



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# KNX- JA VALOSÄHKÖINEN JÄRJESTELMÄ KIINTEISTÖN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISESSA

TEKIJÄ: Olli Mähönen

|   |            |
|---|------------|
| Koulutusala<br>Tekniikan ja liikenteen ala  |            |
| Koulutusohjelma<br>Sähkötekniikan koulutusohjelma   |            |
| Työn tekijä<br>Olli Mähönen   |            |
| Työn nimi<br>KNX- ja valosähköinen järjestelmä kiinteistön energiatehokkuuden parantamisessa  |            |
| Päiväys   | 16.05.2018 |
| Sivumäärä/Liitteet  | 59/2       |
| Ohjaajat<br>Pasi Lepistö, lehtori<br>Hannu Korhonen, laboratorio insinööri  |            |
| Toimeksiantaja<br>AH Elens Oy/AH-Talotekniikka  |            |
| <p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä työssä käsiteltiin KNX-kiinteistöautomaatiota, aurinkoenergiaa ja energiatehokkuutta. Tavoite oli tuoda tietämystä KNX-järjestelmästä ja valosähköisistä järjestelmistä, sekä kehittää konkreettisenä produktiona sovellus niiden yhteistoiminnasta. Pyrkimys oli myös kannustaa näiden järjestelmien käyttöön kertomalla niiden energiatehokkuutta ja energian käytön joustavuutta lisäävistä käyttötavoista kiinteistöissä.</p> <p>Työssä selvitettiin aluksi kokonaisuudessaan sekä KNX-järjestelmän, että valosähköisen järjestelmän tekniikkaa. KNX järjestelmän suhteen keskityttiin tarkemmin väyläverkon muodostumiseen ja tiedonsiirtotapoihin. Valosähköisten järjestelmien osalta perehdyttiin syvemmin myös käyttökohteisiin, kustannuksiin ja oma-aloitteiseen suunnitteluun. Seuraavaksi etsittiin motivoivia näkökantoja järjestelmien käytölle ja niiden kiistattomalle tarpeelle osana energiakehitystä. Työssä selvitettiin myös kiinteistöjen päivitettyt energiatehokkuusvaatimukset, sekä etenkin kiinteistöautomaation hyödyntämisen tarpeellisuus kiinteistömarkkinoilla.</p> <p>Edelleen KNX- ja valosähköisten järjestelmien hyödyntämistä tarkasteltiin osana älykästä sähköverkkoa. Sen ominaisuuksiin liittyy kulutushuipun rajoittaminen ja kysyntäjousto, joihin molemmat järjestelmät voidaan vahvasti liittää. Seuraavaksi selvitettiin konkreettisia ja älykkäitä mikrotuotannon ohjausratkaisuita kiinteistöissä. Tämän jälkeen tarkasteltiin KNX:n periaatteita energian mittauksen suhteen, sekä yksilöllisemmin KNX-energianmittauskomponentteja ja niiden ominaisuuksia. Konkreettisenä osuutena on lopuksi rakennettu ja ohjelmoitu innovatiivinen sovellus, jossa KNX automatiikka kytkee kuormia valosähköisen järjestelmän tuottaman sähkötehon mukaan.</p> <p>Lopputuloksena on saatu informatiivinen ja ajankohtainen työ. Se on laaja selvitys- ja tutkimustyö, paikoin myös pohtiva aiheen innovatiivisuuden vuoksi. Siinä on paljon tietoa itse järjestelmistä ja hyödyllistä tietoa sähköenergian kannalta tehokkaasta rakentamisesta. Työssä esiteltyjä järjestelmiä integraatioineen tullaan käyttämään yhä enenmässä määrin niin Suomessa, kuin maailmallakin. Syntyneitä sovelluksia voi tilaaja kehittää eteenpäin ja mahdollisesti käyttää kohteissaan. Sitä voidaan myös hyödyntää Savoniassa opetusmateriaalina seuraavilla automaatiokursseilla.</p> |            |
| Avainsanat<br>KNX, kiinteistöautomaatio, automaatio, älykäs, kuormanohjaus, mittarointi, valosähkö, valosähköinen, järjestelmä, energiatehokkuus, aurinkoenergia  |            |

|  |             |                  |      |
|--|-------------|------------------|------|
| Field of Study<br>Technology, Communication and Transport  |             |                  |      |
| Degree Programmed<br>Degree Programme in Electrical Engineering  |             |                  |      |
| Author<br>Olli Mähönen   |             |                  |      |
| Title of Thesis<br>KNX and Photovoltaic System for Improving Buildings Energy Efficiency   |             |                  |      |
| Date   | 16 May 2018 | Pages/Appendices | 59/2 |
| Supervisors<br>Mr. Pasi Lepistö, Senior Lecturer<br>Mr. Hannu Korhonen, Laboratory Engineer  |             |                  |      |
| Client Organisation<br>AH Elens Oy/AH-Talotekniikka  |             |                  |      |
| <p>Abstract</p> <p>The topic of this thesis was to consider the KNX building automation, solar energy and energy efficiency. The goal was to share knowledge about the KNX system and photovoltaic systems and develop a concrete application of their integration. The aim was also to encourage people to use these systems by introducing ways these systems increase energy efficiency and flexibility in the building.</p> <p>Firstly, the KNX system and the photovoltaic system technologies were studied completely. With the KNX the focus was more closely on the formation of the bus network and on the data transfer protocols. With the photovoltaic system, the focus was on suitable applications, costs and the customer's independent planning. Secondly, the motivational aspects for using these systems as a part of developing energy markets were studied. Updated energy efficiency requirements and the necessity of intelligent building automation in the real estate markets were also researched</p> <p>Further on, the KNX and photovoltaic systems were considered as a part of the smart grid. It has features like peak consumption restriction and elasticity of demand, which can strongly be associated with systems in this thesis. Regarding to smart grid, the intelligent control solutions of micro production in a building were investigated. Next, the KNX principles in the field of energy measurement, as well as more about the individual KNX energy management components and their features were explored. Finally, an application where the photovoltaic system and the KNX-bus metering interface are associated was build and programmed. In this application, KNX automation controls loads by switching them on/off, depending on the power that photovoltaic system products.</p> <p>As a final result, a very informative and contemporary thesis was made. It is clarifying and researching work, in some parts also reflective due to the innovative topic. It has a lot of useful information about the systems and energy efficient buildings. The systems and devices considered in this thesis, or variations of them, are becoming more and more general both in Finland and around the world. The application created is also very innovative. The client organisation can use it and develop it further on. Savonia can also use it as a teaching material for next automation courses.</p> |             |                  |      |
| <p>Keywords<br/>KNX, building, automation, intelligent, load, shedding, metering, photovoltaic, system, energy, efficiency, solar, power</p>   |             |                  |      |

## ESIPUHE

Innostukseni valosähköisiin järjestelmiin syntyi ollessani vaihto-opiskelijana Saksassa 2016-2017. Näin joka puolella, kaupungeissa sekä pienissä kylissä, lukuisilla kiinteistöillä aurinkopaneelit katolla ja moottoriteillä ajettaessa näki harvakseltaan tuuliturbiineja pelloilla. Opin että Saksa on edelläkävijämaa uusiutuvan energian käytössä ja siksi valitsinkin siellä kursseja, jotka käsittelivät aihetta. Jo siellä ollessani päätin käsitteleväni tulevassa opinnäytetyössäni jollain tasolla aurinko- tai tuulienergiaa.

KNX-järjestelmästä kuulin vasta 2017 syksyllä koulussa, eräällä automaatiokurssilla. Onneksi valitsin myös järjestelmän ohjelmointiin keskittyvän valinnaisen labrakurssin. Olin onnekas päästessäni tutustumaan kyseiseen järjestelmään ja edelleen syventymään siihen tämän työn kautta.

Kiitos AH-Talotekniikalle mahdollisuudesta tehdä tämä työ ajankohtaisesta ja itseäni kiinnostavasta aiheesta. Kiitos Savonia-Ammattikorkeakoululle valmistumiseni mahdollistavasta opetuksesta, sekä tässä työssäni hyödyntämistäni laitteista ja tiloista. Kiitos erittäin päteville luokkatovereilleni, joiden tuella eläminen ja opiskelu Kuopiossa oli mielekästä. Hyvä luokkahenki ja insinöörimieninki olivat läsnä opintojen ajan, antaen motivaatiota suorittaa tämä kunnioitettava tutkinto.

Suuri kiitos vanhemmilleni opintojen aikaisen elämäni tukemisesta sekä taloudellisesti, että henkisesti. Kiitos Venlalle kannustamisestani ja vakuutteluista tämän työn onnistumisen suhteen.

Kuopiossa 16.05.2018

Olli Mähönen

# SISÄLTÖ

|  |    |
|--|----|
| LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT .....                         | 7  |
| 1 JOHDANTO .....                                       | 9  |
| 2 AH ELENS OY / AH-TALOTEKNIikka .....                 | 10 |
| 3 KNX-JÄRJESTELMÄ .....                                | 11 |
| 3.1 Yleistä .....                                      | 11 |
| 3.2 Osoitteellinen väylätekniikka .....                | 12 |
| 3.3 Tehonsyöttö .....                                  | 13 |
| 3.4 Väyläverkon muodostuminen .....                    | 13 |
| 3.4.1 TP1-segmentti .....                              | 13 |
| 3.4.2 TP1-linja ja -alue.....                          | 14 |
| 3.4.3 TP1-verkko .....                                 | 15 |
| 3.4.4 Kaapelointi.....                                 | 16 |
| 3.5 Muut tiedonsiirtoprotokollat .....                 | 17 |
| 3.5.1 KNX IP .....                                     | 17 |
| 3.5.2 KNX RF.....                                      | 18 |
| 3.5.3 KNX PL110.....                                   | 19 |
| 3.6 Ohjelmointi.....                                   | 19 |
| 4 VALOSÄHKÖINEN JÄRJESTELMÄ.....                       | 20 |
| 4.1 Auringon säteilyenergia .....                      | 21 |
| 4.2 Valosta sähkövirraksi.....                         | 21 |
| 4.2.1 Valosähköisen kennon suorituskyky .....          | 23 |
| 4.2.2 Valosähköinen paneeli ja voimala .....           | 24 |
| 4.3 Järjestelmätyypit.....                             | 25 |
| 4.3.1 Verkkoon kytketty .....                          | 26 |
| 4.3.2 Saareke .....                                    | 26 |
| 4.3.3 Akkuvarmistettu .....                            | 27 |
| 4.4 Järjestelmän kustannukset .....                    | 28 |
| 4.5 Suunnittelu.....                                   | 29 |
| 4.5.1 Laskelma Savonian järjestelmän tuotannosta ..... | 30 |
| 4.6 Hyödyt verrattuna aurinkolämpöön .....             | 32 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5     | ENERGIATEHOKKUUS .....                                | 33 |
| 5.1   | Euroopan Unionin tavoitteet .....                     | 33 |
| 5.2   | Rakennusautomaation vaikutus.....                     | 34 |
| 5.2.1 | KNX-järjestelmällä energiatehokkaammaksi .....        | 35 |
| 6     | KULUTUS ÄLYKKÄÄSSÄ SÄHKÖVERKOSSA .....                | 36 |
| 6.1   | Kulutustiedot .....                                   | 36 |
| 6.2   | Kysyntäjousto .....                                   | 37 |
| 6.3   | Huipun rajoitus .....                                 | 37 |
| 6.4   | Mikrotuotannon ohjausratkaisut .....                  | 38 |
| 7     | KNX MITTAUKSESSA.....                                 | 40 |
| 7.1   | Älykäs KNX-mittarointi.....                           | 41 |
| 7.1.1 | Mittaustietojen esitys.....                           | 41 |
| 7.1.2 | Itsenäinen kuormanhallinta ja mikrotuotanto .....     | 43 |
| 7.2   | Komponenttiesimerkkejä mittaukseen .....              | 45 |
| 7.2.1 | JUNG.....   | 45 |
| 7.2.2 | GIRA .....  | 46 |
| 7.2.3 | Schneider Electric.....                               | 46 |
| 7.2.4 | ABB.....  | 47 |
| 7.2.5 | Kytkintoimilaitteet .....                             | 49 |
| 8     | PRODUKTIO KUORMANOHJAUSOVELLUKSESTA .....             | 49 |
| 8.1   | Rakentaminen ja testausolosuhteet .....               | 50 |
| 8.2   | Ohjelmointi.....                                      | 51 |
| 8.2.1 | Energiamittarin tehorajahälytysten parametointi ..... | 52 |
| 8.2.2 | Busch-priOn näyttöviestien parametointi .....         | 53 |
| 8.2.3 | Ryhmäosoitteet.....                                   | 55 |
| 8.3   | Valmis järjestelmä.....                               | 56 |
| 9     | YHTEENVETO.....                                       | 59 |

LIITE 1: LÄHDELUETTELO

LIITE 2: KUORMANOHJAUSOVELLUKSEN JOHDOTUSKAAVIO

## LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

|                      |  |
|----------------------|--|
| AC-1                 | Kontaktoriluokitus ei induktiivisten kuormitusten käynnistykseen   |
| AC-3                 | Kontaktoriluokitus induktiivisten kuormitusten käynnistykseen  |
| Avoin standardi      | Tähän perustuvat ohjelmistot ovat yhteen toimivia minkä tahansa toisen ohjelmiston kanssa, joka käyttää samoja standardeja – ja kuka tahansa voi toteuttaa ohjelmiston |
| BAC                  | Building automation control = kiinteistöautomaatio   |
| Bitti                | Digitaalisen tiedon pienin mittayksikkö, jolla voi olla vain kaksi arvoa   |
| Diodi                | Materiaali, jonka sähkövirta voi läpäistä vain yhteen suuntaan   |
| EPBD                 | Energy Performance of Buildings Directive = Euroopan Komission asettama direktiivipaketti rakennusten energiatehokkuudesta   |
| Ethernet             | Yleisin lähiverkon tiedonsiirtoon käytetty väylätekniikka  |
| ETS                  | Engineering Tool Software = KNX:n PC-pohjainen ohjelmointityökalu  |
| Fotoni               | Valokvantti, eli sähkömagneettisen säteilyn välittäjähiukkanen   |
| FTP                  | File Transfer Protocol = protokolla mittaustietojen siirtoon tietokoneiden kesken  |
| HBES                 | Home and Building Electronic Systems = koti- ja kiinteistöelektronijärjestelmät  |
| Hystereesi           | Suureen muuttumista viivästyttävä tekijä, eli torjuu hetkellisiä vaikutteita   |
| Indikointi           | Tapahtuman tai muutoksen ilmaiseminen jollain silmin nähtävällä osoittimella   |
| Integraatio          | Kahden erillisen järjestelmän yhdistäminen yhdeksi kokonaisuudeksi   |
| IP                   | Internet Protocol = tietoliikennepaketti, joka liikkuu internet-laitteiden välillä   |
| IR                   | Infrared = infrapunasäteily  |
| Invertteri           | Vaihtosuuntaaja. Muuntaa tasavirran vaihtovirraksi   |
| Kiinteistöautomaatio | Verkotettu järjestelmä, jolla ohjataan rakennuksen sähköisiä laitteita   |
| KNX                  | Väyläpohjainen kiinteistöautomaatiojärjestelmä   |
| kVA                  | Kilovolttiampeeri, näennäistehon yksikkö   |
| kWh                  | Kilowattitunti, sähköenergian yksikkö joka vastaa tuhannen watin tehoa tunnin ajan   |
| LAN                  | Local Area Network = paikallinen tietoliikenneverkko   |
| LCOE                 | Levelized Costs of Electricity = järjestelmän tuotantoon suhteutettu, sähköenergian todellinen hinta   |
| LoM                  | Loss of Mains = Verkköjännitteen katoaminen  |
| M-bus                | Avoin väylästandardi mittaritietojen siirtämiseen  |
| Modbus               | Teollisuuden avoin väylästandardi  |
| MPP                  | Maximum Power Point = Tilanne, jossa valosähköinen kenno saavuttaa maksimitehon  |
| RF                   | Radio Frequency = radiotaajuus   |

|                     |  |
|---------------------|--|
| Ryhmäobjekti        | KNX-laitteen sisältämä tietopiste, johon määritetään mitä laite lähettää ryhmäosoitteen kautta väylälle                              |
| Parametri           | KNX-laitteelle lähetettävä tieto, jolla aktivoidaan laitteen tietty ryhmäobjekti   |
| PC                  | Personal Computer = tietokone  |
| PL                  | Power Line = verkkovirtakaapeleiden verkko   |
| P <sub>p</sub>      | Valosähköisen paneelin teoreettinen huipputeho   |
| PVGIS               | Photovoltaic Geographic Information System = internet sovellus valosähköisen järjestelmän sijainnin mukaiseen tuotannon selvitykseen |
| PVS                 | Photovoltaic System = valosähköinen järjestelmä  |
| Protokolla          | Standardisoitu käytäntö laitteiden väliseen kommunikointiin  |
| Rajapinta           | Järjestelmän kohta, jossa eri protokollan laitteet voivat vaihtaa tietoja keskenään  |
| Rakennusautomaatio  | ks. Kiinteistöautomaatio   |
| RTU                 | Remote Terminal Unit = etäpääteyksikkö tiedonkeruuseen   |
| Ryhmäosoite         | Osoite, jolla toiminnallisen sanoman vastaanottajat määritetään KNX-väylällä   |
| SELV                | Separated or Safety Extra-Low Voltage = Suojaava pienoisjännite(järjestelmä)   |
| Sanoma              | Tietoteknologiassa bittijono, joka sisältää laitteen aktivointiin tarvittavat tiedot   |
| SCADA               | Supervisory Control and Data Acquisition = valvonta- ja datadiagnostiikka  |
| Segmentti           | Kokoelma sähköisesti yhteen liitetystä laitteista  |
| SI                  | Smart indicator = Euroopan Komission esittämä älykkyyssuku rakennuksille   |
| Siirtomedia         | Tapa, jolla tietoa lähetetään laitteesta toiseen   |
| SMA                 | Saksalainen valosähköteknologian yritys  |
| TCP                 | Transmission Control Protocol = internetlaitteiden tietoliikenneprotokolla   |
| TP                  | Twisted Pair = kierretty parikaapeli   |
| Topologia           | Tapa jolla väyläverkon laitteet on fyysisesti liitetty toisiinsa   |
| USB                 | Universal Serial Bus = väyläprotokolla laitteiden liittämiseksi tietokoneeseen   |
| Väylä               | Tietotekninen alijärjestelmä, jota pitkin siirretään tietoa tai virtaa laitteiden välillä  |
| W                   | Watti, tehon yksikkö   |
| Yhdysväylä          | ks. Rajapinta  |
| Yksilöllinen osoite | KNX-laitteen 16 bittinen osoitenumero, joka määrittää laitteen sijainnin väylällä  |



## 1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen ollessa tosiasia, täytyy löytää keinoja hukkaenergian välttämiseen, sekä uusiutuvien energioiden runsaampaan käyttöön. Energiatehokkuusasioita ja automaatiota käsitelläänkin nyt tekniikan alalla paljon. Päätöksiä löytyy sekä aurinkoenergiasta, että KNX-järjestelmistä. Suomessa ei tiedetä kuitenkaan olevan vielä yhtään näiden järjestelmien yhteistoimintaa hyödyntävää kiinteistöä. Tällä työllä onkin tavoite tuoda yhä enemmän tietoa KNX- ja valosähköisen järjestelmän yhteistoiminnasta, kiinteistön energiaterohkuuden tehostamiseksi

Aikaisemmin valosähkön käyttö on tullut tunnetuksi pienitehoisina järjestelminä kohteissa, joissa sähköä tarvitaan vain vähän. KNX puolestaan on toistaiseksi yleistynyt isoissa julkisissa rakennuksissa ja yritysten kiinteistöissä, koska sillä on mielekästä toteuttaa laajoja ohjauskokonaisuuksia. Nykypäivänä järjestelmät alkavat lähestyä toistensa käyttökohderakennuksia, koska suuret kiinteistöt ovat alkaneet sijoittaa suuritehoisiin valosähköisiin järjestelmiin ja omakotitaloissa puolestaan automaattiset ohjausväyläjärjestelmät ovat alkaneet yleistymään. Tämän seurauksena alkaa ilmestyä enemmän kiinteistöjä, joissa hyödynnetään molempia järjestelmiä. Siksi niiden yhteiskäyttöä on ajankohtaista pohtia.

Suomen korkeudella epäroidään vielä paljon valosähköiseen järjestelmään investointia. Lisäämällä tietoisuutta valosähköstä ja selvittämällä optimoivia ratkaisuja parhaan mahdollisen hyödyn saamiseksi ja järjestelmän takaisinmaksuajan lyhentämiseksi, voisi entisestään kannustaa sijoittamaan valosähköiseen järjestelmään. Näin parannetaan uusiutuvan energian kokonaiskäyttöä Suomessa.

Aiheen työlleni sain KNX-järjestelmää käsittelevällä valinnaisella kurssilla. Opettajana kurssilla toimi AH-Talotekniikan projektipäällikkö Pekka Aho, jonka kanssa ideoimme aiheen. Yritys käyttää suunnittelukohteissaan laajalti väyläpohjaisia ohjausjärjestelmiä, joista laitevalmistajasta riippumaton KNX-järjestelmä on yleisin. KNX-järjestelmän yhdistäminen muihin järjestelmiin on myös yrityksen mielenkiinnon kohteena. Uutena mahdollisuutena halutaan tutkia KNX:n energiahallintaominaisuuksien yhdistämistä aurinkosähköjärjestelmiin.

## 2 AH ELENS OY / AH-TALOTEKNIikka

AH-Talotekniikka on kokonaisvaltainen sähkö- ja tietojärjestelmäsuunnitteluun keskittynyt yritys Kuopiossa. Se on Itä-Suomen suurimpia sähkösuunnittelutoimistoja kattaan toimialueellaan koko Suomen, sekä suunnittelee kohteita myös ulkomaille. Kohteiden pääpainoina ovat suuret palvelu-, teollisuus-, ja liikekiinteistöt. Yrityksen palvelutarjonta on laaja;

- Suunnittelun, hankintapalveluiden ja valvonnan osalta
  - Sähkönjakeluverkot
  - Ohjausväyläjärjestelmät, myös ohjelmointi (KNX, Dali)
  - Telejärjestelmät
  - Tietoverkot
  - Hälytys- ja turvajärjestelmät
  - AV-järjestelmät,
  
- Energia konsultoinnin osalta
  - Motiva-energiakatselmukset
  - Energiaselvitykset
  - Kyselyt ja kilpailuttaminen,

sekä

- Kuntoarvioihin ja –tutkimuksiin sisältyvät
  - Laitteiston käyttöikä
  - Korjausehdotukset
  - Aikataulu
  - Kustannukset.

Yritys on edelläkävijä KNX-järjestelmien toteutuksen osajana Itä-Suomessa ja heidän projektipäällikkönsä jakavat tietämystään Savonia-Ammattikorkeakoulussa osana sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelmaa.

### 3 KNX-JÄRJESTELMÄ

KNX-järjestelmistä löytyy runsaasti päättöitä eri koulutustasoilta. Myös osana tätä työtä käsitellään KNX-järjestelmän perustekniikkaa tavoitteena entisestään tutustuttaa sähkötekniikan ihmisiä kyseiseen järjestelmään. Ennestään KNX-järjestelmän hallitsevien kannattaa tässä kappaleessa tutustua verkon muodostumiseen, johon tuli muutoksia vastikään loppuvuodesta 2017, TP1-256 laitteiden käytön myötä.

#### 3.1 Yleistä

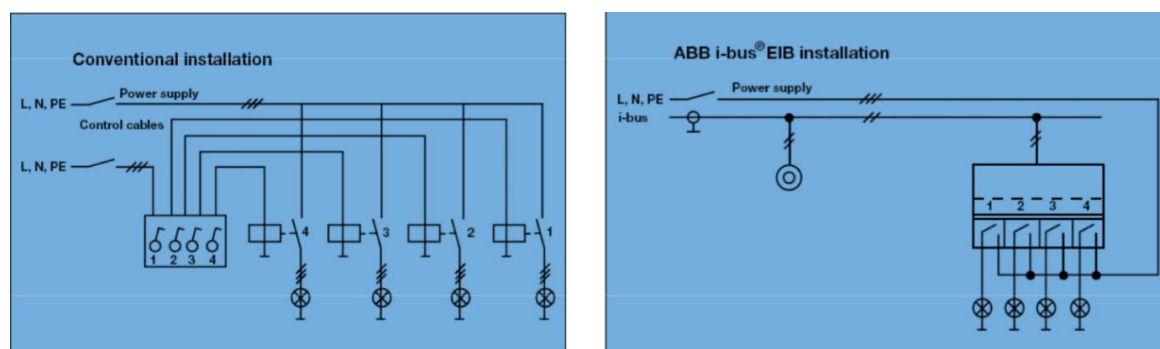
KNX on väyläteknikkaa hyödyntävä kiinteistöautomaatiojärjestelmä, joka noudattaa avointa kansainvälistä standardia. KNX periytyy Saksassa 1990 kehitetystä EIB, eli European Installation Bus nimisestä tuotemerkestä. Kun EIB oli saanut valmiiksi Euroopan alueen standardoinnin, se päätti myös laajentaa muualle maailmaan ja vaihtoi vuonna 2006 nimekseen KNX, joka tulee latinan sanasta "connexio", yhdistäminen. (Härkönen, 2015, 11-13.)

