

Opinnäytetyö AMK

Tieto- ja viestintäteknikan koulutus

2023

Victor Wikström

Kotiautomaation taloudelliset ja ekologiset hyödyt

– verkkoteknologiat, tietoturva ja käytännön sovellukset



Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Tieto- ja Viestintätekniikka

2023 | 45 sivua

Victor Wikström

Kotiautomaation taloudelliset ja ekologiset hyödyt

- verkkoteknologiat, tietoturva ja käytännön sovellukset

Tämä opinnäytetyö keskittyi kotiautomaation potentiaaliin sekä sen taloudellisiin ja ekologisiin hyötyihin. Työssä analysoitiin, miten kotiautomaation avulla voidaan optimoida energiankulutusta, saavuttaa huomattavia säästöjä, sekä parantaa asumismukavuutta. Työssä tutkittiin myös älykotijärjestelmien verkkoteknologioita ja korostettiin niiden merkitystä saumattomassa integroinnissa ja toiminnallisuudessa. Lisäksi tietoturvaan liittyvät kysymykset otettiin huomioon, ja käsiteltiin niiden vaikutuksia kotiautomaation luotettavuuteen ja käyttäjien luottamukseen.

Työn aikana on havaittiin, että kotiautomaation investoinnit voivat olla paitsi ekologisesti kestäviä myös taloudellisesti kannattavia pitkällä tähtäimellä. Teknologian jatkuva kehitys ja integrointi eri laitteiden ja palveluiden välillä mahdollistavat entistä älykkäämmät ja tehokkaammat ratkaisut kotiautomaatiossa.

Kuluttajien tiedostavuuden ja ymmärryksen lisääminen kotiautomaation eduista on keskeistä sen laajemman omaksumisen ja hyödyntämisen kannalta. Työssä esitetyt tulokset ja analyysit osoittivat, että kotiautomaatio tarjoaa tehokkaan välineen vastata nykyaikaisiin ympäristöhaasteisiin ja edistää kestäväää energiankäyttöä.

Asiasanat:

kotiautomaatio, energiansäästö, ekologisuus, taloudellisuus, teknologia, verkkoteknologiat, tietoturva, Home Assistant

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Information and Communications Technology

2023 | 45 pages

Victor Wikström

Home Automation's Economic and Ecological Benefits

- Network Technologies, Cybersecurity and Practical Applications

This thesis focuses on the potential of home automation and its economic and ecological benefits. The work analyzes how home automation can optimize energy consumption, achieve significant savings, and improve living comfort. The research also examines network technologies for smart home systems and emphasizes their importance in seamless integration and functionality. In addition, cybersecurity-related issues are taken into account and their impact on the reliability of home automation and user trust is discussed.

Throughout the study, it was found that investments in home automation can be not only ecologically sustainable but also economically viable in the long run. Continuous technological development and integration between various devices and services enable smarter and more efficient solutions in home automation.

Increasing consumer awareness and understanding of the benefits of home automation is essential for its broader adoption and utilization. The results and analyses presented in this work show that home automation offers an effective tool to address modern environmental challenges and promote sustainable energy use.

Keywords:

home automation, energy savings, technology, networking, cybersecurity, Home Assistant, Ecology

Sisältö

Käytetyt lyhenteet ja sanasto	7
1 Johdanto	8
2 Kotiautomaatiojärjestelmä	9
2.1 Järjestelmävertailu	9
2.1.1 Philips Hue	9
2.1.2 eWeLink	9
2.1.3 Smart Life / Tuya	10
2.1.4 Home Assistant	10
3 Kodin energiakulutuksen hallinta	11
3.1 Pörssisähkön hintatiedot ja ohjaus	11
3.2 Kotiautomaation ohjaaman lämmityksen säästöpotentiaali	12
3.3 Aurinkoenergian tuotannon seuranta ja hyödyntäminen	12
3.4 Talon lämmön ohjaus	13
3.5 Veden lämmityksen ohjaus	14
3.6 Älykkäät termostaatit ja lämmitysjärjestelmän ohjaus	14
4 Kotiautomaation käyttämät verkkoteknologiat ja tietoturva	16
4.1 WiFi-verkot	16
4.2 ZigBee-verkot	17
4.3 433 MHz-tiedonsiirto	19
4.4 Home Assistantin monitasoinen tietoturva	20
4.5 Etähallinnan edut ja riskit kotiautomaatiossa	20
5 Kehittyvä energiataloudellinen laskentamalli	22
5.1 Älykkään lämmityksen rooli energiankulutuksen hallinnassa	22
5.1.1 Lämmityksen älykäs hallinta	24
5.1.2 Älykäs vedenlämmitys ja aurinkoenergian hyödyntäminen	25
5.1.3 Astetta älykkäämpi automaatiojärjestelmä	27
5.2 Säästöjen kvantifiointi ja vaikutus energiakustannuksiin	30

5.3 Kuukauden ajanjakson arviointi (1.-31.12.2022)	31
5.4 Viikon ajanjakson arviointi (14.-20.8.2023)	32
5.5 Vuorokauden ajanjakson arviointi (17.8.2023)	32
6 Kotiautomaation tulevaisuuden mahdollisuudet	36
6.1 Kustannus-hyötyanalyysi	36
6.2 Laajentamisen ja parantamisen mahdollisuudet	36
6.3 Lisämittaukset ja testit	37
7 Yhteenveto	38
8 Lähdeluettelo	39

Kaavat

Kaavio 1 Kaavio esittelee tuntikohtaiset sähkön hinnat kahtena päivänä.	23
Kaavio 2 Päivitetty laskenta sähkön hinnan keskiarvoisa.	23
Kaavio 3 Sähkön hinta ja kulutus 1.12.2022	24
Kaavio 4 Aurinkoenergian tuotantoennuste ja toteuma 17.8.2023	26
Kaavio 5 Sähkön kulutus ja veden lämmitys (HA loki 17.8.2023)	27
Kaavio 6 Joulukuu 2022, Toteutunut pörssisähköhinta sekä oma kulutus	31
Kaavio 7 Aurinkotuotannon vertailu energiankulutukseen, vko 33 / 2023	32

Kuvat

Kuva 1 Lohkokaavio aurinkotuotannon ja lämmitysohjauksien yhteyksistä esimerkkikohteessa	13
Kuva 2 Periaatekuva lämpötila-antureista ja lämmityksen ohjauksesta	15
Kuva 3 Oman Wifi- ja IP-verkon toteutustapa	17
Kuva 4 Topologiakuva järjestelmän Zigbee-verkosta	18

Kuva 5 Lähennetty kuva ZigBee verkon topologiasta, kuvankaappaus HA-hallintapaneelistä	19
Kaavio 6 Sähkön kulutus 1.12.2022 sekä pörssisähkön hinta	25

Käytetyt lyhenteet ja sanasto

- **IoT:** Internet of Things (Esineiden internet) - Verkkoon kytketyt fyysiset laitteet ja esineet, jotka voivat viestiä ja vaihtaa tietoja keskenään.
- **kWh:** Kilowattitunti - Energian mittayksikkö, joka kuvaa kulutettua tai tuotettua energiaa ajanjakson aikana.
- **API:** Application Programming Interface (Sovellusohjelmointirajapinta) - Rajapinta, joka mahdollistaa ohjelmien ja sovellusten kommunikoinnin ja integroinnin.
- **SSL:** Secure Sockets Layer (Turvallinen sokettikerros) - Kryptografinen protokolla tietoturvan lisäämiseksi internetissä.
- **kW:** Kilowatti - Tehon mittayksikkö, joka kuvaa energiaa ajan yksikköä kohti.
- **LAN:** Local Area Network (Paikallinen tietoverkko) - Rajoitetulle alueelle, kuten kotiin tai toimistoon, rajattu tietoverkko.
- **ISP:** Internet Service Provider (Internetin palvelintarjoaja) – Yhtiö joka tuo internetyhteyden kotiin, esim. Elisa Oyj
- **FIR:** Finite Impulse Response – Nordpool_diff rajapinnan käyttämä laskentamalli tuottaessaan vertailuluvun joka korreloi sähkön nykyhintaa verrattuna tuleville tunneille
- **HA:** HomeAssistant – Opinnäytetyössä käytetty kotiautomaatiojärjestelmä
- **YAML-script:** YAML Ain't Markup Language - Data-sarjoituskieleksi luotu formaatti, joka on suunniteltu olemaan ihmisen luettava ja samalla koneiden ymmärrettävissä. Esimerkki liitteissä 1 ja 2.
- **Energiataloudellinen laskentamalli:** Matemaattinen malli, joka hyödyntää tietoja ja parametreja energiankulutuksen arvioimiseksi ja optimoimiseksi.
- **Energiankulutuksen optimointi:** Käytäntö, jossa pyritään vähentämään energiankulutusta säilyttäen mukavuustaso ja toiminnallisuus.
- **Pörssisähkö:** Sähkön hinta, joka määräytyy sähköpörssissä kysynnän ja tarjonnan mukaan.
- **Aurinkoenergian hyödyntäminen:** Prosessi, jossa aurinkopaneelijärjestelmä kerää ja muuntaa auringonvalon sähköenergiaksi.
- **Tietoturva:** Toimenpiteet ja käytännöt, jotka suojaavat järjestelmiä luvattomalta pääsylvä ja tietojen väärinkäytöltä.
- **Älykotijärjestelmä:** Järjestelmä, joka hyödyntää automaatiota ja verkottuneita laitteita kodin toimintojen ohjaukseen.
- **Lämmitysjärjestelmä:** Järjestelmä, joka tuottaa lämpöä ja ylläpitää lämpötilaa kodissa.
- **Energiansäästö:** Toimenpiteet ja strategiat, joiden avulla pyritään vähentämään energiankulutusta.
- **Kestävä energiankäyttö:** Energiankulutus, joka ottaa huomioon tulevien sukupolvien tarpeet.

