksen ohjaukseen esimerkiksi saneerauskohteissa, joissa voidaan käyttää ennalta asennettuja kaapeleita, liittämällä ne binäärirajapintoihin. [1, s. 169–170.]

3.2 Verho- ja kaihdinohjaus

Verho- ja kaihdinohjausjärjestelmien hyödyllisimpiin ominaisuuksiin kuuluu ohjattavuus yhdessä väyläpohjaisten valaistus- ja lämmitysjärjestelmien kanssa. Valaistustasoa voidaan ylläpitää päiväsaikaan optimaalisella tasolla himmenninyksikköjen ja verho-ohjainten synkronoidulla ohjauksella, jolloin saavutetaan säästöjä lämmitys-, jäähdytys- ja valaistuskustannuksissa. Kontrolloimalla huoneistoihin tulevaa auringon säteilymäärää voidaan alentaa tehon kulutusta mekaanisen jäähdytyksen osalta jopa 40 %. Konferenssitilojen, auditorioiden ja elokuvahuoneiden AV-järjestelmät ja verho-ohjaukset voidaan ohjelmoida toimimaan keskenään, jolloin tilat saadaan palvelemaan käyttö-tarkoitustaan paremmin [12].

3.3 Lämmitys- ja ilmastointilaitteiden ohjaus

Hyvin suunnitellulla lämmityksen ja ilmastoinnin ohjauksella pyritään luomaan miellyttävä lämpötila ja sopiva ilmankosteus mahdollisimman energiatehokkaalla tavalla, jota käyttäjät voivat tarpeen mukaan säätää. Ohjaamalla automaattisesti lämmitysjärjestelmiä läsnäolon mukaan voidaan parantaa merkittävästi energiatehokkuutta. Lämmityslaitteiston, kuten jakotukin termisiä toimilaitteita ohjaamalla KNX säätelee lämmönjakopiireihin syötettävää lämpöä, jolloin haluttu ympäristön lämpötila saavutetaan. Kuvan 6. kaaviossa on esitetty 2-portainen lämmitys, jossa KNX-järjestelmään liitettyllä lämmittinlaitteella tuotetaan lisälämpöä kiinteistön hitaasti lämpiävän yleislämmityksen tueksi. [13, s. 19.]



Kuva 6. 2-portaista lämmitystä voidaan käyttää hitaasti lämpiävän lämmityksen käynnistyksen tukena, jolloin esimerkiksi konvektorilla tuotetaan lisälämpöä kiinteistöön. [13, s. 19.]

3.4 Mittauslaitteet

Lukuisten erityyppisten fysikaalisten suureiden mittaaminen on mahdollista KNX-mittauslaitteilla. Käyttäjistä ja käyttötarkoituksesta riippuen voidaan mitata suureita, kuten jännitettä, virtaa, pätötehoa, loistehoa, näennäistehoa, vaihekulmaa, lämpötilaa, ilmankosteutta, hiilidioksidipitoisuuksia ja auringon säteilyn intensiteettiä. Myös veden virtauksen, säiliöiden nesteen pinnan ja kaasun kulutuksen seuranta voidaan sisällyttää järjestelmään.

Mittausdataa voi hyödyntää kuluttaja tekemällä muutoksia järjestelmien käyttöön ja järjestelmäintegraattori saa arvokasta tietoa, jonka avulla laitekokonaisuuksien toimivuutta ja energiatehokkuutta saadaan parannettua. Laskutus voi joissain tilanteissa muuttua helpommaksi, koska sähkönkulutuksen mittaus on mahdollista toteuttaa kohdistetusti järjestelmän eri osissa. [14, s. 3–8.]

3.5 Hälytysjärjestelmät

Hälytysjärjestelmät suositellaan toteutettavan irrallisina kokonaisuuksina KNX-järjestelmästä toimintavarmuuden takaamiseksi. Turvasuojaustoiminta on Suomessa lakien ja asetusten avulla tarkkaan säädeltyä, joten on perusteltua käyttää luotettavaa yritystä hälytysjärjestelmien asennuksessa. KNX-järjestelmän osia voidaan kuitenkin hyödyntää turvajärjestelmissä ohjaamalla esimerkiksi valaistusta binääritulojen kautta, jolloin murtohälytyksen lauetessa sytytetään kiinteistön valaisimet tai häiritään tunkeutujaa vilkuttamalla valaisimia. Myös KNX-järjestelmän visualisointiin voidaan liittää tilatietoja turvajärjestelmistä tai valvontakameroiden kuvamateriaalia, jolloin turvajärjestelmien käytävyyttä voidaan parantaa. [15, s. 16; 1, s. 175.]

5 Tiedonsiirtotavat

KNX TP, eli parikaapeli on yleisin tiedonsiirron välitysmuoto KNX-järjestelmissä. KNX käyttää kaksinapaista kaapelointia, mutta usein KNX-kaapeleissa on neljä johdinta esimerkiksi varauksia varten. Väylässä datasiirtonopeus on 9600 bit/s ja KNX kommunikoi lähettämällä viestejä binäärikoodina eli kahtena vaihtoehtoisena loogisena tilana 0 tai 1. KNX-parikaapelin kahta johdinta käytetään väylälaitteiden tiedonsiirrossa ja käyttöjännitteen syötössä. Väylän nimellisjännite on 24 VDC mutta useimmat KNX-virtalähteet ovat nimellisjännitteeltään 30 V ja KNX-väylälaitteet toimivat 21 V-30 V alueella. [1, s. 50–51.]

PL 110 Powerline –siirtomedia käyttää olemassa olevaa sähköverkkoa sanomien välitykseen, joten se soveltuu erityisesti saneerauskohteisiin. Laitteet eivät vaadi Powerline-asennuksissa erillistä virtalähdettä, sillä väylälaitteiden teho välitetään myös 230 V:n linjaa pitkin. KNX PL –laitteet välittävät signaaleja sähköverkkoon keskitaajuudella 110 kHz, josta myös median nimi tulee. Kaistanestosuodattimilla rajoitetaan signaalin kulkeutuminen käytettävän sovelluksen ulkopuolelle sähköverkon muihin osiin.

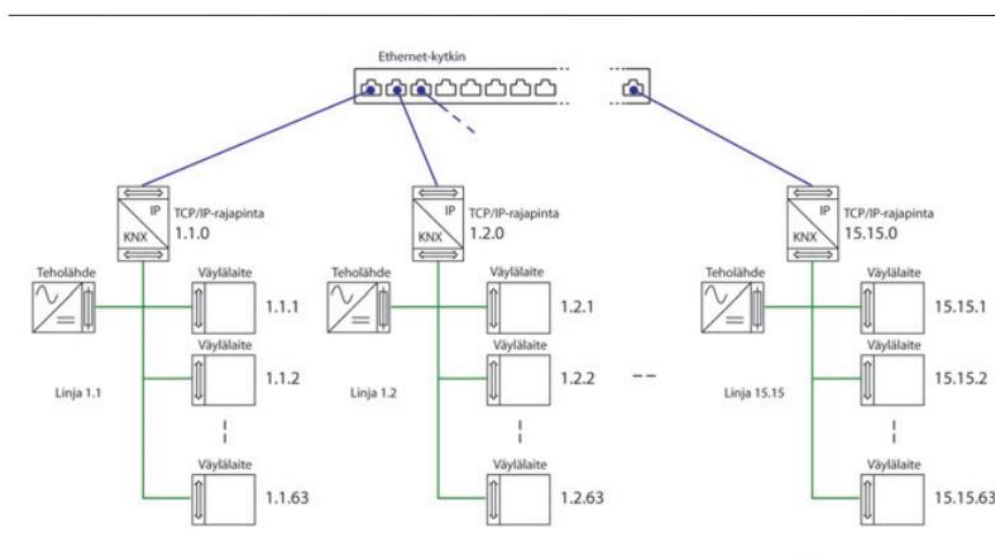
Powerline-tekniikan tiedonsiirron luotettavuus on huomattavasti heikompi muihin tiedonsiirtomedioihin verrattuna, koska sähköverkkoa ei ole suunniteltu sanomien välitykseen ja verkossa esiintyy usein myös datasiirtoa haittaavaa kohinaa. [1, s. 75.]

KNX RF on siirtomedian nimitys, kun dataa välitetään radiotaajuuksien avulla. Radiotaajuuksilla toimivat väylälaitteet soveltuvat hyvin KNX-toteutuksen osiin, joissa kaapelointia halutaan välttää rakennus- tai sovellusteknisistä syistä. Radiosignaalien avulla voidaan teoriassa toteuttaa KNX-järjestelmä kokonaisuudessaan mutta se on melko harvinaista toimintavarmuuden takia. [1, s. 67-70.]

Alankomaissa toteutettiin Biljoen-linnan KNX-toteutus käyttäen laitteita, joista 415 käytti KNX RF-tiedonsiirtomediaa, laitteiden kokonaislukumäärän ollessa 555. Tapaus on hyvä esimerkki tilanteesta, jossa halutaan tuoda modernia tekniikkaa kiinteistöön, kuitenkin säilyttäen rakennuksen kulttuurihistoriallinen ulkoasu ja arvokkuus [16].

Ethernet-tietoverkon käyttö KNX-järjestelmien topologioiden ylätasossa on perusteltua, kun dataa siirretään pitkien etäisyyksien päähän tai suuret sanomamäärät voivat aiheuttaa ruuhkautumista runkoverkossa. Ethernet-pohjainen topologia toteutetaan korvaamalla TP1-parikaapelitopologian alueyhdistimet TCP/IP-rajapinnoilla. KNX TP1-parikaapeliin verrattuna Ethernet-verkon tiedonsiirtokapasiteetti on n. tuhatkertainen, ja valokuituyhteyksillä voidaan siirtää sanomia luotettavasti kilometrien päähän. Useat visualisointiohjelmat ja etähallintajärjestelmät vaativat Ethernet-verkon tiedonsiirtoon, kuten myös tässä insinöörityössä käytetty homeLynk-moduuli.

Puhdasta parikaapelitopologiaa käytettäessä järjestelmään voi syntyä ruuhkautumisen seurauksesta pullonkauloja ja pahimmillaan tiedonsiirrossa voi tapahtua sanomien menetyksiä, joten Ethernet-tietoverkkoa hyödyntämällä saadaan nämä ongelmat eliminoidua. Kuvassa 7. on esitetty KNX-topologia, jossa päälinja ja runkolinjat ovat toteutettu yleiskaapeloinnilla. [1, s. 64–67.]



Kuva 7. Ethernet-yleiskaapeloinnilla toteutettu KNX-topologia. [1, s. 66.]

6 KNX-järjestelmän suunnittelu

6.1 Suunnittelun lähtökohdat

KNX-automaatiojärjestelmää voidaan käyttää monenlaisissa kiinteistöissä, joissa automaatiota voidaan käyttää useaan tarkoitukseen. Järjestelmän käyttöä voidaan perustella rakennuksen energiatehokkuuden parantamisella, monipuolisemmilla turvallisuusominaisuuksilla ja teknisten ominaisuuksien muokattavuudella. KNX-järjestelmän investointikustannukset voivat huomattavasti nostaa rakennuskustannuksia, mutta sijoituksen takaisinmaksuaika voi olla hyvinkin kohtuullinen johtuen alentuneista käyttökustannuksista. Tilaajan näkemys toteutuksen tavoitteista on erittäin tärkeää järjestelmien ominaisuuksien ja laajuuden määrittelyssä, jotta päästäisiin kaikkia osapuolia palvelemaan lopputulokseen. Toteutussuunnittelua laadittaessa mahdollisiin järjestelmälisäyksiin on tärkeä varautua, jolloin esimerkiksi keskuksessa pitää olla jälkikäteen lisättäville toimilaitteille tilaa ja mahdollisuuksien mukaan varautua kaapeloinnilla muutoksiin jo rakennusvaiheessa.

KNX-suunnittelijan on tärkeää ylläpitää jatkuvasti ammattitaitoaan, koska KNX-ympäristö muuttuu nopeasti ja laitetoimittajien kilpailuttamisella parannetaan kustannustehokkuutta. Automaatiosuunnittelussa joudutaan tekemään yhteistyötä eri talotekniikan osapuolten välillä, jolloin sähkö-, turva- ja LVI-suunnittelualojen yhteistyö korostuu, jotta järjestelmien rajapinnat ovat mahdollisimman helposti yhteensopivia keskenään ja päällekkäisiä toimintoja ei syntyisi.