Kehittyttyään ja laajennuttuaan KNX on hyväksytty sisällyttämään eurooppalaiset (EN) ja kansainväliset (ISO) standardit:

- EN 50090 - HBES (koti- ja kiinteistösähköjärjestelmät)
- EN 13321-1 - BACS (kiinteistöautomaatio ja ohjausjärjestelmät)
- EN 13321-2 (KNXnet/IP)
- ISO/IEC 14543-3 HES (kodin sähköiset järjestelmät),

joissa käsitellään muun muassa KNX:n hyödyntämiä tiedonsiirtotapoja. (KNX Finland Ry, s.a.)

KNX-järjestelmän perimmäisenä tarkoituksena on parantaa rakennusten energiatehokkuutta ja käyttömukavuutta sekä yhdistää kiinteistön sähköisiä toimintoja toisiinsa. KNX- automaatiolla voidaan nykypäivänä ohjata kiinteistössä lähes kaikkea. Sitä hyödynnetään nykyään pääasiassa isoissa liikekiinteistöissä ja julkisissa rakennuksissa, koska isot ohjausjärjestelmät on helpompaa ja edullisempaa toteuttaa KNX:llä. Perinteiseen järjestelmään verrattuna säästetään kaapeloinnissa, laitteissa ja releissä (Kuva 1)

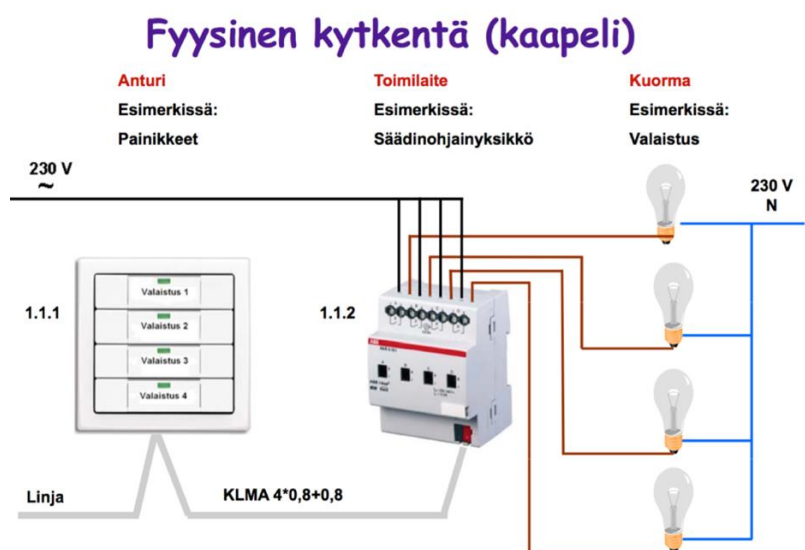


Kuva 1. Perinteinen releohjaus (vas.) verrattuna KNX-ohjaukseen (oik.) (Piikkilä, 2011).

KNX-standardia, laitteiden valmistusta ja sertifiointia hallinnoi KNX Association-organisaatio, jonka jäseniä ovat kaikki KNX-laitevalmistajat. Laitevalmistajien täytyy hyväksyttää kaikki markkinoille tuodut laitteensa KNX Associationin valtuuttamalla laboratoriollla, jotta laitteista tulee yhteensopivia ja standardien mukaisia. (Härkönen, 2015, 14-15.) Tätä työtä tehdessä KNX Associationiin on liittyneen 437 laitevalmistajaa (KNX Association, 2018).

### 3.2 Osoitteellinen väyläteknikka

KNX on hajautettu kiinteistöautomaatiojärjestelmä, jossa toimilaitteet ottavat komentoja antureilta yhteistä siirtomediaa pitkin suorittaen komennon. Antureita ovat esimerkiksi kytkinpainikkeet, valoisanturit, termostaatit, ja käyttöliittymät. Toimilaitteet ovat sähkökeskuksessa sijaitsevia relekomponentteja, jotka kytkevät ja säätävät erilaisia kuormia, antureilta saamiensa komentojen mukaan (Kuva 2). KNX käsittää neljä erilaista siirtomediaa joilla komponentit välittävät sanomia: parikaapeli, Ethernet, radiotaajuus ja sähköverkko. (Härkönen, 2015.)



Kuva 2. KNX- anturin, -toimilaitteen ja kuormien kytkentä (Piikkilä, 2011).

Antureiden sanomien välittyminen halutuille toimilaitteille tapahtuu väylään liitettyjen laitteiden osoitteellistamisen ansiosta. KNX-järjestelmässä on sekä yksilöllisiä osoitteita, että ryhmäosoitteita. Yksilöllinen osoite ilmaisee liittäjän sijainnin järjestelmässä, ja ryhmäosoitteita liittäjät puolestaan käyttävät sanomien välittämiseen. Yksilöllinen osoite on 16 bittinen, kolmen pisteellä erotetun luvun sarja, joka annetaan liittäjälle automaattisesti, kun se tuodaan ohjelmointiohjelman ETS:n (ks.3.6) tuotetietokannasta projektiin.

KNX-järjestelmässä yksilöllistä osoitetta käytetään, kun väylälaitteille syötetään ohjelmia. Ryhmäosoitteilla puolestaan luodaan toiminnallinen yhteys liittäjien välille käyttöönotto-ohjelmoinnin aikana. Käytännössä on vakiintunut kolmetasoinen esitystapa, jossa ryhmäosoite on kolmen, vinoviivalla erotetun luvun sarja. Ensimmäinen luku ilmaisee pääryhmän, toinen luku keskiryhmän ja viimein luku alaryhmän. (Härkönen, 2015, 35-37.)

### 3.3 Tehonsyöttö

KNX-järjestelmässä tarvitaan jännitettä anturien toimintavirran luomiseen, sekä signaalien kuljettamiseen. KNX on pienisjännitejärjestelmä SELV. 30 VAC jännite luodaan väylälle erillisellä teholla, jossa on oltava kuristin, induktiivisen reaktanssin tuottamiseksi tehollisen jännitesäätöpiirin ja väylän välille. KNX-järjestelmässä antureiden keskimääräinen tehontarve on vähäinen, alle 300 mW. Tämän takia väylällä voidaan käyttää samaa kaapelia sekä tehonsyöttöön, että sanomien välittämiseen. (Härkönen, 2015, 35, 85.)

Tehonlähteiden nimellisvirtavaihtoehtoja ovat 160 mA, 320 mA, 640 mA, 960 mA ja 1280 mA. Sopiva tehonlähde voidaan mitoittaa laskemalla kyseessä olevaan linjaan kytkettyjen laitteiden virrankulutukset yhteen. ETS-ohjelma (ks. 3.6) osaa suorittaa virrankulutustiedon, mutta arvion voi nopeasti selvittää laskemalla 10 mA:n kulutuksen yhtä laitetta kohti. (Härkönen, 2015, 86-87.)

KNX-tehollähteet toimivat häiriöttä korkeintaan 100 millisekunnin jännitekatkoksissa. Pidemmän katkon tapahtuessa väyläjännite laskee hallitusti alas. Väylälaitteet tunnistavat aleneman ja ehtivät suorittaa tarvittavat toimenpiteet. Esimerkiksi tallettaa asetuksensa muistiin tai asettaa toimilaitteen releet vastaamaan sähkökatkon varalle asetettuja parametreja. Myös akkuvarmennettuja tehollähteitä on saatavilla. (Härkönen, 2015, 86.)

### 3.4 Väyläverkon muodostuminen

KNX-järjestelmän suuri etu on monipuolinen skaalautuvuus kohteen mukaan. Hajautettua väyläverkkoa voidaan rakentaa linja-, tähti- ja puumaisesti joko muutaman laitteen verran, tai tarpeen mukaan kymmenien tuhansien väylälaitteiden kokonaisuudeksi. Tiedonsiirtoverkon rengasmaisen rakenteen on kielletty, ettei signaali jää kiertämään järjestelmään. (Härkönen, 2015, 57, 102.)

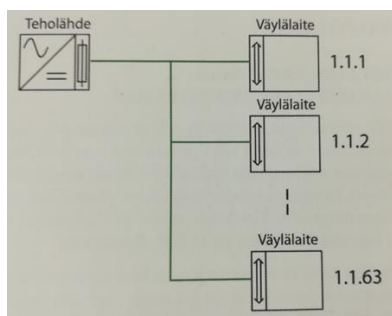
Suunnittelija laatii KNX-järjestelmästä järjestelmäkaavion, jossa kokonaisuus muodostuu alla esitellyistä vyöhykkeistä. Vyöhykkeet toimivat itsenäisesti, mutta myös niiden välillä voidaan siirtää sanomia. (Härkönen, 2015, 57.)

#### 3.4.1 TP1-segmentti

KNX-järjestelmä koostuu segmenteistä, joka on pienin mahdollinen vyöhyke järjestelmässä. Segmentin muodostamiseen tarvitaan tehonlähde, tiedonsiirtoväylä ja siihen liitettävä väylälaitte. Ensimmäinen esitelty KNX-tiedonsiirtoväylä oli kierretty parikaapeli, joten eri vyöhykkeistä puhuttaessa KNX-yhteisössä, laitetaan eteen liite TP1. (Parthoens, segmentti, 2018.)

Aikaisemmin, 1. lokakuuta 2017 asti, laitteita sai kytkeä TP1-segmenttiin enintään 64 (Kuva 3), mutta nykyään, 2. lokakuuta 2017, ja sen jälkeen laitteita saa asentaa segmenttiin peräti 256. Tämän

johdosta KNX- laitteita kutsutaan siis joko TP1-64 –laitteiksi, tai TP1-256 –laitteiksi. Eri ryhmän laitteita ei saa kuitenkaan sekoittaa keskenään samaan segmenttiin. (Parthoens, segmentti, 2018.)



Kuva 3. KNX-segmentti (Härkönen, 2015, 58).

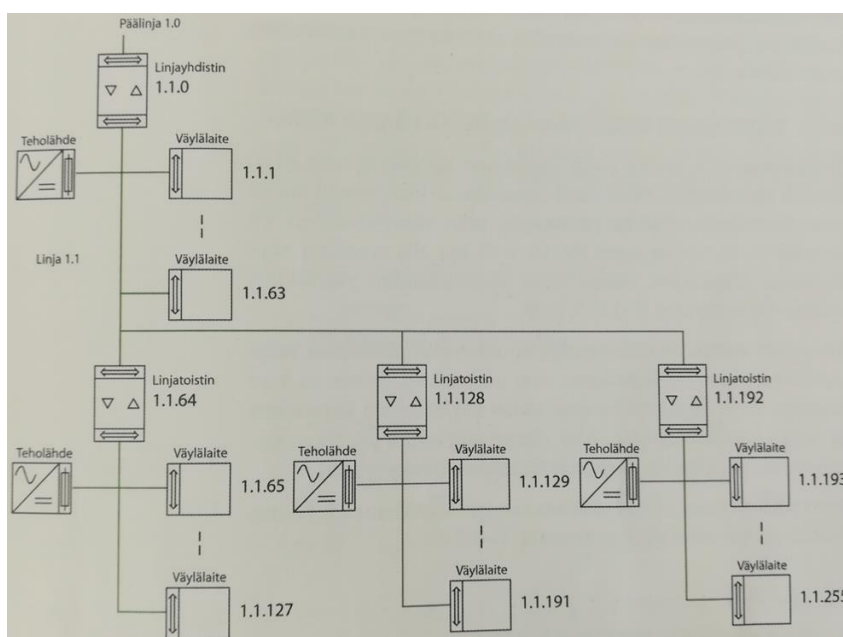
### 3.4.2 TP1-linja ja -alue

Linja voi muodostua useammasta, kuitenkin enintään neljästä TP1-64 –segmentistä (Kuva 4), tai vaihtoehtoisesti vain yhdestä TP1-256 –segmentistä. Jokainen linja tarvitsee oman tehollähteensä ja linjayhdistimensä. TP1-64 –linjassa TP1-64 –segmentit yhdistetään toisiinsa linjatoistimilla. TP1-256 –linjaan ei tarvitse kytkeä linjatoistimia. (Parthoens, linja, 2018.)

Linjatoistimen lähtö- ja tulopuoli vähennetään koko linjan maksimilaitelaittekapasiteetista. Näin ollen täyteen TP1-64 –linjaan voidaan siis kytkeä enintään 250 laitetta (Parthoens, linja, 2018), koska

$$(64 * 4) - (3 * 2) = 250. \quad (1)$$

TP1-256 –linja koostuu puolestaan vain yhdestä TP1-256 –segmentistä, joten siinä ei ole välille kytkettyjä linjatoistimia viemässä laitekapasiteettia. Täyteen tällaiseen linjaan mahtuu siis 256 laitetta. (Parthoens, linja, 2018.)

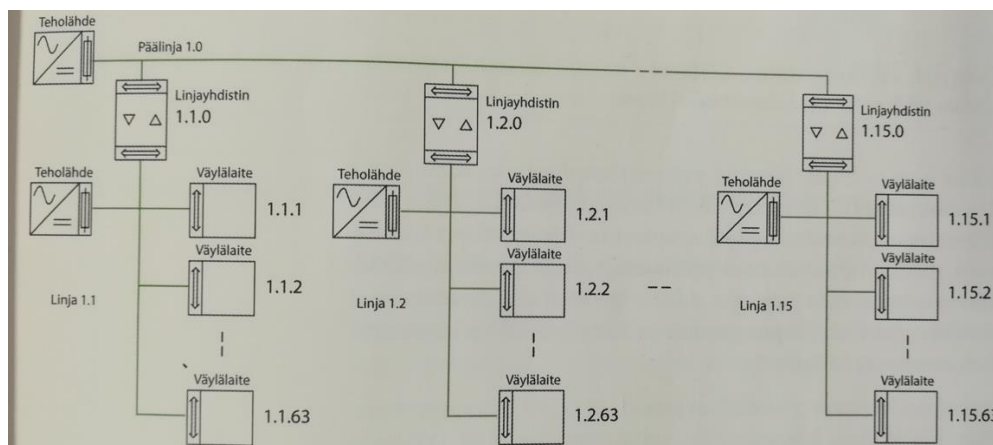


Kuva 4. KNX-linja toteutettu neljällä TP1-64 –segmentillä (Härkönen, 2015, 63).

Alue muodostuu usesta, kuitenkin enintään 15:sta TP1-linjasta jotka liitentään päälinjaan TP1/TP1 – linjayhdistimillä (Kuva 5). Jos alueessa käytetään pelkästään TP1-64 –laitteita, on siinä 15 linjat yhdistävää TP1/TP1 linjayhdistintä (vain lähtö), sekä 3 segmentit yhdistävää linjayhdistintä (tulo ja lähtö = 6 x laitekapasiteetti). Laitteiden enimmäismäärä TP1-64 alueessa saadaan näin ollen yhtälöstä

$$(64 - 15) + [(4 * 64) - 1 - 6] * 15 = 3784 . \quad (2)$$

(Parthoens, alue, 2018).



Kuva 5. KNX-alue muodostettu 15: sata TP1-64 –linjasegmentistä (Härkönen, 2015, 59).

Alueen muodostuessa pelkästään TP1-256 –laitteista, lasketaan sen maksimilaitemäärä eri tavalla, koska segmenttien välillä ei ole linjayhdistimiä. Linjojen välillä kuitenkin on linjayhdistimet, joten laitteita mahtuu linjaan 4066. (Parthoens, alue, 2018.)

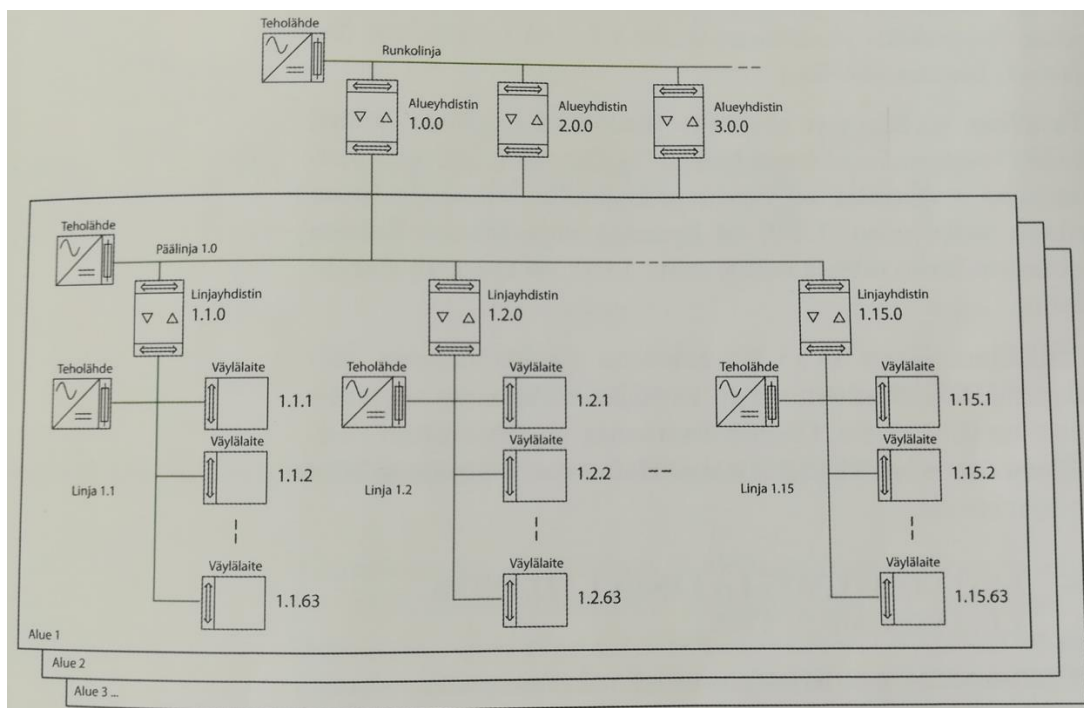
### 3.4.3 TP1-verkko

Verkko muodostuu useasta, kuitenkin enintään 15:sta alueesta, jotka on kytketty alueyhdistimillä runkolinjaan (Kuva 6). Alueyhdistimet ovat fyysisesti samanlaisia kuin linjayhdistimetkin, mutta alueyhdistimet sijaitsevat eri tasolla topologiassa. Runkolinjoja voi olla vain yksi. (Parthoens, verkko, 2018.)

Runkolinjaa käsitellään verkon 0. päälinjana. Silloin enintään 30 TP1/TP1-liitintä voidaan yhdistää runkoverkkolinjaan. TP1-verkon enimmäislaitelaitemäärä muodostuu kaavasta (*runkoverkkolinjan kapasiteetti*) + (*alueen päälinjan kapasiteetti*) x 15 + (*linjan kapasiteetti*) x 15 x 15, josta saadaan yhtälö

$$(64 - 30) + (64 - 1 - 15) * 15 + [(4 * 64) - 1 - 6] * 15 * 16 = 60514 , \quad (3)$$

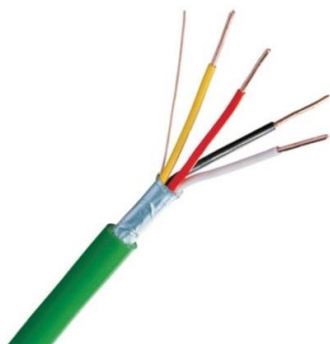
mutta jos verkossa käytetään pelkästään TP1-256 –laitteita, verkkoon mahtuu enemmän, peräti 65024 laitetta. (Parthoens, verkko, 2018.)



Kuva 6. KNX-verkon runkolinjaan voidaan yhdistää 15 aluetta (Härkönen, 2015, 61).

### 3.4.4 Kaapelointi

KNX-järjestelmän ollessa on pienoisjännitejärjestelmä, johdinten poikkipinta-alana käytetään yleensä  $0,8 \text{ mm}^2$ : ä. Paras ratkaisu on käyttää KNX Association sertifioimia TP1 väyläkaapeleita, joita ovat YCYM2x2x0,8 (Kuva 7) tavallisiin rakennusolosuhteisiin ja J-Y(St)Y2x2x0,8 teollisuusolosuhteisiin. (Härkönen, 2015, 102).



Kuva 7. Sertifioitu TP1 kaapeli (Domomat, s.a.).

Kaapelin puna-musta on väylälaitteelle kytkettävä pari, jolla syötetään teho ja välitetään sanomat. Kelta-valkoista paria voi käyttää virransyöttöön tehonlähteeltä kuristimelle, mutta nykyisin tehonlähteiden jo sisältäessä integroidun kuristimen, kelta-valko pari voi jäädä tarpeettomaksi. (Härkönen, 2015, 103.)

Yhden linjasegmenttiin käytettävän kaapelin kokonaispituus saa olla enintään 1000 m. Tämän pituuden saavuttamisen jälkeen täytyy päälinjasta haaroittaa seuraava linja. Väylälaitteelta



tehonlähteelle saa kaapelin pituus olla enintään 350 m. KNX-parikaapelin tiedonsiirtonopeus on 9600 bit/s ja yhden linjan sanomakapasiteetti on noin 20 sanomaa sekunnissa. (Härkönen, 2015, 50-59.)

Väylän jännite on niin pieni, että sen osalta kykentöjä voidaan tehdä jännitteisenä. Maahan kytkentä puuttuu joten virtapiirin osaksi ei joudu koskiessaan jännitteisiin osiin. Asennuksissa täytyy tietysti huolehtia eristys sähköverkon osiin ja muihin tietoliikennejärjestelmiin. Varsinkin laajoissa kohteissa selkeästi merkittyjen, virallisten KNX TP1 kaapeleiden käyttö on vähintään suositeltavaa virheiden välttämiseksi. (Härkönen, 2015, 101-102).

Kaapelina voi halutessaa käyttää myös muita sertifioituja väyläkaapeleita, esimerkiksi KLMA4x0,8 -kaapelia, joka on yleisin Suomessa käytetty tiedonsiirtokaapeli. Mahdollista on käyttää myös yleisiä sähköurakoinnissa käytettäviä kaapeleita. (Härkönen, 2015, 101.) Ei ole kuitenkaan taloudellisesti järkevää käyttää tarpeettoman paksua kaapelia.

### 3.5 Muut tiedonsiirtoprotokollat

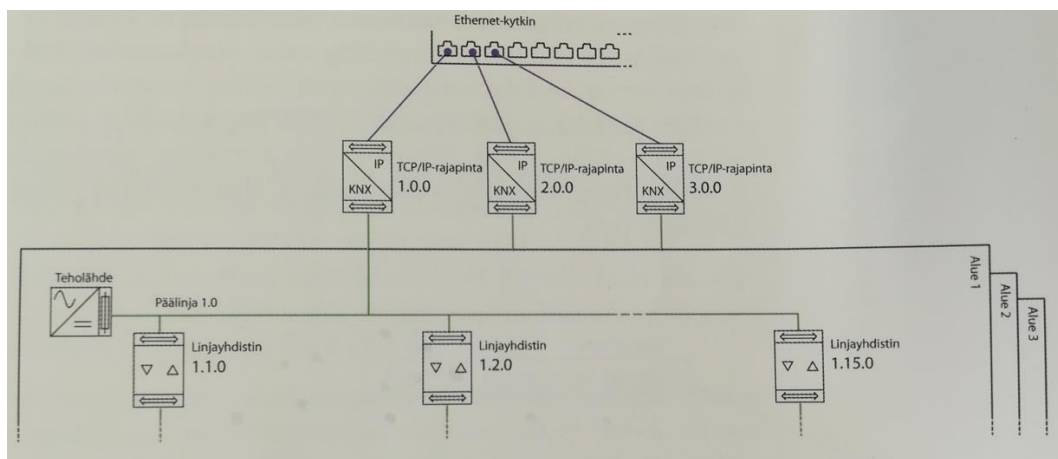
KNX-järjestelmässä sanomia on mahdollista siirtää parikaapelin lisäksi myös kolmella muulla protokollalla. Kohteesta riippuen saattaa sanomamäärä kasvaa liian isoksi parikaapelille, ja vaarana on ruuhkautumisen aiheuttama sanomien menetys. Eri alueiden välillä voi tulla myös tarve siirtää sanomia langattomasti. Saneerauskohteessa puolestaan ei ole mahdollista tai taloudellisesti järkevää kaapeloida uudestaan vaan hyödyntää sähköverkko kaapelointia. Eri siirtomediaita voidaan myös yhdistellä tarpeen mukaan.

#### 3.5.1 KNX IP

Suuren kohteen parikaapelitopologia voi ruuhkautua sanomista. Riski sanomakapasiteetin ylittymisestä voidaan korjata Ethernet-lähiverkkoratkaisulla. Ethernet-kaapeloinnilla voidaan tehdä pidempiä linjoja ja sanomakapasiteetti on 1000ertainen TP1-parikaapeliin verrattuna. Kuitua käytettäessä saavutetaan tarvittaessa monien kilometrien pituisia KNX-linjoja. (Härkönen, 2015, 64.)