1 Johdanto

Älykodit ja kotiautomaatiojärjestelmät ovat nousseet keskeiseen asemaan kodin energiatehokkuuden ja mukavuuden saavuttamisessa. Tämä opinnäytetyö keskittyy älykodin energianhallinnan esittelyyn kotiautomaation näkökulmasta. Työssä pyritään kehittämään laskentamalleja, jotka mahdollistavat kodin lämmitysmuotojen, kuten ilmalämpöpumppujen, sähkölämmityksen, sekä aurinkopaneelijärjestelmän käytön optimoinnin.

Opinnäytetyössä tutkitaan, kuinka kotiautomaation avulla voidaan tehokkaasti vähentää energiankulutusta ja samalla lisätä älykodin energiatehokkuutta. Tutkimus nojaa olemassa olevan järjestelmän lokitietoihin, jotka tarjoavat syvällistä näkemystä kodin energiankäytöstä. Lokitietojen analysoinnin ja mallinnuksen kautta voidaan tunnistaa energiankulutuksen trendejä ja käyttötapoja, jotka puolestaan auttavat muotoilemaan tehokkaita energianhallintaratkaisuja.

Opinnäytetyön aineistoa käsitellään tilastollisilla menetelmillä, mukaan lukien regressio- ja trendianalyysi, jotta voidaan ymmärtää kodin energiankulutuksen, energian hinnan ja ilmasto-olosuhteiden välisiä suhteita. Työ sisältää myös kokeellisia osioita, joissa tarkastellaan kodin energiankulutusta erilaisten muutosten, esimerkiksi lämmitysjärjestelmän asetusmuutosten vaikutusta. Opinnäytetyön tuloksia vertaillaan sekä teoreettisiin keskiarvoihin sekä vertailukohteisiin.

Opinnäytetyön odotetaan tuottavan laskentamalleja, joka edistävät älykodin energiataloutta. Työssä tuodaan myös esiin kotiautomaation käytön haasteita, tietoturvan merkitystä sekä energianhallinnan kehittämistä älykotiympäristöissä. Työn tulokset palvelevat kodin energiatehokkuuden parantamista ja kestäväen energiankäytön edistämistä, mutta ne voivat myös tukea kotiautomaation ja energianhallinnan tutkimusta ja innovaatiota laajemmin.

Aikaisempia opinnäytetöitä kotiautomaatiosta löytyy useita, joista tässä työssä apuna on käytetty Tuure Tuhkasen ”Kotiautomaatio ja sen tietoturva” (Tuhkanen, 2022) sekä Tommi Friskin ”Älykodin Rakentaminen Omakotitaloon” (Frisk, 2018). Lukemalla internetin keskustelupalstoja ja teknisten aikakauslehtien artikkeleita huomaa nopeasti, että kotiautomaatio ja energianhallinta on tämän ajan polttava puheenaihe ja alalta löytyy paljon innostuneita harrastajia ja ammattilaisia.

2 Kotiautomaatiojärjestelmä

Opinnäytetyön keskiössä on Home Assistant -kotiautomaatiojärjestelmä, joka on integroitu kotiin useiden antureiden ja palveluiden kautta mahdollistaen älykkään laitteiden ohjauksen sekä energiankulutuksen seurannan ja optimoinnin.

2.1 Järjestelmävertailu

Vaikka kotiautomaatiojärjestelmien valikoima on laaja ja valinnan tekeminen haastavaa, päädyin käyttämään Home Assistantia. Tämä johtui sen avoimesta lähdekoodista, edullisuudesta, paikallisesta käytöstä (kotipalvelin), skaalautuvuudesta ja aktiivisesta kehittäjäyhteisöstä.

2.1.1 Philips Hue

Philips Hue on tunnettu erinomaisesta tuestaan omalle tuoteperheelleen, joka keskittyy pääasiassa valaistusratkaisuihin. Vaikka järjestelmä on helppokäyttöinen ja osin yhteensopiva muidenkin tuotteiden kanssa, sen laajempi käyttö älykodin automaation ytimenä on rajoitettu. (Philips Hue, 2023)

2.1.2 eWeLink

eWeLink on kiinalainen palveluntarjoaja, joka tarjoaa laajaa yhteensopivuutta eri laitevalmistajien ja palveluntarjoajien kanssa. Integraatorajapintansa ansiosta se mahdollistaa monipuoliset yhteydet muihin palveluihin, kuten Philips Huen järjestelmään. Laitetukea on saatavilla laajasti: valikoima kattaa kaiken virtakatkaisimista ja liikeilmaisimista aina lämpö-, kosteus- ja virta-antureihin, sekä valaisimiin, ilmastointilaitteisiin ja valvontakameroihin.

Maksulliset ja maksuttomat palvelut: Vaikka eWeLink tarjoaa perustoiminnot ilmaiseksi, lisäominaisuudet ja monimutkaisemmat automaatiot ovat maksullisia. Esimerkiksi pilvitallennustila valvontakameroille on ostettava erikseen.

Käyttöliittymä ja lokalisointi: Palvelu on käyttäjäystävällinen ja tarjoaa suomenkielisen käyttöliittymän, jonka kääntämiseen tämän opinnäytetyön kirjoittajakin on osallistunut vapaaehtoisena.

Rajoitukset ja puutteet: Vaikka palvelu on monipuolinen, sen automaatiotoiminnot ovat suhteellisen yksinkertaisia. Esimerkiksi paikallisten pörssisähköhintojen hyödyntäminen automaation osana ei ole mahdollista.

Yhteensopivuus suomalaisiin tuotteisiin: Vaikka eWeLinkin tuotevalikoima on pääasiassa ulkomailta tilattavissa, yhteensopivuus voidaan laajentaa Suomessakin saatavilla oleviin tuotteisiin hankkimalla esimerkiksi 433 MHz- tai ZigBee-silta. Tämä mahdollistaa yhteensopivuuden esimerkiksi IKEAn ja Philips Huen tuotteiden, palovaroittimien ja etäohjattavien katkaisimien kanssa. (eWeLink, 2023)

2.1.3 Smart Life / Tuya

Smart Life verrattuna eWeLinkiin tarjoaa pilvipalvelupohjaisen ratkaisun moniin Suomessa saatavilla oleviin älykotituotteisiin. Vaikka se tarjoaa laadukkaita perusautomaatioita, kaikki toiminnot riippuvat pilvipalveluyhteydestä. Palvelun tuottaja keskittyy pääasiassa oman tuoteperheen laitteiden yhteensopivuuteen ja monipuolisempien automaatioiden käyttöönotto on maksullista. (Tuya, 2023)

2.1.4 Home Assistant

Home Assistant edustaa huipputason kotiautomaatiota, integroiden monenlaisia älylaitteita ja järjestelmiä saumattomasti yhdeksi kokonaisuudeksi. Sen avoimen lähdekoodin filosofia, vahva yhteisötuki ja dynaaminen kehitys asettavat sen erinomaiseksi valinnaksi nykyaikaisiin älykodin tarpeisiin. Lisäbonuksena järjestelmä on asennettavissa edulliseen Raspberry Pi -laitteeseen. (Tähtinen, 2022)

Tämän järjestelmän yhteensopivuus kattaa laajasti eri laitteita ja palveluita, kuten Smart Life, eWeLink, Philips Hue, Growatt, Sonos ja monet muut. Käyttöliittymä on intuitiivinen, mahdollistaen käyttäjälle helpon pääsyn järjestelmän toimintoihin, asetusten muokkaamiseen ja historiatietojen tarkasteluun. Home Assistant ei pelkästään integroi; se skaalautuu ja mukautuu käyttäjän tarpeiden mukaan. (Frisk, 2018)

3 Kodin energiakulutuksen hallinta

Kun keskitymme kodin energiakulutuksen hallintaan älykotiympäristössä, tietoturva ja verkkojärjestelmien luotettavuus korostuvat. Älykodin tehokkuuden ja energiasäästön saavuttamiseksi järjestelmän on paitsi oltava älykäs, myös turvallinen ja luotettava.

Kodin energiakulutuksen optimointi perustuu tarkkaan tietoon, kuten talon lämpötilaan, ulkolämpötilaan, eri laitteiden sähkönkulutukseen sekä aurinkopaneelien tuottoon. Tämän datan keräämiseksi käytämme erilaisia antureita, mittareita ja IoT-laitteita. Kun tämä data kulkee kotimme verkossa, on ensiarvoisen tärkeää, että se on suojattu ulkopuolisten hyökkäyksiltä ja luvattomalta pääsylvä. (Tuhkanen, 2022)

Mikäli kodin automaatiojärjestelmä ei olisi riittävän suojattu, voisi mahdollinen tunkeutuja paitsi saada pääsyn talon toimintoihin, myös pystyä manipuloimaan esimerkiksi lämmitystä tai lukituksia. Tämä korostuu erityisesti vikatilanteissa, kuten sähkökatkoksissa. Älykodin järjestelmän tulisi olla suunniteltu niin, että se ottaa huomioon mahdolliset vikatilanteet ja toimintahäiriöt. Järjestelmän tulisi automaattisesti havaita ja reagoida esimerkiksi laitteiden toimintahäiriöihin, ja käyttäjän tulisi aina pystyä ohittamaan järjestelmä, ettei esimerkiksi järjestelmän kaatuminen aiheuttaisi putkien jäätymistä talvella. (Tuhkanen, 2022)

3.1 Pörssisähkön hintatiedot ja ohjaus

Yksi älykotiautomaation keskeisistä edistysaskeleista on pörssisähkön hintatietojen integrointi lämmityksen ohjaukseen. Home Assistant -järjestelmän avulla olen integroinut Nordpool-komponentin, mikä mahdollistaa reaaliaikaisten sähkön hintatietojen saamisen. Tämän tiedon perusteella järjestelmä voi säädellä kodin lämmitystä, jolloin esimerkiksi lämpöä tuotetaan eniten silloin, kun sähkön hinta on edullisimmillaan ja vähemmän, kun hinta on korkea. Tällainen yksinkertainen älykäs ohjaus voi jo tuoda merkittäviä säästöjä kodin energiakustannuksiin.