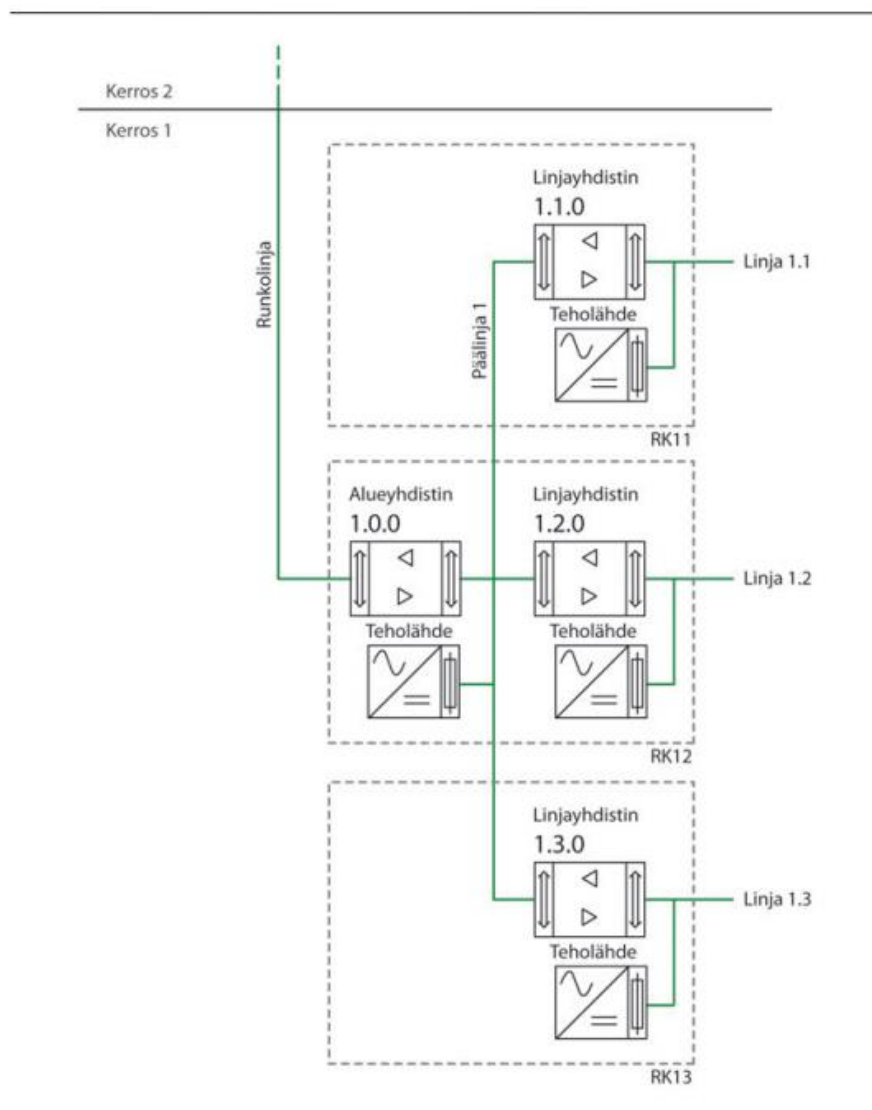
KNX-tekniikkaa käytettäessä on suositeltavaa integroida järjestelmäkokonaisuuteen mahdollisimman laajasti KNX-yhteensopivia laitteita, jolloin vähennetään päällekkäisten automaatiojärjestelmien tuottamia yhteensopivuusongelmia ja parannetaan käytettävyyttä. Yhtenäisellä järjestelmäkokonaisuudella saavutetaan myös kustannusten osalta tehokkain ja parhaiten muunneltava kokonaisuus. Avointen tekniikoiden ja rajapintojen käyttäminen mahdollistaa parhaan ylläpidettävyyden ja vähentää riippuvuutta laitetoimittajista – usein on mahdollista myös, että avoimuus johtaa laadukkaaseen tuotekehitykseen kilpailun takia.

KNX-toteutuksen valmisteluvaiheessa on hyvä käyttää valmiiksi laadittua muistilistaa, jonka Sähkötieto RY on laatinut. Tämä myös selkeyttää tilaajalle, joka usein on maalikko, järjestelmän erilaisista toteutusmahdollisuuksista. Samalla myös suunnittelutyö on järjestelmällistä ja muistilistan perusteella huonekorttien laatiminen helpottuu. [1, s. 80.]

Tavanomaisesti suunnittelija valitsee KNX-komponentit ja urakoitsijalla on mahdollisuus kilpailuttaa toimittajat. Urakoitsijoilla ja suunnittelijoilla on vaihtelevasti kokemusta erilaisista laitevalmistajista, joten usein Suomessa tehtävissä KNX-toteutuksissa käytetään muutamia tunnettuja laitetoimittajia. Suunnitelmat voidaan periaatteessa tehdä määrittämättä laitevalmistajaa, mutta selkeyden vuoksi tämä ei ole suositeltavaa. Toimintaperiaatteeltaan samanlaisissa laitteissa on valmistajien välillä eroavaisuuksia esimerkiksi ohjelmallisten asetusten laajuudessa. Suunnittelijan on tärkeää tietää valitsemiensa laitteiden keskeiset ohjelmointiparametrit, jolloin varmistutaan tarpeellisten ominaisuuksien käyttöönotossa ja vältetään tarpeettomien ominaisuuksien hankinnassa, joka saattaa nostaa laitteiden hankintahintaa. Esimerkiksi kytkintoimilaitteissa on huomattavia hintaeroja riippuen lähtöjen määrästä ja kanavakohtaisesta kytkentäkyvystä. Yleisten laitetyyppien käytössä on myös etunsa jos esimerkiksi laite elinkaaren päättyessä joudutaan korvaamaan, voidaan laite helposti korvata vastaavilla ominaisuuksilla, vaikka tuote olisi poistunut jo markkinoilta. [1, s. 85.]

6.2 Järjestelmäsuunnittelu

Yhteen linjasegmenttiin voidaan enimmillään liittää 64 laitetta ja yleisesti ottaen väylälaitteiden tehontarve on 10 mA laitetta kohden. Toteuttavan kohteen laajuudesta riippuen on valittava sopiva määrä linjasegmenttejä. Pienemmällä määrällä saavutetaan alhaisemmat kustannukset, johtuen vähäisemmällä järjestelmäkomponenttien tarpeella mutta laajennuspotentiaali on alhaisempi. Asuinrakennuksissa on suositeltavaa käyttää enintään 90 % linjasegmentin suurimmasta mahdollisesta väylälaitemäärästä ja kiinteistörakentamisessa 60 %. Väylälaitteiden tarpeen ollessa alhainen, voidaan KNX-järjestelmä toteuttaa yhdellä linjasegmentillä, edellyttäen että väyläkaapelin maksimipituutta ei ylitetä. Linjasegmenttejä määritettäessä on syytä jakaa alueet loogisesti, kuten kerroksittain tai isommissa kiinteistöissä mahdollisimman itsenäisesti hallinnoitaviin alueisiin. Tilassa tai rakennuksen osassa sijaitsevien anturien ja toimilaitteiden on sijaittava samassa linjasegmentissä. Kuvassa 8. on havainnollistettu järjestelmätasolla suuressa rakennuksessa toteutettu KNX-topologia. [1, s. 81–83.]



Kuva 8. Suuren rakennuksen esimerkitoteutus, jossa kerrokset on jaettu topologiassa alueisiin. Jokaisessa kerroksen ryhmäkeskuksessa on yksi KNX-linja. [1, s. 84.]

7 Tietoturva

Tietoturvalla on yhä tärkeämpi merkitys kiinteistöautomaatiojärjestelmissä. Erityisesti turvajärjestelmien manipuloiminen voi houkutella rikollisia, jolloin kiinteistö voidaan tehdä haavoittuvaiseksi murroille ja ilkivallalle sekä yksityisyyden suojaa voidaan rikkoa tunkeutumalla valvontajärjestelmiin. KNX-järjestelmissä tehokas turvallisuuskonsepti perustuu luvattoman pääsyn estämiseen, jolloin ainoastaan järjestelmäintegraattorilla, ylläpitäjällä ja loppukäyttäjällä on fyysinen pääsy järjestelmään. [17, s. 3.; 1, s. 97–98.]

Järjestelmäkomponentit ja keskukseen asennettavat toimilaitteet on syytä sijoittaa koteihin, jotka sijaitsevat tiloissa, joihin ainoastaan asianomaisilla henkilöillä on pääsy. Ulkona sijaitsevat toimilaitteet, kuten sääasemat, hämäräkytkimet ja liiketunnistimet on asennettava mahdollisimman korkealle. Parikaapelin kautta voidaan tunkeutua KNX-järjestelmän sisälle, joten myös väyläkaapeli täytyy olla ulottumattomissa. Huonosti valvottuihin julkisiin tiloihin voidaan asentaa perinteisiä sähkökalusteita liitettynä binääritiloihin, jolloin toimilaitteet saadaan sijoitettua turvallisemmalle alueelle. [17, s. 3.]

Hälytyssanomiam välitettäessä KNX-järjestelmässä on suositeltavaa kytkeä hälytyslaitteet yhteen erilliseen linjasegmenttiin, jossa on varavirransyötöllä varustettu teholähde. Jos järjestelmän muussa osassa katoaa jännite tai tapahtuu oikosulku, niin kytkintöimilaitteelta voidaan välittää signaali hälytysjärjestelmälle yhden kärkitiedon avulla. [1, s. 98.]

Radiotaajuuksilla tapahtuvan langattoman tiedonsiirron tietoturva on kohtalaisen alhainen, sähkömagneettisen säteilyn ollessa helposti havaittavaa ja häiritsevää. KNX-järjestelmissä on järkevää välttää radioaalto-signaaleja datasiirrossa järjestelmän toiminnan tai kiinteistön turvallisuuden kannalta olennaisissa laitteistoissa. Langattomissa linjoissa voi myös syntyä ruuhkautumista, jos välitetään suuri määrä sanomia samalla taajuusalueella.

Radioaaltoja hyödyntävät sovellukset kohteessa voidaan rajata erityisiin alhaisen prioriteetin sovelluksiin, kuten yksinkertaiseen valaistuksenohjaukseen – tässäkin rinnakkainen ohjaustapa lisää järjestelmän luotettavuutta. Paristotoimisten laitteiden tehonsaannin luotettavuus on alhainen verrattuna kiinteästi kaapeloituihin komponentteihin, sillä paristossa energian määrä on rajallinen. [1, s. 70-71.]

KNX-järjestelmän lähiverkon muodostamiseen käytettyjen verkkolaitteiden – kuten kytkimien ja reitittimien olisi syytä palvella vain automaatiojärjestelmää, jolloin tietoturvan lisäksi myös toimintavarmuutta parannetaan. Tavanomaiset langattoman lähiverkon suojausmenetelmät parantavat myös KNX-asennuksen suojaustasoa. [1, s. 98.]

Suojaustapoihin kuuluvat seuraavat mahdollisuudet.

MAC-osoitteiden suodattamisella voidaan rajata lähiverkkoon hyväksytyt laitteet tunnettujen osoitteiden perusteella, sillä verkossa kommunikoivilla laitteilla on yksilöllinen MAC-osoite. MAC-suodatus toimii tehokkaammin kiinteillä kaapeleilla toteutetuissa verkoissa, jossa kolmannen osapuolen on vaikeampi saada selville sallittuja MAC-osoitteita ja hyödyntää niitä [19].

WPA2 on langattoman lähiverkon suojausprotokolla, jolla varmistetaan asiakkaan pääsyoikeus verkkoon. Yksityishenkilöille tarkoitettussa WPA-PSK-suojaustavassa Wi-Fi-verkko on suojattu ennalta asetetulla salasanalla. Yrityksille tarkoitettussa WPA-Enterprise-suojauksessa tunnustautuvan asiakkaan tunnistetiedot välitetään tukiaseman kautta palvelimelle, joka varmentaa tiedot oikeelliseksi. Palvelin joutuu myös tunnustautumaan takaisin asiakkaalle, jolla varmistetaan prosessin tietoturvallisuus, estäen esimerkiksi tietojen kalastelun [20].

Langattoman lähiverkon *SSID*:ä käytetään erottautumiseen samalla alueella olevista verkoista. Verkkotunnuksen oletusnimeä vaihtamalla voidaan parantaa tietoturvaa, sillä oletusnimi saattaa paljastaa esimerkiksi reitittimen teknisiä ominaisuuksia, joita hyökkääjä voi hyödyntää [21].