TP1-parikaapeli muunnetaan Ethernet-verkkoon KNX TCP/IP yhdysväyläkomponentilla. Kaapelointiin voidaan käyttää mitä tahansa standardisoitua yleiskaapelia ja mitä tahansa IP-standardisoitua laitetta voidaan käyttää yhteyden muodostukseen KNX IP -laitteeseen. (Parthoens, viestintäväline, 2018; Härkönen, 2015, 66.)

Yleisin käytäntö on korvata TP1-runkolinja KNX/IP:lla ja tarjota näin KNX-alueille pääsy toisiin IP-verkkoihin (Kuva 8). Topologia, jossa sekä runkolinja, että päälinjat on korvattu TCP/IP-rajapinnoilla on myös mahdollinen. (Parthoens, viestintäväline, 2018; Härkönen, 2015, 65.)



Kuva 8. KNX-verkon runkolinja toteutettu Ethernet-yleiskaapeloinnilla. Linjayhdistimet on tällöin korvattu TCP/IP-rajapinnoilla. (Härkönen, 2015, 65).

### 3.5.2 KNX RF

Sanomien lähetys radiosignaaleilla mahdollistaa langattomien toteutusten tekemisen. Tämä johtaa hyvin vapaaseen laitesijoitteluun, koska edes näköyhteyttä laitteiden välillä ei tarvita. Signaalien vaimennukset tulee kuitenkin ottaa huomioon läpäistävän materiaalin mukaan. Kipsilevy vaimentaa signaalia noin 10 %, tiili 30 %, raudoitettu betoni noin 70 % ja metallilevy tai ritilä noin 90 %. Lisäksi heijastukset saattavat tuottaa ongelmia sanoman vastaanotossa. (Härkönen, 2015, 67.)

RF-laitteita on olemassa yksisuuntaisia ja kaksisuuntaisia. Yksisuuntainen anturi vain lähettää ja -toimilaite vastaanottaa sanomia. KNX-linjassa TP1-sanoma muutetaan yksisuuntaiseksi RF-sanomaksi TP/RF-yhdysväylällä, johon voidaan yhdistää rajallinen määrä laitteita. TP/RF-yhdysväylällä on linjakohtainen, yksilöllinen osoite. RF-laitteet pariutuvat tähän sarjanumeronsa avulla ohjelmoinin yhteydessä. Näin eri puolilla kiinteistöä olevat RF-laitteet pääsevät kommunikoidaan muun parikaapeloidun KNX-asennuksen kanssa. (Härkönen, 2015, 72-73.)

Kaksisuuntaisesti viestivät anturit puolestaan lähettävät ja vastaanottavat sanomia. Sanomien kuittauskyvyn ansiosta nämä laitteet ovat luotettavampia, kun negatiivisen kuittauksen saatuaan lähettävä laite voi toistaa sanoman. Kaksisuuntaisten laitteiden ohjelmointi voidaan tehdä myös radiosignaaleilla langattomasti. Toisin kuin yksisuuntaisilla, kaksisuuntaisilla laitteilla voidaan tehdä kokonaan langaton KNX-linja. Laittekapasiteettirajoitusta ei periaatteessa ole, koska linjassa voidaan käyttää sanomatoistimia, tai joissakin RF-laitteissa ne ovat jo integroituina. (Härkönen, 2015, 73-74.)

KNX RF-standardi käsittää viisi eri nopeuksista lähetyskanavaa. Kaikki kanavat ovat taajuuksiltaan 868,0 MHz: n ja 869,7 MHz: n välissä. Suomen viestintävirasto on valinnut taajuusalueet siten etteivät niitä pääse häiritsemään matkapuhelimet tai langattoman verkon tukiasemat. (Härkönen, 2015, 70.)

Radiotaajuus sanomien läpimeno ei ole yhtä varmaan kuin kaapelien jänniteviestien. Ruuhkautumisen riski on myös olemassa laajoissa KNX-järjestelmissä, koska kaikki langattomat verkot käyttävät samoja

taajuusalueita. Lisäksi radiosiganaalit eivät voi kuljettaa väylälaitteiden tarvitsemaa tehoa, vaan tehonsyöttö täytyy myös järjestää kaapelilla tai laitteeseen asennettavalla paristolla. Näiden ongelmien takia täydellistä langattomuutta ei ainakaan vielä ole pian odotettavissa, mutta RF-laitteet tuovat parannusta järjestelmän joustavuuteen. (Härkönen, 2015, 70-71.)

### 3.5.3 KNX PL110

KNX PL tuotiin markkinoille tarjoamaan ratkaisu saneerausprojekteihin, joihin halutaan asentaa KNX-järjestelmä, mutta hyödyntää verkkovirtakaapeleita siirtomediana. Esimerkiksi perinteisen valokytkimen tilalle asennetaan KNX-kytkin ja valmiit johdotukset siirtävät sanomia. PL110-laitteet lähettävät signaaleja sähköverkkoon 110 kHz:n taajuudella 1200 bit/s nopeudella. (Parthoens, Viestintäväline, 2018; Härkönen, 2015, 75.)

Kaistanestosuotimella täytyy estää signaalien päätyminen PL110-laitteista julkiseen sähköverkkoon tai toisinpäin. Jos entisen verkkokaapeloinnin eri vaiheita halutaan yhdistää samaan linjaan, voidaan se toteuttaa vaihesillalla tai järjestelmäkytkimellä. PL110-laitteella voidaan viestiä vain toisen PL-laitteen kanssa, ja niiden pitää kuulua samaan PL110-verkkoon. (Parthoens, Viestintäväline, 2018.)

Vaikka PL110-sanomalla voidaan kuljettaa sama data kuin TP1-sanomakin, on siinä suuri ylikuulumisen riski ja luotettavuus on paljon huonompi kuin parikaapelissa. PL-järjestelmä ei ole joustava, ja sillä kannattaisi toteuttaa vain vähemmän kriittisiä sovelluksia. (Härkönen, 2015, 75.)

## 3.6 Ohjelmointi

KNX-järjestelmä on hajautettu järjestelmä, eli sillä ei ole keskusyksikköä. Kaikki KNX-laitteet toimivat itsenäisesti. Kaikissa KNX-standardin mukaan valmistetuissa antureissa ja toimilaitteissa on oma mikrokontrolleri, jota ohjelmoidaan käyttöönottossa. Käyttöönotto-ohjelmointi tapahtuu PC-pohjaisella ohjelmointisovelluksella nimeltä ETS, jota kehittää ja myy KNX Association. Tällä hetkellä uusin versio on ETS5, joka julkistettiin vuonna 2014. ETS-ohjelmalla suoritetaan toimintojen määrittely, projektin dokumentointi, väylälaitteiden ohjelmointi, diagnostiikka ja vianhaku. (Härkönen, 2015, 19, 111.)

Kaikki väylään liittyvät komponentit sisältävät ryhmäobjekteja ja parametrivalintoja. Ryhmäobjektien avulla väylälaitte joko lähettää tai vastaanottaa sanomia väylään. Parametreilla puolestaan aktivoidaan halutut toiminnot väylälaitteissa. (Härkönen, 2015, 122.) Haluttua toimintoa ohjelmoidessa, antureissa olevat ryhmäobjektit parametroidaan ja linkitetään sitten yhdessä toimilaitteiden ryhmäobjektien kanssa, aiemmin luodun ryhmäosoitteen (ks.3.2) kanssa. Kaikki väyläkaapeliin kytketyt laitteet näkevät väylässä kulkevat sanomat, mutta vain määritellyt laitteet reagoivat niihin. (Härkönen, 2015, 35.)

Käyttönottaja voi suorittaa KNX-järjestelmän ohjelmoinnin omalla toimistollaan ilman fyysistä yhteyttä laitteisiin, mutta viimeistään ohjelmien lataamista varten täytyy muodostaa yhteys KNX-väylän ja PC-tietokoneen välille. Yleinen tapa on myös että käyttönottajan toimistolla on KNX-teholähde ja ohjelmointirajapinta. Näin hän voi ladata laitteisiin valmiiksi yksilölliset osoitteet ja sovellusohjelmat, sekä toimittaa selkeästi nimetyt laitteet työmaalle asennettaviksi. Yhteyden luominen väylään tapahtuu helpoiten joko Ethernet-yhteyden, tai USB-liitännän kautta. Ethernet-yhteys vaatii KNX/IP-rajapinnan, ja USB-liitäntä KNX/USB-ohjelmointirajapinnan asentamista. (Härkönen, 2015, 111, 148-149.)

ETS-ohjelmistoon voi myös listätä erilaisia toimintoja. Isommassa projektissa työtä voi helpottaa maksullisilla ETS Apps toiminnoilla, joita ovat monipuolinen kopioi/liitä-toiminnot, laitteiden merkitsemisleimojen tulostus, paramertoitujen laitteiden tallentaminen suosikkeihin, "online" katalogit ja hukattujen projektien palautus. (Härkönen, 2015, 155.)

EIBlib/IP-protokollaa hyödyntävällä iETS-palvelimella voidaan puolestaan luoda IP-rajapinta KNX-väylään, joka mahdollistaa ETS-ohjelman etäkäytön kyseiseen väylään. iETS-yhdysväylän avulla KNX-asennuksesta vastaava käyttäjä pääsee kauko-ohjelmoimaan ja diagnosoimaan ETS-ohjelmalla järjestelmää. iETS-palvelin asennetaan osana KNX-järjestelmää ja se hyödyntää joko LAN- tai internet-yhteyttä. (KNX Association, 2018.)

#### 4 VALOSÄHKÖINEN JÄRJESTELMÄ

Aurinko tarjoaa pyyteettömästi ilmaista energiaa koko ajan. Mitä enemmän sitä saataisiin valjastettua ihmisten hyödykkeiden energiatarpeeseen, sen parempi verkkovirran ostajan lisäksi koko maapallolle. Auringon säteilyenergiaa hyödyntävät laitteistot jaetaan aurinkolämpö- ja valosähköisiin järjestelmiin. Seuraavaksi tullaan käsittelemään valosähköisten järjestelmien tekniikkaa, aina yksittäisen kennon rakenteesta valmiin järjestelmän hyödyntämiskeinoihin.

Valosähköisten järjestelmien säädöksiä on päivitetty paljon viime vuosina ja mahdolliseksi on tullut myös yksittäisen tuottajan myydä sähköään yleiseen sähköverkkoon. Tämä ei kuitenkaan ainakaan vielä ole kannattavaa siirtomaksujen ja erilaisten verojen vuoksi. Järjestelmällä tuotettu sähköenergia kannattaa pääsääntöisesti hyödyntää tuotantokohteessaan. (Tahkokorpi, ym., 2016, 135-136.)

#### 4.1 Auringon säteilyenergia

Auringon koostumus on 80 % vetyä ja 20 % heliumia. Auringon sisällä tapahtuu näiden aineiden atomien ydinten välillä jatkuvaluontoista yhdistymisreaktiota, jota kutsutaan fuusioreaktioksi. Ydinreaktion seurauksena vedystä syntyy heliumia noin 4,3 megatonnia sekunnissa, joka puolestaan synnyttää  $3,8 \cdot 10^{23}$  kilowatin säteilytehon  $6000^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa. Maapallolle saapuu tämän säteilytehon seurauksena energiaa noin  $800 \cdot 10^{15}$  kWh vuodessa, joka on arviolta 7000 kertaa se, mitä ihmiskunta tällä hetkellä kokonaisuudessaan vuoden sisällä kuluttaa. (Schultz, 2016, 15.)

Aurinkovakioksi kutsutaan yhdelle neliömetrille saapuvan säteilytehon keskiarvoa. Maapallon ilmakehään saapuva aurinkovakio on  $1367 \text{ W/m}^2$ . Ilmakehässä osa auringosta säteilevistä valohiukkasista, eli fotoneista, hajoavat tai kimpoavat pois päin. Lopullinen maan pinnalle saapuva suora säteily riippuu hyvin paljon pilvisyydestä. Kirkkaana päivänä muun muassa Eurooppaan osuva säteilytiheys on noin  $1000 \text{ W/m}^2$  (Kuva 9). (Schultz, 2016, 15-16.)

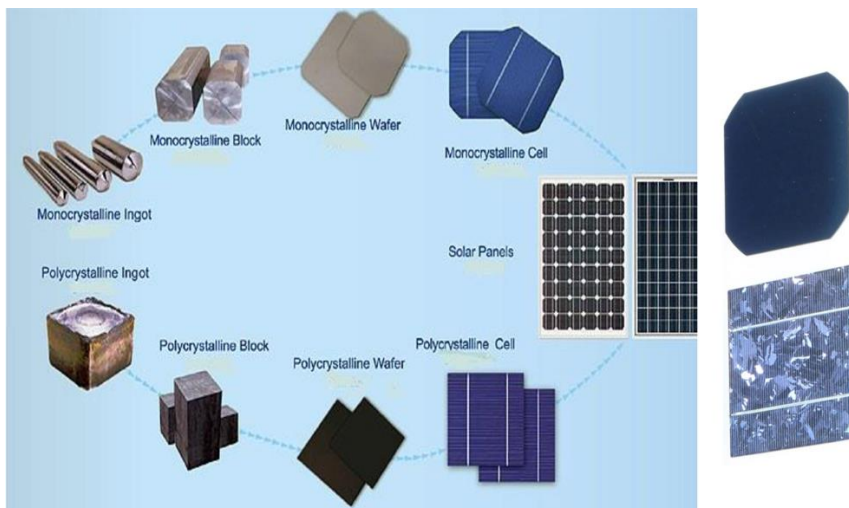
| KAUPUNKI     | LEVEYSPIIRI | kWh/h <sup>2</sup> A |
|--------------|-------------|----------------------|
| Helsinki     | 60° 12' N   | 938                  |
| Jokioinen    | 60° 49' N   | 887                  |
| Sodankylä    | 67° 22' N   | 807                  |
| Aden         | 12° 24' N   | 2708                 |
| El Paso      | 31° 48' N   | 2309                 |
| Dakar        | 14° 44' N   | 2152                 |
| New Delhi    | 28° 35' N   | 1987                 |
| Nairobi      | 1° 18' S    | 1855                 |
| Lissabon     | 38° 43' N   | 1689                 |
| Buenos Aires | 34° 35' S   | 1622                 |
| Melbourne    | 37° 49' S   | 1588                 |
| Rooma        | 41° 48' N   | 1435                 |
| New York     | 40° 47' N   | 1405                 |
| Montreal     | 45° 30' N   | 1240                 |
| Wien         | 48° 15' N   | 1070                 |
| Pariisi      | 48° 49' N   | 1032                 |
| Lontoo       | 51° 31' N   | 1023                 |
| Tukholma     | 59° 21' N   | 993                  |
| Kööpenhamina | 55° 40' N   | 976                  |
| Hampuri      | 53° 38' N   | 938                  |
| Bergen       | 60° 24' N   | 908                  |
| Pietari      | 59° 58' N   | 908                  |
| Reykjavik    | 64° 08' N   | 798                  |

Kuva 9. Aurinkoenergian vuosittainen saantimahdollisuus vaakatasossa, eri puolilla maailmaa (Tahkokorpi, ym., 2016, 15)

#### 4.2 Valosta sähkövirraksi

Auringon valosäteistä tuotetaan sähköä valosähköisillä kennoilla, joista aiemmin käytettiin nimitystä aurinkokenno (Aurinkoteknillinen Yhdistys Ry, 2015). Noin  $10\text{cm} \cdot 10\text{cm}$  kokoiset valosähköiset kennot valmistetaan pääosin piistä (Kuva 10), joka on puhtaana esiintyessään elektroninen puolijohde.

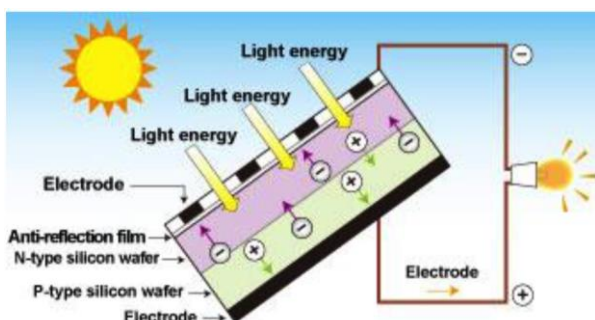
Aikaisemmin kaikki kennot valmistettiin yksikiteisestä piistä, josta valmistetuissa kennoissa on 16-22 % hyötysuhde. Nykyään kustannussäästöjen takia kennojen raaka-aineena käytetään pääasiassa monikiteistä piitä, joka koostuu raemaisista piikiteistä. Tämä valmistustapa on helpompi ja edullisempi. Monikiteisten piikennojen hyötysuhde on 14-20 %. Piin kiteisyydestä riippumatta niiden käyttöikä on 25-30 vuotta. (Schultz, 2016.)



Kuva 10. Ylälaidassa yksikiteinen ja alalaidassa monikiteinen kenno (MonoSun Technology Co., Ltd, 2017).

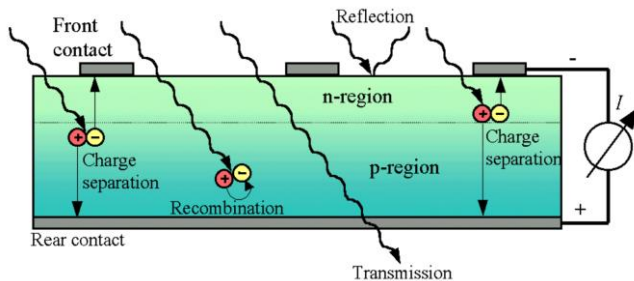
Valosähköinen kenno on diodi, jossa on yhdistetty kaksi eri tyyppistä puolijohdemateriaalia, negatiivisesti ja positiivisesti varautunutta piitä. Kennoon osuessaan fotonin törmäysenergia saa piiatomien elektronit irtomaan atominsa ytimeistä. Tämän seurauksena kennon sisään muodostuu sekä vapaita elektroneja, että elektroniaukkoisia hiukkasia. Kahden erimerkkisesti varautuneen puolijohteen rajapinnassa elektronit ja aukot ovat pakotettuja liikkumaan erilleen. Elektronit siirtyvät kennon negatiivisesti varautuneelle puolelle ja aukot positiivisesti varautuneelle puolelle. Näin kennon yllä- ja alapinnan välille saadaan aikaan sähköinen tasajännite (Kuva 11)

Kun kennon positiivinen ja negatiivinen pinta kytketään vastukseen, saadaan aikaan sähkövirta, koska elektronit kulkeutuvat positiivisesti varautuneiden aukkojen puolelle yhdistyäkseen niiden kanssa. Jännitteen tasoa voidaan säädellä kytkemällä kennoja sarjaan haluttu määrä. (Sahlstén, 2012, 20; Aurinkoteknillinen Yhdistys Ry, 2015; Quaschnig, 2014.)



Kuva 11. Valosähköisen kennon rakenne ja toimintaperiaate (Fraunhofer ICT, 2017).

Kaikkien kennon pintaan osuvien fotonien energiaa ei saada hyödynnettyä. Osa säteistä heijastuu kennon pinnasta, tai energia ei riitä irrottamaan elektroneja piiatomeista. Osa runsasenergisistä säteistä taas menee hukkaan, kun irrotettuaan elektronin atomista ne vain lämpösäteilevät lopun energiansa kennoon ja ympäristöön (Kuva 12).

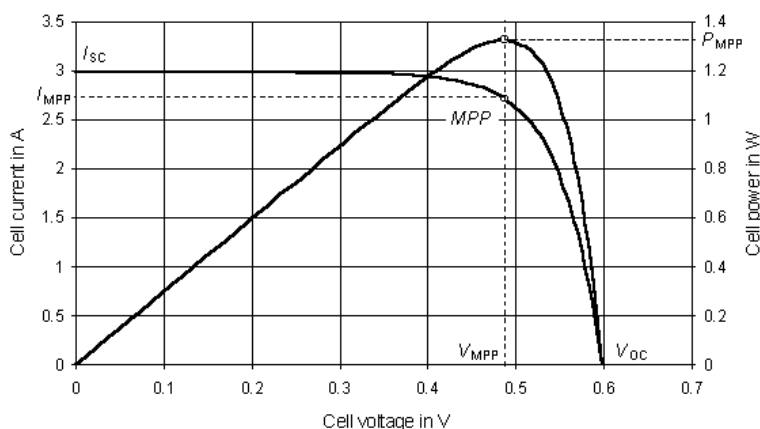


Kuva 12. Valosähköisessä kennossa ilmeneviä prosesseja (Quaschnig, 2014).

#### 4.2.1 Valosähköisen kennon suorituskyky

Aurinkokenno tuottaa suurimman mahdollisen tehonsa tietyssä jännitteessä. Kenno luo virtaa, jonka suuruus vaihtelee kennon jännitteen mukaan. Jännite-virta –kuvaajalla esitetään näiden suhdetta toisiinsa. Kuva 13 on esitetty tyypillisen aurinkokennon virta-jännite ja teho-jännite kuvaajat. Vasemmassa laidassa on kennon virta ampeereina (*Cell Current in A*), oikealla kennon teho watteina (*Cell power in W*), ja alhaalla kennon jännite voltteina (*Cell voltage in V*). Kun kennon navat on kytketty yhteen, käsitellään sitä oikosuljettuna piirinä, jolloin siellä kulkee virta  $I_{sc}$  (short circuit). Virta on verrannollinen säteily määrään nähden ja se kasvaa tiettyyn rajaan asti lämpötilan noustessa.

Jos kennoa ei ole kytketty kuormaan, käsitetään kenno avoimena piirinä, jolloin siitä voidaan mitata tyhjäkäyntijännitettä  $V_{oc}$  (open viruit), jonka arvo käyttäytyy logaritmisesti suhteessa säteilyn määrään. Lämpötilan noustessa tyhjäkäyntijännite  $V_{oc}$  laskee nopeammin, kuin oikosulkuvirta  $I_{sc}$  kasvaa. Siksi aurinkokennon maksimiteho ja hyötysuhde alenevat radikaalisti lämpötilan noustua tietyn pisteen yli. (Quaschnig, 2014)



Kuva 13. Tyypillisen aurinkokennon virta-jännite ja teho-jännite kuvaajat havainnollistaen MPP:n (Quaschnig, 2014).

Kuvan 13 kenno saa maksimitehonsa pisteessä MPP. Maksimitehopisteessä optimijännite  $V_{MPP}$  on pienempi kuin tyhjäkäyntijännite  $V_{OC}$ , sekä optimivirta  $I_{MPP}$  on pienempi kuin oikosulkuvirta  $I_{SC}$ .

Kennojen suurimman mahdollisen tehon selvittämiseksi, ne testataan niin kutsutuissa standardioloissa:  $1000 \text{ W/m}^2$  säteilyssä,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  lämpötilassa ja ilmamassan ollessa 1,5. Tämän takia valmistaja ilmoittaa kennojen tehot piikkiwattina  $W_p$  (*peak*=huippu), joka on paneelin suurin mahdollinen teho. Suurimmalle osalle kennoista yli  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  lämpötilan ylitys aiheuttaa noin 10 %:n tehontuoton aleneman, koska piin puolijohdeominaisuudet kärsivät liiasta lämpötilan noususta (Quaschnig, 2014).

Maallikon oletamus ei siis pidä paikkaansa, että mitä kuumempi auringonpaiste, sitä parempi sähköteho kennoista saadaan. Liika säteily ei ole hyväksi sähköntuottoa ajatellen. Siksi kuumemmissa maissa onkin suotuisampaa käyttää aurinkolämpöjärjestelmiä. Etelä- ja Keski-Euroopassa kennot voivat tuottaa enemmän sähköenergiaa aurinkoisena talvipäivänä, kuin kuumana kesäpäivänä (Schultz, 2016, 31).

Pohjasi-Euroopan ja Suomen säteilyolosuhteet ovatkin varsin ihanteelliset valosähkön tuotolle kesäaikaan. Suomessa valosähkön tuotanto on kesällä jopa parempaa, kuin etelämpänä Euroopassa. Suomessa etuina ovat kesällä pidempään saatava auringonvalo ja yleisesti ottaen matalammat lämpötilat, koska viileässä paneelit toimivat paremmin. (Greensolar Oy, 2017.)

Aurinkoenergian käyttöä rajoittavat Suomessa lähinnä säteilyn vuodenaikavaihtelut. Etelä-Suomessa auringon vuosittaiset säteilymäärät ovat samaa suuruusluokkaa kuin Keski-Euroopassa (Kuva 9). Suomen säteilyenergiasta 90 prosenttia saadaan maalissyyskuun välisenä aikana. (Energiateollisuus, s.a.)

#### 4.2.2 Valosähköinen paneeli ja voimala

Tyypillinen  $100 \text{ cm}^2$  kenno kehittää standardiolosuhteissa (ks. 4.2.1) vain  $0,5 - 0,6 \text{ V}$  tasajännitteen ja  $3 \text{ A}$  oikosulkuvirran (Aurinkoteknillinen Yhdistys Ry, 2015). Tehoksi saadaan  $1,5 - 1,8 \text{ W}$ , kaavalla

$$P = UI \quad (4)$$

(Mäkelä;Soininen;Tuomola;& Öistämö , 2014, 120), jossa  $P$  on teho,  $U$  tasajännite ja  $I$  virta. Jännitteen nostamiseksi halutulle tasolle, kytketään kennoja sarjaan tarvittava määrä. Tästä sarjaan kytketystä kennokokonaisuudesta syntyy valosähköinen paneeli. Edelleen paneeleja yhteen kytkemällä, saadaan valosähköinen voimala. (Quaschnig, 2014.)