Pörssisähkön hinta päivittyy tunneittain, ja Suomessa sen määrää pohjoismainen sähköpörssi Nord Pool perustuen tarjouskilpailuun. Hintaan vaikuttaa useita tekijöitä:

- **Sähkön kysyntä ja tarjonta:** Peruseriaatteen mukaan hinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan tasapainosta. Esimerkiksi suuren kysynnän ja rajoitetun tarjonnan aikana hinnat voivat nousta.
- **Sääolosuhteet:** Sähkön kysyntä ja tarjonta voivat heilahdella sääolosuhteiden mukaan. Kylmät talvipäivät voivat kasvattaa kysyntää, kun taas tuulisähkön tuotanto voi olla riippuvaista tuulen määrästä.
- **Tuotantomuodot:** Eri energiantuotantomuotojen kustannukset voivat heijastua hintoihin. Runsas tuulivoiman ja aurinkosähkön saatavuus voi painaa hintoja alas.
- **Politiikka ja lainsäädäntö:** Energiamarkkinoita säätelevät poliittiset päätökset ja lait voivat vaikuttaa hintoihin. Esimerkiksi tietyt verotukset tai energiantuotantomuotoihin liittyvät lainsäädännöt voivat ohjata hintoja ylös- tai alaspäin.

- **Ulkomaankauppa:** Sähkön vienti tai tuonti voi vaikuttaa hintoihin, erityisesti jos on sähköpula tai jos naapurimaiden hintataso poikkeaa omasta.

Tärkeä huomio on, että pörssisähkön hinta voi olla hyvin volatiili ja voi muuttua nopeastikin. Tämä tekee sähkönhinnan tulevaisuuden ennustamisesta haastavaa. Onneksi moderni kotiautomaatio, kuten Home Assistant, tarjoaa työkalut näiden hintavaihteluiden hyödyntämiseen. Pörssisähkön tulevan päivän hintatiedot julkaistaan edeltävänä päivänä noin klo 14. (Magnus Berglund, 2023)

3.2 Kotiautomaation ohjaaman lämmityksen säästöpotentiaali

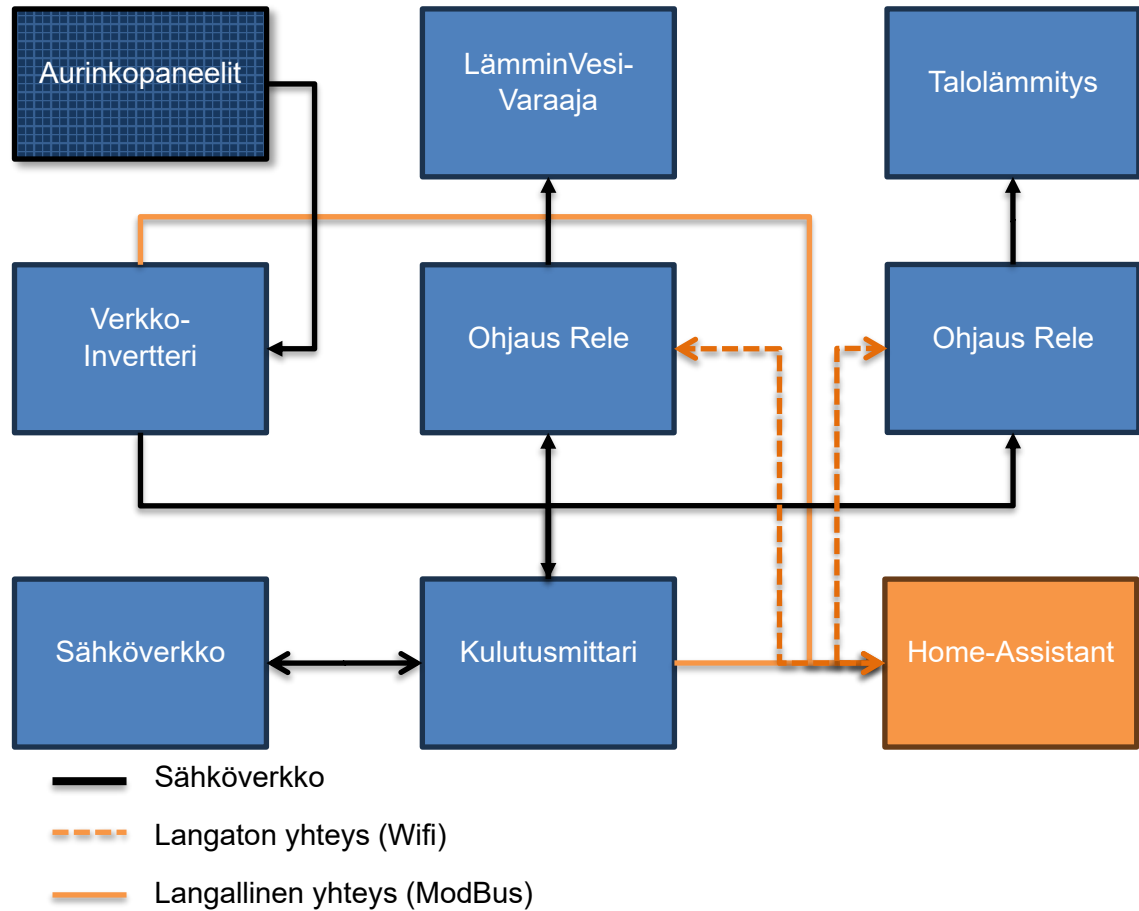
Älykotiautomaation hyödyntäminen lämmityksen ohjauksessa voi merkittävästi vähentää energiankulutusta ja siihen liittyviä kustannuksia. Tämän saavuttamiseksi älykotijärjestelmät seuraavat jatkuvasti tekijöitä, kuten sisä- ja ulkolämpötilaa, pörssisähkön hintaa ja aurinkoenergian tuotantoa, optimoiden lämmitystä niiden perusteella. (FinGrid Oy, 2019)

Eryteisesti pörssisähkön hintavaihteluiden hyödyntäminen on keskeistä. Kun sähkön hinta laskee, järjestelmä voi tehostaa lämmitystä ja varastoida lämpöä tulevaa käyttöä varten. Esimerkiksi lämpöpumput ja sähkölämmitysjärjestelmät voivat aktivoitua automaattisesti edullisten hintojen aikana, kuten yöllä.

Säästöpotentiaali riippuu useista tekijöistä: talon rakenteesta, valitusta lämmitysmenetelmästä, alueen ilmastosta ja sähkön hintavaihteluista. Monet tutkimukset osoittavat, että älykotiautomaatiolla voi vähentää lämmityskustannuksia jopa 10-30 %. Tärkeää on huomata, että tämä optimointi ei vähennä asumismukavuutta. Päinvastoin, kodin lämpötila pysyy miellyttävänä samalla kun energiatehokkuus paranee. (FinGrid Oy, 2019)

3.3 Aurinkoenergian tuotannon seuranta ja hyödyntäminen

Aurinkoenergian tehokas hyödyntäminen on keskeistä älykkäiden kotiautomaatiojärjestelmien toiminnassa. Eryteisesti kesäkuukausina, kun aurinkoenergian tuotanto on huipussaan ja sähkön hinta on usein matalampi, järjestelmä voi priorisoida aurinkosähkön käyttöä talon lämmityksessä. Tämä auttaa vähentämään riippuvuutta ulkopuolisesta sähköstä ja tuo merkittäviä säästöjä energiakustannuksiin.



Kuva 1 Lohkokaavio aurinkotuotannon ja lämmitysohjauksien yhteyksistä esimerkikohteessa

Kuvassa 1 Home Assistant -järjestelmään integroitu aurinkopaneelijärjestelmään, joka monitoroi reaaliaikaisesti aurinkoenergian tuotantoa ja kodin sähkönkulutusta. Tämä tieto mahdollistaa järjestelmän ohjaavan talon lämmitystä siten, että aurinkoenergia otetaan ensisijaiseksi energianlähteeksi, erityisesti niinä hetkinä kun sen myyminen takaisin sähköverkkoon ei ole taloudellisesti kannattavaa.

3.4 Talon lämmön ohjaus

Talon lämmitys on merkittävässä roolissa kotitalouden energiankulutuksessa. Älykotiautomaation avulla lämmitystä voidaan ohjata tarkemmin ja tehokkaammin, mikä mahdollistaa merkittäviä säästöjä. (FinGrid Oy, 2019) Lämmityksen ohjauksen lohkokaavio on esitelty myöhemmin kuvassa kaksi. Optimoitu lämmityksen ajoitus ja lämpötila: Älykotijärjestelmä mahdollistaa lämmityksen ajoituksen ja lämpötilan säätelyn perustuen energiahintoihin. Energian kulutus voidaan kohdentaa edullisimmille tunneille.

