



Jani Nieminen

Pörssisähkön hintatiedon hyödyntäminen vanhoissa kiinteistöautomaatiojärjestelmissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

24.5.2024

Tiivistelmä

| | |
|-----------------------|---|
| Tekijä: | Jani Nieminen |
| Otsikko: | Pörssisähkön hintatiedon hyödyntäminen vanhoissa kiinteistöautomaatiojärjestelmissä |
| Sivumäärä: | 29 sivua |
| Aika: | 24.5.2024 |
| Tutkinto: | Insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma: | Talotekniikka |
| Ammatillinen pääaine: | LVI-suunnittelu |
| Ohjaaja: | Lehtori Jarno Nurmio |

Opinnäytetyössä suunniteltiin tiedonsiirtoinfrastruktuuri pörssisähkön hintatiedon siirtämiseksi vanhoihin automaatiojärjestelmiin. Tavoitteena oli kehittää tietoturvallinen laitteisto sekä rajapinta seuraavan vuorokauden sähkön spot-hinnan siirtämiseksi kiinteistöautomaatiojärjestelmiin, joissa ei ole suoraa API-rajapintamahdollisuutta sähkön hintatiedon lukemiseen.

Työ toteutettiin toimeksiantona talotekniikka-alan asiantuntijayritykselle. Työssä tutkittiin sähkön spot-hintatiedon saatavuutta sekä sähköpörssin toimintaperiaatetta. Opinnäytetyössä selvitettiin, miten API-rajapinnan kautta saatava spot-sähköhinta saadaan muutettua tietoturvalisesta ja helposti hallinnoitavassa muodossa serveriltä laitteistolle Modbus RTU -muodossa, jota vanhempikin automaatiojärjestelmä pystyy ottamaan vastaan.

Työssä suunniteltiin tarvittava tiedonsiirtoinfrastruktuuri, joka on mahdollista toteuttaa nykyisin jo markkinoilla olevilla laitteilla. Lisäksi työssä käytiin läpi muutamia esimerkkejä pörssisähkön spot-hinnan hyödyntämisestä energiansäästössä ja sähköverkon kysyntäjoustoos osallistumisessa.

Työstä saatavia tuloksia voidaan hyödyntää kiinteistöissä, joissa rakennusautomaatiojärjestelmä ei tue suoraan pörssisähkön hinnan siirtoa tai niiden tietoturva on liian heikkoa suoraa internetyhteyttä varten. Tulokset mahdollistavat matalilla investoinneilla tehtävän toteutuksen, jolla voidaan antaa lisäarvoa nykyiseen automaatiojärjestelmään, jonka elinkaari ei ole vielä päättynyt.

Avainsanat: Pörssisähkö, kysyntäjousto, API-rajapinta

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Jani Nieminen
Title: Utilizing Exchange Electricity Price Information in Old Building Automation Systems
Number of Pages: 29 pages
Date: 24 May 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Design
Supervisor: Jarno Nurmio, Lecturer

The thesis aimed to design secure hardware to transfer electricity spot prices to old building automation systems without a direct API interface for reading electricity price information.

The thesis studied the operating principles of the electricity market and the service providers of the electricity spot price API interface, focusing on how to securely and easily to convert the electricity spot price from the API interface into a manageable format to the hardware. The data transmission was implemented in Modbus RTU format, which even older automation systems can receive. The designed data transmission infrastructure could be implemented with currently available devices. Additionally, examples of saving energy by using the electricity spot price and participating in electricity demand response were presented.

With the implementation designed, the old system was isolated from the internet yet could still utilize electricity price information and participate in flexible electricity markets by responding to price fluctuation. Simultaneously, the automation system could make economic savings based on the electricity spot price information.

The data transmission infrastructure designed allows a low-cost implementation that adds value to the current automation system, whose lifecycle has not yet ended. The commissioning company will utilize the designed hardware for optimizing their customers' electricity consumption.

Keywords: exchange electricity, demand response, API interface

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Pörssisähkö | 2 |
| 2.1 | Sähköpörssi | 2 |
| 2.2 | Fingrid Oyj | 3 |
| 2.3 | Nord Pool | 7 |
| 2.4 | Euroopan verkko-operaattorien yhteistyöjärjestö ENTSO-E | 7 |
| 3 | Tiedonsiirtotopografia | 9 |
| 3.1 | Tosibox | 10 |
| 3.1.1 | Tosibox HUB | 11 |
| 3.2 | API-rajapinta ja HTTP-protokolla | 12 |
| 3.3 | API-rajapinta Nord Pool | 14 |
| 3.4 | API-rajapinta ENTSO-E | 15 |
| 3.5 | Tiedonsiirtolaite | 16 |
| 3.5.2 | Teollisuus-PC | 16 |
| 3.5.3 | RS-485-adapteri | 18 |
| 3.6 | Modbus | 19 |
| 3.6.1 | Modbus RTU | 21 |
| 3.6.2 | Modbus TCP/IP | 21 |
| 4 | Spot-hinnan hyödyntäminen kiinteistössä | 21 |
| 4.1 | IV-koneiden tehostus | 23 |
| 4.2 | Energiavaraajat | 24 |
| 4.3 | Sähkölämmityksen ja kaukolämmön rinnakkaiskäyttö | 24 |
| 5 | Yhteenveto | 26 |
| | Lähteet | 27 |

Lyhenteet ja käsitteet

- API: *Application Program Interface*. Ohjelmointirajapinta.
- DDC: *Direct Digital Control*. Ohjelmoitava digitaalinen säätöjärjestelmä.
- HTTP: *Hypertext Transfer Protocol*. Hypertekstin siirtoprotokolla.
- Modbus: Avoin tiedonsiirron sarjaprotokolla.
- Rajapinta: Raja, jonka kautta eri tietokonejärjestelmän komponentit siirtävät tietoa.
- REST: *Representational State Transfe*. Ohjelmistoarkkitehtuuri.
- RESTful: Ohjelmointirajapinta, joka noudattaa REST-arkkitehtuurin periaatteita.
- RS-232: Sarjaliikenneväylän standardi, jota käytetään yleisesti pisteestä pisteeseen -yhteyksissä tietokoneiden ja muiden laitteiden välillä.
- RS-485: Sarjaliikenneväylän standardi, joka mahdollistaa monipiste-sarjayhteyden.
- RTU: *Remote Terminal Unit*. Sarjamuotoinen Modbus-tiedonsiirtoprotokolla.
- Spot-hinta: Välitön markkinahinta hyödykkeelle.
- TCP/IP: *Transmission Control Protocol / Internet Protocol*. Kokoelma tiedonsiirtoprotokollia.
- Tosibox: Suomalainen VPN-järjestelmiä tarjoava yritys.

URI: *Uniform Resource Identifier*. Internetissä olevan resurssin yksilöivä tunnus.

VPN: *Virtual Private Network*. Salattu yhteys kahden tai useamman laitteen välillä internetin tai muun verkon sisällä.

1 Johdanto

Suomessa osa kiinteistökannasta on varustettu kiinteistöautomaatiikkajärjestelmillä, joita ei voida suoraan liittää pilvipalveluihin tai pilvivalvomoihin. Tällaisella kiinteistöautomaatiikalla voi olla käyttöikää jäljellä vielä useita vuosia, eikä automatiikan saneeraus olisi järkevää lisäominaisuuksien takia. Saneeraus on kallista, eikä siihen ole usein järkevää ryhtyä ennen kuin automaatiojärjestelmän käyttöikä on tullut tiensä päähän. Kiinteistöjen omistajilla on usein kuitenkin tahoita osallistua sähköverkon kysyntäjoukseen joko taloudellisista tai ympäristösyistä.

Opinnäytetyön aiheena on suunnitella ja kehittää laitteisto, joka mahdollistaa kiinteistöille pörssisähkösopimuksen säästöpotentiaalin ja kysyntäjoukseen osallistumisen ilman kiinteistön automaatiojärjestelmän saneeraamista. Lisäksi laitteisto mahdollistaa pörssisähköhintatiedon siirtämisen kaikkiin nykyisiin DDC-pohjaisiin automaatiojärjestelmiin. Työn tavoitteena on suunnitella mahdollisimman tietoturvallisesti ja luotettavasti toimiva tiedonsiirtotopografia pörssisähkön hintatiedon siirtämiseksi vanhoihin kiinteistöautomaatiojärjestelmiin.

Pörssisähkön hintatiedon perusteella kiinteistöautomaatiikalla voidaan ohjata sähkönkulutukseen vaikuttavia laitteistoja, kuten ilmanvaihtoa ja käyttöveden lämmitystä. Tällöin kiinteistö osallistuu kysyntäjoukseen eli käyttää vähemmän sähköä suurten kulutuspiikkien aikana ja enemmän sähköä harvemman kulutuksen aikana. Jos kiinteistön sähkösopimus on lisäksi pörssisähköperusteinen, saadaan suoraa taloudellista hyötyä, sillä harvemman kulutuksen aikana sähkö on pörssissä halvempaa.

Opinnäytetyön tilaajana toimii talotekniikka-alan asiantuntijayritys, jonka kiinteistönhallintaan erikoistuneet asiakkaat voivat hyötyä suunnitellusta laitteistosta. Laitteiston osat valikoidaan siten, että ne parhaiten palvelevat sekä toimeksiantajan toimintaa että suunniteltua laitteistoa.

2 Pörssisähkö

Pörssisähkö on sähkösojimus, jossa ostetaan tuntipohjaisesti hinnoiteltua sähköä sähkömyyntiyhtiöltä. Sähkömyyntiyhtiö myy itsetuottamaansa sähköä tai välittää tukkusähkömarkkinoilta ostamaansa sähköä asiakkaalleen. Tuntipohjainen hinta perustuu Nord Pool-sähköpörssin spot-hintaan ja sähkömyyntiyhtiön marginaaliin. (1.)