Esimerkiksi 12-18 voltin paneelijännitteeseen pääsemiseksi kytketään kennoja sarjaan 36-42 kappaletta (Schultz, 2016). 36: n kennon paneeli tuottaisi siis standardiolosuhteissa 54 piikkiwattia, kaavalla  $36 * 1,5 \text{ W}_p$ . Säteilyä siihen osuisi standardiolosuhteissa 360 piikkiwattia yhtälön



$$1000 \frac{W}{m^2} * 0,36 m^2 = 360 W_p \quad (5)$$

mukaan. Tämä tarkoittaisi paneeleille 15 %: n hyötysuhdetta, koska

$$\frac{54 W}{360 W} * 100\% = 15 \% \quad (6)$$

Paneelin hyötysuhde ei ole kuitenkaan sama kuin kennon, vaan sitä alentaa kennojen johdotukset noin 1-2%. Kokonaishyötysuhteeseen puolestaan vaikuttavat vahvasti myös muut järjestelmään liittyvien osien johdotukset, joten häviöt voidaan laskea karkeasti mukaan kertoimella 0,9–1,0. Mahdollinen akkujen käyttö huonontaa hyötysuhdetta vielä merkittävästi. (Aurinkoteknillinen Yhdistys Ry, 2015).

Omakotitaloissa paneelien teho on yleensä 2–10 kW<sub>p</sub> ja teollisuuden kohteissa yli 10 kW<sub>p</sub>. Valosähköisen voimalan omakustannehinta kilowattituntia kohti alenee huomattavasti järjestelmän tehon lähentyessä kymmentä kilopiikkiwatti. Siksi voimalasta kannattaa tehdä aina mahdollisimman tehokas järjestelmä. Suomen suurin aurinkovoimala on tällä hetkellä Turussa, kahden Citymarkettien katolla olevat 900 kW<sub>p</sub>: n voimalat (Lukkari, 2017; Tahkokorpi, ym., 2016, 162-163.)

### 4.3 Järjestelmätyypit

Valosähköisiä järjestelmiä koskevat Suomen ja Euroopan osalta seuraavat standardit:

- SFS 6000-7-712 Pienjänniteasennukset. Osa 7-712 Valosähköiset tehonsyöttöjärjestelmät
- SFS-EN 62446 Sähköverkkoon kytketyt PV-järjestelmät
- SFS-EN 61724 Valosähköisenjärjestelmän suorituskyvyn valvonta
- SFS-EN 50438 Tekniset vaatimukset yleisen pienjännitejakeluverkon kanssa rinnan toimiville mikrogeneraattoreille

(SESKO ry, 2015).

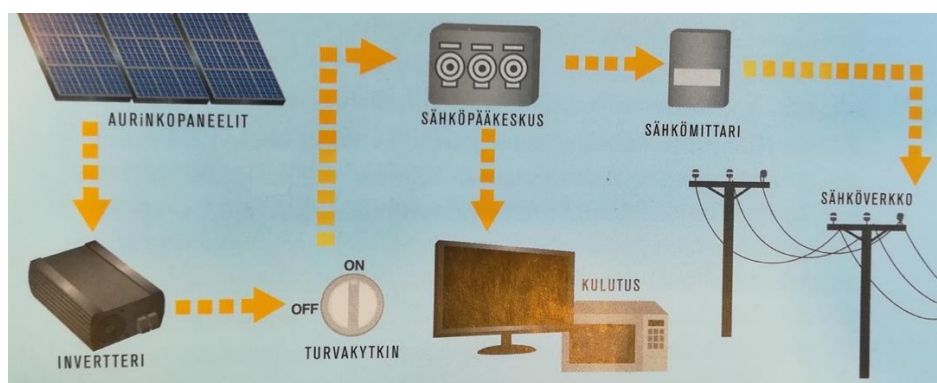
Paneelien lisäksi, valosähköisen järjestelmän muodostavat kohteesta riippuen alla mainitut pääosat:

- Vaihtosuuntaaja, eli invertteri vaihtosähköverkossa
- Akuston lataussäädin tasasähköverkossa
- Sähkövarasto ylijäämälle

(Tahkokorpi, ym., 2016, 136).

### 4.3.1 Verkkoon kytketty

Valosähköinen järjestelmä voi olla verkkoon kytketty, koska sähkömarkkinalaki takaa kaikille sähkönkäyttäjille oikeuden liittää järjestelmiä sähköverkkoon (Auvinen & Jalas, 2017). Tämä on maailmanlaajuisesti yleisin tapa hyödyntää valosähköä. Kyseisessä järjestelmässä on vain kaksi varsinaista toiminnallista komponenttia: paneelit ja vaihtosuuntaaja (Kuva 14). Verkkoon kytkettäessä täytyy paneelien tuottama tasavirta (DC) muuntaa vaihtosuuntaajalla sinimuotoiseksi vaihtovirraksi (AC), joka vastaa kiinteistö- ja jakeluverkon vaatimuksia. Invertteri voidaan asentaa joko suoraan paneelien jälkeen, tai akuston jälkeen.



Kuva 14. Verkkoon kytketty järjestelmä pääkomponentteineen (Tahkokorpi, ym., 2016).

Verkkoon liitettävien inverttereiden on vastattava sekä SFS-EN 50438 –, että saksalaisen VDE-AR-N 4105 –standardin vaatimuksia. Lisäksi käyttöpaikkaan lisätyn mikrotuotantolaitoksen jännitteen laadun täytyy säilyä liittämiskohdassa standardiin SFS-EN 50160 Yleisen jakelujännitteen ominaisuudet, kirjattujen vaatimusten mukaisena. (Tahkokorpi, ym., 2016, 142; Energiateollisuus ry, s.a, 6.)

Tärkeää invertterin ominaisuuksissa on automatiikka, joka kytkee tehonsyötön irti yleisestä verkosta vika- ja häiriötilanteissa, joissa jännite tai taajuus ei ole standardin rajoissa. Invertteri ei saa koskaan syöttää verkkoon sähköä, joka ei täytä verkon asetteluarvojen vaatimuksia. (Energiateollisuus ry, s.a, 8.)

Invertterin tulee aina irrota verkosta myös LoM-tilanteessa, eli tilanteessa, jossa verkkojännite katoaa. Osa vaihtosuuntaajista tosin syöttää verkkoon pulssimuotoista virtaa vaihtovirran sijaan. Tällaisessa tapauksessa verkkoliitäntälaitteisto ei edes kykene jäämään saarekekäyttöön, vaan tarvitsee koko ajan verkon jännitettä tahdistuakseen. (Energiateollisuus ry, s.a, 8–9.)

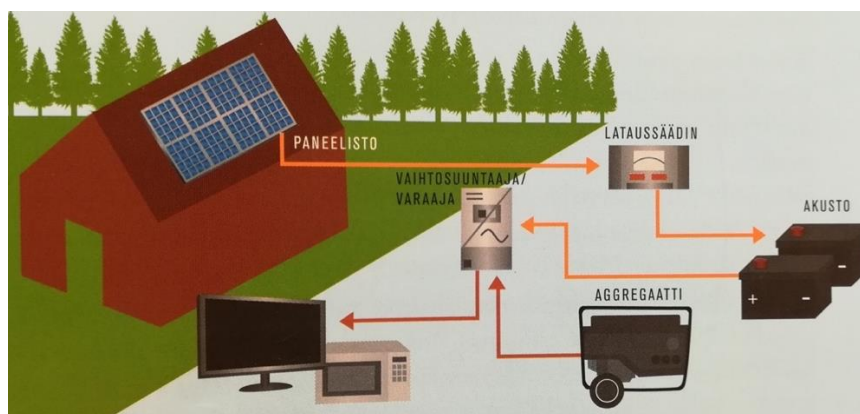
### 4.3.2 Saareke

Verkkoon kytketyn sijaan järjestelmä voi olla myös saarekemainen. Itsenäisessä järjestelmässä tuotettu energia ohjataan suoraan valosähköisien paneelien jälkeen ylijäämävarastona toimivalle akustolle, joten väliin täytyy kytkeä lataussäädin (Kuva 15). Säädin suojelee akustoa rajoittamalla lataus-

virtaa akun täyttyessä, tai kytkee paneelit kokonaan irti akusta. Akun tyhjentyessä lataussäädin puolestaan irrottaa kuorman suojellen akkua ylipurkautumisen tuomilta vioilta. (Tahkokorpi, ym., 2016, 136-148.)

Akustolta virta voidaan ohjata invertterille ja sitä kautta muuhun kiinteistön verkkoon. Jokin pieni kohde voi olla myös kokonaan matalajännitteistä tasavirtaverkkoa, eikä invertteriä silloin tarvita. Varavirta voidaan halutessa järjestää esimerkiksi aggregaatilla. Sähköverkon ulottumattomissa olevissa pienissä kohteissa, kuten kesämökeillä käytetään usein saarekejärjestelmää (Tahkokorpi, ym., 2016, 136-148.)

Systeemissä epäedullista on nimellisjännitteen pitäminen alhaalla akkujen vuoksi, tai jännitetasojen muuntelu, koska akustojen nimellisjännite on yleensä 24 V. Akuttomassa järjestelmässä sähköenergiaa voidaan ottaa suoraan paneeleilta invertterille, jolloin nimellisjännite voidaan pitää jo valmiiksi korkealla.

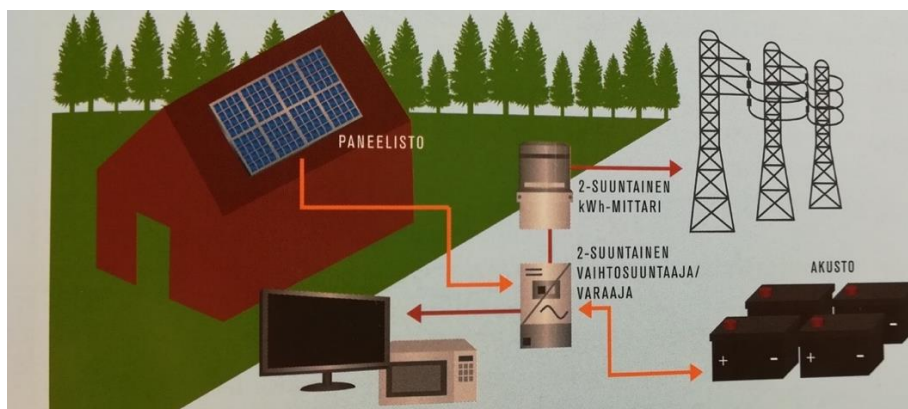


Kuva 15. Itsenäinen järjestelmä ei ole yhteydessä verkkoon (Härkönen, 2015, 143).

#### 4.3.3 Akkuvarmistettu

Järjestelmä voi olla myös akkuvarmistettu (Kuva 16), mikäli halutaan kytkeä järjestelmä verkkoon mutta myös varastoida sähköenergiaa myöhempään käyttöön. Tässä järjestelmässä tarvitaan kaksisuuntainen invertteri. Virta pitää paneeleilta vaihtosuunnata verkkoon, mutta tasasuunnata akustolle, ja taas vaihtosuunnata uudelleen akustolta verkkoon päin. (Tahkokorpi, ym., 2016, 151.)

Esimerkiksi Yhdysvalloissa on jo joissain osavaltiossa kiinteistön huipputehoon perustuva laskutus (ks. 6.3). Siellä akkuvarmistettu järjestelmä on yleinen, koska huippuja voidaan rajoittaa ottamalla vaikkapa helteellä suuren jäähdytyskulutuksen aikaan itse tuotettua energiaa akustolta ja välttää suurempia huippuja. Jo tästä syystä akustoon investointi kuorman rinnalle tulee kannattava. (Tahkokorpi, ym., 2016, 163.) Nimellisjännitteiden suuret vaihtelut paneelien, akuston ja verkon välillä tekee kuitenkin akullisen ja verkkoon kytketyn järjestelmän yhdistämisestä käytännössä hankalaa ja kallista.



Kuva 16. Tariffisysteemissä joissain maissa on yleistynyt akkuvarmistettu järjestelmä (Härkönen, 2015, 151)

#### 4.4 Järjestelmän kustannukset

Valmistumisensa jälkeen järjestelmä tuottaa lähes ilmaista sähköä 25-30 vuotta jos paneelien käyttöikä toteutuu. Kuluja voi tuki aiheutua rikkoutuneista osista ja paneelien puhdistuksesta. Kannattavuutta mietittäessä takaisinmaksuaika ei ole yksinään soveltuva menetelmä, eikä se anna todellista kuvaa aurinkoenergiainvestoinnin kannattavuudesta. Kannattavuus vertaamalla ostettuun sähkөөn on myös ongelmallinen, koska verkkosähkön hintavaihteluita ei voida tietää 30 vuotta eteenpäin. Nykyään valosähköisen järjestelmän takaisinmaksuajan tiedetään olevan järjestelmästä riippuen 8–15 vuotta. (Tahkokorpi, ym., 2016, 187-188 ; Auvinen & Jalas, 2017.)

Valosähköisen tekniikan kehityksestä on seurannut jyrkkä järjestelmien hinnan lasku. Paneelien maailmanmarkkinahinta on noin 0,5 euroa/piikkiwatti. Nykyään verot lisättynä ja käyttövalmiiksi asennettuna, järjestelmille tulee kohteesta riippuen hintaa 1–2,5 euroa/piikkiwatti (Taulukko 1). Suurempaan järjestelmään mentäessä hinta laskee, mutta pienemmillä nousee. Tämän johdosta suuritehoisten järjestelmien asentaminen on muuttunut kannattavaksi. Suomessakin käyttökohteina yleistyvät nykyään isot, julkisten rakennusten katoille asennettavat järjestelmät. (Tahkokorpi, ym., 2016; Kettunen, 2016, 45-46.)

Valosähköisen energian hinnaksi tulee verollisena ja asennettuna 3,3 – 11 snt/kWh (Taulukko 1). Tämä alittaa monissa tapauksissa verkosta ostetun sähköenergian hinnan, jos verkon energian hintaan lisätään vielä siirtomaksu ja kiinteä kuukauden perusmaksu. Valosähköiset järjestelmät ovat yksiä kiinteistön kannattavimpia investointeja, jos kesällä kulutetaan paljon sähköä. (Tahkokorpi, ym., 2016; Karoliina & Jalas, 2017; Kettunen, 2016, 46.)

Taulukko 1. Vuonna 2016 halvimman ja kalleimman valosähköisen järjestelmän yksikkökustannusten perusteella lasketut LCOE-tuotantohinnat (Auvinen & Jalas, 2017).

| Hankintahinta<br>€/kWp v. 2016 | LCOE-tuotanto-<br>hinta snt/kWh<br>(ALV 0%) | Esimerkki tyypillisestä<br>sovelluskohteesta   | Tuet ja verot   | Sovellusko-<br>hteen LCOE-<br>hinta snt/kWh<br>(sis. tuet/verot) |
|--------------------------------|---|--|---|--|
| Halvin 950<br>€/kWp            | 4,2 snt/kWh                                 | Suuren 900 kW au-<br>rinkosähköjärjestelmän<br>vaivaton katto-asennus<br>teollisuuslaitoksen katolle | TEM 25 %:n in-<br>vestointituki v.<br>2016, ALV yrityk-<br>selle 0% | 3,3 snt/kWh  |
| Kallein 2 000<br>€/kWp         | 8,6 snt/kWh                                 | Pienen 3 kW:n au-<br>rinkosähköjärjestelmän<br>asennus taloyhtiöön                                   | ei tukea eikä<br>kotitalousvähen-<br>nystä, ALV 24%                 | 11 snt/kWh   |

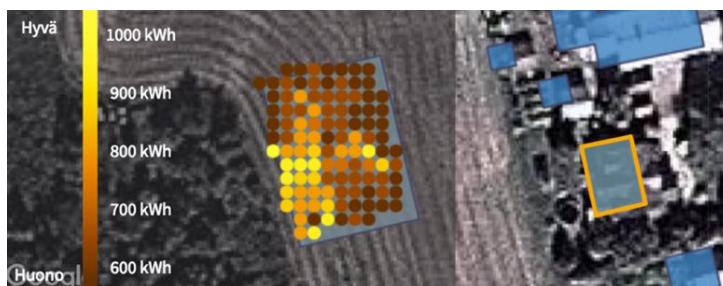
#### 4.5 Suunnittelu

Valosähköisen järjestelmän suunnitteluun kannattaa ryhtyä, jos kiinteistö kuluttaa paljon sähköä kesällä esimerkiksi jäähydytykseen. Erityisen hyvin kohteeksi sopii omakotitalot joissa ilmalämpöpumpun jäähydytys, mökkikylät joissa on asiakkaita kesäaikaan ja liikekiinteistöt ilmastointikoneilla. Järjestelmän enimmäistuottotarvetta voi lähteä suunnittelemaan sähkön tuntitasoisen kulutuksen mukaan, jonka saa omalta sähköyhtiöltä. Yhdenkin vuoden mittaustietojen avulla voi selvittää suuntaa antavasti kohteen pohjakulutuksen, eli vähimmäiskulutuksen. (Motiva, 2018; Tahkokorpi, ym., 2016, 177.)

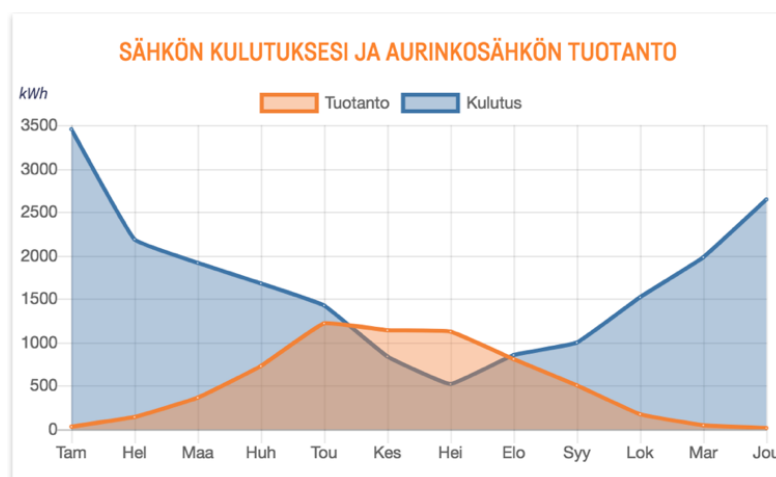
Pohjakulutus on energiamäärä, jonka kiinteistö vähintään kuluttaa jokaisena tuntina, jona valosähköä on mahdollista tuottaa. Järjestelmä kannattaa mitoittaa siten, että pohjakulutusta voidaan lisätä hetkinä, jolloin valosähköä tuotetaan eniten. Käytännössä sopivia sähkökuormia siirrettäisiin yöltä päiväajalle. Parhaassa tapauksessa kulutusta on mahdollista ohjata tuotantohuipun aikana automaatiolla niin, että saadaan hyödynnettyä mahdollisimman suuri osa sähköstä omaan käyttöön, mikä on taloudellisestikin paras vaihtoehto. (Motiva, 2018.)

Selvitystyötä voi tehdä myös palvelusivustoilla, joilla voi laskea suuntaa antavia tietoja oman kattonsa valosähköisen energian potentiaalista (Kuva 17). Tällaisia ovat muun muassa Sun Energia Oy ja SolarAren.com. Sun Energia on kartoittanut lähes 4 200 000: n suomalaisen rakennuksen katon, joista omistaja voi selvittää oman rakennuksensa tuotanto- ja säästämahdollisuutensa (Kuva 18).

Sovelluksen ilmainen testausversio ilmaisee muun muassa suositellun tehon paneeleille, takaisinmaksuajan, omavaraisuusasteen, hiilijalanjäljen pienentymisen ja sähkölaskussa säästämisen. Tiedot saa nopeasti vain syöttämällä osoitteensa, napsuattamalla haluttua kattoa kartalta ja syöttämällä muutaman tiedon kiinteistöstä. Ilmaisella versiolla ei vielä kuitenkaan saa tarkempia yksityiskohtia



Kuva 17. Sun Energian weber-sovellus ilmaisee säteilylle eniten altistuvat kohdat katossa (Sun Energia Oy, 2018).



Kuva 18. Sun Energia Oy:n sovellus piirtää käyriä tuotannosta (Sun Energia Oy, 2018).

#### 4.5.1 Laskelma Savonian järjestelmän tuotannosta

Kun järjestelmän haluttu teho ja siihen tarvittavien paneelien pinta-ala on selvitetty, voi suunnittelua edelleen jatkaa laskemalla tarkempia tietoja järjestelmän energian tuotosta sijaintinsa perusteella. Tämä onnistuu myös ilmaiseksi internetistä löytyvillä PVGIS-sivustoilta (Kuva 19). Kyseisessä sovelluksessa on helppo kokeilla eri asennuskulmia paneeleille, ja selvittää mikä kulma on omalla katollaan optimaalisin. Alla on selvitetty PVGIS-ohjelmalla Savonia Kuopion tekniikan kampuksen valosähköisen järjestelmän kuukausittaista tuotantoa.

Kyseessä on 1-vaiheinen verkkoon kytkettävä 2 kWp:n järjestelmä, jossa kahdeksan paneelia. Paneelien malli on Solarwatt Blue 60p 250 Wp. Yhden paneelin nimellisjännite on 30,2 V DC ja nimellisvirta 8,28 A (SOLARWATT GmbH, 2015). Paneelien teoreettinen kokonaisteho  $P_p$  ( $P_{peak}$ ) saadaan yhtälöstä:

$$P_p = 250 \text{ W} * 8 = 2000 \text{ W}. \quad (7)$$

Kahdeksan paneelin pinta-ala on yhteensä 13,6 m<sup>2</sup> (SOLARWATT GmbH, 2015), joten standardioloihin vertaamalla saadaan kaavojen (5) ja (6) avulla hyötysuhteeksi 14,7 %. PVGIS-ohjelmaan syötetään lisäksi johdotusten arvioitu tehohäviö 10 % (ks. 4.2.2). Ohjelman karttapohjana toimii *Google Maps*,

josta voidaan hiirellä valita Opistotien kampuksen katto. Laskennan jälkeen voidaan tarkastella esimerkiksi paneelien kuukausittaista (Taulukko 2), päivittäistä, tai tuntitasoista energiatuotantoa.

Kuva 19. PVGIS-ohjelmaan syötetään muutama tieto paneelista, sekä niiden sijainti (European Commission, Joint Research Centre, 2018).

Aurinkoisimpien kuukausien, huhti–elokuunkuun säteilyenergian keskiarvoksi kulmassa 43°, saadaan taulokasta 2 laskemalla 4,83 kWh/m<sup>2</sup>. Tätä kerrotaan paneelien pinta-alalla 13,6 m<sup>2</sup> ja hyötysuhteella 14,7 %. Näin saadaan arvio kyseisen järjestelmän keskiarvoisesta tuotannosta jonain kesäkuukautena, yhtälöstä

$$4,83 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 13,6 \text{ m}^2 * 0,147 = 9,66 \text{ kWh} . \quad (8)$$

Taulukko 2. PVGIS-ohjelmalla laskettu Savonia-AMK:n katolle osuva säteilyenergia kuukausittain (European Commission, Joint Research Centre, 2018).

**PVGIS Estimates of long-term monthly averages**

Location: 62°53'51" North, 27°39'47" East, Elevation: 97 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-classic

Optimal inclination angle is: 43 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.1 %

| Month       | $H_h$       | $H_{opt}$   | $H(43)$     | $DNI$       | $T_{24h}$  | $N_{DD}$    |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| Jan         | 169         | 517         | 517         | 497         | -10.1      | 836         |
| Feb         | 759         | 1850        | 1850        | 1730        | -8.0       | 750         |
| Mar         | 1860        | 3040        | 3040        | 2650        | -3.8       | 629         |
| Apr         | 3590        | 4630        | 4630        | 4340        | 2.1        | 411         |
| May         | 4820        | 5220        | 5220        | 4810        | 9.7        | 205         |
| Jun         | 5200        | 5200        | 5200        | 4510        | 13.8       | 69          |
| Jul         | 5060        | 5230        | 5230        | 4670        | 17.7       | 40          |
| Aug         | 3430        | 3880        | 3880        | 2920        | 15.5       | 121         |
| Sep         | 1880        | 2530        | 2530        | 1850        | 10.8       | 318         |
| Oct         | 785         | 1310        | 1310        | 1010        | 4.2        | 516         |
| Nov         | 232         | 495         | 495         | 403         | 0.2        | 671         |
| Dec         | 76.8        | 264         | 264         | 276         | -5.2       | 866         |
| <b>Year</b> | <b>2330</b> | <b>2850</b> | <b>2850</b> | <b>2470</b> | <b>3.9</b> | <b>5432</b> |

$H_h$ : Irradiation on horizontal plane (Wh/m<sup>2</sup>/day)

$H_{opt}$ : Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m<sup>2</sup>/day)

$H(43)$ : Irradiation on plane at angle: 43deg. (Wh/m<sup>2</sup>/day)

$DNI$ : Direct normal irradiation (Wh/m<sup>2</sup>/day)

$T_{24h}$ : 24 hour average of temperature (°C)

$N_{DD}$ : Number of heating degree-days (-)

Taulukon 2 sarakkeita  $H_{opt}$  ja  $H(43)$  vertailemalla näkee, että 43 asteen kulma on paneeleille optimaalisin kyseisessä sijainnissa.