Palomuuuri on turvajärjestelmä, joka valvoo ja ohjaa tulevaa sekä lähtevää liikennettä verkossa. Palomuuuri muodostaa nimensä mukaisesti esteen ulko- ja sisäverkon välille. Moderneissa WLAN-reitittimissä on sisäänrakennettu ohjelmallinen tai fyysinen palomuuuri, jonka käyttäminen parantaa langattoman lähiverkon suojaustasoa [22].

KNX ja internet

KNX:n liittäminen julkiseen internet-verkkoon vaatii tietoturvan erityistä huomioimista ja ominaisuuksiltaan perustasoa kehittyneempiä verkkolaitteita. Muodostettaessa yhteys internetin kautta, voidaan suojausta tehostaa seuraavilla tavoilla.

Virtuaalisen erillisverkon eli *VPN-yhteyden* muodostamisella voidaan luoda näennäisesti yksityinen verkko julkiseen verkkoon. Käyttäjä muodostaa VPN-sovelluksen kautta yhteyden välityspalvelimeen jolloin tiedonsiirron salaus tehostuu. Muodostettaessa VPN-yhteys langattomaan lähiverkkoon, tarvitaan erillinen palvelin virtuaalista erillisverkkoa varten tai reitittimessä on oltava VPN-palvelintoiminto [23].

HTTPS on verkkoviestintäprotokolla, jota käytetään tiedonsiirron turvaamiseen verkossa. Protokolla salaa ja suojaa välitetyn tiedon luvattomilta käyttäjiltä. Lisäksi sillä estetään tietojen tahallinen tai tahaton muokkaus ja todennetaan, että käyttäjä viestii tarkoitetun verkkosivuston kanssa. Selainpohjaisia KNX-visualisointijärjestelmiä käytettäessä *HTTPS*-protokolla on yleisesti käytössä [24].

ETS-ohjelma

ETS-ohjelmalla, eli Engineering Tool Softwarella voi asettaa salasanasuojauksen projektiin, joka estää asennuskonfiguraation lukemisen ja muokkaamisen kielletyiltä henkilöiltä.

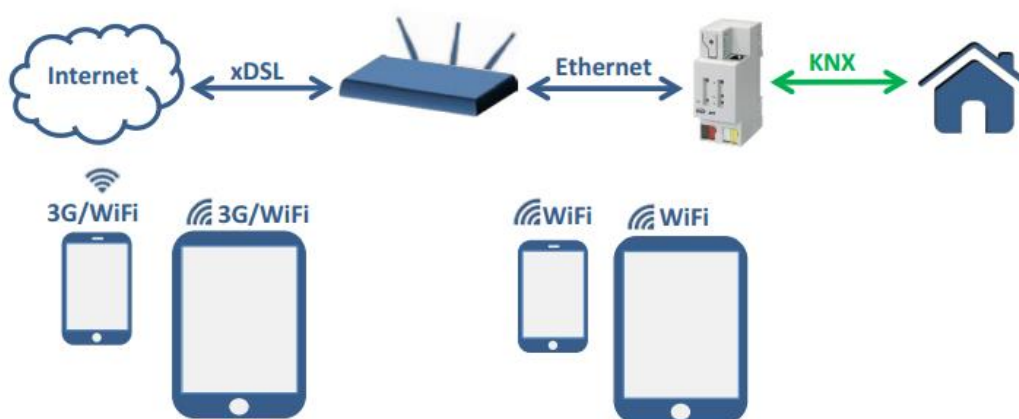
Ohjelmoimalla linjayhdistimet käyttämään suodatintaulukkoja (Filter Table) voidaan estää valitun linjan ryhmäosoitteiden kommunikointi järjestelmän muihin osiin. Suodatintaulukkoja käytettäessä linjayhdistimien ja väylälaitteiden yksilöllisten osoitteiden sekä ryhmäosoitteiden nimeämisen on tapahduttava hyvän ohjelmointitavan mukaisesti. Mikäli epätavallista liikennettä esiintyy väylässä, niin ETS-ohjelmalla voidaan monitoroida ja mahdollisesti jäljittää yhteyden alkuperä [17].

8 Visualisointi

Rakennusautomaatiojärjestelmissä visualisointi tarkoittaa graafista esitystapaa, jolla voidaan havainnoida järjestelmän tilaa ja välittää komentoja väylälaitteille. KNX-järjestelmissä visualisointi toteutetaan ohjelmallisesti ja ohjelmaan asetetaan parametrit, joiden perusteella ohjaaminen tapahtuu. Visualisointijärjestelmiä kontrolloidaan tietokoneilla, tableteilla, älypuhelimilla ja älykkäillä ohjauspaneelilla, joissa on usein integroitu käyttöliittymä. Väylälaitteiden toiminnan visualisointi yksinkertaistaa KNX-järjestelmän käyttöä, joten loppukäyttäjälle selkeästi toteutettu graafinen käyttöliittymä on hyödyllinen. Ohjelmallisia muutoksia voidaan visualisointiohjelmiin lisätä, mikäli esimerkiksi järjestelmään tehdään lisäyksiä tai loppukäyttäjä haluaa muokata ohjaustapoja.

KNX-järjestelmän ohjauksen toteuttamisella visuaalisesti voidaan myös vähentää fyysisten väylälaitteiden lukumäärää järjestelmässä, jolloin järjestelmän investointikustannuksissa voidaan saavuttaa säästöjä. Lähiverkon kautta tapahtuva visuaalinen etäohjaus lisää käyttömukavuutta ja graafisesti on helppo tulkita tilastoja, kuten sähkönkulutusta tai laitteiden kytkentäkertojen määrää.

Pienemmissä kiinteistöissä voidaan toteuttaa visualisoinnin ohjaus pelkästään yleisesti kotitalouksien käytössä olevilla tietokoneilla ja älypuhelimilla, jolloin ei ole tarpeellista hankkia laitetoimittajalta erillistä ohjauspaneelia, jotka yleensä ovat kohtalaisen kalliita. Kuvassa 10. on esitetty järjestelmätasolla älypuhelimien ja KNX-järjestelmän liittyminen toisiinsa.



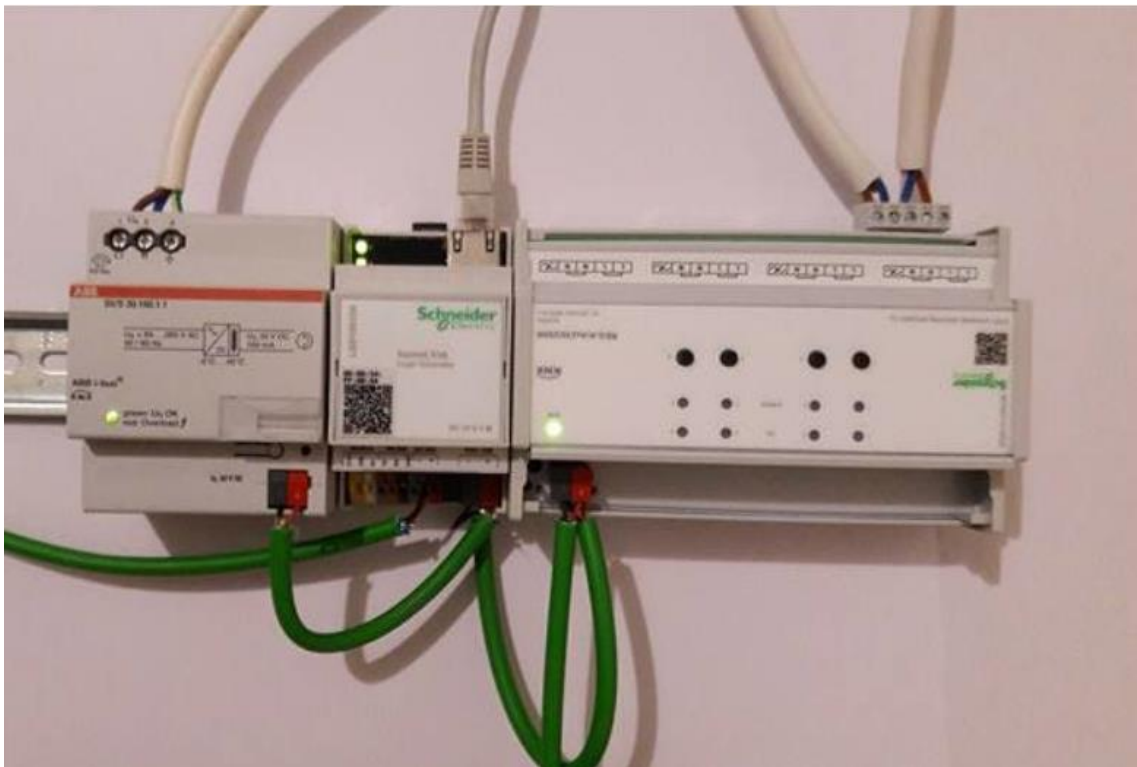
Kuva 10. Esimerkkikaavio älypuhelimella tehtävästä visualisointiohjauksesta. [24, s. 23.]

Riippuen laitevalmistajasta visualisointipalvelimelle otetaan yhteys erillisen ohjelman kautta tai kuten tässä työssä, palvelimeen muodostetaan verkkoselaimen kautta yhteys.

9 KNX-järjestelmän toteutus visualisoinnilla käyttäen HomeLynk-järjestelmää

Työssä käytetyt laitteet

- KNX virtalähde 160mA 30 VDC, ABB
- KNX logiikkamoduuli homeLynk, Schneider Electric
- KNX valonsäädin 4x250 VA LED, Schneider Electric
- KNX 2-osainen painiketaulu impressivo, ABB
- KNX PIR 180° liiketunnistin Exxact, Schneider Electric



Kuva 11. Virtalähde, homeLynk ja valonsäädin asennettuna DIN-kiskoon.

HomeLynk-logiikkamoduuli

Schneider Electricin valmistama homeLynk-moduuli toimii KNX-toteutuksen ohjausyksikkönä. Moduuli valittiin toteutukseen helppokäyttöisyyden, laajojen ominaisuuksien, selkeiden käyttöohjeiden ja kilpailukykyisen hinnan vuoksi. Laittevalmistaja on myös maailmanlaajuisesti tunnettu toimija sähköalalla, joten on syytä olettaa että laitetukea ja uusia päivityksiä on saatavilla myös tulevaisuudessa. Järjestelmän käyttöön ei tarvita erillistä KNX TCP/IP-rajapintaa, sillä homeLynk toimii KNX-topologian ylempien tasojen järjestelmäkomponenttina. Kuvassa 12. on esitetty työssä käytetty homeLynk-moduuli.



Kuva 12. Schneider homeLynk-moduuli [25].

Moduuliin voidaan liittää laitteita erilaisilla liitännöillä, joihin kuuluu

- IP lähiverkkoyhteys 10/100Mbit
- USB (GSM-modeemi, Enocean jne.)
- RS232-tietoliikenneportti
- RS485-tietoliikenneportti
- Wi-Fi langattoman reitittimen kanssa.

Lähiverkossa suoritettavassa tiedonsiirrossa homeLynk käyttää HTTPS-turvallisuusprotokollaa. Lisäksi suojaustasoa voidaan parantaa muilla verkkolaitteiden turvaominaisuuksilla, kuten palomureilla ja viruksia sekä haittaohjelmia vastaan suunnitelluilla ohjelmistoilla. Graafisessa käyttöliittymässä on tavanomainen salasanasuojaus. Schneider Electricin laiteohjelmistoa päivittämällä saadaan käyttöön uusimpia ominaisuuksia ja tietoturva-avoittuvuudet saadaan korjattua.