2.1 Sähköpörssi

Suomessa tukkumarkkinapaikana toimii Nord Pool, jossa vuorokausimarkkinoilla sähkön myyjät ja ostajat käyvät huutokauppaa, jonka perustella muodostetaan seuraavan vuorokauden tuntikohtainen sähköhinta. Vuorokausimarkkinoista käytetään myös nimiä tukkusähkö- ja day-ahead-markkinat. Sähkötukku-markkinoilla käydään kauppaa myös päivänsisäisillä-, reservi- ja johdannais-markkinoilla. (2.)

Päivänsisäisillä markkinoilla sähköntuottajat ja välittäjät pyrkivät sähkötaseen tasaamiseen lähempänä käyttöhetkeä, jolloin tuotanto- ja kulutusennusteet ovat tarkempia. Kulutusennusteen muutokseen voi vaikuttaa sähkökuluttajien muuttuneet ja yllättävät kulutuspäätökset, vioittuneet laitteet tai yllättävät sääolosuhteet. Tämän takia on tärkeää, että sähkönostajat ja tuottajat voivat tasapainottaa kysyntää ja tarjontaa päivänsisäisillä markkinoilla. Kaupankäynti alkaa vuorokausimarkkinoiden seuraavan vuorokauden hinnan määrittymisen jälkeen ja jatkuu jatkuva-aikaisena tuntitasoisena kaupankäyntinä päivänsisäisillä markkinoilla käyttötunnin alkuun asti. (2.)

Säätösähkö- ja reservimarkkinat ovat tärkeä osa Suomen sähköverkon toimivuutta. Näillä markkinoilla sähköntuottajat ja muut toimijat tarjoavat reservisähkön tuotantokapasiteettiaan ja kuormansäätelyä Fingridille, joka hyödyntää niitä tarvittaessa sähköverkon vakauttamiseen ja toimintavarmuuden varmistamiseen. Kuormituspiikkien, tuotantohäiriöiden ja muiden häiriötilanteiden yhteydessä Fingrid aktivoi tarjolla olevaa sähköntuotantoreserviä. (3.)

Taseselvitys alkaa sähkötoimituksen jälkeen. Taseselvityksessä tarkistetaan sähkömarkkinoilla tehtyjen kauppojen ja niiden mukaan toteutuneen sähkönkulutuksen tai -tuotannon välinen tase. Jos markkinoilla tehtyjen kauppojen mukainen sähköntuotanto ja -kulutus eivät ole tasapainossa, joudutaan hankkimaan tasesähköä säätösähkö- ja reservimarkkinoilta. Taseselvityksessä tasepoikkeama lasketaan jokaiselle taseselvitysjaksolle. Laskennalla tasesähkön hankintakustannukset saadaan osoitettua sähköverkon tasapainotustarpeen aiheuttaneille toimijoille. (3.)

Johdannaismarkkinoilla käydään kauppaa sähkön tulevilla toimituksilla niin kutsuttuna futuurikauppana. Tällöin osapuolet sopivat pitkällä ajanjaksolla sähkön toimituksesta tiettyyn hintaan ja tiettyä ajankohtana. Kiinteähintaiset sähkösovimukset perustuvat yleensä johdannaismarkkinoilla käytyyn kauppaan. (2.)

2.2 Fingrid Oyj

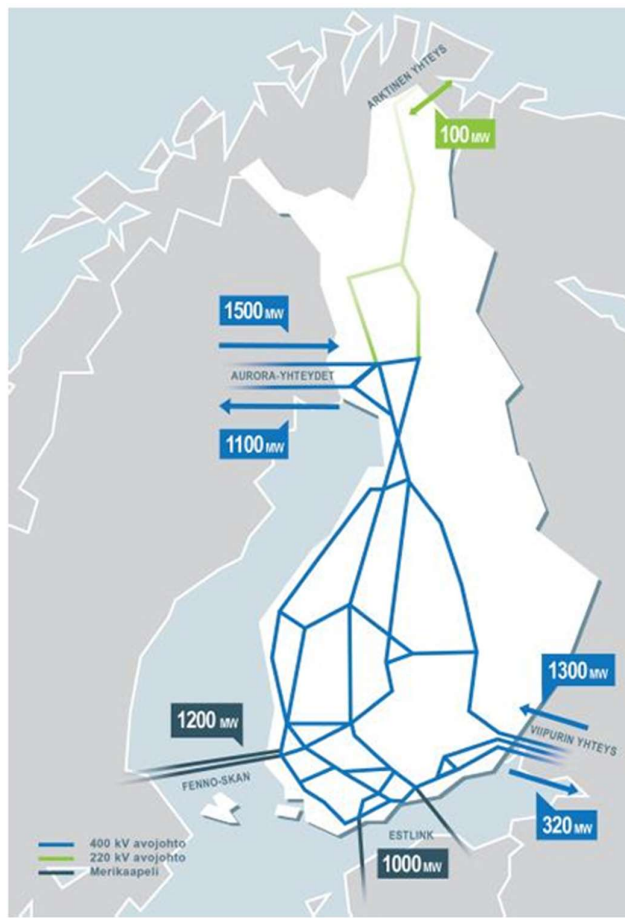
Fingrid Oyj on suomalainen kantaverkkoyhtiö, jonka omistajina ovat Suomen valtio ja suomalaiset eläkeyhtiöt. Yritys on perustettu 29.1.1996, ja operatiivinen toiminta alkoi 1.9.1997. Fingridin lakisääteinen tehtävä on huolehtia, että Suomen sähköverkon tuotannon ja kulutuksen toiminta pysyvät tasapainossa ja sähkön saanti on häiriötöntä kaikkina ajankohtina. Vuonna 2011 voimaan astunut kolmas EU:n energiamarkkinoiden sääntelypaketti edellytti, että sähköntuottajat eivät voi omistaa siirtoyhtiöitä. Lakipaketin voimaan astuminen aiheutti sen, että sekä Fortum että Pohjolan Voima joutuivat luopumaan Fingridin omistuksestaan. Suomen valtiosta tuli suurin omistaja yhtiössä 19. huhtikuuta 2011. (4.)

Suomen sähkömarkkinat liitettiin tuolloin pohjoismaiseen Nord Pool -sähköpörssiin, 6. huhtikuuta 1998. Tämä tarkoitti sähkömarkkinoiden integraatiota Pohjoismaissa mahdollistaen sähkön vapaan vaihdon Norjan, Ruotsin, Tanskan ja Suomen välillä. Sähköverkon taseenhallintavastuu tuli Fingrid Oyj:n vastuulle. Vuonna 2024 Fingrid ylläpitää ja hallinnoi sähkönsiirtoyhteyksiä Suomen Ruotsiin, Norjaan, Viroon ja Venäjälle. (4.) Fingrid ei toimi sähköntuottajana

normaaliolosuhteissa, mutta häiriötilanteessa se voi osallistua sähköntuotantoon varavoimalaitoksilla. (4.)

Fingrid on aktiivisesti investoinut kantaverkon digitalisoimiseen. Digitalisoimisella pyritään hyödyntämään sähköverkosta saatavaa valtavaa datamäärää, jolla voidaan parantaa sähköverkon joustavuutta, tehostaa toimintoja ja lisätä yhteistyötä sähköverkon eri toimijoiden välillä. Fingrid on asettanut keskeiseksi prioriteetiksi kyberuhkien torjunnan tietojärjestelmiensä kehityksessä ja toteutuksessa. Yhtiö on ollut aktiivinen toimija verkkoturvallisuuden kehittämisessä ja tehnyt tiivistä yhteistyötä viranomaisten kanssa tässä asiassa. (4.)

Kuvassa 1 on esitetty Suomen kantaverkon siirtoyhteydet Ruotsiin, Viroon, Norjaan ja Venäjälle. Ruotsiin on neljä sähköyhteyttä Suomesta. Pohjois-Suomen ja Ruotsin välillä toimivat Aurora-yhteydet, joita muodostavat kaksi 400 kV:n vaihtosähköyhteyttä. Niiden tuontikapasiteetti on tällä hetkellä 1 500 MW ja vientikapasiteetti 1 100 MW. Tuontikapasiteetti laskee 1 200 MW:iin Olkiluoto 3:n käyttöönoton takia. Lisäksi vuonna 2025 valmistuu kolmas Aurora-yhteys näiden alueiden välille. Keski-Ruotsiin on kaksi Fenno-Skan-yhteyttä, joiden yhteenlaskettu siirtokapasiteetti on 1 200 MW. Fingrid Oyj ja Ruotsin kantaverkko-yhtiö Svenska kraftnät ovat yhteistyössä rakentamassa uutta 400 kilovoltin voimajohtoa, joka kulkee Muhoksen Pyhänselältä Keminmaan kautta Ruotsin puolelle Messaureen. Tämä hanke, joka valmistuu vuonna 2025, tunnetaan nimellä Aurora Line. Aurora Line on merkittävä projekti, jonka tarkoituksena on lisätä sähkönsiirtokapasiteettia Suomen ja Ruotsin välillä. (5.)



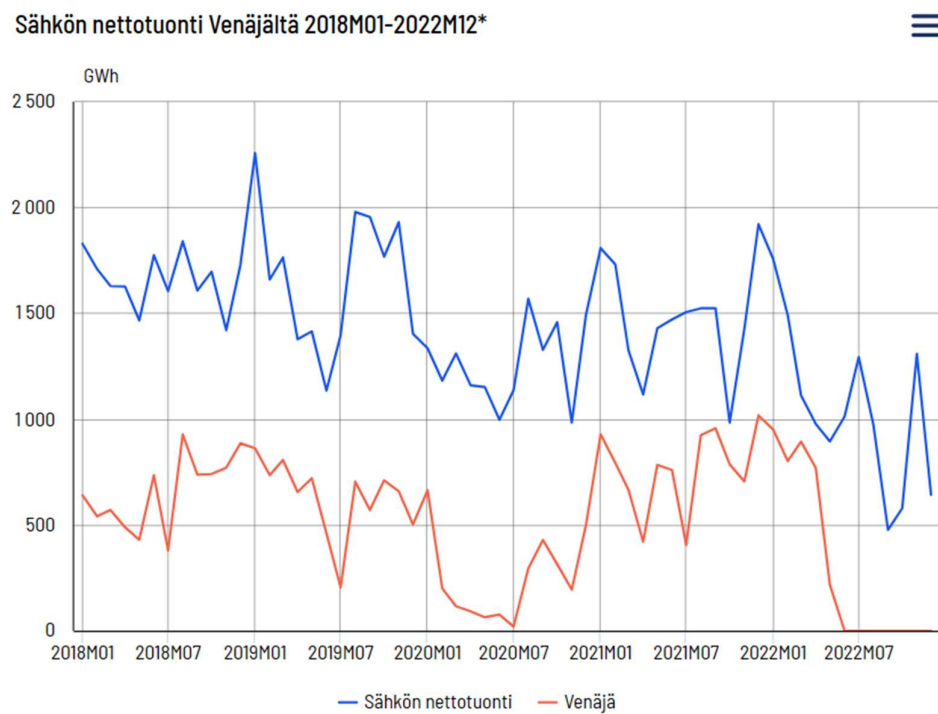
Kuva 1. Suomen kantaverkon rajasiirtopisteet (5).