#### 4.6 Hyödyt verrattuna aurinkolämpöön

Lämpimän veden tarve on kesällä pienempi, ja useissa kohteissa se saavutetaan aurinkokeräimillä nopeasti ja loppu lämmittäminen on enemmän tai vähemmän tuhlattua energiaa. Pelkän lämpöenergian käyttötarve on kesällä, eli parhaimmalla aurinkoenergian tuotantokaudella hyvin rajallinen, siksi onkin järkevämpää tuottaa aurinkoenergialla sähköä, jota sitten voidaan käyttää kiinteistössä monipuolisemmin. Valosähköllä voidaan tuottaa peräti 20 % esimerkiksi kotitalouden tarvitsemasta sähköstä. (Sahlstén, 2012, 19; Kettunen, 2016, 46.)

Sähköä tuottava järjestelmä on myös helpommin muunneltavissa, kuin nestekiertoinen aurinkolämpöjärjestelmä. Kytkemällä valosähköisiä paneeleja rinnan tietty määrä voidaan paneeleilta tuleva virta kasvattaa halutun suuruiseksi ja puolestaan paneeleita sarjaan kytkemällä, kasvatetaan paneeleilta saatua jännitettä. Näin voidaan kiinteistön tarpeeseen rakentaa sopiva järjestelmä.



Myös hybridijärjestelmiä voidaan käyttää kiinteistön lämmitysratkaisuissa. Hybridilämmitysjärjestelmä on systeemi, jossa yhdistyy kaksi tai useampi lämmitysjärjestelmä. Esimerkiksi kaukolämmön rinnalle voidaan kytkeä aurinkokeräimiä, tai sähkölämmitystä voidaan tukea ilmalämpöpumpulla. (Kettunen, 2016, 46.)

Nykyään markkinoilla myydäänkin sähkövastuksen lisäksi aurinkolämpöä hyödyntäviä varaajia, joiden hintaan kuuluu keräimien asennus. Tällaisella hybridivaraajalla hyödyntävässä kiinteistössä voisi ke- sällä lämmitellä päivällä tarvittavaa käyttövoimaa aurinkoisina tunteina keräimien tuottamalla omavarai- sella energialla. Auringottomana aikana varaajan vastusta voisi lämmitellä verkkovirralla.

Hybridijärjestelmiä kuitenkin rajoittaa taloudellinen järkevyys. Usealla rinnakkaisella järjestelmällä ei välttämättä saavuteta merkittävää taloudellista etua. Taloudellinen kannattavuus riippuu paikallisista olosuhteista, tuotantomuodoista ja viranomaisten lupakäytännöistä, kuten rakennusluvista. (Kettunen, 2016, 46.)

## 5 ENERGIATEHOKKUUS

Energiatehokkuus tarkoittaa energiasta saatavan hyödyn maksimoimista (Energiavirasto, 2018). Ih- misten elämiseen, hyödykkeisiin, mukavuuksiin, liikkumiseen ja ruoan tuotantoon kuluvan energian kustannustehokasta tuottamista ja hyödyntämistä. Se on hukatun energian välttämistä ihmisten toi- minnoissa. Energiatehokkuuteen sisältyy myös päästövapaan energian tuottaminen kasvihuonepääs- töjen vähentämiseksi ja täten maapallon fossiilisten luonnonvarojen säästämistä (Energiavirasto, 2018). Maapallon ihmismäärän lisääntyessä, luonnonvarojen huetessa ja ilmaston saastuessa on loo- gista panostaa edellä mainittuihin seikkoihin.

Suomessa Energiavirasto vastaa energiatehokkuuden edistämisestä, kuten energiatehokkuussopimuk- sista, energiakatselmuksista, kuluttajien energianeuvonnasta ja viestinnästä sekä tuotteiden ekologi- sesta suunnittelusta ja energiamerkinnoista. Energiavirasto seuraa, arvioi kansallisia energiatehok- kuustoimia sekä raportoi niistä. (Energiavirasto, 2018).

### 5.1 Euroopan Unionin tavoitteet

Energiankulutuksen vähentäminen ja tuhlauksen lopettaminen ovat Euroopan unionille tällä hetkellä strateginen painopiste ja EU edistää energiatehokkuus ensin –periaatetta. Energiatehokkuustoimet koetaan nykyään parhaaksi keinoksi varmistaa kestävä energiahuolto, vähentää kasvihuonekaasu- päästöjä, lisätä energian toimitusvarmuutta ja vähentää tuontikustannuksia sekä toisaalta lisätä EU:n kilpailukykyä. (Stoerring & Horl, 2017.)

Euroopan komissio on asettanut direktiivin EPBD (2010/31/EU) rakennusten energiatehokkuudesta. EPBD energiatehokkuusvaatimukset koostuvat useista erilaisista direktiiveistä, joita myös tarkistetaan ja päivitetään. Uusin direktiiviä koskeva korjauspaketti on julkaistu 2016. Siinä asetetaan investointitavoitteita energiatehokkuuden parantamiseksi. Tavoitteissa katsotaan vuoteen 2030 asti, ja tavoitteena on muun muassa 30 % energiatehokkuusprosentti Euroopan unionin alueella. Julkaisussa tavoittelun kohteeksi nostetaan kolme pääaihetta:

- Energiatehokkuus laitetaan etusijalle
- Johtoasema uusiutuvien energioiden käytössä
- Kuluttajille parempi mahdollisuus omaan kontrolliin käyttämänsä energian suhteen.

(European Commission, 2016, 3-4.)

Kiinteistöt kuluttavat 40 % Euroopan energiasta ja jopa 75 % näistä rakennuksista luokitellaan energiatehottomiksi. Siksi EU:n julkaisemat paketit sisältävät tiukkoja linjauksia niin uudisrakentamisen, kuin saneerauksenkin suhteen. Suomessa EPBD-asetuksiin liittyen muun muassa uudisrakentamisen, asuntojen myymisen ja vuokrauksen suhteen käytössä energiatodistus-käytäntö. Se täytyy laatia nykyään jo lähes jokaisesta kiinteistöstä. Lisäksi tarve- ja hankeselvitysvaiheessa tulee jo nykyään määrittellä projektille suunnittelua varten sähköenergian kulutustavoite (kWh/m<sup>2</sup>/a) ja päätökset jotka pyrkivät energiatehokkuuteen. (The Finnish Association of HVAC Societies FINVAC ry, 2018; European Commission, 2016, 5; Sahlstén, 2012, 25-26.)

Kiihdyttäkseen rakennusten saneerauksia energiatehokkaammiksi kohti ”nolla-energia tasoa” Euroopan Komissio on julkaisemassa rakennuksiin kohdistuvaa rahoitusaloitetta yhteistyössä Euroopan investointipankin ja jäsenvaltioiden kanssa, joka vapauttaisi 10 miljardia euroa lisärahoitusta energiatehokkuuteen ja uusiutuvien energioiden käyttöön rakennuksissa. (European Commission, 2016, 6.)

## 5.2 Rakennusautomaation vaikutus

Eurooppalainen standardi EN 152332:2007, joka on vahvistettu myös Suomessa kansalliseksi standardiksi, käsittelee kiinteistöautomaation vaikutusta energiankulutukseen. Siinä rakennukset jaetaan energiatehokkuusluokkiin A-D. Luokkiin jako perustuu kunkin rakennuksen BAC (*building and automation control*) toteutukseen:

- Tehokkuusluokan D rakennuksessa ei ole energiatehokasta rakennusautomaatiota. Tämän luokan rakennuksia ei saisi enää rakentaa ja olemassa oleva tulisi remontoida.
- Tehokkuusluokan C rakennus täyttää tavanomaisesti toteutetun, ja minivaatimukset täyttävän automaatiojärjestelmän piirteet.

- Tehokkuusluokan B rakennuksessa automaatio on teknisesti edistyksellinen ja siihen kuuluu kiinteistönhoitoon liittyviä toimintoja. B-luokka kuvaa tasoa, jolla voidaan optimoida automaattisesti rakennuksen eri järjestelmien toimintaa tarpeen mukaan
- Tehokkuusluokan A rakennuksen automaatiossa energiatehokkuuteen liittyvät asiat on huomioitu laajasti. Rakennuksen automaatiojärjestelmät sisältävät tekniseen kiinteistönhoitoon liittyvät keskeiset toiminnot ja ne on integroitavissa muiden talotekniikkajärjestelmien kanssa.

(European Committee for Standardization, 2017.)

EU:n komissio on julkaissut vuoden 2017 alussa ehdotuksen tulevista muutoksista EBDB:tä koskeviin direktiiveihin, jotka tulisivat voimaan viimeistään vuonna 2025. Ehdotukseen kuuluu uutena muun muassa rakennusten *Smart Indicator*, eli rakennuksen älykkäysluku. Komissio ehdottaa direktiiviä täydentävänä ominaisuutena luoda määritelmä älykkäitä ratkaisuja koskevasta indikaattorista ja edellytykset tarjota indikaattoria lisätietona mahdollisille vuokralaisille tai ostajille. (Sisäilmautiset, 2017.)

Komission mukaan SI:n on ilmaistava rakennuksen joustavat ja vahvistetut toiminnat, jotka ovat seurausta toisiinsa hyvin yhteydessä oleviin älylaitteista ja niiden integroinnista perinteisiin sähköisiin järjestelmiin. Kyseisten ominaisuuksien on kyettävä reagoimaan asukkaan mukavuusvaatimuksiin, otettava osaa kysynnänohjaukseen sekä edistettävä erilaisten energijärjestelmien toimintaa. (Sisäilmautiset, 2017.)

### 5.2.1 KNX-järjestelmällä energiatehokkaammaksi

Pyrkimykset parempaan energiatehokkuuteen lisäävät energiamittausjärjestelmien tarvetta. Pelkän kokonaiskulutuksen mittaamisen sijaan on syntynyt halu eritellä kiinteistön eri toimintojen energian kulutusta (ks. 6.1). Energian mittaus kannattaa integroida älykkääseen kiinteistöautomaatioon, koska silloin samoilla monipuolisesti ohjelmoitavilla ohjauskomponenteilla ja niiden käyttöliittymillä voi seurata ja hallita myös energian kulutusta. (Härkönen, 2015, 29.)

KNX-järjestelmän kokonaisvaltaisella kiinteistöautomaatiolla saavutettava energian säästö on keskeinen peruste toteuttaa tilakohtainen ohjaus KNX-järjestelmällä valaistuksen ohella myös, lämmitykselle, jäähdytykselle, ilmanvaihdolle, kaihtimille/markiiseille ja muille halutuille kuormille (Härkönen, 2015, 20-21). Energiatehokkuuteen pyrittäessä ja B- tai A-luokan (ks. 5.2) kiinteistön saavuttaminen edellyttää käytännössä integroidun kiinteistöautomaatoratkaisun, kuten KNX:n käyttöä.

Euroopan komission julkaisema ehdotus rakennusten uudesta älyindikaattorista (ks. 5.2) näkyy jo nyt ja tulee näkymään yhä enemmän KNX-järjestelmänkin kysyntää kasvattavana. Jo nyt ainakin pääkaupunkiseudulla julkisten rakennusten rakennusluvan saaminen tai sähköurakkakilpailun

voittaminen vaatii käytännössä esimerkiksi KNX-järjestelmän käyttämistä, joka on vallannutkin eniten rakennusautomaatiomarkkinoita.

## 6 KULUTUS ÄLYKKÄÄSSÄ SÄHKÖVERKOSSA

Älykäs sähköverkko käyttää viestintäteknologiaratkaisuja sähköntuotannossa, -jakelussa ja -kulutuksessa, sekä yhdistää näitä osa-alueita. Verkossa tehdään entistä tarkempaa sähkönkäytön seuranta ja kuormien ohjausta. Siihen liitetään aurinkopaneeleja tai tuuliturbiineita, sekä akkuja energiavarastoksi. Eri toimintojen seuranta ja ohjausta varten järjestelmät yhdistetään tietoliikenneverkolla. Suurena osa-alueena näkyy siis kiinteistöautomaatio kuluttajan sähkönkäytön tehokkuutta lisäävänä. (Salonen, 2014, 7.)

Verkossa tapahtuvilla jatkuvilla mittauksilla saadaan tarkkaa tietoa siitä, milloin ja missä sähköä käytetään. Mittaustuloksia sitten hyödynnetään energiatehokkuussuunnitelmissa, kuormien ohjailtavuuksissa tarpeen mukaisesti. Kulutushuippuja pystytään tasaamaan siirtämällä verkon kuormitusta tai kytkemällä esimerkiksi omakotitalon lämmitys pois päältä kuormitushuipun aikana. (Lappeenranta University of Technology, s. a.)

Älykkäässä sähköverkossa on mahdollista yksittäisten talouksien liittyminen aktiivisesti sähkömarkkinoille, jos heidän järjestelmänsä ovat liitettynä verkkoon. Älykkäässä sähköverkossa vahvuuksia ovat myös sähkön saannin luotettavuus ja vaikeiden säätilojen sietäminen. (Lappeenranta University of Technology, s. a.)

### 6.1 Kulutustiedot

Energiatehokkuusratkaisujen kannalta halutaan nykyään ja tulevaisuudessa saada tarkemmin selville mihin energia kuluu. Tämä johtaa myös osakulutuksien tarkempaan mittaamiseen. Sähkön kulutusmittaukset voidaan jakaa yhä useampaan ryhmä- ja laitekohtaisiin kulutusryhmiin.

Eri energiankulutustiedot kannattaa liittää rakennusautomaatiojärjestelmään väyläpohjaisesti käyttäen standardiratkaisuja. Silloin kerättyjä tietoja voidaan hyödyntää myös ohjauksellisesti ajantasaisesti ilman viiveitä. Rakennusautomaatiojärjestelmään liitettyjen mittausten perusteella voidaan tehdä raportteja kiinteistön käytöstä vastaaville. (Sahlstén, 2012, 22.)

## 6.2 Kysyntäjousto

Sähkömarkkinoilla on tähän asti totuttu siihen, että tuotanto on mukautunut voimakkaasti vaihtelevan kulutuksen muutoksiin. Nykyinen kehitys on kuitenkin johtamassa siihen, että perinteisesti säätyvän tuotantokapasiteetin vähentyessä sähköjärjestelmän joustavuuskin vähenee. Sähkön saatavuuden vaihtelu näkyy suoraan sähkön hinnassa. Saatavuus tulee lisäämään ja kasvattamaan hintavaihteluita. Joskus sähköä tulee saataville paljon ja halvalla, toisinaan taas vähän ja kalliilla. Jatkossa sähkön kulutuksen täytyy sopeutua sähköntuotannon vaihteluihin. (Energiateollisuus ry, 2018)

Tällaista hetkelliseen pörssisähkön hintaan perustuvaa laskutusta, kutsutaan kysyntäjoustoksi. Suomessa sähkövaraajat on jo totuttu ohjaamaan päälle kellokytkimellä edulliseen aikaan yöllä. Kuitenkin älymittaus ja uudet tuotteet muuttavat tämän perinteisen kysyntäjouston hienojakoisemmaksi ja tunneittain vaihtelevaksi. Asiakkaat saavat näin hyödyn sähkön oikea-aikaisesta käytöstä. (Energiateollisuus ry, 2018.; Härkönen, 2015, 29.)

Kysyntäjousto vastaa myös sähkön tuotantorakenteen muuttumiseen. Uusiutuvaan energiaan perustuvan sähköntuotannon osuus kokonaistuotannosta kasvaa yhä enemmän. Erityisesti aurinko- ja tuulivoimalle luonteenomaista on tuotantomäärien ajallinen vaihtelevuus. Kiinteistöautomaatiolla täytyy huolehtia pientuotannon järkevästä käytöstä. Tuotantoa ei voida ajoittaa tarpeen mukaan, vaan sähköä on saatavilla, kun tuulee tai aurinko paistaa. (Energiateollisuus ry, s.a.; Härkönen, 2015, 29.)

## 6.3 Huipun rajoitus

Euroopassa ollaan myös siirtymässä lisälaskutukseen kiinteistön saavuttaman huipputehon mukaan. Tämän voimaan tullessa on kuormia hetkellisesti ohjaileva automatiikka erittäin hyödyllinen (Sahlstén, 2012, 26). Jotta kiinteistön hetkellinen huipputeho ei nousisi poikkeuksellisen korkeaksi, on syytä valita laitteita tai laiteryhmiä, joita tarvittaessa voidaan tiputtaa pois kiinteistön kuormituksesta.

Haasteena sähkön huipputehon rajoitusohjelman käytölle on löytää kuormia, joita voitaisiin toistuvasti ottaa pois päältä. Sopivia kohteita ohjaukselle ovat muun muassa massavaraajat lattiassa, vesivaraajat, jäähdytyspuhaltimet, valaistustason alentaminen, sähköauton akkujen lataus tai muitakin tapauskohtaisesti kohteessa olevia järjestelmiä. Sähkö- ja LVI-suunnittelijan on määriteltävä yhteistyössä, mitä kuormia voidaan käyttää huipputehonrajoituksessa. Lattialämmitys ja vesivaraajat ovat luontaisia lämpövarastoja. Niiden käyttöä on automaation avulla helppo ajoittaa toimimaan pienemmällä teholla tai on/off –tyyppisesti. Ilmanvaihtokin voi säätyä pienemmälle tai kokonaan pois ohjelmaan asetetun tehohuipun lähestyessä tai kysyntäjoustohintojen mukaan. (Energiateollisuus ry, 2018.)

2017 julkaistuun Euroopan komission EPBD-direktiiviehdotukseen kuuluu aikomus lisätä runsaasti sähköajoneuvojen latauspisteitä. Komission mukaan jäsenvaltioiden täytyisi huolehtia että kaikissa muissa kuin asuinrakennuksissa joita rakennetaan uutena tai peruskorjataan, tulee vähintään joka kymmenes pysäköintipaikka olla varustettu sähköauton latauspisteellä. Lisäksi jäsenvaltioiden on

huolehdittava kaikkien uusien tai peruskorjattavien asuinrakennusten joka kymmenennelle autopaikalle kaapelointi valmiiksi latauspistettä varten. Tämä direktiivi tulisi voimaan jo 2019 tai 2020, mutta viimeistään 2025. (Sisäilmautiset, 2017.)

Huipputehon kannalta suuressa roolissa ovat tulevaisuudessa nämä sähköautojen lataukset. Ne aiheuttavat aikaisempaan nähden valtavia, kymmenien ja satojen kilowattien hetkellisiä tehontarvepiikkejä yksittäisille kiinteistöille ja sähköverkoille. Tämä asettaa aivan uusia rajoituksia energian kulutukseen, sekä tarpeen jakelun aikatauluttamiseen ja sähkökuormien tasaamiseen (KNX Association, 2010).

#### 6.4 Mikrotuotannon ohjausratkaisut

Mikrotuotantoa on sellainen sähköntuotanto, joka on tarkoitettu ensisijaisesti kohteen omaan käyttöön ja yleiseen sähköverkkoon syöttäminen on vähäistä. Mikrotuotantoa ovat käytännössä yksityisten kuluttajien tai yritysten hankkimat tuotantolaitokset, jotka liitetään heidän kulutuskohteensa sähköjärjestelmään. Yleisimpiä tuotantolaitoksia ovat aurinkovoimalat. (Kvick, 2010, 39.)

Valosähköisen järjestelmän omaavassa kiinteistössä olisi energiatehokkuuden ja taloudellisen kannattavuuden puolesta järkevää, että aurinkoisena aikana tuotettu sähköenergia saataisiin välittömästi käyttöön. Ainakin vielä nykyisillä hintatasoilla sähkön syöttö jakeluverkkoon tai akkuvarastointi on taloudellisesti kannattamatonta. (Tahkokorpi, ym., 2016, 136).

Vaikka akkujen hinnat pienentyisivätkin, huonontaa niiden 70-90 %: n hyötysuhde omalta osaltaan järjestelmän kokonaishyötysuhdetta. Jotain energiaa varaavaa kuormaa voitaisiin mieluummin käyttää "akustona" (Tahkokorpi, ym., 2016, 136). Varsinkin sähköautonlatauspisteen tapauksessa ei kannata muuta akustoa enää asentaa. Järjestelmän mitoituksen pienentämisen sijaan voi optimoivalla ohjausratkaisulla välttää myös ylituotannon, ja energia saataisiin käytettyä itse. Näillä ratkaisuilla voisi akkuvarastointi ja kuluttajalle tappiollinen sähköverkkoon "myynti" (Kuva 20) jättää toteuttamatta, ja järjestelmästä tulisi investointinakin yhä kannattavampi.

Mikrovoimalan tuottamaa sähköä voisi sähköä ohjata sitä isommille tai useammille kuormille, mitä enemmän tuotantoa on. Kun tuotantoa ei ole kytkettäisiin kuormia pois päältä. Ohjausjärjestelmän toteutus vaatii tietoja laitteiden tehontarpeesta, soveltuvuudesta jatkuvalla päälle/pois kytkemiselle, valosähkön hetkittäisistä tuotantoluvuista, sekä ohjelmoitavia komponentteja.

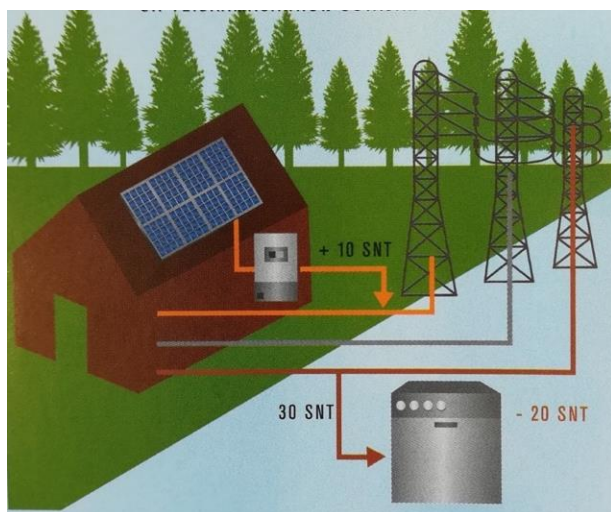
Hyvin toteutettuna kiinteistönautomaatioon yhdistetty valosähköinen järjestelmä toteuttaisi aurinkoisena aikana kysyntäjoustop (ks. 6.2) ja huipun rajoituksen (ks. 6.3). Aurinkoisena ajan energian käyttö rajoittaisi ostettua sähköä jo itsessään. Järjestelmään kannattaisi myöhemmin ohjelmoida myös sähkön markkinahintojen huomioivaa aikataulutusta, niin sillä voisi rajoittaa kuormitushuippuja ja kalliin sähkön ostoa myös auringottomana aikana.

Valosähköistä järjestelmää suunniteltaessa sähköverkkoon tulee huomioida, onko järjestelmän vaihtosuuntaaja yksi- vai kolmevaiheinen. Mikäli yksivaiheinen vaihtosuuntaaja kytketään verkon yhteen vaiheeseen, voivat valosähköä hyödyntää silloin vain kyseiseen vaiheeseen kytketyt laitteet. Kolmivaiheinen invertteri puolestaan syöttää verkon kaikkia kolmea vaihetta, jolloin järjestelmästä voidaan saada suurempi hyöty, kun sillä tuotettua sähköä voidaan käyttää kohteen kaikkiin sähkölaitteisiin. Ainakin isojen kiinteistöjen suuritehoiset järjestelmät tulee aina liittää kolmivaiheisella invertterillä verkkoon. (Tahkokorpi, ym., 2016, 144-145.)

Tällä hetkellä yksivaiheinen invertteri on käytännössä ainoa vaihtoehto pienimpiin, alle 3 kW<sub>p</sub> järjestelmän omaavaan kiinteistöön, sillä markkinoilla olevien pienempien kolmivaiheisten invertterien kokonaisteho on noin 3 kilowattia (Tahkokorpi, ym., 2016, 144). Tämän takia kolmivaihekuormien syöttäminen pienissä kiinteistöissä on lähes poissuljettu vaihtoehto. Kolmivaihelaitteessa, vain yhden vaiheen liittäminen verkon lisäksi myös valosähköiseen järjestelmään, voisi johtaa myös kuormituksen vaihe-epätasapainoon. (Tahkokorpi, ym., 2016, 144.)

Energiäteollisuuden antaman suosituksen mukaan mikrotuotannon liittymisen maksimisulakekoko yksivaiheiselle tuotannolle on 16 A. Täten yksivaiheisen mikrotuotantolaitoksen maksimiteho saa olla noin 3,7 kVA ja kolmivaiheisen 3 x 16 A mikrotuotantolaitoksen maksimiteho voi olla noin 11 kW. (Energiäteollisuus ry, s.a.)