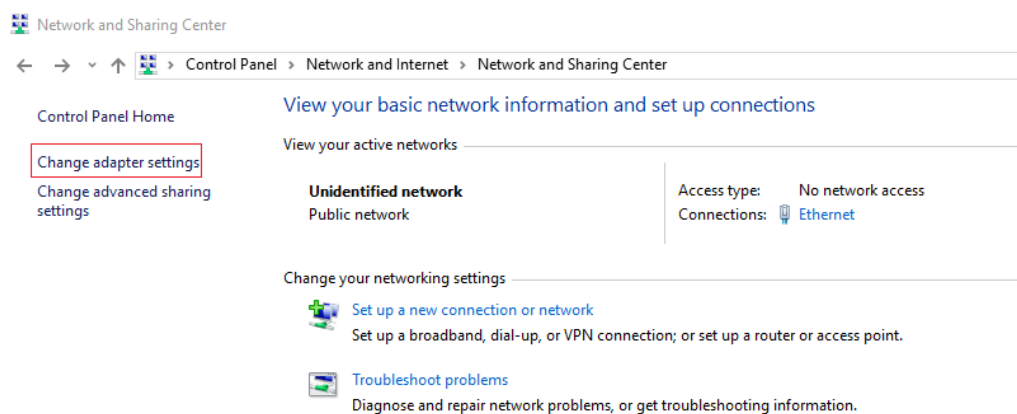
KNX-järjestelmään yhdistetään homeLynk seuraavasti

1. Asenna laite DIN-kiskoon.
2. Liitä laitteeseen KNX-väyläkaapelit
3. Yhdistä 24 V tasavirtalähde laitteeseen. Virtalähteen ei tarvitse olla erityisesti KNX-järjestelmälle suunniteltu.
4. Yhdistä homeLynk ja PC toisiinsa Ethernet-kaapelilla
5. homeLynkin IP-osoite on oletuksena 192.168.0.10. Vaihda PC:n IP-osoite samaan osoiteryhmään, kuten 192.168.0.9 ja laita verkon peitteen osoitteeksi 255.255.255.0

6. Käynnistä verkkoselain ja syötä osoitekenttään homeLynkin IP-osoite, tässä tapauksessa 192.168.0.10. Laitte ei tue Internet Exploreria.
7. Verkkoselaimeen ilmestyy homeLynkin graafinen käyttöliittymä, josta saadaan säädettyä lukuisia asetuksia ja voidaan esimerkiksi luoda graafinen käyttöliittymä ohjausta varten.

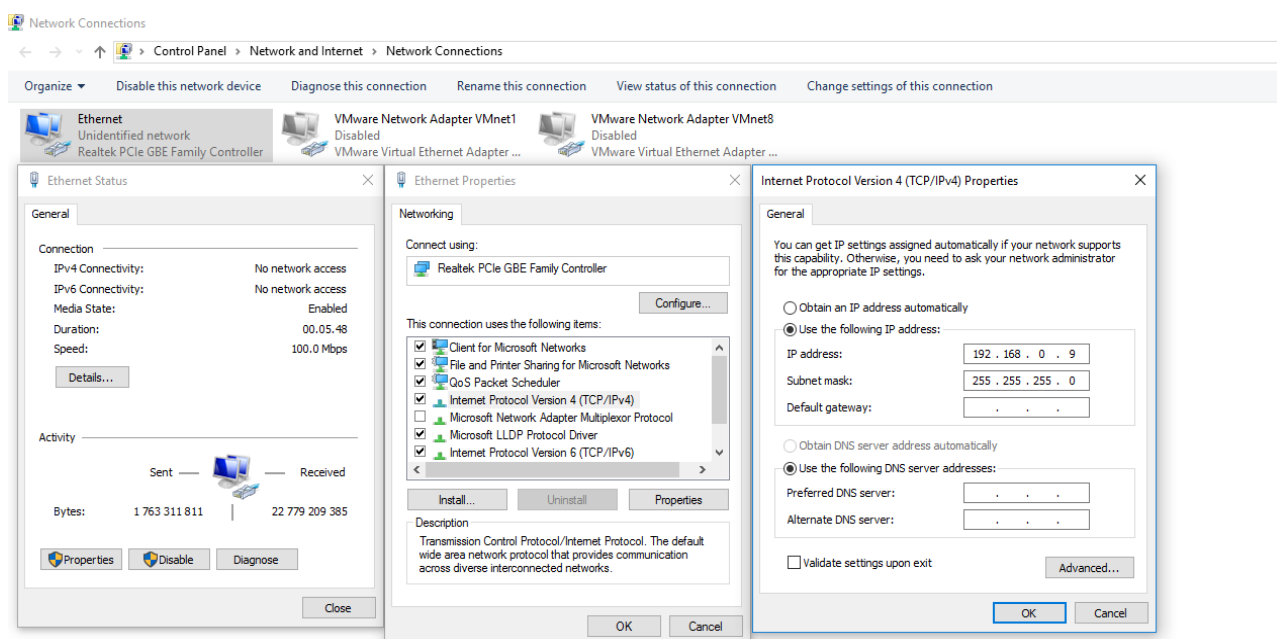
HomeLynk-logiikkamoduulin liittäminen lähiverkkoon

Työssä käytettiin englanninkielistä Windows 10-käyttöjärjestelmää. Tässä käyttöjärjestelmässä voidaan muokata IP-osoitteita menemällä ohjauspaneelin kautta "Network and Internet", josta jatketaan "Network and Sharing Center" ja sieltä valitaan "Change adapter settings", kuten on esitetty kuvassa 13.



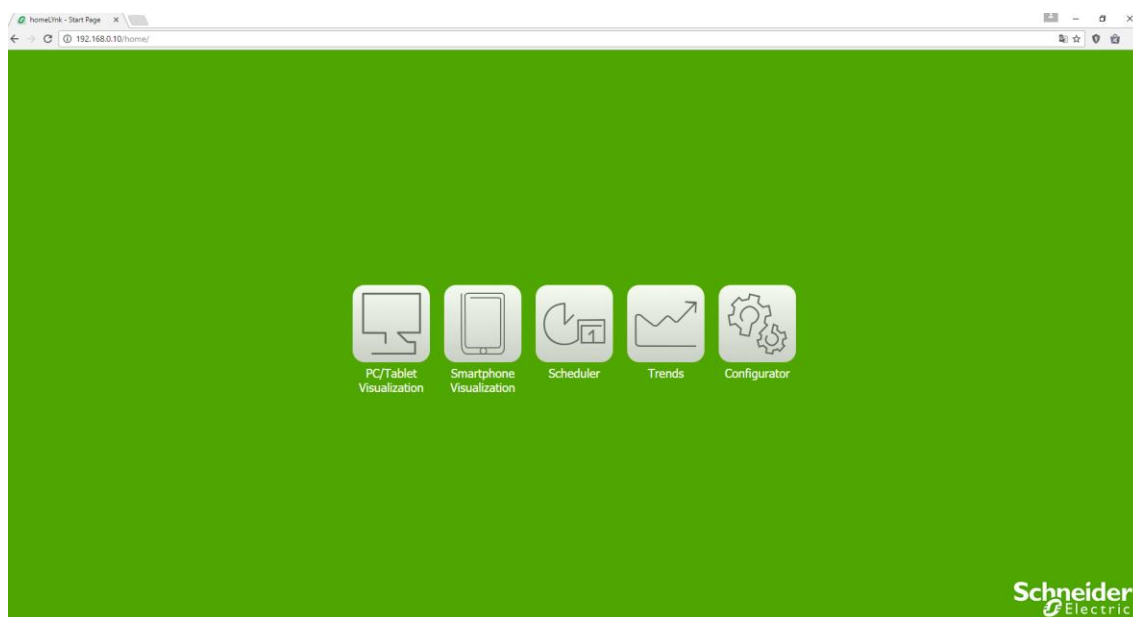
Kuva 13. Verkkoasetusten valmisteleminen.

Seuraavaksi päästään valikkoon jossa valitaan aktiivinen verkko, johon homeLynk on liitetty. Avataan "Properties", seuraavaksi "Home Protocol Version 4 (TCP/IPv4)", jonka jälkeen voidaan asettaa tietokoneen IP-osoite samaan alueeseen homeLynkin kanssa. Kuten edellä mainittiin, tässä tapauksessa IP-osoitteeksi asetetaan 192.168.0.9 ja ali-verkon peitteen osoitteeksi 255.255.255.0. Kuvassa 14. on esitetty vaiheittain tietokoneen IP-osoitteen asettaminen samalle alueelle homeLynkin kanssa.



Kuva 14. Verkkoasetusten muokkaaminen.

Kun edellä mainitut asetukset on tehty, mennään verkkoselaimen avulla homeLynkin graafisen käyttöliittymän päävalikkoon syöttämällä osoiteriville homeLynkin oletusosoite 192.168.0.10. Jos konfigurointi on tehty onnistuneesti, päästään homeLynkin päävalikkoon selaimen kautta, jolloin näkymä on kuvan 15. mukainen.



Kuva 15. Schneider homeLynkin päävalikko työpöytänäkössä.

HomeLynkin laiteohjelmiston päivittäminen

Kun homeLynk otetaan käyttöön ensimmäistä kertaa, on syytä päivittää laiteohjelmisto eli firmware, jonka voi ladata laitevalmistajan sivustolta. Päivittämällä homeLynk saadaan käyttöön uusia ominaisuuksia, parannettua tietoturvaa ja korjattua ohjelmointivirheitä.

HomeLynkin selainpohjaisesta päävalikosta valitaan

1. "Configurator"
2. "System"
3. "Upgrade Firmware".
4. Valitaan päivitettävä laiteohjelmistotiedosto, jolloin se ladataan tietokoneesta homeLynk-moduuliin.

Kirjoittamisen aikaan viimeisin saatavilla oleva päivitys on V1.5.1

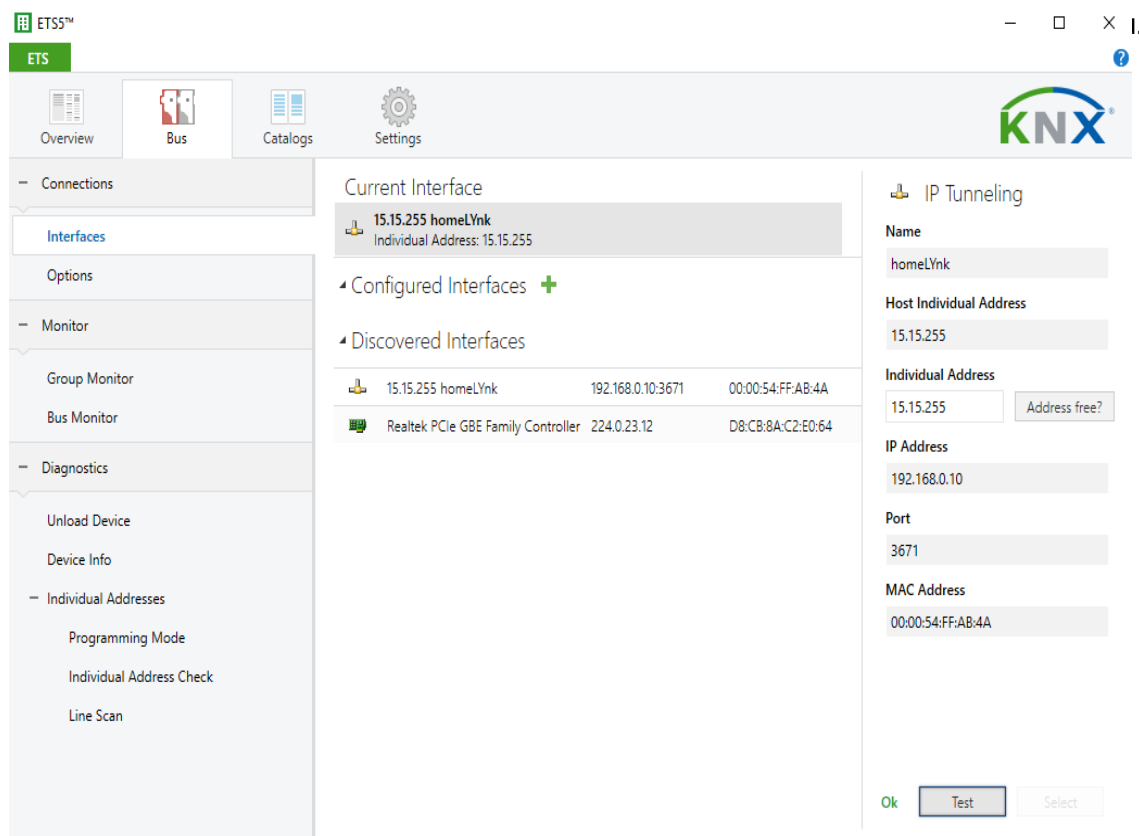
10 ETS-ohjelmointi

KNX-laitteiden ohjelmointi tapahtuu Windows-pohjaisella ETS-ohjelmalla (Engineering Tool Software). ETS on laitevalmistajasta riippumaton suunnittelu- ja käyttöönotto työkalu, jota ylläpitää KNX Association. Järjestelmän käyttöönottajat voivat ohjelman avulla yhdistää useiden valmistajien tuotteita samaan järjestelmään ja parametriasetusten avulla luoda laitteista toimivia kokonaisuuksia. ETS5 on viimeisin ohjelman versio. Tyypillisesti KNX-asennus ohjelmoidaan käyttäen tietokonetta, johon ETS on asennettu. Markkinoilla on myös yksinkertaisempia käyttöönottopoja erilaisilla kämmenlaitteilla, mutta näiden ohjelmointiominaisuudet ovat rajalliset verrattuna ETS-työkaluun. [26, s. 17.]