Vuonna 2021 Suomi toi Ruotsista sähköä noin 15 TWh, joka vastaa noin 17 prosenttia tuon vuoden sähkönkulutuksesta. Suomi vei sähköä Ruotsiin noin 1 TWh:n verran vuonna 2021. Norjan ja Suomen välillä on 220 kV:n yhteys, jonka tekninen siirtokyky on noin 100 MW. (4.) Viron ja Suomen välillä on kaksi Estlink-tasasähköyhteyttä, joiden yhteenlaskettu siirtokapasiteetti on 1 000 MW. Vuonna 2021 sähkönkuljetusten pääsuunta oli Suomesta Viroon, ja Viroon vietiin sähköä 6,7 TWh. (5.)

Venäjän ja Suomen väliset yhteydet koostuvat kolmesta 400 kV:n voimajohdosta Viipurin tasasähköasemalle sekä kahdesta 110 kV:n yhteydestä. Niiden kaupallinen tuontikapasiteetti on yhteensä 1 300 megawattia ja vientikapasiteetti 320 megawattia. 110 kV:n yhteyksien yhteenlaskettu siirtokyky on noin 160 MW. Vuonna 2021 Venäjältä tuotiin Suomeen 9,1 TWh sähköä, joka

vastasi noin 10 prosenttia Suomen sähkönkulutuksesta. RAO Nordic Oy on venäläinen energiayhtiö, joka toimii Pohjoismaissa. Se on osa venäläistä valtion energiayhtiötä RAO UES:ää (Venäjän valtion sähköverkkoyhtiö). RAO Nordicin toimintaan kuuluu sähkön tuotantoa, siirtoa ja kauppaa Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla. (5.)

RAO Nordic Oy ilmoitti keskeyttävänsä sähkön tuonnin Suomeen lauantaina 14.5.2022 kello 1.00 alkaen. Yhtiön mukaan Venäjältä tuodun sähkön kauppakeskeytettiin toistaiseksi, sillä heillä oli vaikeuksia vastaanottaa maksuja markkinoille myydystä sähköstä. Sähkön tuontia ei ole aloitettu uudestaan johtuen Venäjän Ukrainaan kohdistamasta hyökkäyssodasta. Kuvassa 2 nähdään sähkön nettotuontimäärät Venäjältä ennen Ukrainan sotaa sekä energian tuonnin päättyminen vuonna 2022. (6.)



Kuva 2. Venäjältä tuotu sähköenergia (6).

2.3 Nord Pool

Nord Pool on sähkömarkkinapaikka Euroopassa, jonka toiminta keskittyy sähkön kaupankäyntiin ja siihen liittyviin tuotteisiin. Norjan parlamentti laati päätöksen sähkömarkkinoiden vapauttamisesta vuonna 1991. Vapauttamisen seurauksena perustettiin vuonna 1993 Statnett Marked AS ensimmäisenä kansainvälisenä sähköpörssinä. Ruotsin vuonna 1996 vapauttamat sähkömarkkinat yhdistettiin Norjan sähkömarkkinoihin, jolloin Statnett Marked AS muuttui Nord Pooliksi. (1.)

Suomen kantaverkko liitettiin osaksi pohjoismaista sähkömarkkinaa vuonna 1998. Tanskan sähkömarkkinat integroituivat Nord Pooliin vuosien 1999 ja 2000 aikana. Tällöin Nord Poolista tuli koko pohjoismaiden kattava sähkömarkkina. Nord Pool laajentui 2000 luvulla Baltian maihin. Iso-Britannia liittyi Nord Pooliin vuonna 2010, ja sen jälkeen Nord Poolin ovat liittyneet Ranska, Saksa, Alankomaat, Belgia ja Itävalta. (1.)

Nord Pool toimii markkinapaikkana ja mahdollistaa sähkökaupan eri osapuolten välillä. Nord Pool vastaa sähkökaupan selvityksestä ja likviditeetin varmistamisesta. Se varmistaa, että kaikki kaupat toteutetaan asianmukaisesti ja että kaupankäyntijärjestelmä toimii luotettavasti. Tällä luodaan luotettavuutta ja varmuutta sähkömarkkinoiden toimintaan. (1.)

Nord Poolin kautta käydyn kaupan perusteella määrittyy sähkön spot-hinta. Yritys tarjoaa laajaa tietoa sähkömarkkinoistaan, kuten hintatietoja, markkinatilastoja ja muuta markkina-analyysiä. Nord Pool tarjoaa myös konsultointi ja koulutuspalveluita sähkömarkkinoista. (1.) Nord Pool tarjoaa myös API-ohjelmointirajapinnan, jonka avulla tilaajat voivat integroida data järjestelmiinsä ja sovelluksiinsa sähkömarkkinoiden hinta ja markkinadataa. (1.)

2.4 Euroopan verkko-operaattorien yhteistyöjärjestö ENTSO-E

Euroopan verkko-operaattorien yhteistyöjärjestö ENTSO-E, European Network of Transmission System Operators for Electricity, on eurooppalaisten

sähkönsiirtojärjestelmäoperaattoreiden verkosto, jossa on 42 jäsenestä 36 maasta. Järjestö perustettiin vuonna 2009. (7.) ENTSO-E:n toimintaa säätelee EU:n sähkömarkkina-asetus (EU) 2019/943 (8).

Asetuksen määräykset ovat keskeisiä Euroopan sähkömarkkinoiden tehokkaalle toiminnalle, ja määräysten tavoitteena on edistää kilpailua sekä rajat ylittävää yhteistyötä sähköntuotannon ja -siirron alalla EU:ssa. Sähkömarkkina-asetuksen mukaisesti ENTSO-E:n velvollisuutena on osallistua verkkosääntöjen sekä yhteiseurooppalaisen siirtoverkon kymmenvuotissuunnitelman laatimiseen. (8.) Tämä edellyttää ENTSO-E:lta aktiivista roolia ja yhteistyötä sidosryhmien kanssa, jotta voidaan varmistaa sähkömarkkinoiden toiminnan tehokkuus ja sähköntoimituksen luotettavuus koko Euroopan unionissa

ENTSO-E:n keskeisempänä päätöksentekotyökaluna toimii yleiskokous, johon kaikki jäsenet osallistuvat edustettuina. Yleiskokouksen työtä johtaa hallitus, joka koostuu 12 jäsenestä eri puolilta Eurooppaa. Käytännön toiminnasta vastaavat viisi erillistä komiteaa, markkinakomitea, käyttökomitea, suunnittelukomitea, tutkimus- ja kehityskomiteaan sekä tieto- ja viestintäteknologiakomitea. Näiden komiteoiden alaisuudessa toimii useita työryhmiä ja alueellisia komiteoita, jotka käsittelevät erilaisia asioita ja tehtäviä. ENTSO-E:n pääsihteeristö sijaitsee Brysselissä, ja se vastaa päivittäisestä toiminnasta ja koordinoinnista. Suomessa ei ole varsinaista toimipistettä. (9.)

Asetus (EU) N:o 543/2013 koskee energiamarkkinoiden integrointia ja määrittelee yksityiskohtaisia sääntöjä sähkömarkkinoiden toimintatavoista Euroopan unionissa. Tämän asetuksen tarkoituksena on edistää avoimuutta, tehokkuutta ja kilpailua sähkömarkkinoilla sekä varmistaa, että sähkömarkkinat toimivat tehokkaasti ja luotettavasti koko EU:n alueella. Asetuksella pyritään myös tukemaan uusiutuvan energian integrointia ja vähentämään hiilidioksidipäästöjä. Tämän asetukseen perustuu ENTSO-E:n API-rajapinnan kautta saatavan tiedon laajuus. (10.) Rajapinnan ominaisuuksia käsitellään tarkemmin jäljempänä luvussa 3.