Ennakointi ja hinnanvaihteluiden hyödyntäminen: Järjestelmä on kykenevä ennakoimaan tulevien tuntien sähkön hinnan. Esimerkiksi, järjestelmä voi nostaa asuintilojen lämpötilaa ennen hinnan nousua, vähentäen näin lämmityksen tarvetta kalliimpina aikoina. Pörssisähkön tehokas hyödyntäminen: Yksi avainasemassa oleva säästöstrategia on pörssisähkön hintatietojen hyödyntäminen. Älykotiautomaatio seuraa sähkön hintoja reaaliajassa ja ohjaa lämmitystä sen mukaan. Kun sähkön hinta on alhainen, järjestelmä tuottaa ja varastoi lämpöä tehokkaammin. Tämä strategia ei vain pienennä lämmityskustannuksia, vaan se myös säilyttää asumismukavuuden

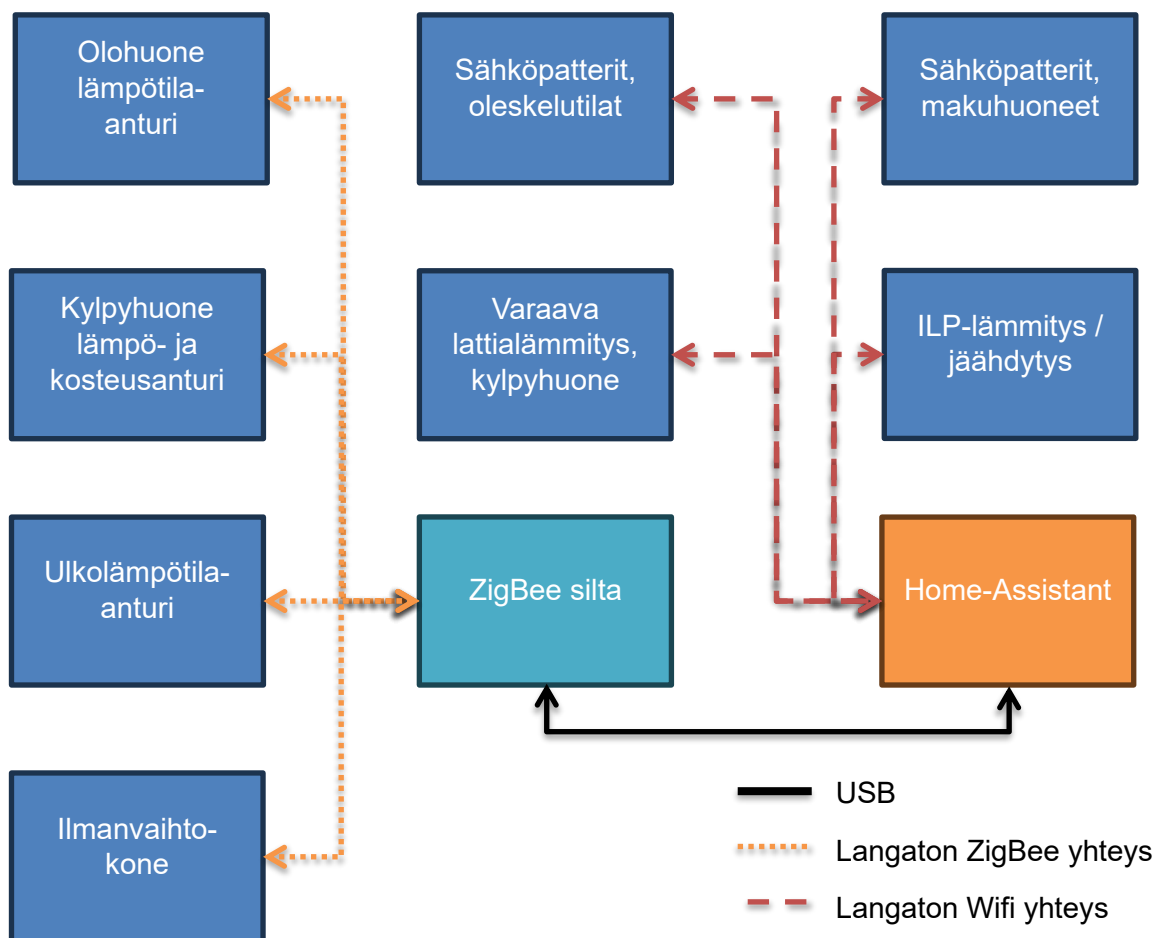
3.5 Veden lämmityksen ohjaus

Veden lämmitys kuluttaa merkittävän osan kotitalouden energiasta. Älykotiautomaation avulla voidaan kohdentaa veden lämmityksen ajoitusta. Tavoitteena on, että lämmin vesi on käytettävissä juuri silloin kun sitä tarvitaan, mutta sen tuotanto tapahtuu etenkin edullisina tunteina tai kun edullista aurinkosähköä on saatavilla.

3.6 Älykkäät termostaatit ja lämmitysjärjestelmän ohjaus

Home Assistant järjestelmään on liitetty älytermostaatteja (*valmistajat: Shelly ja eWeLink*) osana Home Assistant -automaatiojärjestelmääni. Nämä mahdollistavat yksityiskohtaisen lämpötilan hallinnan huonekohtaisesti sekä mahdollisuuden etäohjaukseen älylaitteilla. Järjestelmä reagoi automaattisesti muuttuviin sähkönhintoihin sekä aurinkoenergian saatavuuteen, mikä optimoi lämmityksen energiankulutusta ja kustannuksia.

Kokemuksen perusteella nämä integraatiot ovat tuottaneet huomattavia säästöjä energiakustannuksissani ja samanaikaisesti nostaneet asumismukavuuden tasoa. Saavutettuja taloudellisia säästöjä sähkölaskussa on analysoitu tarkemmin myöhemmin tässä opinnäytetyössä. Tulevaisuuden visiossani on laajentaa järjestelmääni entisestään, integroiden uusia automaatioita, jotka edesauttavat ympäristöystävällisempää ja kestävämpää energianhallintaa.



Kuva 2 Periaatekuva lämpötila-antureista ja lämmityksen ohjauksesta

Lisäksi järjestelmään on liitetty ilmanvaihtokone (Vallox MC096) sekä kylpyhuoneen lattialämmityksen jotka ovat asetettu ohjautumaan kylpyhuoneen lämpö- ja kosteusanturin perusteella. Järjestelmä reagoi kylpyhuoneen kosteusprosenttiin, mikä mahdollistaa ilmanvaihdon ja lattialämmityksen optimoinnin. Kun kylpyhuoneen kosteus on alhainen, ilmanvaihtoa ja lattialämmitystä voidaan vähentää, mikä säästää energiaa. Tämä automaatio ei ainoastaan paranna asumismukavuutta, mutta myös vähentää turhaa energiankulutusta ja auttaa saavuttamaan merkittäviä säästöjä.

On tärkeää huomauttaa, että Suomen laki säätelee, kuka saa tehdä sähkökytkentöjä. Lisäksi lämmitysten säätämällä saattaa olla riskejä aiheuttaa kosteusvaurioita ja rakenteellisia vaurioita. Siksi on välttämätöntä konsultoida rakennus- ja sähköalan ammattilaisia aina kun lähtee tekemään muutoksia talotekniikkaan.

4 Kotiautomaation käyttämät verkkoteknologiat ja tietoturva

Kotiautomaatiojärjestelmien sydämessä ovat moninaiset verkkoteknologiat, jotka mahdollistavat laitteiden välisen yhteyden ja viestinnän. Tässä luvussa paneudumme neljään keskeiseen tiedonsiirtoteknologiaan – WiFi, ZigBee, ModBus ja 433 MHz – jotka ovat nousseet erityisen keskeisiksi kotiautomaation alalla. Samalla syvennymme näiden verkkojen keskeisiin ominaisuuksiin ja tietoturvakysymyksiin. Lopuksi katsomme, miten Home Assistant huomioi tietoturvan ja mitä ratkaisuja se tarjoaa näiden teknologioiden yhteydessä. (Frisk, 2018)

Järjestelmien sisäänrakennettujen tietoturvan lisäksi voi pohtia haluaako järjestelmään lisätä tietoturvaa parantavia komponentteja tai sääntöjä, kuten esimerkiksi verkon valvonnan valvomaan kotiverkon liikennettä ja laitteita. Tai tekemään verkkosuunnittelun niin, että älylaitteet olisivat omassa verkossaan (jos niiden ei ole välttämätöntä olla yhteydessä internettiin) eivätkä täten niin helposti pystyisi häiritsemään kotiverkon muita laitteita, esim. television suoratoistopalveluita eikä mahdollisesti hakkeroitu valvontakamera ei pääse niin helposti kiinni kotikoneella oleviin lomakuviin. (Kyyhkynen, 2017)