Mikäli paneeleilta tulee verkkoon ylituotantoa, ja invertteri on kytketty vain jakeluverkon yhteen vaiheeseen, se johtaa tilanteeseen missä järjestelmän omistaja toimii sekä sähkön myyjänä, että ostajana. Tästä koituu järjestelmän omistajalle tappioita. Hän joutuu maksamaan siirtoverkon omistajalle verot, siirtomaksut ja ylijäämänsähkön ostajalle provision. Tämä tilanne voidaan estää, jos kohteen kilowattituntimittari on vaihenetottava, joka laskee kiinteistön tuotot sekä kuormat yhteen. Silloin vain niiden erotus laskutetaan kuluttajalta. (Tahkokorpi, ym., 2016, 144-145).



Kuva 20. Myydessä sähköä verkkoon yksivaiheisen invertterin kautta ilman vaihenetotusta, koituu tuottajan tappioksi verot, siirtomaksut ja ostajan provisio (Härkönen, 2015, 145).

Yleensä kolmivaiheiseksi kytkettävän kuorman, esimerkiksi lämminvesivaraajan, liedon, tai kiukaan voi toki kytkeä myös yksivaiheisena, mutta silloin virta kasvaa huomattavasti, koska yksivaihejärjestelmässä vaihevirta tulee kaavasta

$$I_v = \frac{P}{U_v} \quad (9)$$

ja kolmivaihejärjestelmässä

$$I_v = \frac{P}{3 \cdot U_v} \quad , \quad (10)$$

joissa  $I_v$  on vaihevirta,  $P$  pätöteho,  $U_v$  vaihejännite, ja numero  $3$  kuvaa vaiheiden määrää (Mäkelä;Soininen;Tuomola;& Öistämö , 2000). Tämän takia täytyisi kaapelin poikkipinta-alaa kasvat-  
taa. Vastusta pienentämällä jäisi puolestaan lämmitysteho pienemmäksi ja lämmitys kestäisi kauem-  
min.

## 7 KNX MITTAUKSESSA

KNX Associationin on ottanut julkaisemillaan raporteilla; *Smart metering with KNX*, *KNX for metering, displaying and energy management* ja *KNX Demand side management*, kantaa energian käytön mit-  
tauksen ja hallintaan. Niissä vedotaan Euroopan Komission antamaan mandaattiin energiatehokkuus-  
tavoitteista. Mandaatissa annetaan Euroopan standardointikomitealle tehtäväksi kehittää muun mu-  
assa yhteensopivimpia sähkömittareita älykkäämmän verkon luomiseksi kiinteistöissä. KNX lupaa äly-  
mittareillaan mahdollistaa:

- sähkön kuukausilaskutuksen, jonka odotetaan leviävän pian kaikkiin Euroopan maihin osana Euroopan Komission energiatehokkuuspyrkimyksiä
- rakennusten energiaseurannan vika- ja poikkeustapausten varalta (vesiputkivuoto ym.)
- vuokralaisten informoinnin heidän energian käyttötottumuksistaan, mikä helpottaa säästä-  
mistä
- energialaskun muodostamisen lyhyellä varoitusajalla, vuokralaisen vaihtumistapauksissa
- kattavien energiatietojen haltuun saamisen energialuokitusta myönnettäessä
- useiden rakennusten tai asutusyksiköiden energian käyttötottumustietojen saaminen jakelun  
ja kuormahuippujen optimointiin
- asiakkaan tiheimmän ja yksityiskohtaisemman laskutuksen tuoman tiedostumisen myötä vas-  
tuullisemman energian käytön lisääntymisen, ja siten Euroopan Komitean asettaman energia-  
tehokkuusdirektiiviin 2006/32/EC toteutumisen



(KNX Association, s.a).

Avain säästävämpään käyttöön on jatkuva tiedon tarjoaminen käyttäjälle hänen energian kulutuksestaan (KNX Association, 2010, 2). Tämä vaatii vuorovaikutusta energianlähteen ja käyttökohteen välillä älykkäiden mittareiden avulla (KNX Association, 2010, 2). Kyseisien dokumenttien tavoite on tuoda esille kodin ja rakennusten sähköisten järjestelmien, eli HBES:n etuja. Olemassa olevia ratkaisuja esitellään viittaamalla KNX-järjestelmää velvoittavaan (ks.3.1) standardiin EN 50090 - HBES (koti- ja kiinteistö-sähköjärjestelmät).

## 7.1 Älykäs KNX-mittarointi

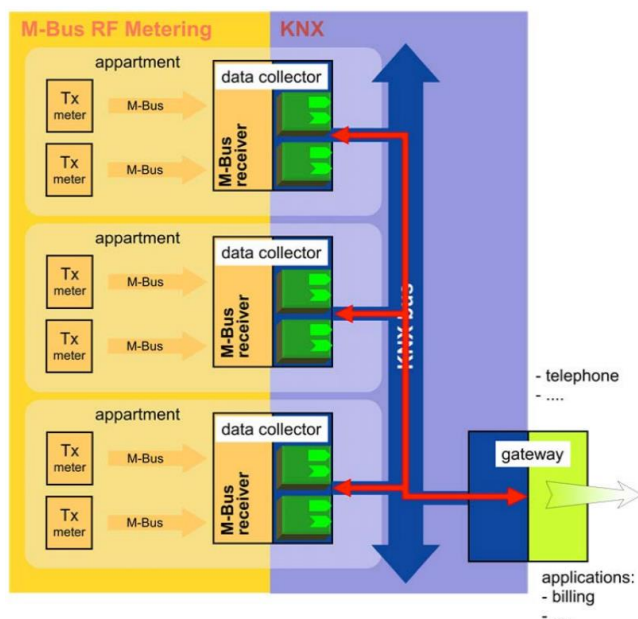
Kattavaan ja systemaattiseen tiedon keräämiseen useilta mittareilta ja mittaustietojen siirtämiseen KNX-väylään käytetään apuna muun muassa avoimia M-bus- ja Modbus –väylästandardeja. M-bus on eurooppalainen avoin väylästandardi (EN 13757-2, EN 13757-3, EN 13757-4), joka aikoinaan kehitettiin nimenomaan kotien sähkö-, kaasu-, ja vesimittareiden etäluentaan. Siinä dataa voidaan lähettää joko kaksijohdinkaapelia tai radioaaltoja pitkin langattomasti.

Modbus-standardi on puolestaan laajasti teollisuuteen levinnyt väylästandardi. Sillä on helppo sovittaa yhteen useita erilaisia laitteita, kuten mittareita ja ohjelmoitavia logiikoita. Modbus-väylän tiedonkeruuseen asennetaan usein RTU etäpäätelyyksiköllä varustettuja tietokoneita valvonta- ja datadiagnostiikkajärjestelmä SCADA:a varten. (Hammer, 2017.)

### 7.1.1 Mittaustietojen esitys

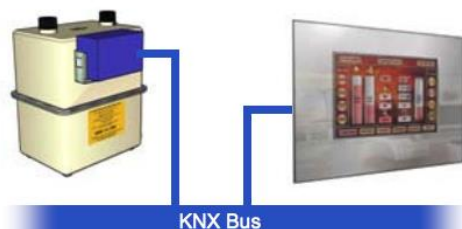
Mittaustietojen esittämiseksi käyttäjälle on useita tapoja. Kaikissa tapaukset noudattavat kuitenkin samaa periaatetta, jossa mittarin rajapinta ja KNX-näytön rajapinta ovat kytketty valittuun KNX-tiedonsiirtomediaan.

Mittausväylän integrointiin KNX on esimerkiksi kehittänyt itselleen KNX M-Bus Data Collector –protokollan (Kuva 21), jossa tiedonsiirto onnistuu sekä parikaapelilla, että langattomasti. Protokolla noudattaa siis M-bus standardeja EN 13757-3 ja EN 13757-4. Yksi yhdysväylä voi palvelimen tavoin ottaa vastaan, tulkita ja pitää muistissa kahdeksan eri mittarin mittaustietoja. KNX yhteensopiva näyttö muodostaa lopullisen kokoamis- ja visualisointipisteen näille tiedoille. (KNX Association, 2010, 4-5).



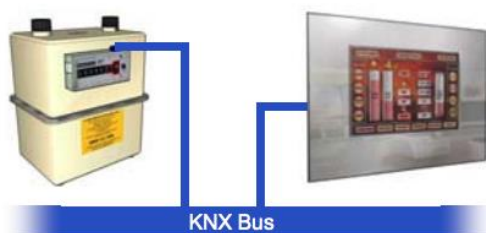
Kuva 21. KNX/M-bus yhdyskäytävän topologia (KNX Association, 2010, 5).

Toinen vaihtoehto on käyttää mittareita, joissa kussakin on paikka KNX yhteensopivalle tiedonsiirto-moduulille (Kuva 22). Mittariin liitettävä KNX-moduuli kerää jokaisen mitattavan parametrin ja ne voidaan sitten lähettää suoraan KNX-näytölle visualisoimista varten. Mittaustiedoista voidaan tällöin sovelluksesta riippuen yhdistää aika- ja päivämäärätiedot kuhunkin mittaustapahtumaan, saaden yksityiskohtaisia kuormitusprofileita. Mittaustietoja voidaan siirtää muille tietokoneille, kuten mittarin haltijalle, *FTP over KNX*-protokollaan perustuen. (KNX Association, 2010, 6.)



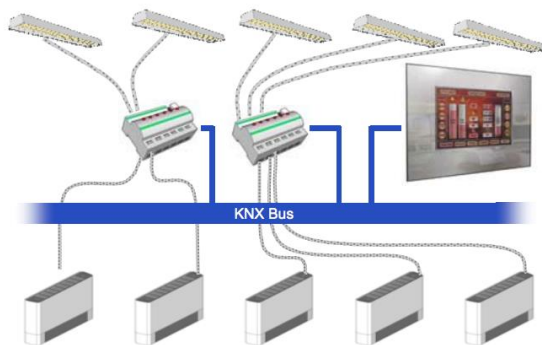
Kuva 22. Suoraan mittariin liitetty KNX-moduuli (KNX Association, 2010, 6).

Tehokkain ja helpoin kytkentätapa mittaustietojen keräämiseen, on käyttää suoraan KNX-väylään yhteensopivaa mittaria (Kuva 23) (KNX Association, 2010, 7).



Kuva 23. KNX yhteensopiva mittari suoralla väyläliitännällä (KNX Association, 2010, 7).

Laajoissa asennuskokonaisuuksissa KNX reletoimilaitteilla voidaan myös tarkemmin kartoittaa kohtuutonta ryhmäkohtaista kulutusta ja käyttöaikoja esimerkiksi valaisin- tai lämmitinryhmistä (Kuva 24). Tällainen releyksikkö vastaanottaa takaisinkytkentätietona ohjailmansa kuorman virrankulutustiedon. Tämä ansiosta kiinteistön omistaja voi tutkia kulutustietojaan jopa laitekohtaisesti. (KNX Association, 2010, 7).

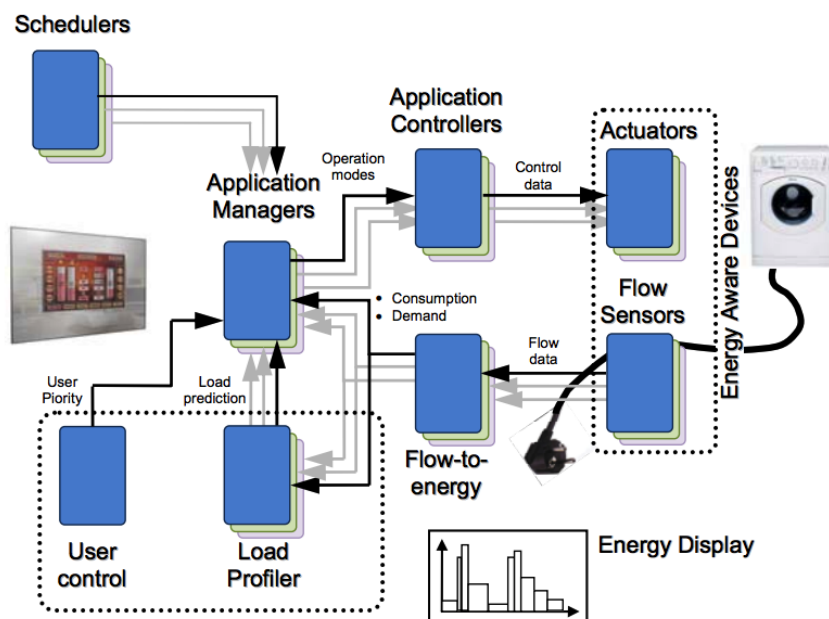


Kuva 24. Laite- tai ryhmäkohtainen kulutustarkkailu KNX:lla (KNX Association, 2010, 7).

### 7.1.2 Itsenäinen kuormanhallinta ja mikrotuotanto

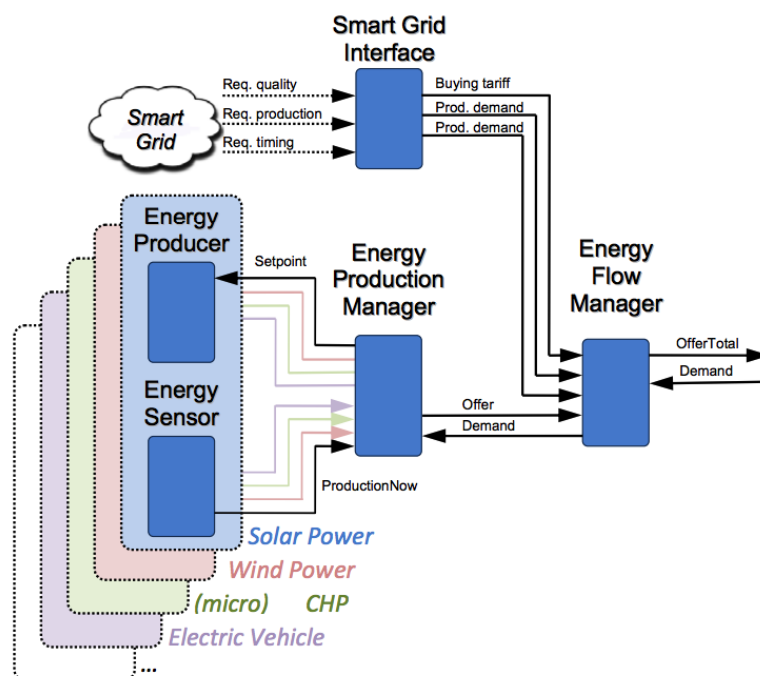
KNX on pyrkinyt luomaan ratkaisumallia, jolla tuetaan kiinteistön korkeiden kulutushuippujen välttämistä. Tämä tapahtuu KNX älykkäiden kaksisuuntaisten laitteiden ja ohjainten sijoittamista sinne, missä kuormaa kytketään ja ohjataan. KNX kuormanhallintamallissa (*KNX Load Management Model*) (Kuva 25), järjestelmän keskeisenä osana käytetään jotain kokonaisuutta valvovaa sovellushallintalogiikkakomponenttia (*Application Manager*), joka pitää sisällään monipuolisesti kulutustietoja keräävästä kuormanhallinta-toiminnosta. (KNX Association, 2010, 8).

Kun yksittäiset laitteet tietävät käyntiaikaisen virran kulutuksensa, voidaan ne raportoida KNX-järjestelmään ja realisoida joillain aiemmin mainituista datan hankintakeinoista. Kuorman hallinta toiminnoissa voidaan ottaa huomioon aikaisempaa kulutusdataa ja samanlaisten laskukierrosten toistuessa voidaan kuormitusta ennustaa, myös ei älykkäiden kuormien osalta. Kuormanhallinta toimintoon voitaisiin sisällyttää aikataulut- ja kalenteritietoja kuormista, joiden avulla saadaan tarkkoja kulutusprofileja rakennuksista. (KNX Association, 2010, 8.)



Kuva 25. Kuormanhallinta KNX-järjestelmällä (KNX Association, 2010, 8)

KNX-järjestelmällä voidaan toteuttaa mikrogeneraattoreiden internetiin liittäminen osaksi älyverkkoa (Kuva 26). Ne voisivat raportoida KNX:n kautta omaa virta-, teho- tai energiatuotantoaan. Kodin KNX automaatiolla mikrotuotantoa ohjattaisiin ja koordinoitaisiin tuotantoa, sekä oltaisiin vuorovaikutuksessa muihin verkon osiin. (KNX Association, 2010, 10.)



Kuva 26. Pientuotannon ja älykkään sähköverkon rajapinta KNX energianhallinta mallissa (KNX Association, 2010, 11).

## 7.2 Komponenttiesimerkkejä mittaukseen

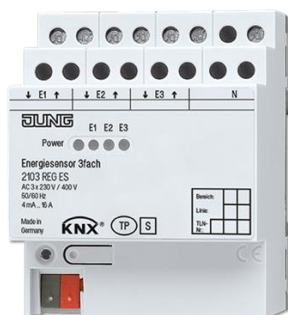
Energian tuotannon tai kulutuksen tarkkailuun on KNX-sertifioituilla laitevalmistajilla erilaisia komponentteja. Tietoja voidaan mitata erillisellä mittarointiväylällä, joka sitten liitetään rajapinnalla KNX-väylään. On olemassa myös mittareita suoraan KNX-väylään liitettäväksi. Energian mittaus yhdistettynä KNX-järjestelmään tuo monia hyötyjä. Yhdellä käyttöliittymällä voidaan silloin mitata ja hallita energian käyttöä. Ohjelmoimalla voidaan toteuttaa helposti huipun rajoitus ominaisuuksia (ks. 6.3) ja soveltaa myös kysyntäjoustoa (ks. 6.2).

Mittaustietojen visualisointiin on useita mahdollisuuksia. Kosketusnäyttöillä voidaan seurannan lisäksi suorittaa ajonaikaisia ohjauksia (Härkönen, 2015, 97). KNX-järjestelmässä voi myös soveltaa käyttö-päätteenä omaa tablettia tai älypuhelinia, joka on yhteydessä väylään langattoman sisäverkon tai VPN-yhteyden kautta liitetty KNX-keskuksen palvelimeen. Kevyin ratkaisu visualisointiin on ladata jokin seurantasovellus älypuhelimelle tai tablettiin, ja yhteys siitä KNX-väylään luodaan silloin TCP/IP rajapinnalla (ks. 3.5.1). (Härkönen, 2015, 96-97.)

Kaikkia kiinteistön sähköisiä tietoja, käyttöliittymiä ja rajapintoja voidaan myös yhdistää ja tarkkailla kattavilla KNX logiikkakomponenteilla, joita ohjelmoimalla voidaan hallita koko kiinteistöä. Visualisointiin ja käyttöliittymään on joka tapauksessa niin paljon eri sovellusmahdollisuuksia, että tässä insinöörityössä ei perehtyä niihin ratkaisuihin. Seuraavissa alakappaleissa esitelläänkin nimenomaan muutamia mittalaitteita, joilla voi tuoda dataa KNX-väylään, sekä ohjata kuormia.

### 7.2.1 JUNG

JUNG:n energiasensorilla (Kuva 27) voidaan mitata ja monitoroida mallista riippuen useiden kanavien energiakulutusta. Kaikkiin kanaviin voidaan liittää kolme vaihejohtinta, ja nollaliitin on kaikille yhteinen. Sensori mittaa kanaviinsa kytkettyjen laitteiden tai laiteryhmiä jännitteen, virran, ja pätö- tai loistehon. Data lähetetään jollain tiedonsiirtomedialla KNX väylään analysoitavaksi jollekin näytölle tai käyttöliittymälle. Visuaalinen esitys voi tapahtua jatkuvissa sykleissä tai vasta muutosten ilmaantuessa. (JUNG GMBH, 2018.)



Kuva 27. Energiasensori kolmella 230 V / 400 V kanavalla (JUNG GMBH, 2018).

## 7.2.2 GIRA

Gira KNX-energiälaskuri Comfort (Kuva 28) toimii sähköisten mittausarvojen koontiyksikkönä. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi koko talouden mittauspisteenä tai väli-/alalaskurina. Se toimii kattavan energiahallintajärjestelmän keskeisenä komponenttina niin asuin-, elinkeino- kuin teollisuusympäristössä. Yhdistämällä energiälaskuri Gira HomeServer –palvelimen kautta väyläverkkoon, kootut tiedot voidaan näyttää, tallentaa, analysoida ja niitä voidaan käsitellä edelleen. (Merilux Oy, 2014.)

Tällä tavoin energian kulutus voidaan optimoida, mikä auttaa alentamaan kustannuksia. Gira KNX –energiälaskuri. Alapuolelle voi kytkeä kolme mitattavaa johdinta. Yläpuolelta löytyy kaksi tariffinvaihtokanavaa, 5 kanavaa joita voi käyttää KNX kytkinlähtöinä, 50 pulssilaskurina, tai kynnyksarvokytkimenä. Energiamittarilla voidaan seurata ja tilastoida myös sähkön paikallista pientuotantoa, esimerkiksi aurinkopaneelien tuottoa. (Merilux Oy, 2014.)



Kuva 28. Gira energiälaskuri (Merilux Oy, 2014).

## 7.2.3 Schneider Electric

Suoramittaukseen sopii Schneider Electricin Acti9-sarjan A9MEM3150 (Kuva 29), johon voi kytkeä 1: n tai 3 vaihetta, ja se kestää virtaa 63 ampeeria. Mittaustietoja voi lähettää Modbus RTU/KNX-rajapinnalla johonkin Modbus-protokollaa tukevaan KNX-laitteeseen ja siitä edelleen KNX-väylään. (Schneider Electric, 2018.)



Kuva 29. Suoramittaukseen Schneider Electricin energiämittari A9MEM3150 (Schneider Electric, 2018).

Modbus RTU-väylän ja KNX-väylän yhdyskäytävä (Kuva 30) välittää energiämittaukseen perustuvat teho- ja kulutusarvot Modbus-laitteistosta KNX-väylään. KNX laitteet voivat tämän jälkeen käyttää näitä arvoja analysointiin ja visualisointiin. Näitä kulutusta koskevia arvoja voi käyttää myös KNX-

laitteistossa energiankulutuksen pienentämiseen hyödyntämällä KNX-verkon sisäisiä ohjausstrategioita. Schneiderin yhdyskäytävään voi kytkeä enimmillään 32 RTU-siirtoprotokollaa käyttävää Modbus-mittaria. Yhdyskäytävä toimii aina *master*-tilassa ja yhdistetyt Modbus-laitteet puolestaan *slave*-tilassa. Tiedonsiirto KNX-väylästä Modbus-väylään ei ole mahdollista. (Schneider Electric, 2018.)



Kuva 30. KNX/Modbus-yhdyskäytävä (Schneider Electric, 2018).

Schneider Electric valmistajalta löytyy myös suoraan KNX-väylään kytkettävä energiamittari MTN6600-0603 (Kuva 31), jossa mahdollista mitata kolmea eri kanavaa rajoitteena 16 A virta yhtä kanavaa kohti. Kulutustiedot saadaan kanavakohtaisesti tai yhteenlaskettuna, ja sillä voi toteuttaa hälytysrajoja, sekä säästötoimintoja. (Schneider Electric, 2018.)



Kuva 31. KNX energiamittari MTN6600-0603 voidaan kytkeä suoraan KNX-väylään (Schneider Electric, 2018).

#### 7.2.4 ABB

ABB: lla on EQ-energiamittarimallisto (Kuva 32), joka on jaettu A, B ja C sarjaan virranketoisuuden mukaan. Mahdollisia ominaisuuksia ovat pulssihälytyslähde, kaksisuuntainen mittaus, lois- ja näennäisenergiamittaus ja usean eri tariffin mittaus. Instrumenttiarvoja ovat teho, jännite, virta, taajuus ja tehokerroin. (ABB Oy, 2018.)

A- ja B-sarjan mittarit ovat liitettävissä KNX-väylään. (ABB Oy, 2018.) Liityntä tehdään ABB:n KNX ZS/S1.1 –yhdyskäytävällä (Kuva 32). Tämä yhdyskäytävä hyödyntää tiedonsiirtoon infrapunasäteilyä.





## 7.2.5 Kytkintoimilaitteet

Kytkintoimilaitteet ovat tärkeässä osassa kuormia ohjattaessa. Niiden 230 V lähtöportteihin on kytketty kuormat ja tuloporttiin väylä. Ne suorittavat kuormille päälle/pois-kytkentätoimintoja väylän antureilta saamiensa viestien mukaan. Kytkintoimilaitteet mahdollistavat helpot ja selkeät keskuskytkennät perinteisiin rele- ja kontaktorilähtöihin verrattuna (ks. 3.1).

Kytkintoimilaitteita on saatavana yleisesti 6–20 ampeerin kytkentävirroille (ABB Oy, 2018; Schneider Electric, 2018). Resisttiivisillä, AC-1-kategorian kuormilla sopiva toimilaitte on helppo valita suoraan ohjattavan kuorman ryhmäjohtoon mukaan. Induktiivisilla, AC-3-kategorian kuormilla kuten moottoreilla, käynnistysvirrat nousevat käyntivirtaa korkeammaksi, joten toimilaitteen kytkentäkyky täytyy ylivoimistaa. Suurempia kuormia kytkettäessä voidaan avuksi ottaa välirele tai –kontaktori. (Härkönen, 2015, 88; Schneider Electric, 2018.)