3 Tiedonsiirtotopografia

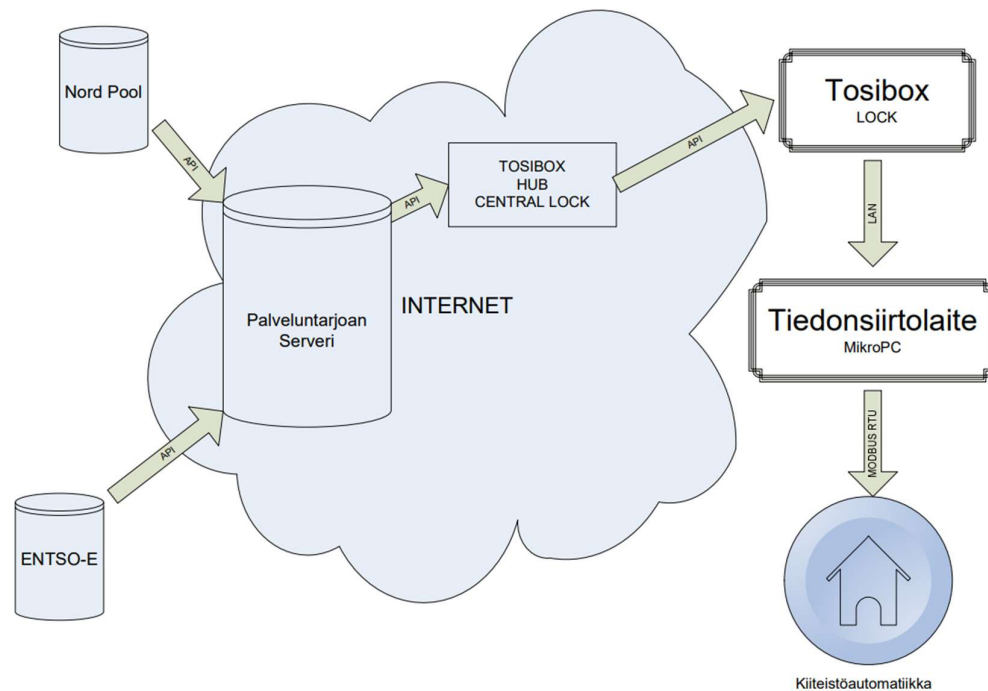
Jotta pörssisähkön hintatietoa päästään hyödyntämään kohteissa, täytyy suunnitella luotettava tiedonsiirto järjestelmätilaajan ja hintatietoportaalin välille.

Opinnäytetyössä tiedonsiirtotopografian suunnittelun tärkein lähtökohta oli pörssisähkön hintatiedonsiirron tietoturvallisuuden varmistaminen ja liitäntrajapinnan kehittäminen taloautomaatiojärjestelmiin, joissa ei ole valmista rajapintaa laitevalmistajalta. Tämä johtaa ratkaisuun, jossa internetyhteys eristetään erilliseen tiedonsiirtolaitteeseen ja taloautomaatioon integroidaan ainoastaan Modbus-liitäntä tai 0-10V-liitäntä.

Pörssisähkön hintatiedon integroiminen taloautomaatiojärjestelmiin, jotka eivät tue suoraa yhteyttä tällaiseen dataan, edellyttää luovaa ratkaisua. Usein nämä taloautomaatiojärjestelmät eivät ole yhteensopivia uusimpien standardien tai rajapintojen kanssa, ja ne voivat toimia vanhentuneilla käyttöjärjestelmillä, mikä vaikeuttaa suoran yhteyden muodostamista esimerkiksi internetin kautta.

Tässä yhteydessä ratkaisuksi on kehitetty lähestymistapa, jossa internetyhteys eristetään erilliseen tiedonsiirtolaitteeseen. Tämä tarkoittaa, että pörssisähkön hintatieto syötetään ensin tähän erilliseen laitteeseen, joka toimii välikaapelina pörssisähködataan ja taloautomaatiojärjestelmiin. Tämän eristetyn lähestymistavan avulla voidaan vähentää tietoturvariskejä, kun herkät taloautomaatiojärjestelmät eivät ole suoraan kytköksissä internetiin.

Kuvassa 3 kuvataan kehitettävän laitteiston tiedonsiirtotopografia. Tieto siirretään ensin internetin kautta API-rajapintaliitoksella pörssisähkön spot-hintatiedon tarjoajilta serverille. Serveriltä on VPN-yhteys internetin kautta kohteeseen. VPN yhteys muodostetaan tosibox central lockin hallinnointiportaalin ja kohteessa olevan tosibox lockin VPN-reitittimen välille. Tosibox lock -reitittimeltä on verkkoyhteys kohteeseen asennetulle tiedonsiirtolaitteelle. Tiedonsiirtolaitteelle Modbus-väylällä kiinteistöautomaatiikkaan.



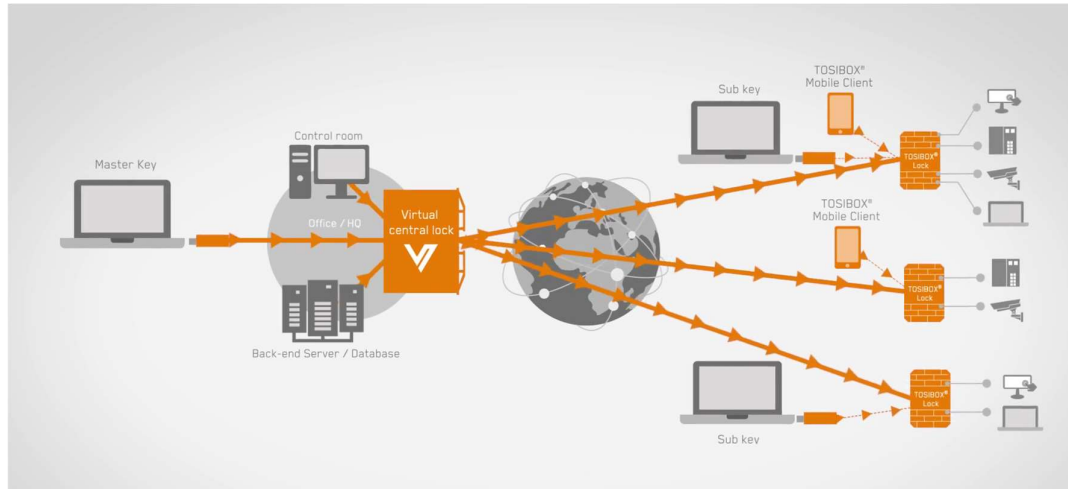
Kuva 3. Suunnitellun laitteiston tiedonsiirtotopografia.

3.1 Tosibox

Tosibox Oy on vuonna 2011 perustettu suomalainen yritys, joka tarjoaa ratkaisuja etäyhteyksien hallintaan ja tietoturvaan. Tosiboxin VPN-yhteyslaitteet ovat yleisesti käytössä tehdasteollisuudessa, kiinteistöautomaatiossa, turvallisuusjärjestelmissä ja etävalvonnassa. (11.) Yritys on saavuttanut merkittävän markkinaosuuden Suomessa, ja Tosibox-tuotteet ovat vakiintuneet alan standardiksi. Työhön valittiin Tosibox sen helppokäyttöisyyden ja hallittavuuden takia. VPN-yhteyksien ulkoistaminen parantaa lopputuotteen tietoturvallisuutta ja mahdollistaa jatkuvat automaattiset tietoturvapäivitykset.

Opinnäytetyön kohteena olevassa laitteistossa tiedonsiirto palvelimelta asiakkaalle tapahtuu käyttäen Tosibox central lockia. Tosibox central toimii keskeisenä komponenttina tiedonsiirrossa ja mahdollistaa turvallisen yhteyden useisiin asiakaskohteisiin. Lisäksi Tosibox central lock tarjoaa hallinnointiportaali serverin ja asiakkaan välisille VPN-yhteyksille, mikä helpottaa yhteyksien hallinnointia.

Kuvassa 6 on esitetty Tosibox Hubin ja Tosibox-tiedonsiirtoinfrastruktuurin suunniteltu toteutus. Tieto siirretään palvelimelta virtuaalisen central lockin kautta asiakkaan kohteeseen asennettavan Tosibox lockin läpi tiedonsiirtolaitteeseen. Tämä varmistaa asiakkaan tiedonsiirron tietoturvan Tosiboxin resursien ja tuotekehityksen avulla.



Kuva 4. Tosibox-tiedonsiirtoinfrastruktuuri (12).

3.1.1 Tosibox HUB

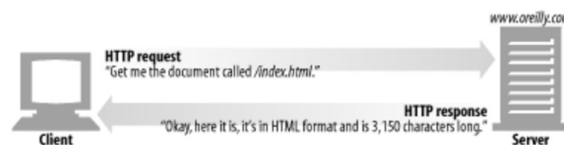
Tosibox Hub on Tosiboxin tuote, joka toimii keskusyksikkönä Tosiboxin luomaan verkkoyhteyteen. Se on osa Tosiboxin kokonaisratkaisua, joka mahdollistaa etäyhteyden hallinnan eri laitteiden välillä. Tosibox Hub toimii keskitettynä hallintapisteenä, jonka avulla käyttäjä voi valvoa ja hallita etäyhteyksiä sekä lisätä ja poistaa laitteita verkosta. (12.)

Tosibox Hub valittiin toteutukseen, koska hallittavia yhteyksiä tulee huomattava lukumäärä. Tosibox Hubilla hallinnoidaan jo muita olemassa olevia etäyhteydellä toimivia VPN-yhteyksiä. Palvelu helpottaa VPN-yhteyksien hallinnointia ja vähentää erityisosaamisen hankintatarvetta, jolloin pystytään keskittymään varsinaiseen ydinliiketoimintaan.

3.2 API-rajapinta ja HTTP-protokolla

Pörssisähkön hintatiedon hankintaan käytetään kahta erillistä API-rajapintapalvelua, jotka tarjoavat tietoa markkinoilta. Palveluntarjoajaksi valittiin Nord Pool ja ENTSO-E. Hintatieto haetaan kahdesta erillisestä lähteestä varautumistoi-
menpiteenä mahdollisia häiriötilanteita varten. Tällä varmistetaan, että asiak-
kaille voidaan toimittaa luotettavaa tietoa myös silloin, kun toinen palveluista on
poissa käytöstä.

HTTP (HyperText Transfer Protocol) on protokolla, jota käytetään tiedon siirtä-
miseen ja kommunikointiin verkkoympäristössä. Se toimii perustana sille, miten
verkkoselaimet, palvelimet ja muut verkkosovellukset kommunikoivat keske-
nään internetissä. Verkkopalvelimet käyttävät HTTP-protokollaa, joten niitä kut-
sutaan usein HTTP-palvelimiksi. Nämä HTTP-palvelimet säilyttävät internetin
dataa ja tarjoavat datan, kun sitä pyydetään HTTP-asiakkaiden toimesta. Asiak-
kaat lähettävät HTTP-pyyntöjä palvelimille, ja palvelimet palauttavat pyydetyt tie-
dot HTTP-vastauksissa. (13.) Kuvassa 4 näkyy yksinkertaistettu esimerkki asi-
akkaan palvelupyynnöstä palvelimelta.