ETS-ohjelmaan ladataan laitevalmistajan tuotetietokanta, jolloin ETS:n avulla asetetaan parametrit, joiden mukaan laite toimii järjestelmäkokonaisuudessa. Myös laitteiden ryhmäosoitteet ja ryhmäobjektit asetetaan ohjelmallisesti. Ryhmäobjekti on muistipaikka, jonka välityksellä väylälaite lähettää ja vastaanottaa sanomia. Kaikkia samassa ryhmäosoitteessa olevat ryhmäobjektit vastaanottavat osoitteeseen välitetyn sanoman. Selkeä ja järjestelmällinen ryhmittely on suositeltavaa projektia tehtäessä, koska jälkeempinä tehtävät muutokset ovat vaivalloisia.

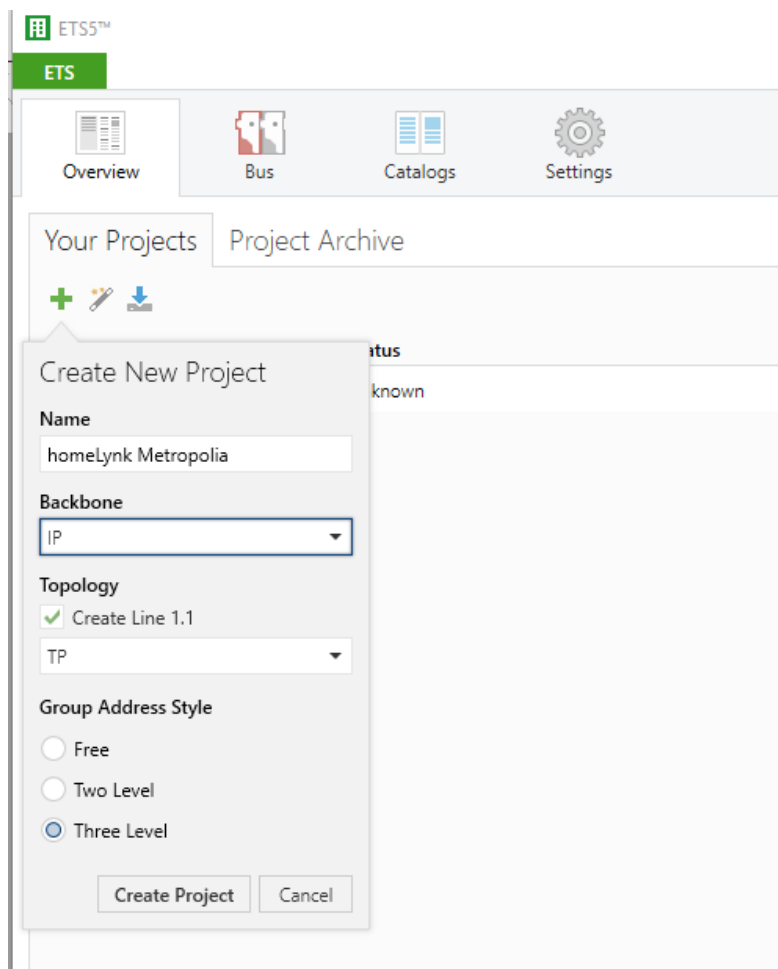
ETS-ohjelmistossa tehtävät parametriasetukset ovat järjestelmän toimivuuden kannalta kriittisiä, sillä niillä määritetään laitteiden välillä välitettävät tiedot. Esimerkiksi KNX-painikkeelle on määritettävä, toimiiko painike himmenninkytkimenä, verho-ohjaimena vai tavanomaisena valaisinkytkimenä. Toimilaitteissa parametriasetuksilla voidaan määrittää muun muassa ajastintoimintoja, himmenninohjauksia ja himmennysnopeuden säätöjä. [1, s. 122]

Kun edellä mainitut työvaiheet ovat suoritettu, niin ETS5-ohjelmointialustaa käytettäessä homeLynk-ohjain havaitaan väylässä eli päävalikon Bus-välilehden Interfaces-kohdassa, kuten kuvassa 16. on esitetty. Oletuksena logiikkayksikön KNX-väyläosoite on 15.15.255 ja IP-osoite on 192.168.0.10, joka on sama kuin selaimen syötettävä osoite.



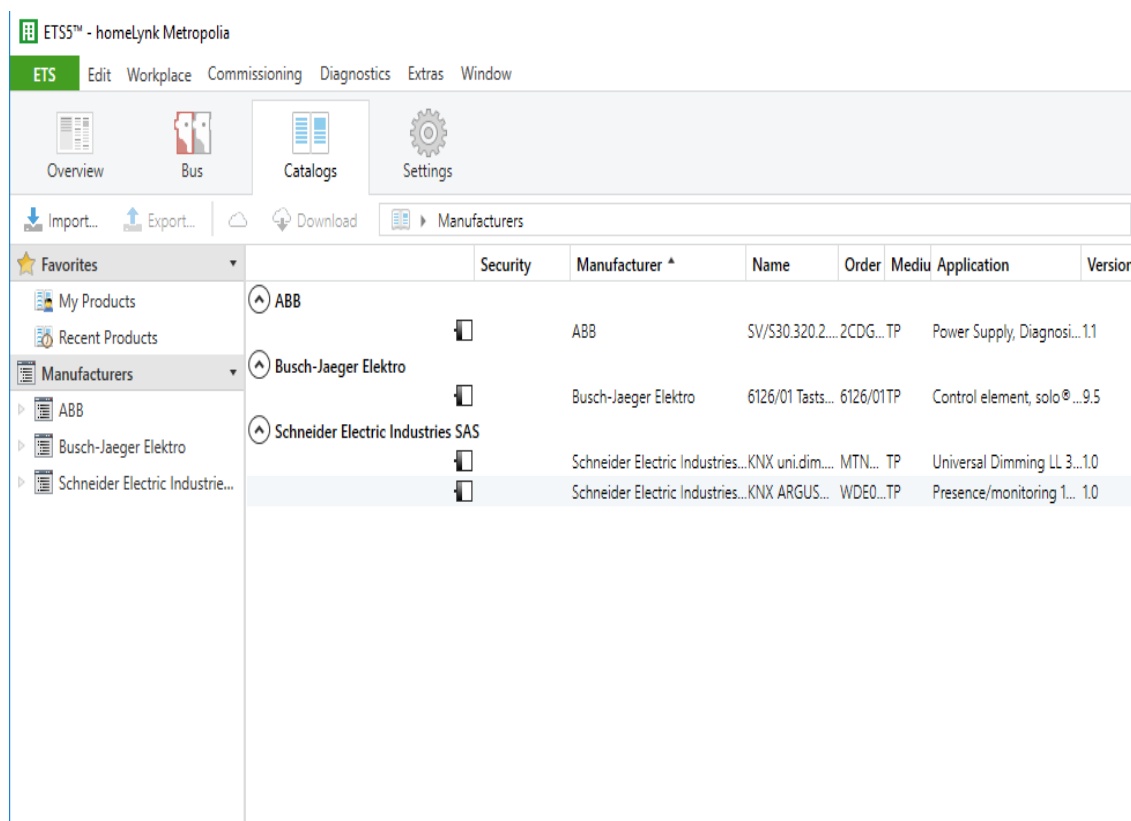
Kuva 16. ETS-ohjelmassa havaittu homeLynk-rajapinta.

ETS-ohjelmassa luodaan uusi projekti overview-välilehdellä ja määritetään tarpeelliset asetukset, kuten kuvassa 17. on esitetty. Tässä työssä käytetään runkolinjan siirtome-diana IP-verkkoa ja väylätopologiana KNX-parikaapelia. ST-käsikirja 23 suosittelee py-syttelemistä kolmen tason ryhmäosoitteiden esitystavasta. Esitystapaa voidaan muuttaa, mutta tällöin saattaa esiintyä tunnistusongelmia ulkoisissa järjestelmissä, kuten esimer-kiksi homeLynk-järjestelmässä. [1, s. 37.]



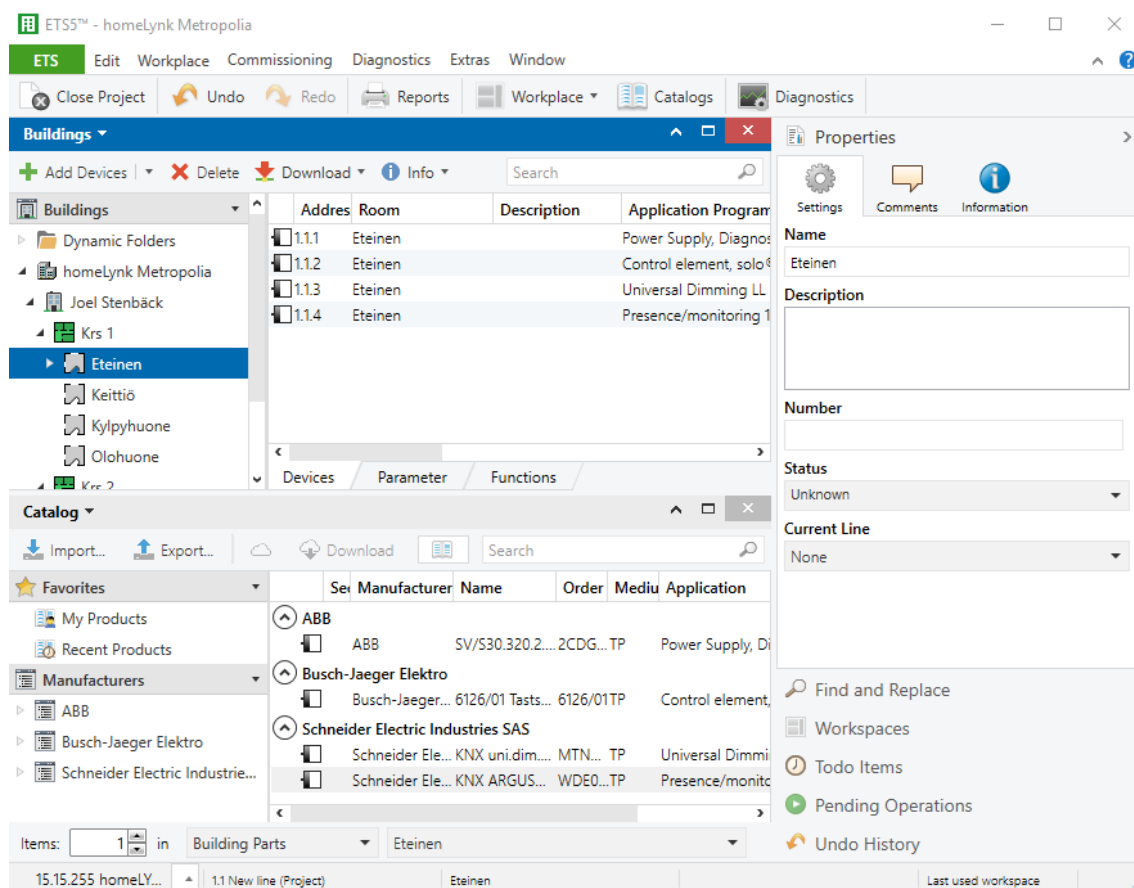
Kuva 17. Projektin luonti ETS-ohjelmassa.

Catalogs-näkymässä voidaan lisätä projektiin väylälaitteiden tuotetietokantoja, jotka ovat saatavilla yleensä laitevalmistajan verkkosivuilta tai syöttämällä tuotenumero hakukenttään. Kuvassa 18. näkyy väylälaitteet, jotka ovat liitettynä KNX-järjestelmään.



Kuva 18. ETS-ohjelmaan liitetyt väylälaitteet.