4.1 WiFi-verkot

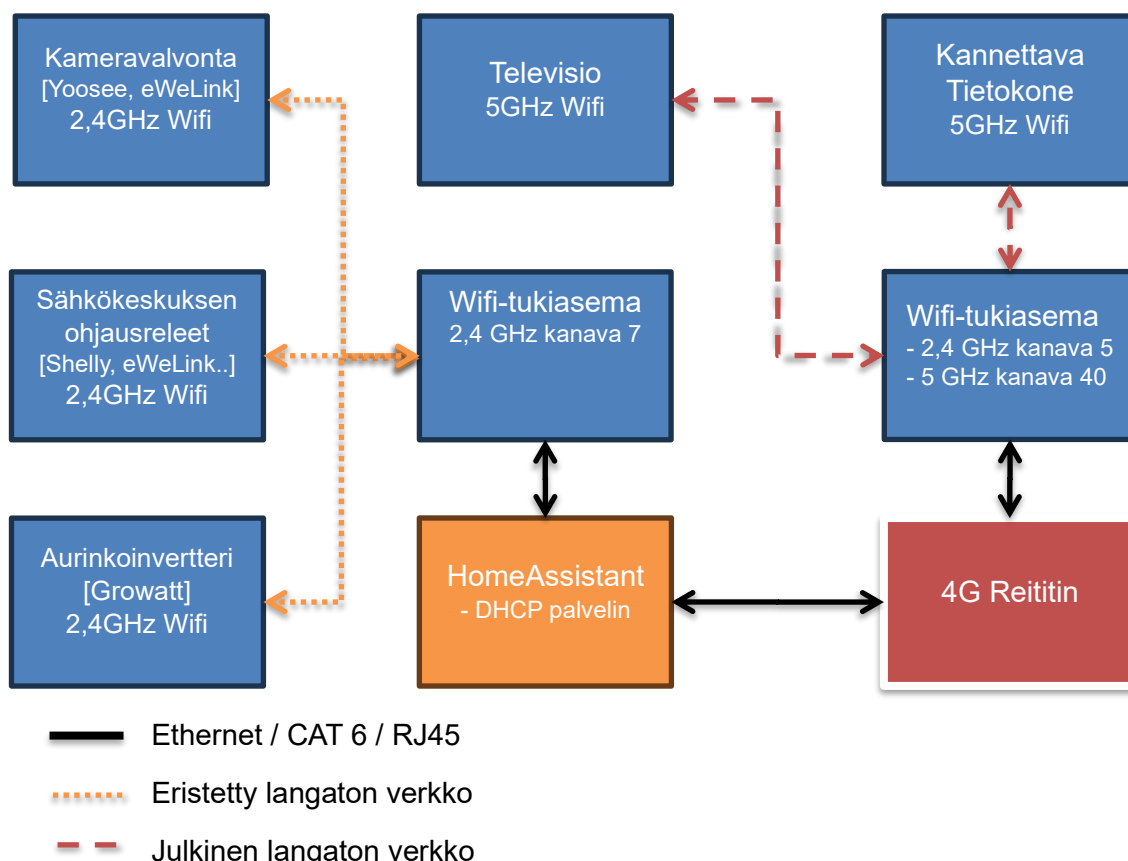
WiFi on nykypäivänä kodin ytimessä. Se on laajasti käytetty langaton verkkoteknologia, joka mahdollistaa nopean ja vakaan yhteyden. Sen avulla älypuhelimista tietokoneisiin ja erilaisiin älylaitteisiin, kuten termostaatteihin ja turvakameroihin, voidaan yhdistää langattomasti samaan verkkoon. WiFi-verkon valttikortteja kotiautomaatiossa ovat:

- **Nopeus ja suorituskyky:** Erityisen arvokasta, kun esimerkiksi valvontakameroiden on lähetettävä kuvaa reaaliajassa.
- **Käyttönoton helppous:** Suurin osa älylaitteista tukee WiFi-yhteyksiä, ja niiden liittäminen verkkoon on intuitiivista.
- **Monipuolisuus:** Mahdollistaa erilaisten älylaitteiden hallinnan saman järjestelmän alla.

(Tuhkanen, 2022)

WiFi-verkon tietoturvallisuus on ensiarvoisen tärkeää. Vahva salasana ja WPA3-suojaus ovat suositeltavia, vaikka monet laitteet tukevat tällä hetkellä vain WPA2-suojausta. Ohjelmistojen säännöllinen päivitys minimoi tietoturvariskit. (Kyberturvallisuuskeskus, 2014)

Monet kotiautomaatiobrändit suosivat WiFi-yhteyksiä sekä omia pilvipalveluitansa. Tästä nousee väistämättä esiin kysymyksiä: Voimmeko täysin luottaa palveluntuottajiin? Toimiiko älylaite aina kuvauksen mukaisesti vai onko piilotoimintoja? Jos esimerkiksi valvontakamera on suoraan yhteydessä internetiin, minne kaikkialle se lähettää kuvatietoa? Mitä jos ulkopuolinen pääsee murtautumaan laitteisiin?



Kuva 3 Oman Wifi- ja IP-verkon toteutustapa

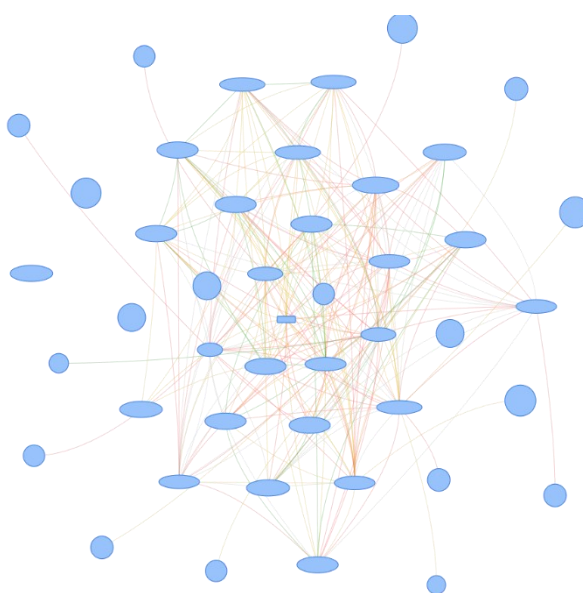
Kotiverkon laitteet ovat kuvan 3 mukaisesti eriteltyjä muista laitteista seuraavasti: IoT-laitteet on eritelty omaan WiFi-verkkoon ja omalle taajuudelle. Tämä auttaa pitämään toisen verkon vapaana ja nopeana, erityisesti kun monet IoT-laitteet eivät tue nopeimpia verkkostandardeja ja käytännössä pakottavat koko verkon toimimaan hitaimman laitteen mukaan. Vaikka kotiautomaatiolaitteet eivät yhdisty suoraan ulkoverkkoon, HomeAssistant näkee kuitenkin laitteet molemmissa verkoissa ja mahdollistaa esimerkiksi valojen himmentämisen, kun televisio kytketään päälle. Home Assistant toimii myös verkkoni DHCP-palvelimena, sillä sen konfigurointimahdollisuudet ovat laajemmat kuin palveluntarjoajani reitittimellä (Huawei 4G reititin). (Kyyhkynen, 2017) (Tuhkanen, 2022)

4.2 ZigBee-verkot

ZigBee on IoT-laitteille ja kotiautomaatiojärjestelmille räätälöity langaton verkkoteknologia. Se on suunniteltu tarjoamaan matala virrankulutus, kattava kantama ja turvattu yhteys. ZigBee-verkon keskeisiä piirteitä kotiautomaation näkökulmasta ovat:

- **Matala virrankulutus:** ZigBee-laitteet kuluttavat vähän virtaa, mikä mahdollistaa niiden pitkäaikaisen toiminnan ilman usein toistuvia latauksia. Tämä on ihanteellista esimerkiksi erilaisille sensoreille ja kytkimille.
- **Mesh-verkkorakenne:** ZigBee-laitteet voivat luoda verkon, jossa osa laitteista toimii signaalin toistimena, varmistaen näin laajemman ja vakaamman kantaman.
- **Laaja yhteensopivuus:** Useat suosittu kotiautomaatio tuotteet, kuten IKEA Trådfri ja Philips Hue, hyödyntävät ZigBee-teknologiaa.

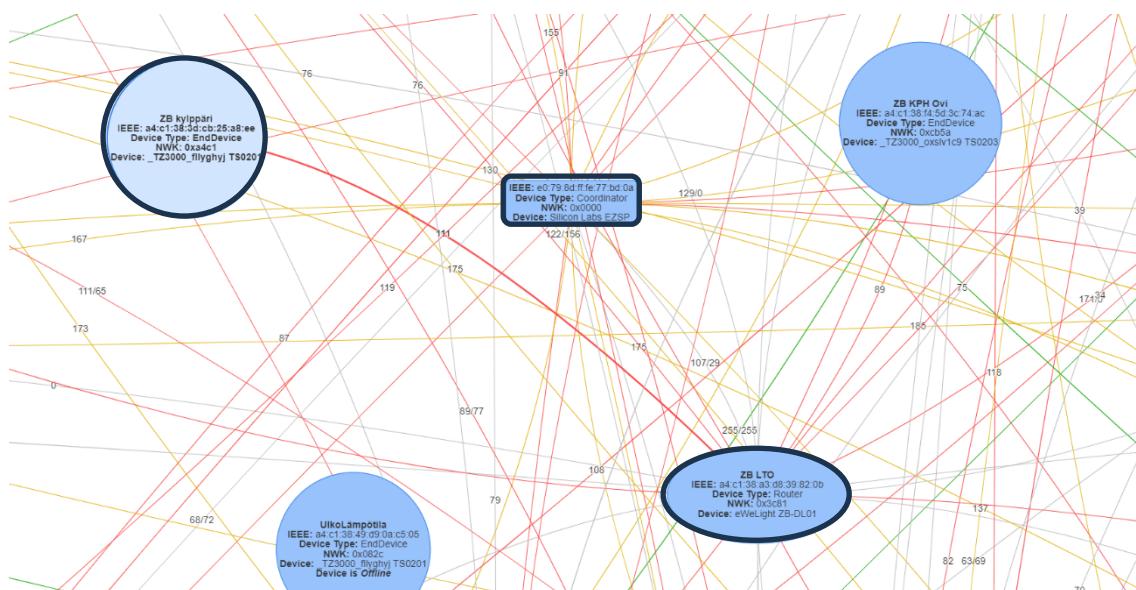
ZigBee-verkon tietoturvasa keskitytään vahvaan salaukseen ja avainten vaihtoon. Laitteiden on pystyttävä todentamaan itsensä luotettavasti ennen niiden liittämistä verkkoon, varmistamalla näin järjestelmän turvallisuus. (Kallioniemi, 2009)



Kuva 4 Topologiakuva järjestelmän Zigbee-verkosta

ZigBee-verkon topologia voi ensisilmäyksellä vaikuttaa monimutkaiselta. Kuvassa 4 keskeisellä sijalla oleva neliön muotoinen symboli edustaa HomeAssistantin tukiasemaa, josta haarautuu useita yhteyksiä eri laitteisiin. Havainnollistuksesta huomataan, että monilla laitteilla on useampia yhteyksiä. Tämän taustalla on se tosiasia, että suurin osa laitteista, kuten kattovalaisimet, toimii verkossa reitittiminä. Vastaavasti paristokäyttöiset anturit, kuten lämpötila- ja ovianturit, toimivat päätelaitteina.