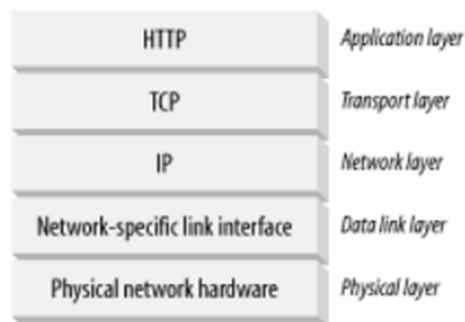


Kuva 5. HTTP-palvelupyyntö (13).

Internet perustuu TCP/IP:hen, joka on luotettava kuljetusprotokolla. TCP/IP pii-
lottaa yksittäisten verkkojen ja laitteistojen erityispiirteet ja heikkoudet, mahdol-
listaan tietokoneiden ja erityyppisten verkkojen luotettavan keskustelun keske-
nään. Kun TCP-yhteys on muodostettu, asiakkaan ja palvelimen tietokoneiden
välillä vaihdettuja viestejä ei koskaan menetetä, vahingoiteta tai vastaanoteta
epäjärjestyksessä. (13.)

HTTP on sovellustasolla toimiva protokolla, jota käytetään tiedon siirtämiseen ja kommunikointiin verkkosovellusten välillä. Se määrittelee, miten verkkoselaimet ja palvelimet kommunikoivat keskenään ja miten tietoa pyydetään ja välitetään. (13.)

Kuvassa 5 on kuvattu verkkoprotokollien hierarkia. IP-tasossa varmistetaan kommunikaation osoittaminen, reititys, pakkaaminen, purkaminen sekä palomuurit ja turvallisuus. TCP-protokolla varmistaa, että tiedot siirtyvät verkon yli virheettömästi ja vahingoittumattomina. TCP-protokolla varmistaa, että tiedot liikkuvat samassa järjestyksestä palvelimelta ja asiakkaan välillä, jotta ne voidaan koota asiakkaan päässä vastaavaksi kokonaisuudeksi. HTTP-protokollaa käytetään tiedon käsittelemiseen asiakkaan ja serverin välillä. (13.)



Kuva 6. Verkkoprotokollien hierarkia (13).

REST API (Representational State Transfer Application Programming Interface) on ohjelmointirajapinta, joka perustuu REST-arkkitehtuuriin. Se tarjoaa standardoidun tavan eri ohjelmistojen ja palveluiden väliseen kommunikointiin internetin yli. RESTful API:t perustuvat HTTP-protokollaan. (14.)

REST API koostuu resursseista, joita voidaan kutsua URI-osoitteiden avulla. URI, eli Uniform Resource Identifier, on merkkijono, joka osoittaa resurssin sijainnin, tai se voi olla tunniste, joka yksilöi resurssin ilman suoraa sijaintia. URI:t ovat perusta monille verkon protokollille ja järjestelmille. Ne auttavat

tunnistamaan ja viittaamaan erilaisiin resursseihin, kuten verkkosivuihin, tiedostoihin, palveluihin. (13.)

Jokainen resurssi on määritelty yksilöllisesti, ja niihin voidaan soveltaa erilaisia toimintoja HTTP-metodien avulla (14). Tässä toteutuksessa GET-metodia käytetään resurssien hakemiseen serverille ja serveriltä tiedonsiirtolaitteistolle.

API RESTissä käytetään HTTP-metodeja. GET-metodia käytetään hakemaan resurssin tiedot. HTTP GET -pyynnön avulla voidaan hakea resurssin tila palvelimelta, esimerkiksi hakemaan tietoja tietokannasta tai palauttamaan verkkosivun sisältö. POST metodia käytetään luomaan uusi resurssi. HTTP POST -pyynnön avulla voidaan lähettää uusia tietoja palvelimelle, esimerkiksi lähettämällä lomakkeen tiedot tai tallentamalla uusi tietue tietokantaan. PUT-metodia käytetään päivittämään olemassa oleva resurssi tai luomaan uusi, jos sitä ei ole olemassa. HTTP PUT -pyynnön avulla voidaan päivittää resurssin tilaa palvelimella, esimerkiksi päivittämällä tietue tietokannassa tai tallentamalla tiedosto palvelimelle. DELETE-metodia käytetään poistamaan resurssi. HTTP DELETE -pyynnön avulla voidaan poistaa resurssi palvelimelta, esimerkiksi poistamalla tietue tietokannasta tai poistamalla tiedosto palvelimelta. (14.)

3.3 API-rajapinta Nord Pool

Nord Poolin API-rajapinta tarjoaa monipuolisen mutta maksullisen valikoiman ominaisuuksia ja markkinatietoja. API-rajapinnan kautta on mahdollista siirtää reaaliaikaista markkinatietoa, mahdollistaen kehittäjille pääsyn ajantasaisiin hintoihin, volyymeihin ja muihin merkittäviin markkinamuuttujiin. Lisäksi API mahdollistaa kaupankäynnin tekemisen ja hallinnan markkinoilla suoraan API-rajapinnalla. (15.)

Turvallisuuden osalta API tarjoaa vahvan tietoturva- ja autentikointimekanismin varmistaakseen turvallisen kaupankäynnin ja tiedonsiirron. Integroitimahdollisuus energijärjestelmiin helpottaa automatisoitua kaupankäyntiä ja resurssien hallintaa. API-rajapinnan kautta on mahdollista lukea markkinatrendien analysointiin ja ennustamiseen tarvittavaa dataa. Suunniteltavaan sovellukseen

soveltuva API-rajapintalisenssi sisältää oikeuden seuraavan vuorokauden spot-hintaan sen eteenpäin välittämiseksi. (15.)

3.4 API-rajapinta ENTSO-E

ENTSO-E:n läpinäkyvyys alusta perustuu EU:n sähkömarkkinoiden läpinäkyvyysasetukseen N:o 543/2013. Alusta tarjoaa kattavan API-rajapinnan sähkömarkkinoiden toimintaan sisältäen sekä reaaliaikaiset että historialliset tiedot sähköntuotannosta, -kulutuksesta, -siirrosta ja markkinahinnoista. Käyttäjät voivat hyödyntää alustaa saadakseen tietoa sähkömarkkinoiden tilanteesta ja kehityksestä eri näkökulmista. (16; 17.)

Markkinatietojen osalta alusta tarjoaa reaaliaikaisia ja historiallisia tietoja sähkömarkkinahinnoista, kuten vuorokauden etukäteismarkkinahinnat, sisäiset markkinahinnat ja tasapainomarkkinahinnat. Näiden tietojen avulla käyttäjät voivat seurata markkinoiden hintakehitystä ja tehdä informoituja päätöksiä. (16.)

Tuotantotietojen osalta alusta tarjoaa tietoa erityyppisten voimalaitosten tuotannosta, mukaan lukien uusiutuvat energialähteet, ydinvoima ja fossiiliset polttoaineet. Kulutustiedot kattavat puolestaan sähkönkulutuksen tiedot, jotka sisältävät myös kysyntäennusteet ja todelliset kulutusluvut. (16.)

Siirtojärjestelmätiedot tarjoavat yksityiskohtaista tietoa sähkönsiirtoverkon toiminnasta ja tilasta. Tämä sisältää tiedot verkoston rajoituksista, ruuhkien hallinnasta ja suunnitelluista huoltotöistä. Alusta tarjoaa myös tietoa uusiutuvien energialähteiden integroinnista verkkoon, kuten tuulivoiman ja aurinkosähkön tuotannosta. Lisäksi käyttäjät voivat hyödyntää historiatietoa analyysi- ja tutkimustarkoituksiin. (16.) Suunniteltuun toteutukseen saadaan API-rajapinnan avulla haettua vuorokautinen spot-hinta. Liittymiseen vaadittava lisenssi on ilmainen. (17.)

3.5 Tiedonsiirtolaite

Tiedonsiirtolaitteena käytetään mikrotietokonetta, joka toimii välikappaleena tiedon siirtämisessä palvelimelta asiakkaan järjestelmään. Mikrotietokoneen ja serverin välinen tiedonsiirto toteutetaan Tosibox central lockilla ja kohteeseen asennettavan Tosibox lockin välisellä VPN-yhteydellä.

Mikrotietokoneet ovat pienikokoisia tietokoneita, jotka sisältävät samat komponentit, kuten prosessorin, muistin, tallennustilan ja liitännät. Mikrotietokoneet ovat suosittuja niiden pienikokoisuuden, monipuolisuuden ja edullisuuden takia. Mikrotietokoneita saa useilla eri käyttöjärjestelmillä. Mikrotietokoneilla on usein vahva avoimen lähdekoodin tuki ja aktiivinen käyttäjäyhteisö, jonka tukemana tuotekehitys onnistuu helpommin.

3.5.2 Teollisuus-PC

Teollisuus-PC on hyvin soveltuva vaihtoehto tiedonsiirtolaitteeksi pörssisähkön siirtoon. Teollisuustietokoneet ovat kestäviä tietokonejärjestelmiä, jotka on suunniteltu toimimaan luotettavasti vaativissa ympäristöissä. Useat teollisuus-PC:t on toteutettu passiivijäähdytyksellä, mikä tarjoaa ratkaisun haastaviin olosuhteisiin, kuten suuresti vaihteleviin lämpötiloihin, voimakkaisiin värinöihin, kosteuteen ja pölyyn.