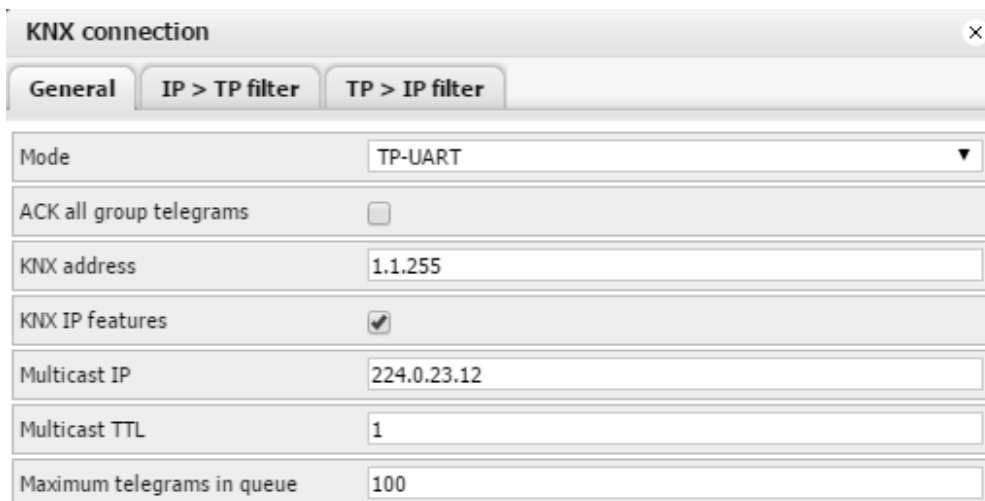
Buildings-näkymässä luodaan ETS-projektiin rakennus, rakennuksen osat, kerrokset ja huoneistot. Nimeämisen on syytä olla järjestelmällistä, jotta projekti olisi mahdollisimman selkeä. Huoneisiin lisätään laitteita Add Devices -painikkeesta, jolloin laitteet saavat automaattisesti projektissa laiteosoitteen. Kuvassa 19. on luotu rakennus, kerrokset ja kerroksissa sijaitsevat huoneet.



Kuva 19. ETS-projektin rakennuksen ja huoneiden luonti.

Vakiintuneen käytännön mukaan ohjelmointirajapinnalle annettava osoite on linjan ylin mahdollinen osoite. Ohjelmoitava laite voi olla eri linjassa ohjelmointirajapinnan kanssa, mutta ETS-ohjelma tarvitsee rajapinnan linjaosoitetiedon. [1, s. 149.]

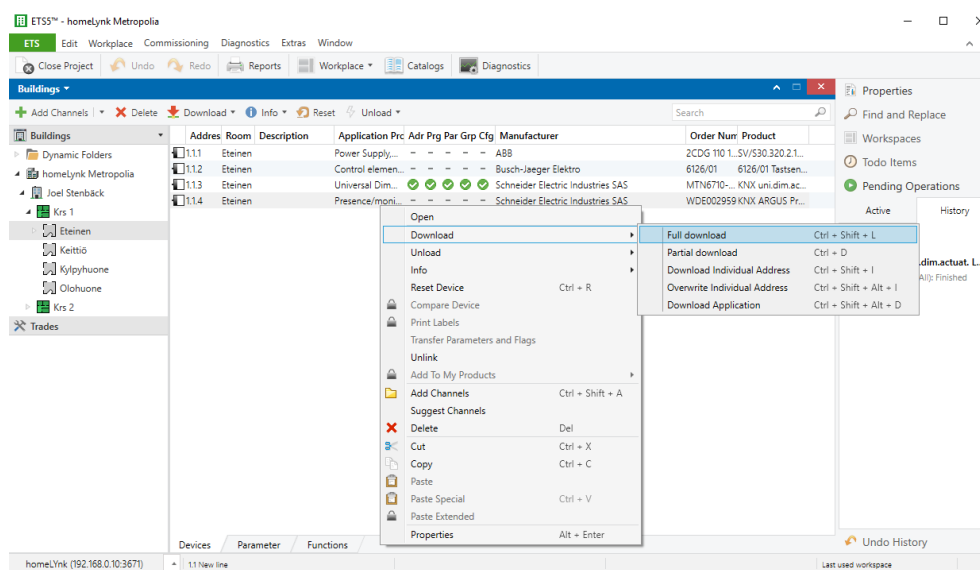
Homelynk-logiikkamoduulin KNX-osoite asetetaan valitsemalla homeLynkin päävalikosta Configurator ja System-välilehdestä KNX connection, jolloin voidaan määrittää haluttu osoite. Tässä työssä asetetaan homeLynkin KNX-väyläosoitteeksi 1.1.255, kuten kuvassa 20. on havainnollistettu.



KNX connection	
General	
Mode	TP-UART
ACK all group telegrams	<input type="checkbox"/>
KNX address	1.1.255
KNX IP features	<input checked="" type="checkbox"/>
Multicast IP	224.0.23.12
Multicast TTL	1
Maximum telegrams in queue	100

Kuva 20. homeLynkin väyläosoitteen asettaminen.

Väylälaitteille ohjelmistot saadaan ladattua Buildings-paneelissa tilan valitsemalla tai linjan valitsemalla Topology-paneelissa. Laiteohjelmistot voidaan ladata yksitellen tai merkitä osoitteet ladattavaksi kerralla. Yksilöllinen osoite ja sovellusohjelma saadaan valitsemalla laite, josta valitaan Download ja tässä tapauksessa Full download. Latausvaiheessa ETS-ohjelmisto pyytää painamaan ohjelmoitavan laitteen fyysistä ohjelmointipainiketta, jonka jälkeen toiminta jatkuu. Kun osoite ja laiteohjelmisto on onnistuneesti ladattu laitteeseen ja yhdistetty projektiin, niin vihreät ok-merkit ilmaisevat eri toimintojen oikeellisuuden, kuten on havainnollistettu kuvassa 21.

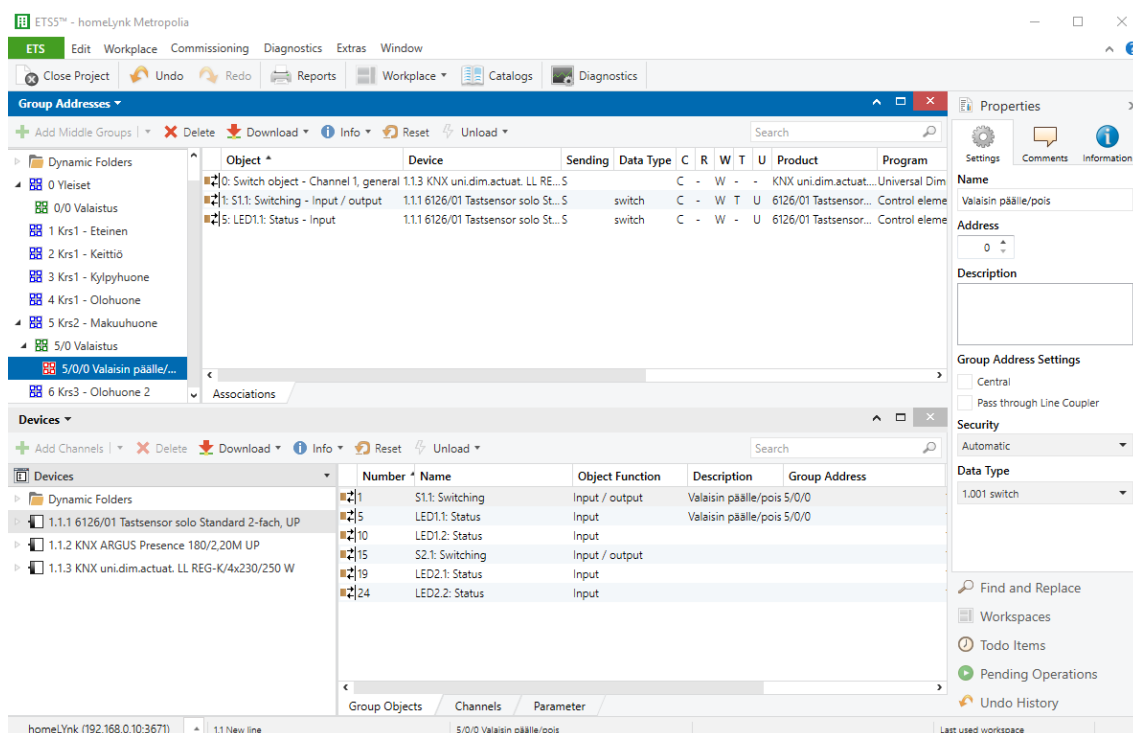


Kuva 21. Ohjelmiston lataaminen väylälaitteisiin.

Ryhmäosoitteita luodaan Group addresses –paneelissa ja suositeltavaa onkin käyttää kolmen tason esitystapaa, kuten aikaisemmin on mainittu. Useimmat KNX-toiminnot vaativat useiden laitteiden yhteistoimintaa ja yhdistämällä laiteohjelmistojen sisältämät ryhmäobjektit ryhmäosoitteeseen, saadaan KNX-järjestelmässä luotua useiden toimintojen kokonaisuuksia. Ryhmäobjektien toiminta vaihtelee parametrivalintojen mukaan ja ryhmäobjekti voi lähettää sanomia, vastaanottaa sanomia tai tehdä molempia.

Esimerkiksi pientalossa kolmen tason esitystavassa x/x/x ensimmäinen numero eli pääryhmä ilmaisee tilan, jossa toimintoja ohjataan. Toinen numero eli keskiryhmä kertoo varsinaisen toimintakokonaisuuden, kuten esimerkiksi valaistushajauksen tai turvatekniset järjestelmät. Kolmas numero on varsinainen ryhmäosoite. [1, s. 37].

Kun ryhmäosoite on luotu haluttuun sijaintiin, halutut ryhmäobjektit raahataan Devices-välilehdeltä ryhmäosoitteeseen. Samassa ryhmäosoitteessa voidaan käyttää vain samankokoisia ryhmäobjekteja. Tässä työssä kytkintoiminta on oletuksena 1-bittinen, joten jos kytkin halutaan toimimaan himmentimenä, niin Parameter-välilehdeltä on säädettävä parametriasetukset, jolloin saadaan 4-bittinen ryhmäobjekti. Tämä objekti voidaan liittää himmenninyksikön himmenninobjektiin, joka on myös 4-bittinen. Kuvassa 22. on luotu ryhmäosoite yhdistämällä siinä käytetyt ryhmäobjektit.

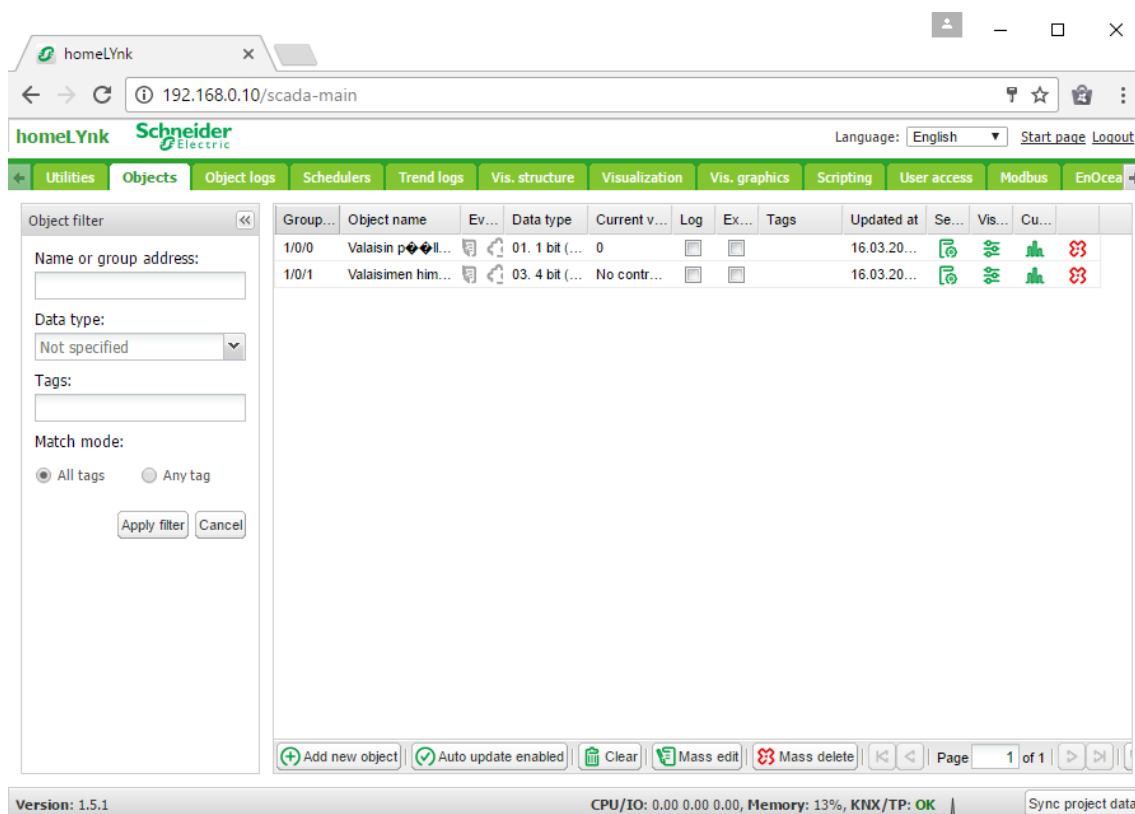


Kuva 22. Ryhmäosoitteiden luominen.