Joillakin kytkintoimilaitteilla (Kuva 35) voidaan mitata kanavakohtainen virta mutta ne eivät huomioi jännitettä, joten kyseisen mittaustiedon voi lähinnä käyttää visualisointiin tai trendien seurantaan (Härkönen, 2015, 96).



Kuva 35. Kytkintoimilaitte 12x16/20 A, jossa kanavakohtainen virtamittaustoiminto (ABB Oy, 2018)

## 8 PRODUKTIO KUORMANOHJAUSOVELLUKSESTA

Tavoitteena tässä työssä oli konkreettisesti toteuttaa Savonian valosähköisen järjestelmän ja KNX-automatiikan yhdistävä kuormanohjaussovellus. Invertterin verkkoon syöttämä teho täytyy saada mitatuksi ja lähetetyksi väylään. Väylän komponenttien parametreilla ohjelmoidaan sitten sovellus, joka kytkee verkon kuormia paneelien tuotantotehovahteluiden mukaan.

Sunny Boy 2000 HF invertterissä ei ollut vakiona mitään väylään sopivaa tiedonsiirtoliitaintä, toisin kuin nykyään lähes kaikissa uusissa inverttereissä on valmiina Ethernet, M-bus tai Modbus liitäntä. Sunny Boy HF 2000:n olisi voinut lisäosana hankkia RS485 Quick Module –sarjaliikenneportin. Muun

muassa Modbus-standardi hyödyntää fyysisenä kerroksena RS485-protokollaa, joten KNX/Modbus – yhdysväylällä olisi tällöin saatu invertterin tiedot väylään.

Kyseinen Sunny Boy 2000 HF on kuitenkin niin vanha malli, ettei SMA ei enää valmista sitä. Sen takia myös lisäosana saatavaa sarjaliikenneporttia ei ole juuri enää tarjolla, ainakaan Suomessa, joten sen tilaaminen jätettiin pois epäluotettavuuden ja toimituskeston vuoksi.

Tässä työssä päädyttiin käyttämään aiemmin esiteltyä (ks.7.2.4), EM/S3.16.1 KNX energiamittausmoduulia, jonka AH-Talotekniikka tilasi. Kyseinen komponentti voidaan liittää suoraan KNX-väylään ilman ylimääräisiä rajapintoja. Mittarin verkkojännitepuolelle ei tässä tapauksessa tarvittu myöskään erillistä suojausta, koska Sunny Boy 2000 HF tuottaa enintään 11,4 A virran ja energiamittarin kanava kestää 16/20 A. Suurempitehoisessa kolmivaiheisessa vaihtosuuntaajassa olisi voinut käyttää Schneiderin tai ABB:n suurempaa virtaa kestävää energiamittaria (ks. 7.2.3 ja 7.2.4) ja yhdistää väylään rajapinnalla.

## 8.1 Rakentaminen ja testausolosuhteet

KNX energiamittausmoduuli päätettiin kiinteän asentamisen sijaan laittaa koteloon (Kuva 36), ja upottaa kanteen väliaikaista kytkemistä varten banaani liittimet sekä KNX väyli liittimet. Näin Savonia voi hyödyntää komponenttia paremmin opetuksessa ja omissa kokeiluissaan.



Kuva 36. Koteloitu KNX Energiamittari

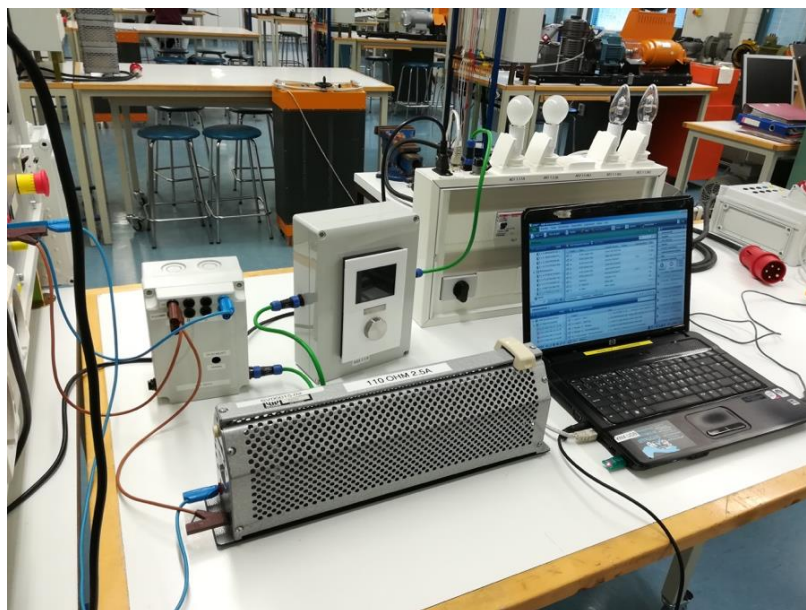
Järjestelmän luomiseen hyödynnettiin koululle aikaisemmin opetuskäyttöön rakennettua KNX demokeskusta (Kuva 37), joka sisälsi muun muassa työssä tarvittavan virtalähteen, KNX/IP-yhdysväylän ja erilaisia kytkintoimilaitteita. Lisäksi käytettiin niin ikään koteloitua Busch-priOn hallinta- ja visualisointikomponenttia (Kuva 38) indikoimaan viestit kytkennöistä.

Aluksi testauksessa käytettiin säätövastusta (Kuva 38) tehon vaihteluun. Kun vastusta säätö isommaksi, verkon teho laski ja vastusta pienentämällä teho nousi. Näin kuvattiin paneelien tuottaman tehon vaihtelua. Kytkintoimilaitteiden kuormalähtöjä oli kytketty keskuksen yläpuolella pistorasioihin. Pistorasioihin kytkettiin polttimoita (Kuva 38) indikoimaan kunkin kuorman päällekytkentymistä.



Kuva 37. KNX-demokeskus

Energiamittausmoduuli, Busch-priOn ja KNX-demokeskus liitettiin yhteen TP1-kaapelilla. Verkojännitekytkennät tehtiin banaaniliitinjohtimilla. Mittausmoduulin A-kanavan  $U_n$  liittimeen otettiin virta sähkölaboratorion tehojakelupöydästä ja kuormitukselle lähtevään vaiheeseen kytkettiin säätövastus. Mittarin neutraali kytkettiin myös jakelupöytään, koska ilman nollaa mittarin ominaisuudet eivät toimisi oikein.



Kuva 38. Järjestelmä testausvaiheessa. Tehon vaihtelemiseen käytettiin säätövastusta.

## 8.2 Ohjelmointi

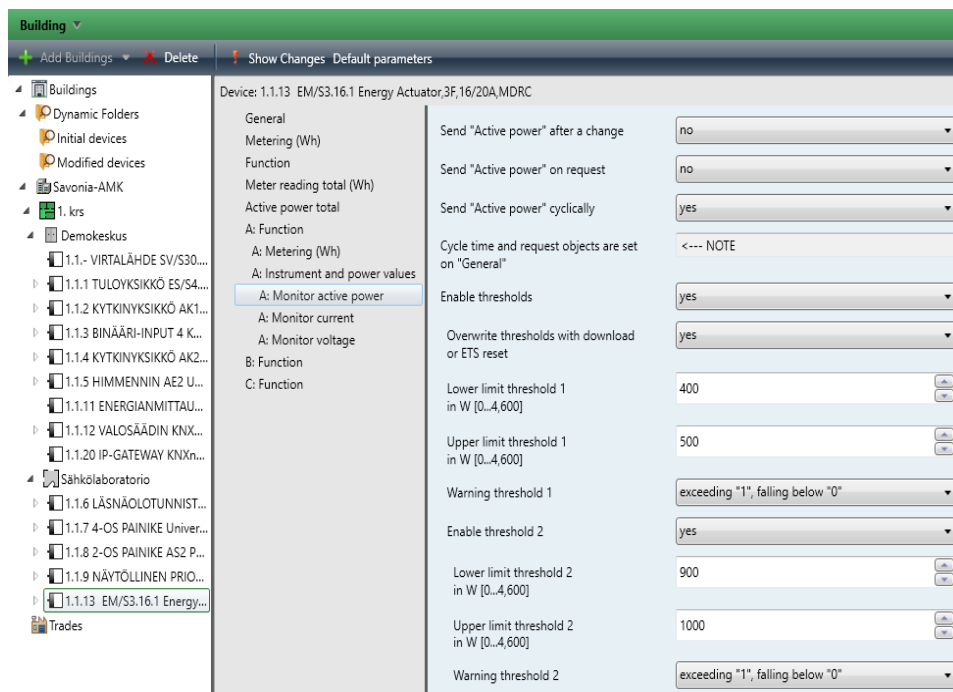
Ohjelmointi suoritettiin kannettavalla tietokoneella (Kuva 38), johon oli asennettu ETS 4 (ks. 3.6). Yhteys PC:n ja KNX-väylän välillä luotiin Ethernet verkko-kaapelilla ja KNX/IP-yhdyskäytävällä, joka sijaitsi demokeskuksessa. Ensiksi parametroitiin KNX komponenttien sisältämät tarvittavat objektit halutun laisiksi, jonka jälkeen objektit linkitettiin toiminnallisiksi ryhmäosoitteiksi.

## 8.2.1 Energiamittarin tehorajahälytysten parametointi

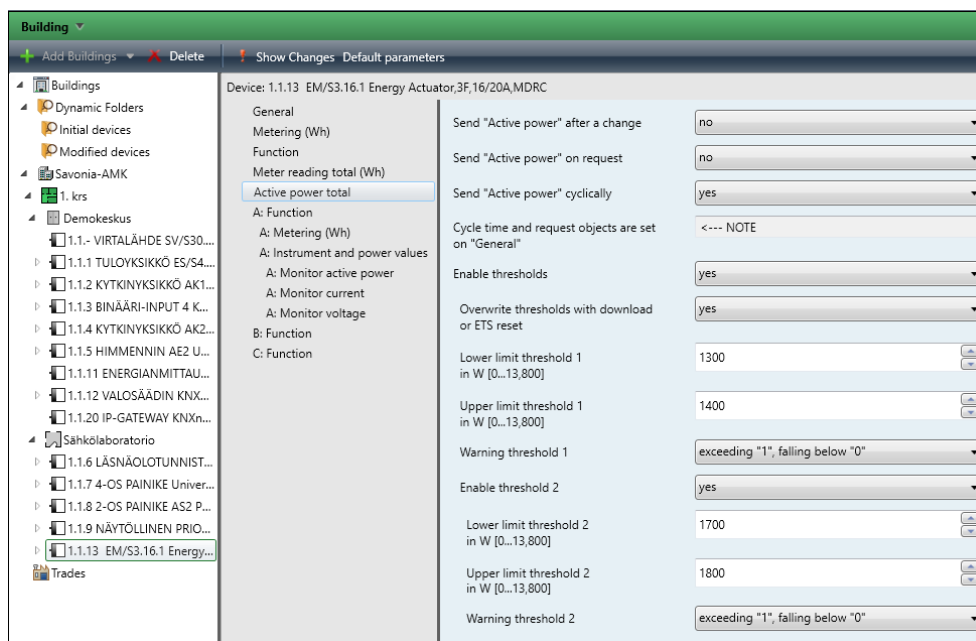
Energiamittarin objekteista parametroidiin *Monitor Active power* ja *Active power total*–mittaustoimintojen sisältämiä *Warning threshold*–objekteja (Kuva 39 ja Kuva 40). Mittarin sai lähettämään yhden bitin kokoisen viestin, jos jonkin kanavan mittaamaa tehoraja ylitti tai alitti asetetun raja-arvon. Objektista käytännön kannalta järkevämmän teki hystereesiasettelu, eli raja-arvona ei ollut vain yksi luku. Silloin tehon ollessa lähellä raja-arvoa, päälle/pois viestiä lähetettäisiin vuorotellen pienestäkin tehomuutoksesta. Hystereesiominaisuus mahdollisti järkevän välialueen asettelun, jolloin tehon pienet heilahtelut raja-arvon molemmille puolille eivät johtaisi hälytyksen lähetykseen.

*Monitor active power*- ja *Active power total*–toiminnot sisälsivät kumpikin kaksi *Warning threshold*–objektia, joten eri rajoihin perustuvia päälle/pois –viestejä voitiin lähettää järjestelmässä yhteensä neljälle releen kärjelle. Jos koulun vaihtosuuntaaja olisi ollut kolmivaiheinen, olisi saatu energiamittarin kaikki kanavat ja yhteensä kahdeksan raja-arvohälytysobjektia käyttöön.

Hystereesialueena päädyin käyttämään sataa wattia kullekin raja-arvohälytykselle. Mittari ohjelmoitiin lähettämään välilylle arvo 1, kun *Upper limit threshold* ylittyi (*exceeding*) ja arvo 0, kun *Lower limit threshold* alittui (*falling below*). Hälytysobjektin valmiit asetteluarvot näkyvät kuvissa 40 ja 41. Testa-essa sovellusta säätövastuksella, käytettiin pienempiä, 80-200 watin alueella olevia tehoroja.



Kuva 39. *Monitor active power*–toimintojen parametointi



Kuva 40. *Active power total* –toimintojen parametointi

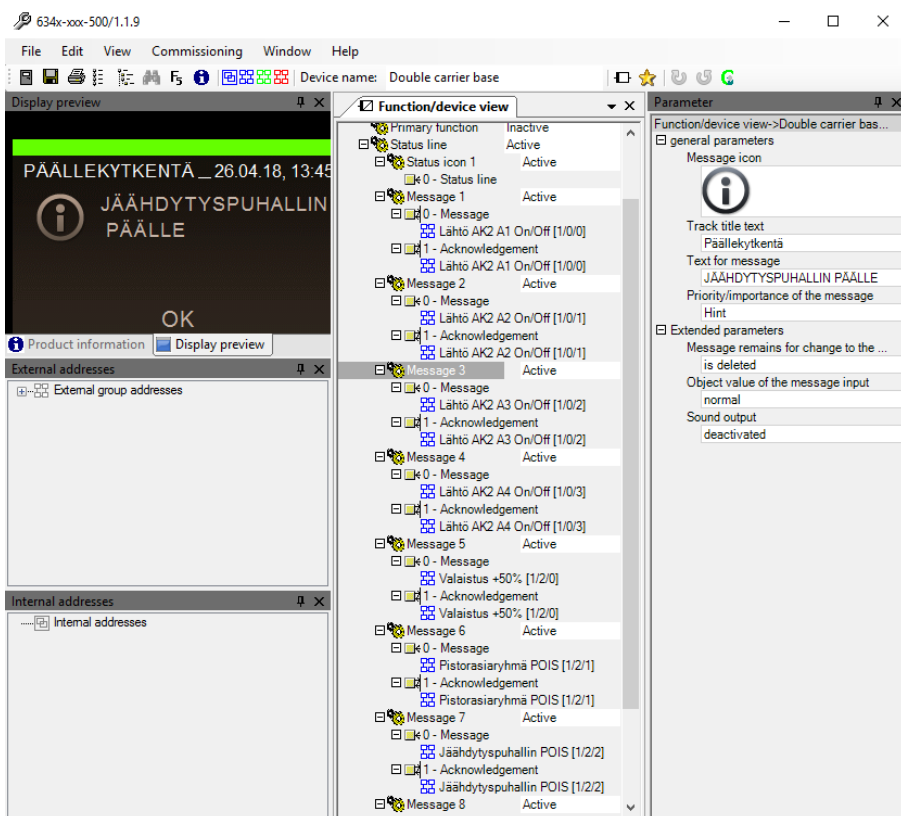
## 8.2.2 Busch-priOn näyttöviestien parametointi

Busch-priOn käyttöliittymään pystyi ohjelmoimaan näytölle kymmenen eri viestiä, jotka kytkeytyisivät päälle yhden bitin kokoisen sanoman oloarvolla. Tässä työssä tehtiin jokaisesta päälle- tai poiskeytyemisestä oma viesti, joten viestiobjekteja tarvittiin yhteensä kahdeksan. Viesti 1-4 olivat päällekytkentäviestejä ja 5-8 poiskeytkentäviestejä.

Keksin neljä kuormaa, joiden päälle/pois kytkeytyminen lukisi näytöllä. Vaikka alun perin tarkoitus olikin keksiä kuormia lisättäväksi, kun tehoa tuotetaan enemmän, valitsin ensimmäiseksi viestiksi VALAISTUS -50%, mikä tarkoitti valaistuskormian tiputtamista auringon paistaessa voimakkaammin. Kun tehoa ei paneeleilla tuotettu yli 400 wattia, näytölle ilmestyi VALAISTUS +50%. Tällä viestillä arvelin osoittaa, että ohjelma sopii yhtä hyvin myös kuorman tiputtamiseen ja sitä kautta kulutushuipujen hillitsemiseen.

Muut viestit olisivat niin päin, että sähkötehoa tuotettaessa laite menisi päälle ja muulloin pois. Kolmen muun kuvitteellisen kuorman viesteiksi valikoitui, PISTORASIARYHMÄ, JÄÄHDYTYSPUHALLIN ja VARAAJA. Jäähdytyspuhaltimen tapauksessa voisi oikeassa ohjauksessa käyttää myös jäähdytystehon nostamista ja laskemista, kokonaan päälle/pois kytkemisen sijaan.

Kuva 41 on esimerkki *Message 3* –viestin parametroidista. *Message remains for the change to the object* –parametri asetettiin *is deleted* –tilaan. Viestiä ei tarvitse itse fyysisesti kuitata näytöltä, vaan se häviää itsestään muutaman sekunnin kuluttua, kunhan myös tilatieto-objekti *Acknowledgement* on linkitetty samaan ryhmäosoitteeseen.

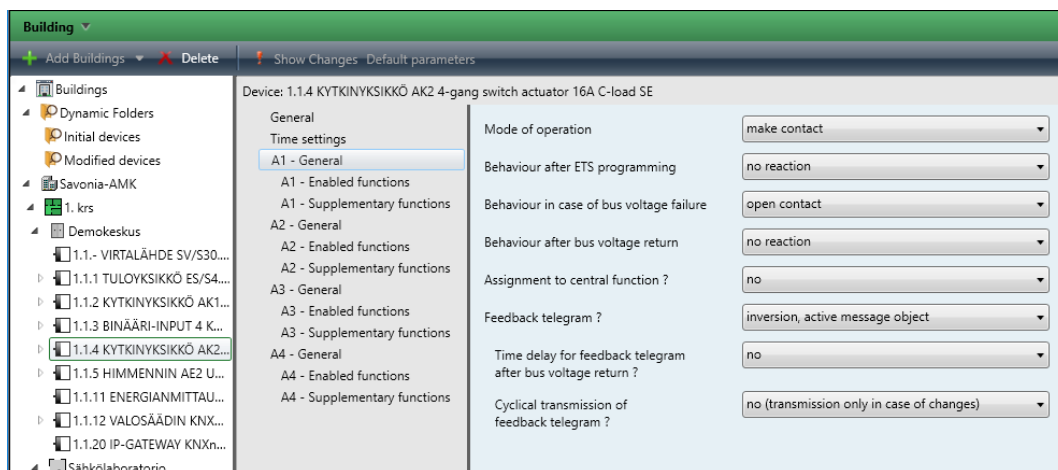


Kuva 41. Kytkeytymisviestien parametointi Busch-priOn näytölle

Poiskytkentäviestien täytyi kytkeytyä päälle päinvastaisella oloarvolla kuin päällekytkentäviestien, eli oloarvolla 0. Tämä toteutettiin KNX demokeskuksessa sijainneen kytkintoimilaitteen (Kuva 42) *Feedback telegram?*-objektin asettamisella *inversion, active message object*-tilaan (Kuva 43). Tämä objekti lähettääkin silloin oloarvoa 1, vaikka releen kärki on auki, ja arvoa 0 vaikka releen kärki on kiinni. Linkittämällä näin parametroidut objektit jokaiselta neljältä releeltä, yhdessä kunkin poiskytkentäviestien kanssa, saatiin viestit näytölle halutun kytkentätilan aikaan.



Kuva 42. Demokeskuksessa sijaitseva kytkintoimilaite, jonka yksilöllinen osoite on 1.1.4



Kuva 43. Kytkeyksikön *Feedback telegram?*–objektit parametroitiin normaalista päinvastaisiksi

### 8.2.3 Ryhmäosoitteet

Toiminnalliset ryhmäosoitteet luotiin ETS-ohjelmassa raahaamalla saman osoitteen alle kaikki halutun toiminnon mahdollistavat objektit kaikista toimintaan osallistuvista laitteista. Ryhmäosoitteet nimettiin mahdollisimman selkeästi kuvaamaan kyseistä toimintoa. Keskiryhmä 1/0 nimettiin Ohjaus tehorojoilla, ja sen alle tehtiin AK2 1.1.4 kytkeyksikön (Kuva 42) kanavia *On/Off* kytkevät ryhmäosoitteet. Kuva 44 on esimerkki tällaisesta ryhmäosoitteesta.

| Object                                    | Device  | Length | Group Address |
|---|---|--------|---------------|
| 0: Output A - Switch                      | 1.1.1 TULOYKSIKÖ ES/S4.1.1 4f-Electron. Switch actuator,0,7A,MDRC | 1 bit  | 1/0/0         |
| 10: Output 1 - Switching                  | 1.1.4 KYTKINYKSIKÖ AK2 4-gang switch actuator 16A C-load SE       | 1 bit  | 1/0/0         |
| 3: Message 1.0 - Message -                | 1.1.9 NÄYTÖLLINEN PRION Double carrier base                       | 1 bit  | 1/0/0         |
| 4: Message 1.1 - Acknowledgement -        | 1.1.9 NÄYTÖLLINEN PRION Double carrier base                       | 1 bit  | 1/0/0         |
| 85: A: Active power - Warning threshold 1 | 1.1.13 EM/S3.16.1 Energy Actuator,3F,16/20A,MDRC                  | 1 bit  | 1/0/0         |

Kuva 44. Pälle/poiskytkennän ja päällekytkentäviesti samassa ryhmäosoitteessa.

Osoitteisiin linkitettiin siis keskenään kytkeyksikön 1.1.4 releenjärjen kytkentäobjekti *Switching*, energiamoduulin 1.1.13 tehorojoin parametroitu hälytyssignaali *Active power-Warning threshold* ja näyttöllisen priOnin 1.1.9 viestiobjektit *Message* ja *Message-Acknowledgement*. Koska demokeskuksen ylälaidan pistorasioille (Kuva 37) oli kytketty vain yksi (yhden kytkeyksikön tapauksessa kaksi) kanava jokaista demokeskuksen kytkintoimilaitetta kohti, täytyi ryhmäosoitteisiin linkittää lisäksi myös sen kytkeyksikön kanavan *Switching*-objekti, jotta saatiin pistorasioihin kytketyt indikointipolttimet palaamaan. Siksi Kuva 44 ryhmäosoitteeseenkin on linkitetty tuloyksikön 1.1.1 *Output A-Switch*–objekti.

Poiskytkentäviesteille täytyi tehdä oma keskiryhmänsä 1/2 ryhmäosoitteita varten (Kuva 45), koska nämä viestit tulisivat näkyviin päinvastaisen kytkentätilanteen mukaan kuin päällekytkentäviestit. Ryhmäosoitteisiin linkitettiin viestien 5-8 *Message*- ja *Message-Acknowledgement*–objektit, sekä kytkeyksikön 1.1.4 releen järjen tilatieto-objekti *Switching feedback*, joka oli parametroitu normaalista

päinvastaiseksi (ks. 8.2.2). Monitorointien ryhmäosoitteille luotiin myös keksiryhmä 1/1, koska työn edetessä haluttiin välillä monitoroimalla tarkastella, minkälaisia instrumentti- ja tehoarvoja verkossa on.

| Object                              | Device  | Length | Group Address |
|-------------------------------------|---|--------|---------------|
| 15: Message 7.0 - Message -         | 1.1.9 NÄYTÖLLINEN PRION Double carrier base                 | 1 bit  | 1/2/2         |
| 16: Message 7.1 - Acknowledgement - | 1.1.9 NÄYTÖLLINEN PRION Double carrier base                 | 1 bit  | 1/2/2         |
| 70: Output 3 - Switching feedback   | 1.1.4 KYTKINYKSIKÖ AK2 4-gang switch actuator 16A C-load SE | 1 bit  | 1/2/2         |

Kuva 45. Esimerkki poiskytkentäviestin ryhmäosoitteesta

### 8.3 Valmis järjestelmä

Säätövastuksella toimivaksi testattu sovellusjärjestelmä liitettiin seuraavaksi toimimaan itse vaihtosuuntaajan kanssa (Kuva 46). Nyt mitattiin siis suoramittauksena paneeleilta invertterin kautta tulevan vaiheen syöttämää tehoa sähkölaboratorion jakokeskuksen vaiheeseen L1. KNX demokeskuksen jännitesyötön ja kytkettävien kuormien kuvitellaan siis olevan kytkettynä jakokeskuksella tähän kyseiseen vaiheeseen. Lamput demokeskuksen päällä indikoivat kuormien kytketymistä.





Kuva 46. Sovellus toiminnassa vaihtosuuntaajan kanssa.