Teollisuus-PC:t tukevat hyvin monesti Linux-käyttöjärjestelmiä. Toteutukseen valittiin Linux Ubuntu -käyttöjärjestelmä. Ubuntu on suosittu Linux-jakelu, joka tarjoaa monia etuja käyttäjilleen. Ubuntu tarjoaa laajan valikoiman ohjelmistoja, aktiivisen yhteisön tuen ja säännölliset päivitykset, mikä tekee siitä houkuttelevan vaihtoehdon monenlaisiin käyttötarkoituksiin. Lisäksi Ubuntu perustuu avoimen lähdekoodin periaatteisiin, mikä mahdollistaa ohjelmiston vapaan jakelun, muokkaamisen ja parantamisen. Käyttäjilleen Ubuntu tarjoaa modernin ja käyttäjäystävällisen käyttöliittymän, joka helpottaa käyttöjärjestelmän hallintaa ja sovellusten käyttöä. Voidaankin todeta, että Ubuntu on vahva ja monipuolinen vaihtoehto niille, jotka etsivät avointa ja luotettavaa käyttöjärjestelmää tietokoneelleen. Ubuntulla on myös aktiivinen kehitys yhteisö Suomessa. Ubuntussa ei

ole lisenssimaksua, mikä mahdollistaa valmiiksi konfiguroidun käyttöjärjestelmän kopiointin sarjatuotannolla useisiin PC-laitteisiin. (18.)

Opinnäytetyön toteutuksessa teollisuus-PC:ssä tarvitaan Ethernet-verkkoyhteyksiä varten RJ45-LAN-portti, joka on yleinen liitinstandardi. Se on suunniteltu helppoon ja luotettavaan tietoliikenteen välitykseen verkkokaapeleiden avulla. RJ45-liittimet mahdollistavat fyysisen yhteyden tietokoneiden, reitittimien, kytkimien ja muiden verkkolaitteiden välillä. RJ45-liittimen urosliittimessä on kahdeksan liitospinniä ja naarasliittimessä kahdeksan vastaanottavaa liitinpintaa, jotka on järjestetty kahteen riviin. Nämä kahdeksan liitospinniä vastapintoineen mahdollistavat neljän parin kupariverkkokaapelin liittämisen. (19.)

Modbus-liitosta varten PC:ssä tarvitaan USB-portti. USB (Universal Serial Bus) on standardi, joka mahdollistaa ohelislaitteiden liittämisen tietokoneeseen sarjavyöläarkkitehtuurin avulla. USB tarjoaa yhtenäisen ja standardoidun liitännän erilaisille laitteille, mikä tekee niiden käytöstä helpompaa ja monipuolisempaa. USB:t ovat saatavilla eri nopeuksilla, kuten USB 2.0, USB 3.0 ja USB 3.1, jotka tarjoavat erilaisia tiedonsiirtonopeuksia ja ominaisuuksia. (19.)

Kuvassa 7 on esitetty esimerkki teollisuus-PC:stä, joka täyttää tiedonsiirtolaitteen vaatimukset. Laite on varustettu RJ45-liitoksilla ja USB 3.1 -portilla. Passiivijäähdytys mahdollistaa -10° ja $+60^{\circ}$ välisen käyttölämpötilan. Teollisuus-PC tukee Linux-käyttöjärjestelmää. (19.)

Nano N3



6*USB+1*COM and 4*USB+2*COM Optional



Kuva 4. Esimerkki teollisuus-PC:stä Iwill Nano N3 (19).

3.5.3 RS-485-adapteri

RS-485-adapteri on laite, joka mahdollistaa RS-485-standardin käytön tietokoneen tai muun laitteen kanssa. Se toimii liitännävalineena tietokoneen ja RS-485-väylässä olevien Modbus RTU-laitteiden välillä. Toteutuksessa käytettävän adapterin valinnassa pitää huomioida valittu teollisuus PC:n käyttöjärjestelmä. Linux-ajureilla olevia laitteita on huomattavasti vähemmän saatavilla kuin Windows-alustalle. Linux-ohjelmoinnin tuomat lisäkulut kuitenkin kannattavat koska Linux-ohjelmisto ei vaadi konekohtaista lisenssimaksua. Pidemmällä aikavälillä ratkaisu tulee siis kustannustehokkaammaksi.

Kuvassa 8 on suunniteltuun toteutukseen sopiva USB-RS485-muunnin. Kyseiseen laitteeseen löytyy suora tuki Linux Ubuntu -käyttöjärjestelmään. Laite liitetään teollisuus-PC:n USB-portin kautta ja laitteen käyttölämpötilat ovat -15° ja $+75^{\circ}$ välillä. (20.)

USB TO RS485

USB TO RS485



USB TO RS485

Introduction

This is an industrial USB to RS485 converter with original FT232RL inside. It features embedded protection circuits such as lightning-proof, resettable fuse, ESD protection, and TVS diode, etc. It's pretty small in size.

[More »](#)

Features

- USB to RS485 communication.
- Adopt original FT232RL, fast communicating, stable and reliable, better compatibility.
- Onboard TVS (Transient Voltage Suppressor), effectively suppresses surge voltage and transient spike voltage in the circuit, lightning-proof & anti-electrostatic.
- Onboard self-recovery fuse and protection diodes, ensure the current/voltage stable outputs, provides over-current/over-voltage proof, and improve shock resistance.
- 3x LEDs for indicating the power and transceiver status.

Specification

- Product type: industrial converter
- Baudrate: 300-621000bps
- Host port: USB
- Device port: RS485
- USB:
 - Operating voltage: 5V
 - Connector: USB-A
 - Protection: 200mA self-recovery fuse, ESD protection
 - Transmission distance: about 6m
- RS485:
 - Connector: screw terminal
 - Pins: A+, B-, GND
 - Direction control: hardware automatic control
 - Protection: 600W lightning-proof and surge-suppress, 15kV ESD protection (onboard 120R balancing resistor).
 - Transmission distance: about 1200m (low rate)
 - Transmission mode: point-to-multipoint (up to 32 nodes, it is recommended to use repeaters for 10 nodes or more).
- LED indicators:
 - PWR: red power indicator, light up when there is a USB connection and voltage is detected.
 - TXD: red TX indicator, light up when the USB port sends data.
 - RXD: red RX indicator, light up when the device ports send data back.
- Operating environment:
 - Temperature: -10°C ~ 70°C
 - Humidity: 5%RH ~ 95%RH
- Operating system: Mac, Linux, Android, WinCE, Windows 10 / 8.1 / 8 / 7 / XP

Kuva 5. Esimerkki Wavesharen valmistamasta RS-485-muuntimesta (20).

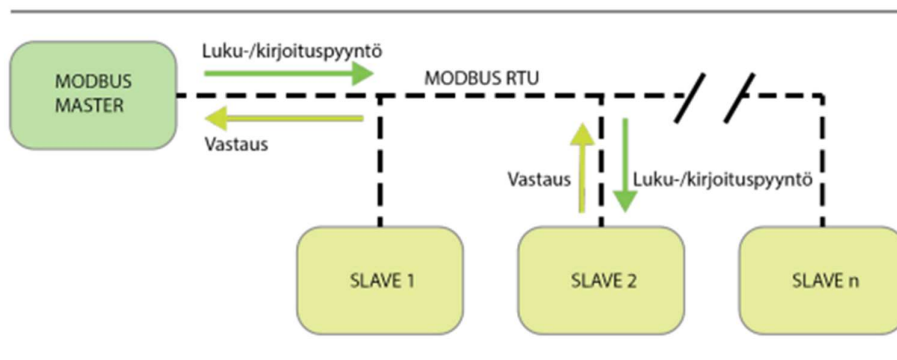
3.6 Modbus

Edellä kuvattujen lisäksi taloautomaatioon integroidaan rajapinta, joka mahdollistaa pörssissähkön hintatiedon vastaanottamisen ja käsittelyn. Yleisimpiä näistä rajapinnoista ovat Modbus-liitäntä ja 0-10V-liitäntä. Modbus on yleinen teollisuusstandardi sarjapohjaiselle kommunikaatiolle, kun taas 0-10V-liitäntä on analoginen jänniteliitäntä, jota voidaan käyttää monenlaisissa ohjausjärjestelmissä. Näiden liitäntöjen avulla taloautomaatiojärjestelmät voivat vastaanottaa ja käsitellä pörssissähkön hintatietoa, mahdollistaen älykkään energianhallinnan ja optimoinnin taloissa ja muissa rakennuksissa.

Tämä ratkaisu tarjoaa tehokkaan ja turvallisen tavan integroida pörssissähkön hintatieto taloautomaatiojärjestelmiin, jotka eivät ole valmiiksi yhteensopivia tällaisen datan kanssa. Lisäksi se mahdollistaa vanhentuneiden järjestelmien käytön säilyttämällä tietoturvallisen eristetyn yhteyden internetiin.

Modbus-väyläprotokolla on sarjapohjainen viestintäprotokolla, jota käytetään teollisuusautomaatiossa ja kiinteistöautomaatiikassa. Modbus on avoin eikä se vaadi erillistä lisenssiä. (21.) Ilmaisen käytön ja väylän yleisyyden takia Modbus on yleisimmin käytössä oleva väylä rakennusautomaatiojärjestelmissä. Kaikki Suomessa yleisesti käytössä olevat rakennusautomaatiojärjestelmät tukevat Modbus-väyläprotokollaa. Rakennusautomaatiojärjestelmät hyödyttävät väylää I/O-moduuleiden, kenttälaitteiden ja energiamittareiden väliseen kommunikaatioon.

Modbus-protokolla toimii master/slave-arkkitehtuurilla, missä yksi laite on master joka hallitsee tiedonsiirtoa ja muut slave-laitteet vastaavat sen pyyntöihin. (22, s. 77–79.) Master/slave-tiedonsiirtoperiaate on esitetty kuvassa 9. Tämä rakenne mahdollistaa tehokkaan ja järjestetyn tiedonsiirron monenlaisissa sovelluksissa.



Kuva 6. Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto (22, s. 78).

Protokolla koostuu useista tiedonsiirtoprotokollista, kuten Modbus RTU Remote Terminal Unit, Modbus TCP/IP Transmission Control Protocol/Internet Protocol ja Modbus ASCII (American Standard Code for Information Interchange). Näistä Modbus RTU ja Modbus ASCII ovat sarjamuotoisia protokollia, kun taas Modbus TCP/IP perustuu Ethernet-verkkoon. Suomessa yleisesti käytössä olevat protokollat ovat Modbus RTU ja Modbus TCP/IP. (23, s. 5.)