Kun ryhmäosoitteeseen tehdään muutoksia parametritasolla tai lisätään uusia ryhmäobjekteja, ryhmäosoite on ladattava väylälaitteille käyttämällä "Download application"-painiketta. Mikäli valitaan "Download all", laitteen ohjelmointipainiketta joudutaan painamaan uudelleen.

11 ETS-projektin yhdistäminen homeLynk-järjestelmään

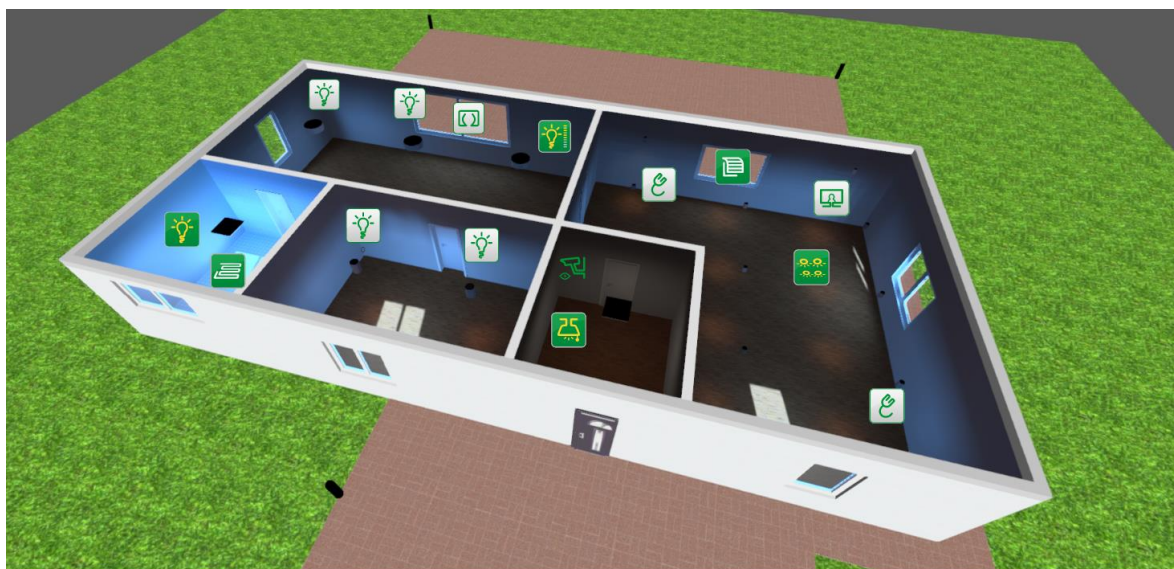
ETS-projekti saadaan muutettua homeLynkille sopivaan muotoon valitsemalla ETS-ohjelmasta Extras-välilehti ja valitsemalla Export OPC, jolloin projektista saadaan .esf-tiedostomuoto. HomeLynkin asetuksista saadaan tuotua luotu tiedosto Configurator-valikon kautta ja valitsemalla Import ESF file. Tällöin luodut ryhmäosoitteet tulevat näkyviin homeLynkin Objects-valikossa. Kuvassa 23. on onnistuneesti liitetty kaksi ryhmäsoitetta ETS-projektista homeLynk-järjestelmään. [27, s. 16.]



Kuva 23. Ryhmäosoitteiden tuonti homeLynk-järjestelmään.

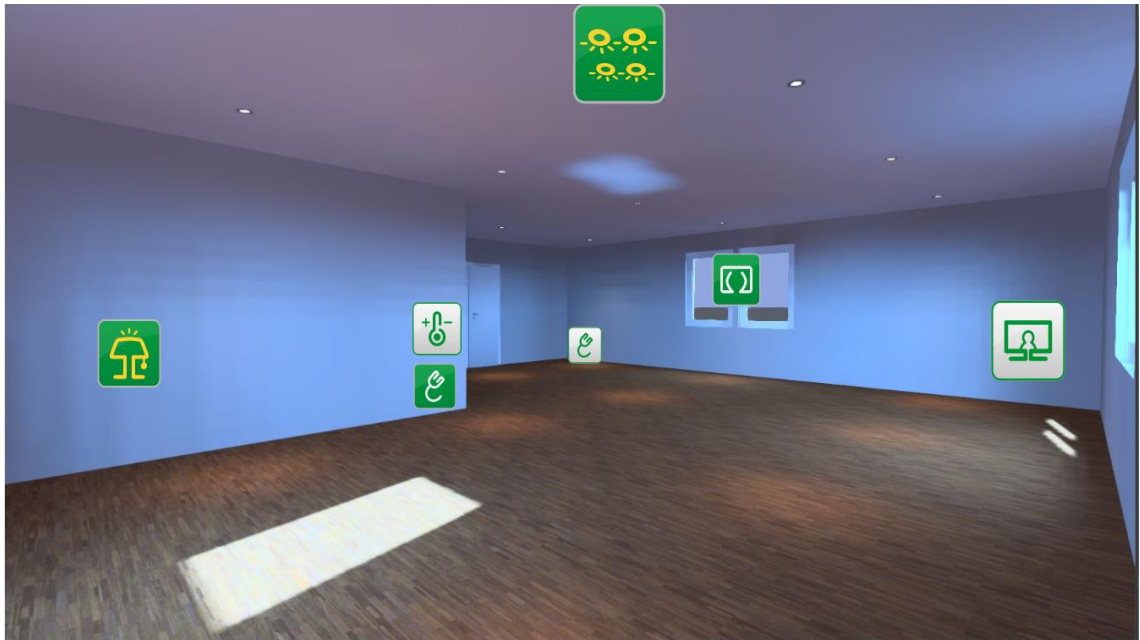
Vis. structure-välilehdeltä voidaan luoda kaikki rakennuksen tasot ja visualisointisuunnitelmat. Uuden tason luominen onnistuu painamalla Add new level-painiketta ja nimeämällä taso. Add / Import-painikkeesta voidaan luoda uusi pohja. Visualisointiohjelmaan voidaan liittää taustakuvaksi esimerkiksi tilaa hahmottava pohjapiirustus tai 3D-mallinnus ja tässä työssä käytetään Dialux Evo-ohjelmalla tehtyä mallinnusta kohteesta. Haluttu kuva voidaan liittää Vis. graphics-välilehdeltä järjestelmään, jolloin visualisointipohjaa luotaessa kuva yhdistetään siihen.

Visualization-välilehdeltä voidaan muokata luotua visualisointipohjaa. Pohjaan voidaan liittää ETS-ohjelmasta tuotuja ryhmänumeroita Main object -valikosta, ja niille asetetaan graafiset painikkeet, jotka ilmaisevat haluttua toimintoa, kuten valojen syttymistä tai lämmityksen ohjausta. Painiketta painamalla saadaan haluttu toiminto aktivoitua, asetettua numeerisia arvoja tai saadaan tilatietoja jne. PC-näkymässä napsauttamalla haluttua symbolia saadaan aktivoitua siihen liitetty ryhmäobjekti tai asetettua ryhmäobjektille tietty arvo. Kuvassa 24. on rakennukseen liitetty erilaisia taloteknisiä toimintoja, jotka ovat symbolein havainnollistettu. Vihreä pohjaväri tarkoittaa aktiivista toimintoa ja vaalea pohja epäaktiivista toimintoa.



Kuva 24. Rakennuksen 3D-mallinnus ohjauspainikkeineen homeLynk-järjestelmässä.

Suuremmissa kohteissa visualisoitu ohjaus on järkevää hoitaa tilakohtaisesti. Home-Lynk-järjestelmässä voidaan luoda samasta rakennuksesta useampi eri näkymä, joihin voidaan liittää yksityiskohtaisesti ohjauspainikkeita. Tilat voidaan myös erillisesti suojata salasanalla, jolloin vain määritellyt käyttäjät pääsevät tilaa ohjaaviin järjestelmiin käsiksi. Kuvassa 25. on saman tilan ohjaukset kuin kuvan 24. olohuoneessa mutta ohjauksia on useampia ja ne palvelevat ainoastaan kyseistä tilaa.

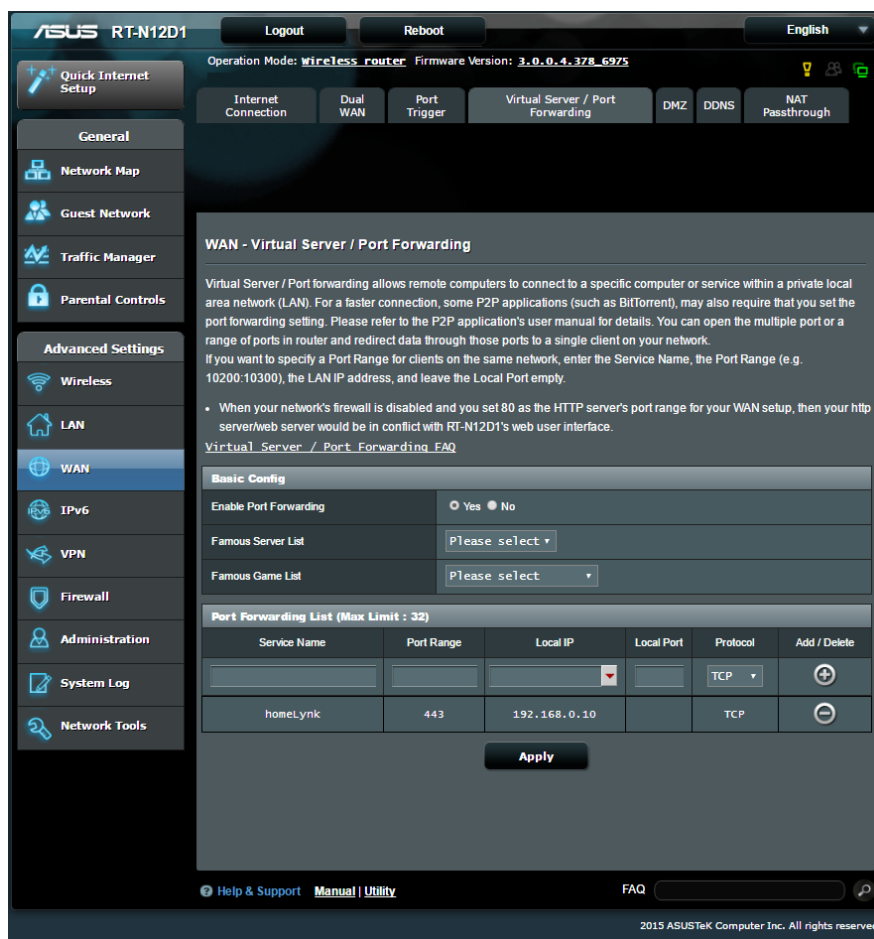


Kuva 25. Rakennuksen huonekohtainen visualisointiohjaus.

12 homeLynk-järjestelmän liittäminen langattomaan lähiverkkoon

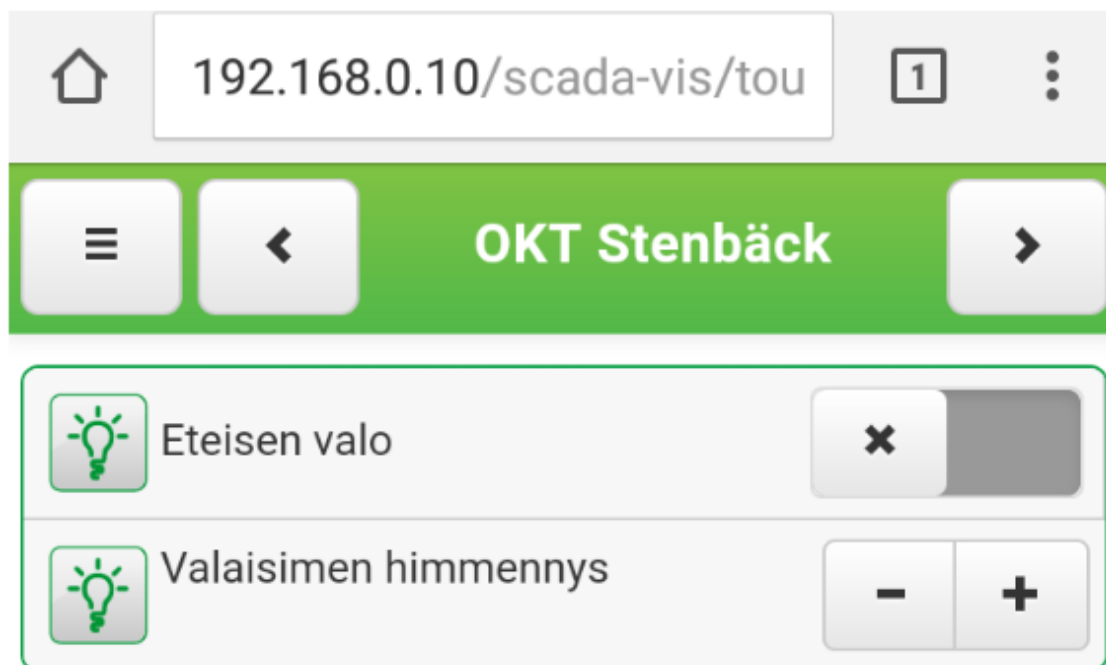
Wifi-reitittimen port forwarding -toiminnolla voidaan homeLynk yhdistää langattomaan lähiverkkoon. Asetukset ovat tehtävä reitittimessä selaimen kautta. Oletuksena homeLynk-moduulissa HTTP-protokollan portti on 80 ja turvallisemman HTTPS-protokollan portti on 443. On vahvasti suositeltavaa käyttää HTTPS-protokollaa etäohjauksessa. [27, s. 115.]