Eriyisen huomionarvoista on, että yksittäinen laite voi olla yhteydessä useampaan muuhun laitteeseen, ja tämä verkko mukautuu jatkuvasti vallitsevien olosuhteiden mukaisesti. Esimerkiksi, kun jokin laite kytketään pois päältä, verkko sopeutuu muutokseen. Tämä joustavuus varmistaa, että signaali pääsee perille, vaikka esimerkiksi paristokäyttöisen anturin lähetysteho olisi vaatimaton ja suora yhteys laitteiden välillä puuttuisi. Tämän ansiosta viestintä anturilta HomeAssistant-tukiasemalle on taattu, huolimatta mahdollisista esteistä tai laitteiden sijainneista. (Kallioniemi, 2009)



Kuva 5 Lähennetty kuva ZigBee verkon topologiasta, kuvankaappaus HA-hallintapaneelista

Lähikuvassa [Kuva 5] tarkastellaan HomeAssistantin ZigBee-tukiasemaa, joka on esitetty nelion muotoisena keskellä. Kun tarkastelemme vasemmalla sijaitsevaan laitteen Kylpyhuoneen lämpö- ja kosteusanturiin [ZB Kylppäri] voidaan havaita, että sen yhteys ZigBee-tukiasemalle kulkee Ilmanvaihtokoneen tehonsäätimen [oikealla alhaalla, ZB LTO] kautta joka toimii reitittimenä.

4.3 433 MHz-tiedonsiirto

433 MHz taajuudella toimivat laitteet ovat yleisiä erityisesti edullisempien älykotilaitteiden joukossa. Matala taajuus mahdollistaa pitkän kantaman, mutta monissa näissä laitteissa on rajoituksia ominaisuuksien ja tietoturvan suhteen. Ennen kuin ottaa 433 MHz -laitteet käyttöön kotiautomaatiossa, on syytä huomioida seuraavat tekijät.

Tietoturva: Monet 433 MHz -verkot eivät tarjoa vahvaa tietoturvaa, ja viestintä voi olla salaamatonta. Tämä tekee verkon alttiiksi mahdollisille hyökkäyksille ja tietoturvariskeille.

Tiedonsiirron luotettavuus: Koska 433 MHz -verkot ovat alttiita häiriöille ja interferenssille, tiedonsiirron laatu voi olla epäluotettavaa. Yleensä nämä laitteet käyttävät yhdensuuntaista viestintää ilman vahvistusmekanismeja.

Standardien epä johdonmukaisuus: 433 MHz taajuudella toimivat protokollat eivät ole yhtä standardisoituja kuin esimerkiksi ZigBee tai WiFi. Tämän seurauksena laitteiden yhteensopivuus voi vaihdella eri valmistajien kesken.

Kun otetaan huomioon 433 MHz -laitteiden rajoitukset, niiden käyttöä kotiautomaatiossa tulee harkita tarkkaan, erityisesti tietoturvan ja luotettavuuden näkökulmasta. (Juntunen, 2017)

4.4 Home Assistantin monitasoinen tietoturva

Home Assistant on sitoutunut varmistamaan käyttäjiensä tietojen ja järjestelmän turvallisuuden monin eri tavoin. Tässä on esitelty Home Assistantin tietoturvaominaisuuksia:

1. **Salanasuojaus**: Home Assistant vaatii käyttäjiä luomaan vahvat salasanat ja tukee kaksivaiheista todennusta lisäsuojana.
2. **SSL/TLS-suojaus**: Home Assistantin tietoliikenne on suojattu SSL/TLS-salauksella, estäen ulkopuolisia sieppaamasta tai muokkaamasta tietoja siirron aikana.
3. **Token-pohjainen autentikointi**: Home Assistant suosii token-pohjaista autentikointia, joka parantaa tietoturvaa ja helpottaa haitallisen toiminnan seuranta.
4. **Oikeuksien hallinta**: Järjestelmä mahdollistaa yksityiskohtaisen käyttäjäoikeuksien määrittämisen, rajoittaen pääsyä tiettyihin toimintoihin.
5. **Autentikointirajoitukset**: Vain valtuutetuilla sovelluksilla ja laitteilla on pääsy Home Assistantin rajapintoihin, minimoiden luvattoman käytön riskiä.
6. **Jatkuvat päivitykset**: Home Assistantin tiimi julkaisee aktiivisesti päivityksiä sisältäen tietoturvaparannuksia ja korjauksia. Käyttäjien tulisi pitää järjestelmänsä ajan tasalla optimaalisen turvallisuuden varmistamiseksi.
7. **Tietojen hallinta**: Käyttäjät voivat räätälöidä tietojen tallennusasetuksia ja poistaa dataa järjestelmästä tarpeensa mukaan.

(Home Assistant Community, 2021)

Vaikka Home Assistant tarjoaa kattavan tietoturvaratkaisun, on tärkeää korostaa loppukäyttäjän roolia. Tietoturva vaatii yhteistyötä, ja käyttäjän on varmistettava, että hänellä on vahvat salasanat, turvalliset yhteydet ja että hän noudattaa parhaita tietoturvakäytäntöjä. (Kyberturvallisuuskeskus, 2014) (Tuhkanen, 2022)

4.5 Etähallinnan edut ja riskit kotiautomaatiossa

Monet pitävät etähallintaa vain lisäominaisuutena kotiautomaatiossa, mutta se voi tuoda huomattavia säästöjä energiankulutukseen. Tässä esimerkkejä etähallinnan hyödyistä:

1. **Tarkistus ulko-ovista**: Etähallinnan avulla on helppo varmistaa, ettei ulko-ovi ole jäänyt auki, jolloin sisälämpö säilyy.

2. **Automaattiset asetukset poissa ollessa:** Home Assistant mahdollistaa automaattiset toiminnot poissa ollessasi. Esimerkiksi, kun kaikki perheen puhelimet ovat pitkään riittävän kaukana (esim. > 100km) kotoa, talon lämpötila voidaan automaattisesti laskea muutamalla asteella.

Home Assistant Cloud tarjoaa suoran yhteyden verkosta kotipalvelimelle Nubu Casa Inc.:in pilvipalvelun kautta. Vaikka palvelu on maksullinen kokeilujakson jälkeen, se tarjoaa turvallisen tavan yhteydenpitoon. Vaihtoehtoiset DNS-palvelut voivat olla houkuttelevia, mutta ne tuovat mukanaan omat haasteensa:

- **Turvallisuus:** Avatut portit ja julkinen IP-osoite tekevät palvelimesta alttiimman hyökkäyksille.
- **Tietoturvariskit:** Ohjelmiston mahdolliset haavoittuvuudet voivat tulla helpommin hyödynnetyiksi.
- **Bruteforce-hyökkäykset:** Avoimet portit voivat houkutella hyökkääjiä yrittämään salasanojen arvaamista.
- **Haittaohjelmariiski:** Hyökkääjät voivat asentaa haittaohjelmia tai suorittaa muunlaisia haitallisia toimintoja.
- **Ylläpidon tarve:** Avoimet portit vaativat jatkuvaa valvontaa ja ylläpitoa.
- **Yksityisyys:** Julkinen IP-osoite saattaa paljastaa enemmän tietoja käyttäjästä ja verkosta.

(Tuhkanen, 2022)

Omasta kokemuksestani olen löytänyt **TailScale VPN:n** toimivaksi ratkaisuksi. Tämä palvelu tarjoaa suoran ja turvallisen yhteyden laitteiden välille. Sen erottaa markkinoiden muista VPN-palveluista sen keskittyminen yksityiseen laiteverkkoyhteyteen ilman ulkopuolisten pääsyä. (Pennarun, 2020)

5 Kehittyvä energiataloudellinen laskentamalli

Tässä luvussa sukellamme energian säästämiseen tähtäävän laskentamallin suunnitteluun ja sen taustalla vaikuttaviin tekijöihin. Malli pyrkii tarjoamaan käyttäjille konkreettista ja helppotajuista tietoa heidän kodin energiankulutuksestaan sekä esittämään konkreettisia keinoja energiansäästöön. Laskentamallin kehitys koostuu useista osa-alueista, kuten:

- **Datan hankinta:** Tietojen kerääminen kotiautomaatiojärjestelmistä.
- **Analytiikka:** Energiankulutuksen trendien tarkastelu ja analysointi.
- **Kaavojen luominen:** Laskentakaavojen laatiminen, jotka tukevat päätöksentekoa.

Käytämme tässä erilaisia menetelmiä, joiden teoreettiset perusteet avataan lukijalle, jotta laskentamallin logiikka ja perustelut tulevat ymmärrettäviksi.