3.6.1 Modbus RTU

Modbus RTU on sarjamuotoinen tiedonsiirtoprotokolla, joka hyödyntää RS-485-tietoliikennettä. Tämä tarkoittaa sitä, että tiedonsiirto tapahtuu sarjamuotoisesti tasajännitteisellä väylällä. Väylän topologia voi olla joko kaksipisteyhteys RS-232 tai monipisteyhteys RS-422. RS-232-järjestelmässä voi olla yksi master-primäärilaitte ja yksi slave-sekundaarilaitte, kun taas RS-485-järjestelmässä voi olla yksi master-primäärilaitte ja enintään 31 slave-sekundaarilaitetta samalla sarjapäylällä. (22; 24.)

RS-232-kaapelin maksimipituus on 15 metriä, kun taas RS-485-kaapelin enimmäispituus on 1,2 kilometriä. RS-485-väylässä käytetään yleensä suojattua parikaapelia, johon on lisätty päätevastuksia. Runkokaapeli terminoidaan molemmista päistä tyypillisesti 150 tai 120 ohmin vastuksilla. Runkokaapelin suoja-vaippa maadoitetaan yleensä kelluvasti, tyypillisesti primäärilaitteen kohdalta. (22, s. 77–79; 24.)

3.6.2 Modbus TCP/IP

Modbus TCP/IP on Modbus-protokollan variantti, joka käyttää TCP/IP-verkkoprotokollaa kommunikointiin. Se mahdollistaa tietojen siirron TCP/IP-verkon kautta. On tärkeää huomioida, että Modbus TCP/IP ei ole vain sarjamuotoinen, mikä tekee siitä soveltuvan tehokkaaseen ja luotettavaan tiedonsiirtoon Ethernet-verkon kautta. Muuten toimintaperiaatteeltaan Modbus TCP/IP seuraa samaa perusperiaatetta kuin Modbus RTU -protokolla. (22, s. 77–79.)

4 Spot-hinnan hyödyntäminen kiinteistössä

Pörssisähkön hinnat voivat vaihdella vuorokauden aikana huomattavasti. Hintatiedon hyödyntäminen kiinteistössä perustuu yksinkertaistaen ajatukseen siitä, että sähköenergian käyttö pyritään ajoittamaan mahdollisimman edullisille tunneille ja energian kulutusta vähennetään kalliilla tunneilla. (25, s. 1–2.) Tekniseksi ongelmaksi muodostuu energian varastointi, eli halpoina tunteina ei kuitenkaan ole mahdollista ostaa koko vuorokauden sähköntarvetta.

Kiinteistöissä energiaa kuluu pääasiassa valaistukseen, käyttöveden lämmittämiseen, lämmitykseen, jäädytykseen, sähkölaitteisiin ja ilmanvaihtoon. Valaistuksen ohjausta ei ole mahdollista juurikaan säätää sähkönhinnan mukaan, sillä valaistuksen tarve määräytyy käytön perusteella. Valaistusta tarvitaan riippumatta sähkön hinnasta, ja sen käyttöä ei voida hetkellisesti muuttaa. Valaistuksen kuormaa tarvitaan sen käyttötarpeen mukaan, eikä sitä voida säätää nopeasti tai tilapäisesti. Valaistuksen energiankulutusta voidaan kuitenkin hillitä esimerkiksi energiatehokkaammilla valaistusratkaisuilla. (26, s. 6.) Erilaisten sähkölaitteiden lataaminen voidaan ajoittaa halvemmille tunneille ja esimerkiksi ohjeistaa henkilökuntaa lataamaan tarvittavat laitteet yöaikaan.

Käyttöveden käyttöä ei suoraan voida säädellä sähkön hinnan perusteella, sillä energian tarve riippuu suoraan käyttöveden tarpeesta. Käyttöveden virtausta ja kiertoveden lämpötila-asetuksia ei myöskään voi muuttaa, koska niitä säätävät tarkat asetukset ja niistä poikkeaminen voi johtaa legionellabakteerin leviämiseen. (27.)

Lämmönkulutusta voidaan säädellä sähkön hinnan perusteella hyödyntämällä lämmön varastoitumista rakenteisiin. Kiinteistön huonelämpöolosuhteet muuttuvat hitaasti, joten automaatiota voidaan ohjata siten, että halvan energian aikana pyritään lisäämään lämpöä tiloihin ja vastaavasti tilat voivat viilentyä kalliin energian aikana. Vastaavasti jäädytyskaudella voidaan olosuhteita ohjata sähkön hinnan perusteella. On kuitenkin tärkeää ottaa huomioon käyttöolosuhteet ja varmistaa, että kiinteistön käyttömukavuus säilyy riittävän korkealla tasolla. Myös ilmanvaihdon säätelyssä voidaan hyödyntää pörssisähkön hinnan vaihtelut ottaen huomioon olosuhteiden riittävä säilyvyys. (26, s. 5–6).

Kuvassa 10 nähdään esimerkki sähkönhinnan käyttäytymisestä sähköpörssissä normaalin vuorokauden aikana (28).



Kuva 7. Esimerkki Day-ahead-sähköhinnasta Nord Poolissa (28).

4.1 IV-koneiden tehostus

IV-koneiden käyttöä voidaan ohjata sähköhinnan perusteella tietyillä edellytyksillä. Jos kiinteistössä ilmanvaihto on toteutettu kaksinopeuskoneilla, voidaan pyrkiä ajamaan konetta kalliin sähköenergianaikana hitaalla nopeudella ja halvan energian aikana nopealla. Täytyy kuitenkin varmistaa, että kiinteistöautomaatiikassa on tarvittavat olosuhdeanturit, joilla valvotaan sisäilman laatua. Sisäilman laatu ei saa laskea alle määräysten raja-arvojen myöskään kalliin energian aikana. (26, s. 4–6.)

Mitä kattavammat kiinteistön olemassa olevan automaation vaikutusmahdollisuudet ovat kiinteistön ilmanvaihtoon, sitä parempi säästöpotentiaali on pörssisähköhankinnoissa. Pörssisähkön hintatiedon perusteella voidaan vaikuttaa paikallishuonesäätimien huonekohtaisiin hiilidioksidi- ja lämpötilasäätöjen asetuksiin esimerkiksi suoralla pörssisähköhinnan mukaan säätyvällä

suuntaissirrolla. Tällöin kalliin energian aikana olosuhteiden annetaan muuttua enemmän ja halvan energian aikana pyritään tuulettamaan, jäähdyttämään tai lämmittämään tiloja tarpeen mukaan enemmän. (26, s. 6–8.)

4.2 Energiavaraajat

Energiavaraajat soveltuvat erinomaisesti pörssisähkön hyödyntämiseen. Edullisemman sähkönhinnan aikana voidaan energiasäiliön vesimassaan sitoa joko lämmitys- tai jäähdytysenergiaa. Halvan energian aikana pyritään myös sitomaan rakenteisiin joko jäähdytys- tai lämmitysenergiaa tarpeen mukaan. Energiavaraajan vesimassaan sidottua energiaa hyödynnetään kalliin sähköenergian aikana tilojen jäähdyttämiseen tai lämmittämiseen. Samalla pyritään hyödyntämään kiinteistön rakenteisiin ladattua energiaa, jotta energiavaraajiin sidottu energia riittää mahdollisimman pitkälle kalliin energian aikana. Energiavaraajien käyttöä rajoittaa niiden vaatima asennustila. (29.)

4.3 Sähkölämmityksen ja kaukolämmön rinnakkaiskäyttö

Kaukolämmön ja sähkölämmityksen yhteiskäyttöä voidaan hyödyntää energiankulutuksen hallinnassa. Tässä tapauksessa automaatiojärjestelmä voi tarkkailla kaukolämmön saapuvia hintoja ja verrata niitä sähkön spot-hintaan. Sen jälkeen se valitsee halvemman lämmöntuottotavan. (30.) Sähkölämmityksen muotoja ovat suorasähkölämmitys sekä erilaiset lämpöpumput.

Maalämpöpumput hyödyntävät maaperän pintakerrokseen tai vesistöihin sitoutunutta aurinkoenergiaa lämmön tuottamiseksi. Kallioon porattu lämpökaivo on vallitseva menetelmä maalämmön talteenotossa. Erityisesti suurilla tonteilla maalämpöä voidaan kerätä myös noin metrin syvyyteen asennetulla vaakaputkistolla. Vesistöjen läheisyydessä keruuputkisto voidaan ankkuroida veden pohjaan painoilla tehokkaan lämmönkeruun varmistamiseksi. Maalämmön keruuputkistossa kiertää jäätymätön neste, joka lämpenee useiden asteiden verran kulkiessaan putkistossa. Tämä lämpö siirtyy keruupiiriin nesteestä lämpöpumpussa kiertävään kylmäaineeseen, joka höyrystyy lämmitessään. Kylmäaineen höyrystyessä sen paine kasvaa kompressorin avulla, mikä samalla nostaa sen

lämpötilaa. Lauhduksessa kylmäaine tiivistyy jälleen nesteeksi luovuttaen samalla lämpöenergiaa lämmönjakoverkkoon ja lämpimään käyttöveteen. (31.)

Poistoilmalämpöpumppu on järjestelmä, joka hyödyntää talosta poistettavaa ilmaa lämmönlähteenään. Pumppu siirtää poistoilman lämmön tuloilmaan, lämpimään käyttöveteen tai vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Lisäksi se voi toimia myös sisäilman viilentäjänä. Järjestelmän tehokkuuden varmistamiseksi on tärkeää, että talon ilmanvaihto on riittävää, eli vähintään 0,5 kertaa talon ilmatilavuus tunnissa. Poistoilmalämpöpumppu vastaa talon huonetilojen lämmityksestä sekä osallistuu ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Koska sen lämmönlähde on jatkuvasti noin 21-asteinen sisäilma, se pystyy tuottamaan lämpöä tasaisesti läpi vuoden, riippumatta ulkoisista olosuhteista. Poistoilmalämpöpumppu ei pysty kuitenkaan yksinään kattamaan kaikkea talon tarvitsemaa energiaa, erityisesti suurien lämmitystarpeiden aikana. Tällöin loppuosa lämmitystarpeesta täytyy kattaa esimerkiksi sähkövastuksilla. (32.)