Säätövastustestauksen jäljiltä olleet *Warning threshold* -objektien tehorajat muutettiin Kuva 39 ja Kuva 40 mukaisiksi ja sovellus ladattiin uudestaan väylälle. Sitten todettiin sovelluksen toiminta suunnitellun kaltaiseksi. Mitä enemmän aurinko paistoi, ja paneelien syöttämä teho kasvoi, sitä enemmän myös vaihtosuuntaajaan kytketty mittari mittasi tehoa ja lähetti mittaustietoa KNX-väylään.

Siispä kun aurinko paistoi, kuormaa indikoivia lamppuja syttyi vuoron perään ja päällekytkentäviestit tulivat näytölle oikeaan aikaan. Paikoin päästiin jopa maksimiin, 2000 watin tuotantoon jolloin kaikki neljä lamppua paloivat (Kuva 47). Kun aurinko meni pilveen, tehon tuotto laski ja lamppuja sammui tehorojojen alituttua, sekä poiskytkentäviestit tulivat näytölle oikeaan aikaan (Kuva 48). Mitään viestistä ei tarvinnut itse kuitata näytöltä painamalla, vaan ne hävisivät muutaman sekunnin päästä ilmentymisestään.

Kaikki sovelluksen ohjelmoinnista tulostetut ETS-projektin dokumentit säilyvät tekijällä ja tilaajalla, eikä niitä julkaista tässä työssä liitteinä.



Kuva 47. Tehon tuotto ylittänyt 1800 W, neljäs indikoitilamppu juuri syttynyt ja viesti varaajan päällekytkennästä ilmestynyt näytölle



Kuva 48. Kolmas indikoitilamppu juuri sammunut ja viesti jäähdytyspuhaltimen poiskytkennästä ilmestynyt näytölle.

## 9 YHTEENVETO

Tilaaajaa ja minua kiinnosti kyseinen aihe sen ajankohtaisuuden vuoksi. Muualla Suomessa ei kyselyjeni mukaan ollut toteutettu KNX:n ja vaihtosuuntaajan yhteistoimintaa ennen, eikä päättötöissä ollut käsitelty kyseisiä järjestelmiä yhdessä. Pääpaino oli löytää ensiksi jokin rajapinta vaihtosuuntaajan ja KNX-järjestelmän välillä ja saada mittausdataa lähetetyksi väylään. Työstä kuitenkin laajeni oman tiedonhaluni takia laaja selvitystyö itse järjestelmien ja energiatehokkuuden suhteen, mikä olikin hyvä, ettei työstä tullut liian suppea.

Työ lähti aluksi liikkeelle produktioon tähdäten ja olinkin huolissani järjestelmien yhdistämisen onnistumisen suhteen, kun kuulin ettei edes KNX Finland ry:ssä tiedetty olevan sovellusta KNX:llä toteutusta aurinkoenergian ohjauksesta, vaikkakin kiinnostusta aiheeseen oli. Aloitinkin ensiksi selvitys ja kirjoitustyön perehtymällä KNX- ja valosähkötekniikkaan, sekä energiatehokkuuteen. Aihealue oli erittäin laaja mutta sain rajattua sen kuitenkin järkeväksi. Kävin monesti työn läpi aikoen lyhentää sitä, mutta koin kaiken jäljelle jääneen tärkeäksi haluten tuoda asioita esille. Olen tyytyväinen perehtymiseeni aiheiden suhteen ja sen osoittamiseen kirjallisesti, jotka ovatkin opinnäytetyössä tärkeimpiä ominaisuuksia.

Varsinkin valosähköisten järjestelmien suhteen löysin positiivista tietoa niiden soveltuvuudesta Suomen oloihin, sekä järjestelmien ja niillä tuotetun sähkön hinnasta. Kyseisiä seikkoja pidetään valosähkössä huonoina ominaisuuksia, ehkäpä kuitenkin vääriin olettamuksiin perustuvien tietojen nojalla. Oma-aloitteeseen suunnitteluun antamani ohjeet voivat myös madaltaa pykälää järjestelmän hankkimiseen. Energiatehokkuuden ja kiinteistöautomaation yhteydestä tulevaisuuden rakentamisessa löysin myös hyviä konkreettisia näkökantoja.

Alun huolehtiminen produktion onnistumisen suhteen oli turha. Yllätyin, kuinka yksinkertaisesti ja nopeasti sain sovelluksen toteutettua. Yksinkertainen on aina kaupallisesti, sekä käyttäjän kannalta paras. Sovelluksen käyttömahdollisuudet myös soveltuvat hyvin osaksi työssä käsittelemiäni asioita kuormanohjauksesta, mikrotuotannon käytöstä ja älykkäästä sähköverkosta. Todenmukaisempaa olisi kuitenkin ollut, jos ohjailtavina olisi ollut oikeasti isoja kuormia lamppujen sijaan. Silloin olisi nähnyt verkon tehon vaihtelut päällekytkennässä ja olisiko hystereesialuetta pitänyt muuttaa. Työssä käytettyjen kytkintoimilaitteiden kanavat olivat kestoisuudeltaan 10 ampeeria. Suurien kuormien kytkennässä olisi myös saattanut joutua käyttämään virtakestoisempia yksiköitä, tai apureleitä.

Osaltaan tämä oli vain pintaraapaisu näiden järjestelmien yhteistoimintaan, mutta kuitenkin aloite hyvää suuntaan. Uskon, että kiinteistöautomaatio- ja valosähköisten järjestelmien yhteistoiminta tulee jatkossa enemmän ihmisten tietoisuuteen saaden tulevaisuudessa paljon kehitysideoita parempaan suuntaan.

## LIITE 1: LÄHDELUETTELO

ABB. (2018). *Energiamittaus*. Haettu 4. 3 2018 osoitteesta ABB:

[http://www.asennustuotteet.fi/catalog/20175/Energiamittaus\\_FIN1.html](http://www.asennustuotteet.fi/catalog/20175/Energiamittaus_FIN1.html)

ABB Oy. (2018). *Energiamittareiden väyläliityntäyksikkö*. Haettu 4. 3 2018 osoitteesta ABB:

[http://www.asennustuotteet.fi/catalog/20178/Energiamittareiden%20v%C3%A4yl%C3%A4liitynt%C3%A4yksikk%C3%B6\\_FIN1.html](http://www.asennustuotteet.fi/catalog/20178/Energiamittareiden%20v%C3%A4yl%C3%A4liitynt%C3%A4yksikk%C3%B6_FIN1.html)

ABB Oy. (2018). *Energiamittarit ja virtamuuntajat*. Haettu 4. 3 2018 osoitteesta ABB:

[http://www.asennustuotteet.fi/catalog/21890/Energiamittarit%20ja%20virtamuuntajat\\_FIN1.html](http://www.asennustuotteet.fi/catalog/21890/Energiamittarit%20ja%20virtamuuntajat_FIN1.html)

ABB Oy. (2018). *Kytkeyksiköt 16/20 A, virranmittauksella*. Haettu 22. 2 2018 osoitteesta ABB:

[http://www.asennustuotteet.fi/catalog/16771/Kytkeyksik%C3%B6t%2016%2F20%20A%2C%20virranmittauksella\\_FIN1.html](http://www.asennustuotteet.fi/catalog/16771/Kytkeyksik%C3%B6t%2016%2F20%20A%2C%20virranmittauksella_FIN1.html)

ABB Oy. (2018). *Lähtöyksiköt*. Haettu 22. 2 2018 osoitteesta ABB:

[http://www.asennustuotteet.fi/catalog/15937/L%C3%A4ht%C3%B6yksik%C3%B6t\\_FIN1.html](http://www.asennustuotteet.fi/catalog/15937/L%C3%A4ht%C3%B6yksik%C3%B6t_FIN1.html)

Aurinkoteknillinen Yhdistys Ry. (3 2015). *Aurinko Opas - 06 Aurinkosähkö j aurinkokennot*. Noudettu osoitteesta

Aurinkoteknillinen Yhdistys Ry: [http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/?page\\_id=173](http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/?page_id=173)

Auvinen, K. (14. 9 2015). *Kannattavuus*. Haettu 25. 2 2018 osoitteesta Finsolar:

<http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/kannattavuus/>

Auvinen, K.;& Jalas, M. (24. 3 2017). *Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus*. Noudettu osoitteesta

FinSolar: <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>

Domomat. (s.a.). *Cable KNX BUS EIB 2x2x0,8mm - 100 mètres*. Haettu 18. 2 2018 osoitteesta Domomat:

<https://www.domomat.com/20961-cable-knx-bus-eib-2x2x08mm-100-metres-hager-tg018.html>

Energiateollisuus ry. (2018). *Kysyntäjousto*. Haettu 15. 2 2018 osoitteesta Energiateollisuus:

[https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiamarkkinat/sahkomarkkinat/kysyntajousto](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiamarkkinat/sahkomarkkinat/kysyntajousto)

Energiateollisuus ry. (s.a.). *Mikrotuotannon liittäminen sähköjaketuverkkoon*. Helsinki: Energiateollisuus ry.

Noudettu osoitteesta

[https://www.oulunenergia.fi/sites/default/files/attachments/et\\_verkostosuositus\\_mikrotuotannon\\_liittaminen\\_sahkonjakeluverkkoon.pdf](https://www.oulunenergia.fi/sites/default/files/attachments/et_verkostosuositus_mikrotuotannon_liittaminen_sahkonjakeluverkkoon.pdf)

Energiateollisuus. (s. a.). *Aurinkovoima*. Haettu 13. 2 2018 osoitteesta Energiateollisuus:

[https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/aurinkovoima](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/aurinkovoima)

Energiavirasto. (2018). *Energiatehokkuus*. Haettu 25. 2 2018 osoitteesta Energiavirasto:

<https://www.energiavirasto.fi/energiatehokkuus>

European Commission. (2016). *COM(2016) 860 final | Clean Energy For All Europeans*. Brysseli: Euroopan parlamentti.

European Commission, Joint Research Centre. (2018). *PV potential estimation utility*. Haettu 2. 3 2018 osoitteesta

JRC: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

European Committee for Standardization. (2017). *Energy Performance of Buildings - Energy performance of buildings - Part 1: Impact of Building Automation, Controls and Building Management - Modules M10-4,5,6,7,8,9,10*. Brysseli: Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry.

Fraunhofer ICT. (2017). *Operating principle of a solar cell*. Karlsruhe: Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft.

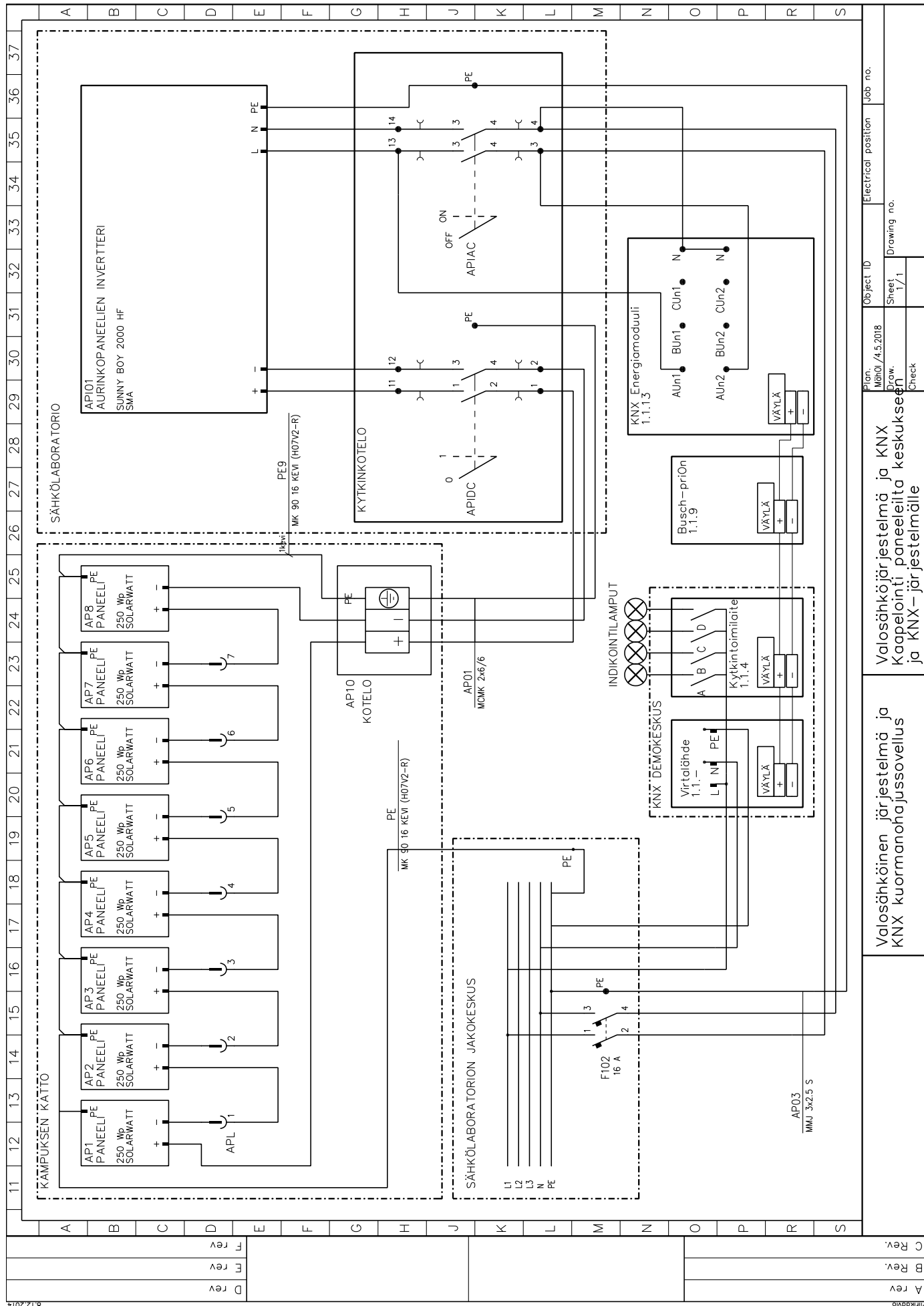
Fraunhofer ICT. (2017). *Solar energy*. Karlsruhe: Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft.

- Greensolar Oy. (2017). *Aurinkosähkö*. Haettu 21. 2 2018 osoitteesta Greensolar Oy:  
[https://www.greensolar.fi/aurinkosahko?gclid=Cj0KCQiAzrTUBRCnARIsAL0mqcxDol2kDHwDGdPHIhYMKKgY98ibWLnCEKtTmJN1sP6Sy2Z8XBHZ\\_E4aAilzEALw\\_wcB](https://www.greensolar.fi/aurinkosahko?gclid=Cj0KCQiAzrTUBRCnARIsAL0mqcxDol2kDHwDGdPHIhYMKKgY98ibWLnCEKtTmJN1sP6Sy2Z8XBHZ_E4aAilzEALw_wcB)
- Härkönen, K. (2015). *KNX-järjestelmän perusteet*. Espoo: Sähkötieto ry.
- JUNG GMBH. (2018). *Energy detector, 3-gang, for rail mounting*. Haettu 22. 2 2018 osoitteesta JUNG:  
<https://www.jung.de/en/online-catalogue/350289141/>
- JUNG GMBH. (2018). *Smart panel 5.1*. Haettu 26. 2 2018 osoitteesta JUNG: <https://www.jung.de/en/online-catalogue/115254088/>
- Kettunen, P. (2016). *Opistorakennusten energiatehokkuuden parantaminen*. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- KNX Association. (2010). *KNX for Metering, displaying and energy management*. Diegem: KNX Association.
- KNX Association. (2018). *About iETS Server*. Haettu 17. 3 2018 osoitteesta KNX Association:  
<https://www.knx.org/knx-en/software/iets-server/about/index.php>
- KNX Association. (2018). *KNX Manufacturers list*. Haettu 19. 1 2018 osoitteesta KNX Association:  
<https://www.knx.org/knx-en/manufacturers/list/index.php>
- KNX Association. (s.a). *Smart Metering with KNX*. Diegem: KNX Association.
- KNX Finland Ry. (s.a.). *KNX suunnittelijalle*. Haettu 15. 2 2018 osoitteesta KNX:  
<http://www.knx.fi/index.php?k=220453>
- Kvick, P. (2010). *Verkkoon kytketty aurinkopaneelijärjestelmä*. Varkaus: Savonia-ammattikorkeakoulu.
- Lappeenranta University of Technology. (s. a.). *Älykäs sähköverkko - Smart Grid*. Haettu 12. 02 2018 osoitteesta LUT Lappeenranta University of Tecnology: <https://www.lut.fi/green-campus/vihrea-energia-ja-teknologia/alykas-sahkoverkko-smart-grid>
- Lukkari, J. (15. 8 2017). *Kiinalaisjättivoimala 1550 MW ja 43 km<sup>2</sup> - Suomen suurin aurinkovoimala alle tuhannesosa*. Haettu 24. 2 2018 osoitteesta Tekniikka&Talous:  
<https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/kiinalaisjattivoimala-1550-mw-ja-43-km2-suomen-suurin-aurinkovoimala-alle-tuhannesosa-6669106>
- Merilux Oy. (30. 9 2014). *Gira KNX Energiamittari*. Haettu 15. 2 2018 osoitteesta Merilux:  
<http://www.merilux.fi/uutiset.html?24>
- MonoSun Technology Co., Ltd. (10 2017). *PV Solar*. Noudettu osoitteesta MonoSun Technology Co., Ltd | Advanced Solar Phuket Thailand: <http://taspower.com/>
- Motiva. (5. 1 2018). *Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus*. Haettu 26. 2 2018 osoitteesta Motiva:  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus)
- Mäkelä, M.;Soininen, L.;Tuomola, S.;& Öistämö , J. (2000). *Tekniikan Kaavasto*. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.
- Parthoens, C. (29. 1 2018). *Alue*. Haettu 17. 2 2018 osoitteesta KNX Association:  
<https://support.knx.org/hc/fi/articles/115003185629-Alue>
- Parthoens, C. (29. 1 2018). *Linja*. Haettu 17. 2 2018 osoitteesta KNX Association:  
<https://support.knx.org/hc/fi/articles/115003185589-Linja>
- Parthoens, C. (29. 1 2018). *Segmentti*. Haettu 16. 2 2018 osoitteesta KNX Association:  
<https://support.knx.org/hc/fi/articles/115003186265-Segmentti>

- Parthoens, C. (29. 1 2018). *Verkko*. Haettu 17. 2 2018 osoitteesta KNX Association:  
<https://support.knx.org/hc/fi/articles/115003185709-Verkko>
- Parthoens, C. (13. 2 2018). *Viestintäväline*. Haettu 19. 2 2018 osoitteesta KNX Association:  
<https://support.knx.org/hc/fi/articles/115003186125-Viestint%C3%A4v%C3%A4line>
- Piikkilä, V. (2011). *KNX luentomateriaali*. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu.
- Quaschnig, V. (1 2014). *Technology Fundamentals*. Haettu 2 2018 osoitteesta Volker Quaschnig: Erneurbare Energien und Klimaschutz: [https://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals3/index\\_e.php](https://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals3/index_e.php)
- Sahlstén, T. (2012). *RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUSVAATIMUSTEN HUOMIOONOTTAMINEN SÄHKÖ- JA TIETOTEKNISTEN JÄRJESTELMIEN SUUNNITTELUSSA*. Espoo: Sähkötieto ry.
- Salonen, O. (2014). *Kiinteistöautomaatio osana älykkäitä sähköjärjestelmiä*. Lappeenranta: Lappeenranta University of Technology.
- Schneider Electric. (2018). *A9MEM3150 IEM3150 Energiamittari 63A suoramittaus lk1 Modbu*. Haettu 4. 3 2018 osoitteesta Schneider Electric: <https://www.schneider-electric.fi/fi/product/A9MEM3150/iem3150-energiamittari-63a-suoramittaus-lk1-modbus>
- Schneider Electric. (2018). *KNX Toimilaitteet*. Haettu 22. 2 2018 osoitteesta Schneider Electric:  
<https://www.schneider-electric.fi/fi/product-range/1424-knx/166319009-knx-toimilaitteet?Nrpp=10&No=10>
- Schneider Electric. (2018). *LSS100200*. Haettu 27. 2 2018 osoitteesta Schneider Electric: <https://www.schneider-electric.com/en/product/LSS100200/spacelynk-logic-controller/?range=62958-spacelynk&node=2640385230-products>
- Schneider Electric. (2018). *MTN6260-0307 Kosketusnäyttö U.motion Client Touch 7*. Haettu 4. 3 2018 osoitteesta Schneider Electric: <https://www.schneider-electric.fi/fi/product/MTN6260-0307/kosketus%C3%A4ytt%C3%B6-u.motion-client-touch-7/?range=61124-u-motion-kosketus%C3%A4yt%C3%B6t&node=827505910-client&parent-subcategory-id=88006&parent-category-id=2200&filter=business-5-residential-and-small-business>
- Schneider Electric. (2018). *MTN6503-0201 KNX/Modbus mittarointirajapinta*. Haettu 3. 3 2018 osoitteesta Schneider Electric: <https://www.schneider-electric.fi/fi/product/MTN6503-0201/knx-modbus-mittarointirajapinta-din/?range=1424-knx&node=166319040-knx-j%C3%A4rjestelm%C3%A4komponentit>
- Schneider Electric. (2018). *MTN6600-0603 KNX Energiamittari 3X230V/16A*. Haettu 3. 3 2018 osoitteesta Schneider Electric: <https://www.schneider-electric.fi/fi/product/MTN6600-0603/knx-energiamittari-3x230v-16a/?range=1424-knx&node=166319040-knx-j%C3%A4rjestelm%C3%A4komponentit>
- Schneider Electric. (2018). *What do the terms AC1 and AC3 mean?* Haettu 22. 2 2018 osoitteesta Schneider Electric: <https://www.schneider-electric.us/en/faqs/FA120833/>
- Schultz, P. G. (2016). *Script Energy*. Karlsruhe: University of Applied Sciences.
- SESKO ry. (2015). *Aurinkosähköjärjestelmät*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- Sisäilmautiset. (27. 2 2017). *Komissiolta taas ehdotus rakennusten energiadirektiivin muuttamiseksi*. Haettu 9. 4 2018 osoitteesta Sisäilmautiset: <https://www.sisailmautiset.fi/maaraykset/komissiolta-taas-ehdotus-rakennusten-energiadirektiivin-muuttamiseksi/>
- SMA America. (2018). *Sunny Boy 2000HF-3000HF Accessories - RS-485 Quick Module.pdf*. Haettu 3. 3 2018 osoitteesta Affordable-Solar: <http://store.affordable-solar.com/site/doc/Sunny%20Boy%202000HF-3000HF%20Accessories%20-%20RS-485%20Quick%20Module.pdf>
- SMA Solar Technology Ag. (2012). *PV Inverters SUNNY BOY 2000HF/2500HF/3000HF User Manual*. Niestetal: SMA Solar Technology Ag.

- SOLARWATT GmbH. (2015). *solarwatt-blue-60p-255-zonnepaneel-brochure*. Haettu 28. 2 2018 osoitteesta Solarwatt: <https://www.zonnepanelen.net/nl/pdf/panels/solarwatt-blue-60p-255-zonnepaneel-brochure.pdf>
- Stoerring, D.;& Horl, S. (1. 11 2017). *Energiatohokkuus / Faktatieto Euroopan unionista / Euroopan parlamentti*. Haettu 5. 2 2018 osoitteesta Euroopan parlamentti: [http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/fi/displayFtu.html?ftuId=FTU\\_2.4.8.html](http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/fi/displayFtu.html?ftuId=FTU_2.4.8.html)
- Sun Energia Oy. (26. 2 2018). *Aurinkoenergiälaskuri*. Haettu 26. 2 2018 osoitteesta Sun Energia: <https://app.sunenergia.com/>
- Tahkokorpi, M.;Erat, B.;Hänninen, P.;Nyman, C.;Rasinkoski, A.;& Wiljander, M. (2016). *Aurinkoenergia Suomessa*. Helsinki: Into Kustannus.
- The Finnish Association of HVAC Societies FINVAC ry. (2018). *3.1 EPBD / FINVAC*. Haettu 9. 4 2018 osoitteesta FINVAC: <https://www.finvac.org/eutietoa/3.1-epbd>
- The Renewable Energy Hub. (8 2014). *Different Types of Solar Panels*. Noudettu osoitteesta The Renewable Energy Hub: <https://www.renewableenergyhub.co.uk/solar-panels/different-types-of-solar-panels.html>

LIITE 2: KUORMANOHJAUSOVELLUKSEN JOHDOTUSKAAVIO



8.12.2014

Piirrokki

|        |  |
|--------|--|
| D Rev. |  |
| E Rev. |  |
| F Rev. |  |

|        |  |
|--------|--|
| A Rev. |  |
| B Rev. |  |
| C Rev. |  |

|   |         |
|---|---------|
| Valosähköinen järjestelmä ja KNX kuormanohjausovellus | Job no. |
|---|---------|

|  |           |
|--|-----------|
| Valosähköjärjestelmä ja KNX Kaapelointi paneeleilta keskkuseen ja KNX-järjestelmälle | Object ID |
|--|-----------|

|                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| Plan: Mihin/4.5.2018 | Electrical position |
| Draw: _____          | Sheet               |
| Check _____          | 1/1                 |
|                      | Drawing no.         |