Pörssisähkön hintavaihtelut eri aikoina voivat olla merkittäviä. Esimerkiksi tuulen tuoma tuulienergia saattaa painaa hinnan yllättävän alas (kuten 13.6.2023, jolloin hinta oli klo 03.00 -3snt/kWh). Toisaalta, kesällä ydinvoimaloiden huoltokatkosten seurauksena, hinta voi nousta huomattavasti (esimerkiksi 28.6.2023, jolloin hinta klo 21.00 oli 20snt/kWh). Tehokas kotiautomaatiojärjestelmä tulisi olla riittävän joustava ja älykäs reagoimaan näihin hintamuutoksiin eri vuodenaikojen mukaan. (Pörssisähkön Spot-hinta Suomessa, 2023)

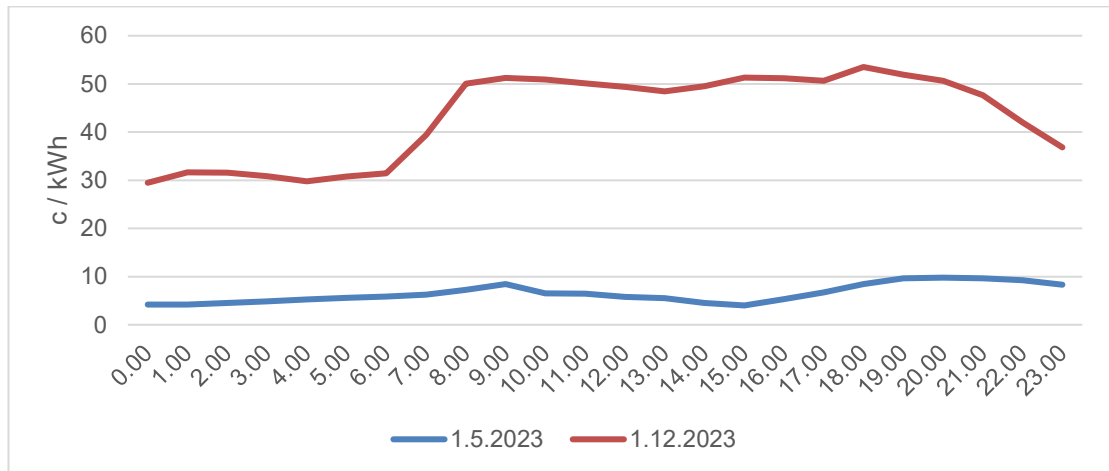
5.1 Älykkään lämmityksen rooli energiankulutuksen hallinnassa

Kotiautomaation mahdollisuuksien keskiössä on energiankulutuksen tehokas hallinta ja yksi merkittävimmistä osa-alueista tässä yhteydessä on lämmitysjärjestelmät. Tämän osion tarkoituksena on kartoittaa, kuinka kotiautomaatio voi parantaa energiatehokkuutta ja optimoida sähkönkulutusta erityisesti lämmityksen osalta.

Älykkäiden kotijärjestelmien potentiaali paljastuu esimerkiksi, kun tarkastellaan pörssisähkön hinnan vaihteluita. Järjestelmä voi dynaamisesti reagoida hintamuutoksiin, säädellen lämmitystä maksimaalisen taloudellisuuden saavuttamiseksi. Aurinkoenergian rooli, erityisesti kesäisin, on myös keskeinen tekijä energiankulutuksen optimoinnissa. Tarkastelemme, miten nämä tekijät voidaan integroida älykotijärjestelmään ja mikä niiden vaikutus on kotitalouden sähkölaskuun.

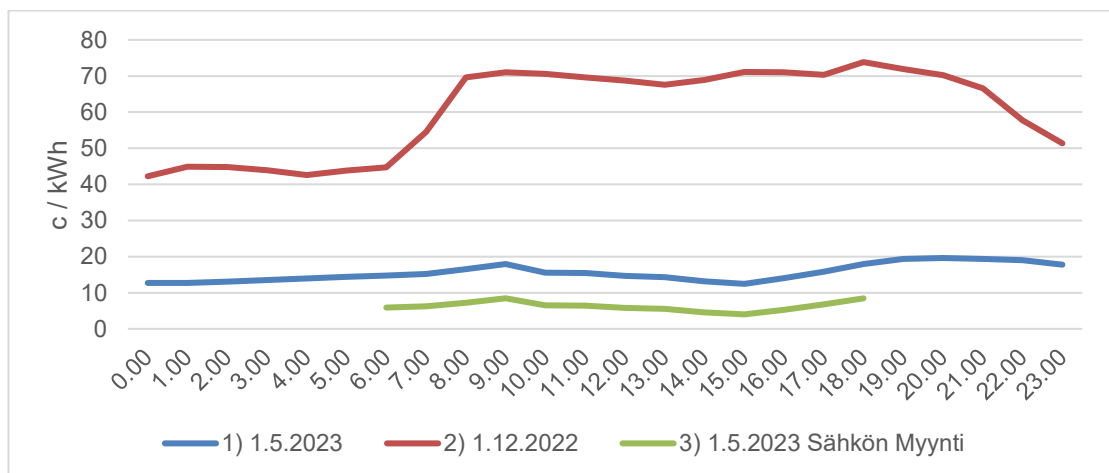
Kolmena esimerkkinä käymme läpi seuraavat pörssisähköpäivät, jotka kuvaavat erilaisia tilanteita:

- **Talvipäivä (1.12.2022):** Sähkön hinta on edullisimmillaan yöllä mutta nousee päiväsaikaan.
- **Kesäpäivä (1.5.2023):** Sähkön hinta on matala ja pysyy tasaisena koko päivän ajan.
- **Aurinkovoiman Kesäpäivä (1.5.2023):** Aurinkoenergian tuotanto on käynnissä klo 06:00-18:00, mikä vaikuttaa sähkönkulutukseen ja hintaan.



Kaavio 1 Kaavio esittelee tuntiokohtaiset sähkön hinnat kahtena päivänä.

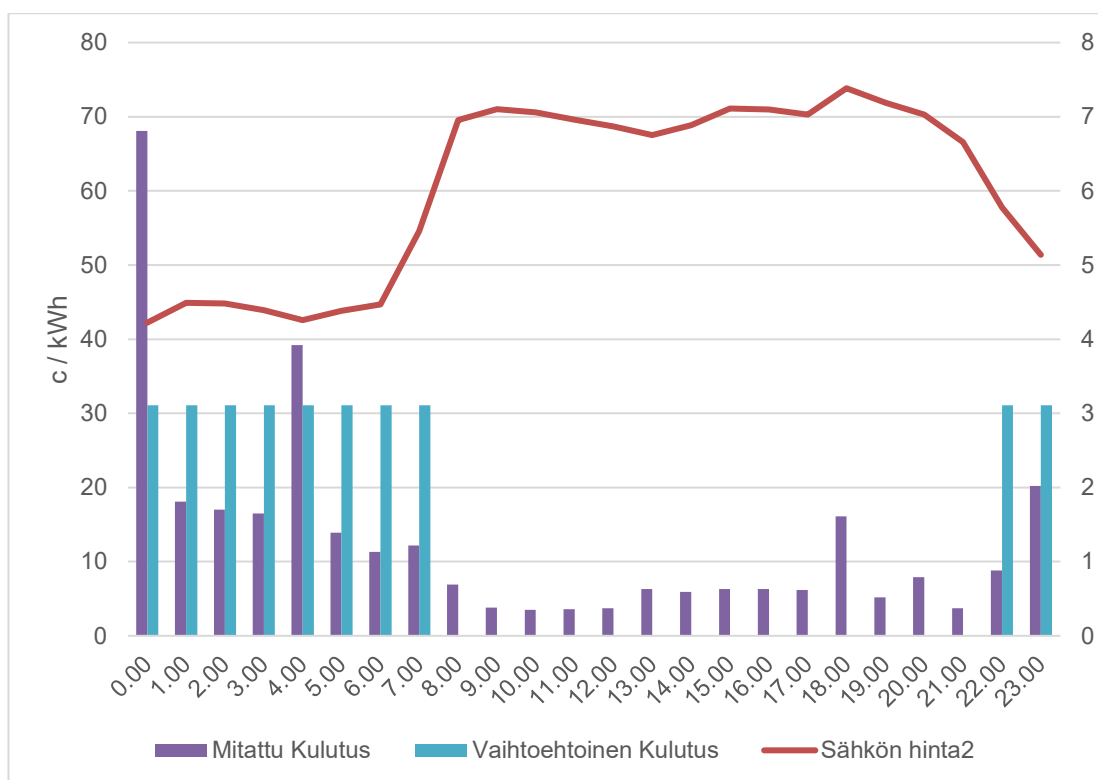
Kaaviossa 1, pörssisähkön keskihinta 1.5.2023 on 6,51 snt/kWh ja 1.12.2023 on 43,34 snt/kWh. Sähkön hinta ei ole pelkästään energiakustannus; siihen lisätään monia muita maksuja. Kuluttajien sähkön hintaan Carunan jakelualueella Kaarinassa lasketaan päälle 1.lk sähkövero (2,79 snt/kWh), arvolisävero (24%) ja siirtomaksu (yö 2,88 snt/kWh, päivä 4,69 snt/kWh), josta syystä alle on tuotettu korjattu kaavio [Kaavio 2] jota käytetään esimerkkilaskelmien pohjana. Aurinkotuotannosta kuluttaja ei maksa veroa tai siirtomaksuja. (Caruna Oy, 2023)



Kaavio 2 Päivitetty laskenta sähkön hinnan keskiarvoisa.

5.1.1 Lämmityksen älykäs hallinta

Koekäyttö tapahtui Varsinais-Suomessa sijaitsevassa vuonna 1995 valmistuneessa puurunkoisessa omakotitalossa, joka on luokiteltu B energialuokkaan. Tarkasteltavana päivänä, 1.12.2022, talon energiantarve oli 31,07 kWh, kun taas aurinkoenergian tuotanto samana päivänä oli 0 kWh.



Kaavio 3 Sähkön hinta ja kulutus 1.12.2022

Kaaviossa 3 on esitetty sähkön hintakehitys 1.12.2022 sekä talouden todellinen sähkönkulutus. Kahdessa kulutushuipussa klo 0:00 ja 04:00 hyödynnettiin vuorokauden edullisimmat sähkön tuntihinnat. Ensimmäisen tunnin aikana automaatiojärjestelmä lämmitti vettä 3 kWh edestä ja varasi energiaa lattialämmitykseen 2 kWh. Toisen tunnin kulutus vedenlämmitykseen meni 2,2 kWh.