Ilma-vesilämpöpumppu on järjestelmä, joka käyttää ulkoilmaa lämmönlähteenään ja siirtää tämän energian vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Ilma-vesilämpöpumpun avulla voidaan myös tuottaa lämmintä käyttövettä. Ilma-vesilämpöpumppu toimii tehokkaimmin silloin, kun ulkolämpötila on kohtalainen, mutta sen tuottama energiamäärä vähenee, kun lämmitystarve kasvaa eli kovilla pakkasilla. Tästä syystä järjestelmä saattaa tarvita rinnalleen toisen lämmitysjärjestelmän, joka on mitoitettu kattamaan täysimääräisesti suuret lämmitystarpeet. (33.)

Ilmalämpöpumppu on laite, joka hyödyntää ulkoilmasta saatua energiaa. Lämmön siirto tapahtuu talon ulkoseinään sijoitetulla ulkoyksiköllä. Tämä ulkoilmasta kerätty energia siirretään talon sisätiloihin seinään asennetun sisäyksikön avulla, joka lämmittää sisäilmaa. Lämmityskaudella ilmalämpöpumput ottavat energiaa ulkoilmasta ja lämmittävät taloa. Kesällä ne voivat jäähdyttää talon liian kuumaa sisäilmaa siirtämällä ylimääräistä energiaa ulos talon ulkopuolelle asennetun ulkoyksikön avulla. (34.)

5 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli pörssisähkön hyödyntäminen vanhoissa kiinteistöautomaatiojärjestelmissä, joita ei pystytä liittämään laitevalmistajan omaan pilvipalveluun tai pörssisähköpalveluihin. Sähkön hinta saattaa vaihdella voimakkaasti vuorokauden kuluessa ja toisaalta sähköyhtiöt ovat yhä kiinnostuneempia myymään pörssisähkön mukaan hinnoiteltua sähköä. Kiinteistöt voivat saada suuriakin säästöjä energiakuluihin ajoittamalla suurempaa sähkökäyttöä vuorokauden edullisemmille tunneille. Tätä varten kehitettiin tiedonsiirtotopografia, joka mahdollistaa rajapinnan sähkön spot-hintatiedon siirrolle kohteiden kiinteistöautomaatiikkaan.

Asiakkaan haavoittuvainen järjestelmä suojaerotettiin internetistä Modbus RS485 -yhteydellä. Haavoittuvainen järjestelmä on yhteydessä tiedonsiirto laitteistoon ainoastaan Modbus-väylällä. Tiedonsiirtolaitteen ja spot-hintaa siirtävän serverin väliset yhteydet on tehty tietoturvallisesti tosibox-laitteistolla. Sähkön spot-hintatieto haetaan kahdelta toimittajalta mahdollisten yhteysongelmien aiheuttaman riskin vähentämiseksi.

Opinnäytetyön tavoitteena ollut laitteisto saatiin suunniteltua tarkoituksenmukaisesti ja toimeksiantajalle onnistuttiin luomaan toteutustapa, joka täyttää isojenkin kiinteistöjen laatu- ja tietoturvallisuusvaatimukset. Lisäksi suunnitellun mukaista tiedonsiirtotopografiaa voidaan hyödyntää kiinteistössä tulevaisuudessa siinäkin tapauksessa, että kiinteistöautomaatiikka saneerataan nykyaikaiseksi.

Lähteet

- 1 About us. Verkkoaineisto. Nord Pool. <<https://www.nordpoolgroup.com/en/About-us/>>. Luettu 10.3.2024.
- 2 Yleistietoa sähkömarkkinoista. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/yleistietoa-sahkomarkkinoista/>>. Luettu 10.3.2024.
- 3 Markkinapaikat. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyysojohdanto-sahkomarkkinoihin/>>. Luettu 3.5.2024.
- 4 Esittely. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/sivut/tytio/esittely/>>. Luettu 17.3.2024.
- 5 Venäjältä tuotu sähkö Suomessa. 2022. Verkkoaineisto. Fingrid. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/suomen-sahkojarjestelma/ajankohtaista05042022_sahkontuonti.pdf>. Luettu 13.4.2024.
- 6 Venäjältä tuodun energian osuus 18 % energian kokonaiskulutuksesta vuonna 2022. 2022. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <<https://www.stat.fi/julkaisu/clhomy00rtq7g0buvlkdxfhg>>. Päivitetty 13.5.2022. Luettu 14.4.2024.
- 7 Mission statement. Verkkoaineisto. ENTSO-E. <<https://www.entsoe.eu/about/inside-entsoe/objectives/>>. Luettu 16.3.2024.
- 8 Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus sähkön sisämarkkinoista. 2019. Asetus (EU) 2019/943. Verkkoaineisto. Euroopan unionin virallinen lehti 14.6.2019. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0943>>. Luettu 16.3.2024.
- 9 ENTSO-E. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/en/electricity-market/market-integration/european-co-operation/entso-e/>>. Luettu 16.3.2024.
- 10 Euroopan komission asetus tietojen antamisesta ja julkaisemisesta sähkömarkkinoilla ja Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 714/2009 liitteen I muuttamisesta. 2013. Asetus (EU) N:o 543/2013. Verkkoaineisto. Euroopan unionin virallinen lehti 15.6.2013. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0543>>. Luettu 16.3.2024.
- 11 About us. Verkkoaineisto. Tosibox. <<https://www.tosibox.com/about-tosibox/>>. Luettu 17.3.2024.

- 12 Tosibox hub. Verkkoaineisto. Tosibox. <<https://www.tosibox.com/for-management-hub>>. Luettu 17.3.2024.
- 13 Gourley, David; Totty, Brian; Sayer, Marjorie; Aggarwal, Anshu & Reddy, Sailu. 2002. HTTP: The Definitive Guide. E-kirja. California: O'Reilly Media.
- 14 Richardson, Leonard; Amundsen, Michael & Ruby, Sam. 2013. RESTful Web APIs. E-kirja. California: O'Reilly Media.
- 15 Day-Ahead Market Data. Verkkoaineisto. Nord Pool. <<https://www.nordpoolgroup.com/en/services/power-market-data-services/day-ahead-market-data/>>. Luettu 23.3.2024.
- 16 Transparency platform. Verkkoaineisto. ENTSO-E. <<https://transparency.entsoe.eu/>>. Luettu 16.3.2024.
- 17 ENTSO-E:n transparensialustalla nyt avoin restful API-rajapinta. 2016. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2016/entso-en-transparensialustalla-nyt-avoin-restful-api--rajapinta>>. Päivitetty 10.6.2016. Luettu 16.3.2024.
- 18 Tapaa Ubuntu. Verkkoaineisto. Ubuntu Suomi. <<https://ubuntu-fi.org/>>. Luettu 14.4.2024.
- 19 Iwill Mini PC. Verkkoaineisto. Iwill. <<https://www.iwillminipc.com/showroom/iwill-mini-pc.html>>. Luettu 14.4.2024.
- 20 USB TO RS485. Verkkoaineisto. Waveshare. <https://www.waveshare.com/wiki/USB_TO_RS485>. Luettu 14.4.2024.
- 21 Modbus protocol. Verkkoaineisto. Modbus. <<https://modbus.org/specs.php>>. Luettu 24.3.2024.
- 22 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto. 2022. Tietotekniset järjestelmät. ST-käsikirja 21. Sähkötieto.
- 23 Kiinteistön hallintajärjestelmien peruskäsitteitä. 2024. ST 709.00. Sähköinfo.
- 24 Modbus application protocol specification V1.1b3. Verkkoaineisto. Modbus. <https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf>. Luettu 29.3.2024.
- 25 Sähkön kulutusjousto rakennuksissa. 2024. ST 55.51. Sähköinfo.

- 26 Rakennusten energiatehokkuusvaatimusten huomioon ottaminen sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien suunnittelussa. 2020. ST 21.32. Sähköinfo.
- 27 Käyttöveden lämpötila ja laatu. 2018. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <<https://talotekniikkainfo.fi/esimerkit/kayttoveden-lampotila-ja-laatu>>. Päivitetty 24.1.2019. Luettu 14.4.2024.
- 28 Day-ahead prices. Verkkoaineisto. Nord Pool <<https://data.nordpool-group.com/auction/day-ahead/prices>>. Luettu 24.3.2024.
- 29 Energiavaraajat. Verkkoaineisto. Gebwell. <<https://gebwell.fi/energiavaraajat/>>. Luettu 14.4.2024.
- 30 Mäkelä, Veli-Matti & Mäkiöllitervo, Jonna. 2022. Kaukolämmityksen uudet tuulet – kohti älykkäitä hybridilämmitysjärjestelmiä. Verkkoaineisto. <<https://vanha.oamk.fi/oamkjournal/2022/kaukolammityksen-uudet-tuulet-kohti-alykkaita-hybridilammitysjarjestelmia/>>. Luettu 14.4.2024.
- 31 Maalämpöpumppu (MLP). Verkkoaineisto. Suomen lämpöpumppuyhdistys Sulpu. <<https://www.sulpu.fi/lampopumput/maalampopumput/>>. Luettu 3.5.2024.
- 32 Poistoilmalämpöpumppu (PILP). Verkkoaineisto. Suomen lämpöpumppuyhdistys Sulpu. <<https://www.sulpu.fi/lampopumput/poistoilmalampopumput/>>. Luettu 3.5.2024.
- 33 Ulkoilma-vesilämpöpumppu (UVLP). Verkkoaineisto. Suomen lämpöpumppuyhdistys Sulpu. <<https://www.sulpu.fi/lampopumput/ilma-vesilampopumput/>>. Luettu 3.5.2024.
- 34 Ilmalämpöpumppu (ILP). Verkkoaineisto. Suomen lämpöpumppuyhdistys Sulpu. <<https://www.sulpu.fi/lampopumput/ilmalampopumput/>>. Luettu 3.5.2024.