Työssä käytetty reititin on Asuksen RT-N12D1. Kun reitittimen asetukset ovat tehty, kaikki reitittimeen liittyneet laitteet voivat olla yhteydessä homeLynk-järjestelmään verkkoselaimen kautta. Kuvassa 26. näkyy reitittimen parametrien määrittäminen käyttämällä selainta.



Kuva 26. Reitittimen asetusten parametrien määrittäminen.

Kuvassa 27. on näkyvä älypuhelimien selaimen näkymä, jolla voidaan myös ohjata homeLynk-järjestelmään liitettyjä KNX-ohjauksia.



Kuva 27. Visualisoitu ohjausnäkymä älypuhelimella.

13 Kamerajärjestelmän liittäminen homeLynk-järjestelmään

HomeLynkin visualisointipohjaan voidaan liittää suoratoistokuvaa IP-kameroista. Videokuvaa voi hyödyntää erityisesti jos halutaan valvoa kiinteistöä verkon välityksellä. Myös esimerkiksi etäohjatessa järjestelmää voidaan varmentua toimintojen toimivuudesta. Kameran täytyy tukea HTTP MJPEG suoratoistoa verkkoselaimessa, jotta videokuva voidaan tuoda visualisointipohjaan. Kamera yhdistetään visualisointipohjan muokkaustilassa liittämällä kuvamateriaalin URL-osoite "Camera"-välilehdessä. Työssä käytetyn kameran IP-osoite voidaan asettaa reitittimen asetuksista ja sen URL-osoite oli työssä <http://192.168.0.188/mjpeg.cgi>.

Opinnäytetyössä käytettiin D-Linkin DCS-5000L IP -kameraa, jota voi ohjata myös etänä erillisen sovelluksen avulla ja joka voidaan yhdistää langattomasti WiFi-verkkoon.

Kuvassa 28. on saatu näkymä IP -kameran suoratoistokuvasta. IP -kameran kuva saadaan näkyviin visualisointinäkymässä napsauttamalla kameran symbolia pohjakuvasta.



Kuva 28. IP-kamera liitettynä homeLynk-visualisointinäkymään.

14 Yhteenveto

Insinööriyön aihe valittiin kiinnostuksesta KNX-järjestelmään ja halusta syventää teoreettista osaamista käytännön toteutuksen kautta. Alalla on tällä hetkellä suuri määrä toimijoita, joten perehtymällä yhden järjestelmän mahdollisuuksiin laajemmin paranee myös muiden vaihtoehtojen vertailu osaamisen kasvaessa.

Kun KNX-järjestelmä oli valittu, aloitettiin taustatyön tekeminen laitetoimittajien osalta ja tässä vaiheessa perehdyttiin erityisesti visualisoinnin mahdollistaviin laitekomponentteihin, homeLynk oli huomattavasti edullisempi kuin suurin osa muiden valmistajien laitteistoista. Työssä haluttiin ohjata visualisointijärjestelmää yleisillä laitteilla, kuten älypuhelimella ja PC:llä, jolloin vältetään usein hyvinkin kalliiden järjestelmään integroitujen ohjauspaneelien käytöltä.

Toteutusvaiheessa hyödynnettiin paljon Sähköinfo Oy:n ST-käsikirjaa 23, joka käsittelee laajasti KNX-asennuksia sekä KNX associationin verkkodokumentteja, KNX:n suosio perustuneekin paljolti siihen, että siitä on kirjallisuutta laajalti ja järjestelmän ohjelmointi on selkeästi tehty käyttäjäystävälliseksi. Myös homeLynk-järjestelmän käyttöohjeista oli paljon hyötyä työtä tehtäessä.

Työssä onnistuttiin ymmärtämään KNX-järjestelmän ohjelmoinnin peruseriaatteen ja visualisointijärjestelmien liittäminen siihen. Riittävän yksinkertaisesti mutta toiminnallisesti hyvin visualisoitu järjestelmä helpottaa loppukäyttäjää järjestelmän ohjauksessa, sillä ei ole syytä olettaa loppukäyttäjältä erityistä teknistä osaamista. Työssä jouduttiin oivaltaamaan paljon asioita niin sanotusti kantapään kautta, mikä on oppimisen kannalta tuttu mutta toimiva tapa omaksua ratkaisutapoja. Usein lähdekirjallisuudessa toimintatavat ovat kohtalaisen yleisellä tasolla esitetty, joten käytännön toteutuksen kautta syvenyy ymmärtäminen järjestelmä- ja komponenttitasolla.

KNX-toteutuksesta olisi voinut tehdä huomattavasti laajemman mutta työssä kuitenkin omaksuttiin olennaisimmat peruseriaatteen, joten järjestelmän jatkokehitys on huomattavasti helpompaa. Laitetasolla on huomattava määrä erilaisiin sovelluksiin kehitettyjä komponentteja, joten muutamankin yleisen laitteen ohjelmointimahdollisuuksien ymmärtäminen auttaa tulevaisuudessa hahmottamaan vaihtoehtoja. Toteutukseen valittiin olennaisimmat komponentit ja keskityttiin valaistuksen ohjaamiseen, koska se on sähkötekniikassa yksi parhaiten havainnollistava osa-alue. Langattoman lähiverkon hyödyntäminen järjestelmän ohjauksessa oli erityisesti hyvä ominaisuus, koska tulevaisuudessa esi-
neiden internet tulee yhä laajemmin näkymään arkielämässä, joten tämän tyyppisellä ratkaisulla voidaan integroida iso osa laitteista samaan järjestelmään.

Järjestelmään olisi voinut integroida paljon laajemmin väylälaitteita, mutta järjestelmä olisi pitänyt kaupallisesti hyödyntää, jotta se olisi ollut kannattavaa. Työssä käytetyt komponentit toimivat ohjelmoitaessa halutulla tavalla ja mukana tulleet ohjeet olivat kokonaisuudessaan kattavat. ABB:n Impressivo-sarjan painikkeissa oli kohtalaisen huono tun-
tuma ja painettaessa syntyi mekaanista ääntä.

HomeLynkin käyttö vaati paljon perehtymistä erilaisiin ominaisuuksiin ja siinä on paljon sovelluksia, joita tässä opinnäytetyössä ei käsitelty, kuten mahdollisuus ohjelmointiin Lua-ohjelmointikielellä. Kokonaisuudessaan se on hintaluokassaan erittäin toimiva lo-
giikkamoduuli ja sovellusvalikot olivat kohtalaisen helppo omaksua. HomeLynk-moduuli soveltuu hyvin pienkohteisiin, joissa on tärkeää toteuttaa perustason KNX-ominaisuudet hyvällä hinta-laatusuhteella. Useilla muilla KNX-ohjausyksiköiden valmistajilla on huomattavasti näyttävämmät graafiset käyttöliittymät, joten budjetin salliessa on syytä har-
kita muidenkin valmistajien tuotteita.

Lähteet

- 1 ST-käsikirja 23. 2015. KNX-järjestelmän perusteet. Sähkötieto Ry. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 2 What is KNX. Verkkodokumentti. KNX Association. <<https://www.knx.org/knx-en/knx/association/what-is-knx/>> Luettu 15.12.2016.
- 3 KNX Finland Ry. 2016. Verkkodokumentti. <<http://www.knx.fi/index.php?k=220460>> Luettu 8.12.2016.
- 4 Product certification. Verkkodokumentti. KNX Association. <<https://www.knx.org/knx-en/knx/technology/certification/index.php>> Luettu 8.12.2016
- 5 Press Release. Verkkodokumentti. BSRIA Ltd. <<http://www.knx.org/fileadmin/news/1340357654216111781English.pdf>> Luettu 15.3.2017
- 6 KNX tänään. 2015. KNX Finland Ry. Verkkodokumentti. Johan Stigzelius. <[knx.fi/download.php?liite_id=9757](http://www.knx.fi/download.php?liite_id=9757)>
- 7 Energiatohokkuus. 2017. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatohokkuus>
- 8 The KNX system in detail. Verkkodokumentti. Giersiepen GmbH & Co. KG. <http://www.gira.com/en/gebaeudetechnik/systeme/knx-eib_system/systemerlaeuterung.html> Luettu 5.1.2017
- 9 Valaistus ja tuottavuus. 2015. Luentomoniste. Helvar Oy Ab.
- 10 Dynaaminen valaistus. 2015. Luentomoniste. Philips Oy.
- 11 KNX DALI taustoja. 2016. Tampere: Avoin Automaatio Ry.
- 12 KNX for Blind Control. Verkkodokumentti. KNX UK. <https://www.knxuk.org/images/pdf/Blind_Control.pdf> Luettu 29.1.2017
- 13 Heating. Verkkodokumentti. KNX Association. <http://www.knx.org/fileadmin/template/documents/downloads_support_menu/KNX_tutor_seminar_page/Advanced_documentation/Heating_E1211a.pdf> Luettu 18.2.2017

- 14 Smart Metering with KNX. Verkkodokumentti. KNX Association. <https://www.knx.org/media/docs/Flyers/Smart-Metering-With-KNX/Smart-Metering-With-KNX_en.pdf> Luettu 10.1.2017
- 15 ST-käsikirja 11. 2016. Sähkötieto Ry. Kulunvalvonta- ja murtoilmaisujärjestelmät, 5. uusittu painos. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 16 People's Choice Award. Verkkodokumentti. KNX Association. <<https://contest.knx.org/en/vote/view/castlebiljoen>> Luettu 29.1.2017
- 17 KNX Security, 2015. Verkkodokumentti. KNX Association. <www.knx.fi/download.php?liite_id=9747>
- 18 People's Choice Award. Verkkodokumentti. KNX Association. <<https://contest.knx.org/en/vote/view/castlebiljoen>> Luettu 5.1.2017
- 19 Configuring Port Security. Verkkodokumentti. Cisco Systems. <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/switches/lan/catalyst4500/12-2/25ew/configuration/guide/conf/port_sec.html> Luettu 28.3.2017
- 20 The differences between WPA-Personal and WPA-Enterprise, 2013. Verkkodokumentti. TP-Link. <<http://www.tp-link.com/us/FAQ-500.html>>
- 21 Wi-Fi-reitittimien ja -tukiasemien suositellut asetukset. Verkkodokumentti. Apple Inc. <<https://contest.knx.org/en/vote/view/castlebiljoen>> Luettu 15.3.2017
- 22 What is a firewall? Verkkodokumentti. Microsoft. <<https://www.microsoft.com/en-us/safety/pc-security/firewalls-what-is.aspx>> Luettu 15.3.2017
- 23 How Virtual Private Networks Work. Verkkodokumentti. Cisco Systems. <<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/security-vpn/ipsec-negotiation-ike-protocols/14106-how-vpn-works.html>> Luettu 15.3.2017
- 24 Visualisation Systems. Verkkodokumentti. KNX Association. <http://www.knx.org/fileadmin/template/documents/downloads_support_menu/KNX_tutor_seminar_page/Advanced_documentation/Visualisation%20Systems_E1212a.pdf> Luettu 17.3.2017
- 25 HomelynK. Verkkodokumentti. Schneider Electric. <<http://www.schneider-electric.com/en/product-range-download/62143-homelynK#tabs-top>> Luettu 2.4.2017
- 26 KNX Basics. Verkkodokumentti. KNX Association. <http://knx.fi/download.php?liite_id=9748> Luettu 18.3.2017

- 27 HomeLynk User Guide, 2016. Verkkodokumentti. Schneider Electric.
<http://www.schneider-electric.com/en/download/document/AR1740_EdE_EN/>