Vuorokauden keskimääräinen sähkön hinta oli 60,48 snt/kWh. Tasaisesti jaettuna koko päivälle sähkölasku olisi ollut 18,79€. Kuitenkin, Home Assistantin avulla ja Norpool_diff-lisäosan käytön ansiosta, kulutus painottui halvempiin tunteihin, mikä johti kokonaislaskun pienenemiseen 16,20€:oon. Tämä tarkoittaa 2,59€:n tai 13,8%:n säästöä.

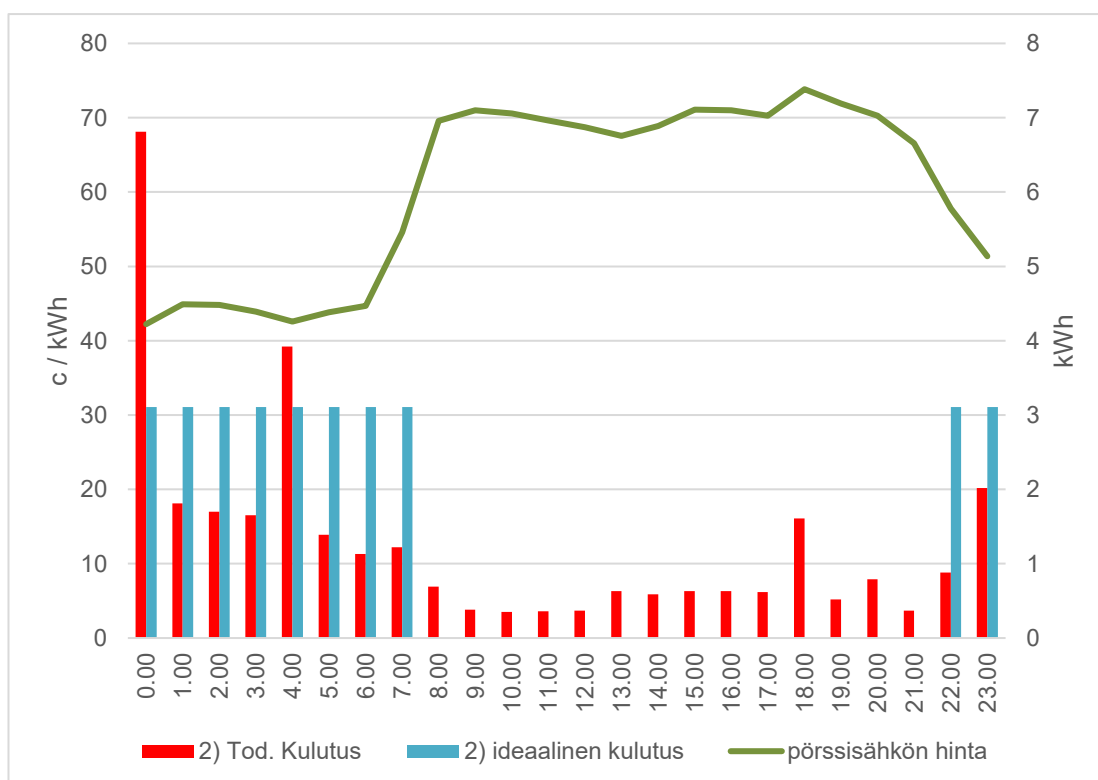
Teoreettisena laskentaesimerkkinä, jos koko päivän energiankulutus olisi jaettu niille tunneille, joiden hinta on alle keskiarvon, sähkölasku olisi ollut vain 14,62€. Tämä malli ei kuitenkaan ole realistinen. Se johtaisi lämmityksen täydelliseen poiskytkemiseen klo 08-22 välillä, mikä puolestaan pudottaisi sisälämpötilan epämukavaksi talvipakkasilla.

Lisäksi muiden sähkölaitteiden käyttö, kuten ruoanlaitto ja pyykinpesu, olisi myös siirrettävä yöaikaan, mikä ei ole käytännöllistä.

5.1.2 Älykäs vedenlämmitys ja aurinkoenergian hyödyntäminen

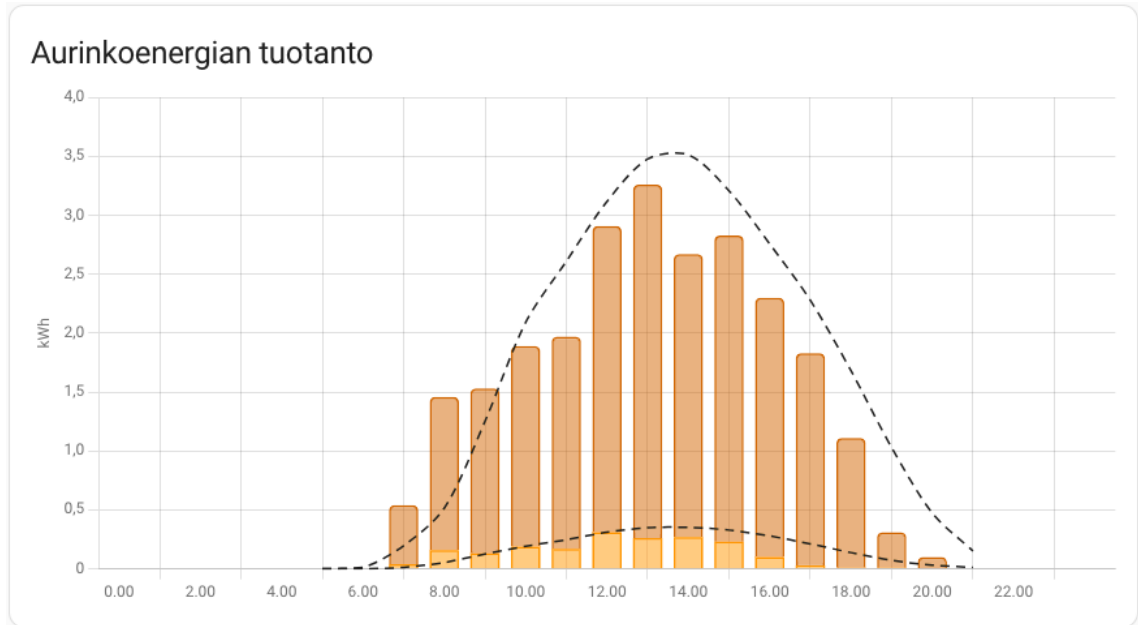
Nelihenkinen perheen veden lämmitystarve on vuoden ympäri keskimäärin 7 kWh/vrk. Vaikka tämä tarve pysyy vakiona, lämmityksen ajankohtaa voidaan muuttaa ilman, että asumismukavuus heikkenee.

Veden lämmittäminen toteutetaan kolmella yhden kW lämpövastuksella, jotka on varustettu erillisillä ohjauksilla. Yleensä yöllinen sähkö on edullisinta, mutta kesällä omatuotettu aurinkoenergia on erityisen kannattavaa käyttää, koska siitä ei aiheudu siirtomaksuja tai veroja. On tärkeää, että järjestelmä pystyy ennakoimaan seuraavan päivän aurinkoenergian tuotantoa välttääkseen turhan lämmityksen, jos tulevana päivänä on saatavilla edullista aurinkoenergiaa.



Kaavio 6 Sähkön kulutus 1.12.2022 sekä pörssisähkön hinta

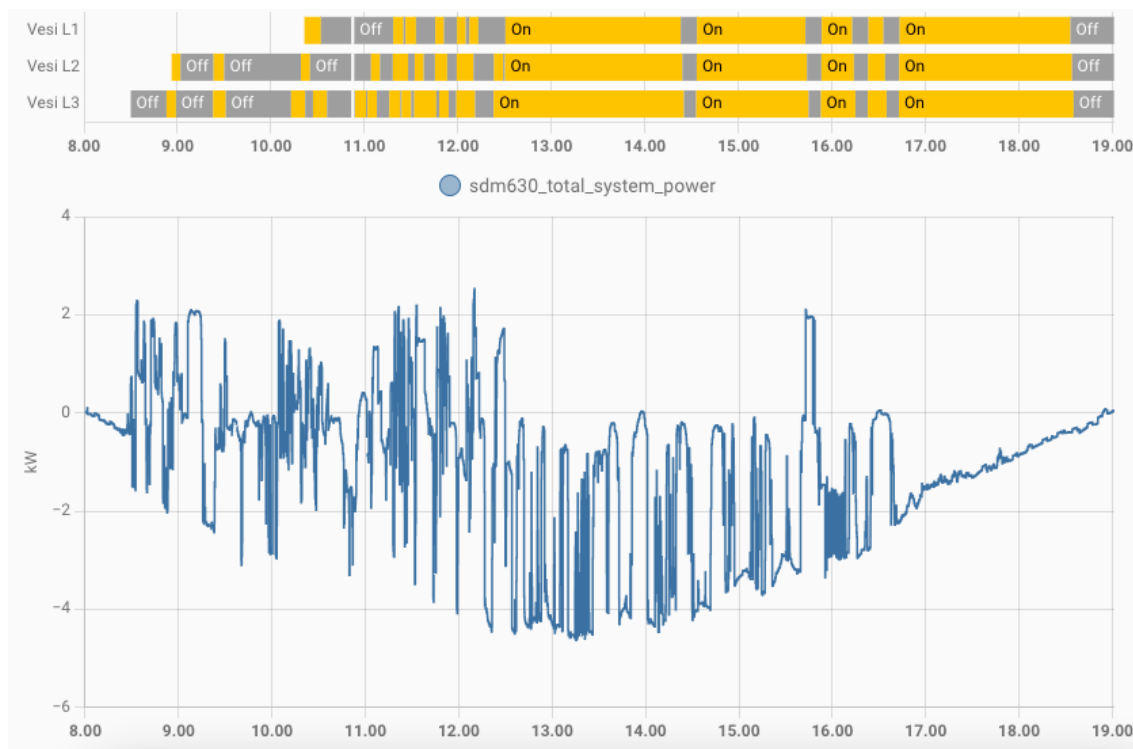
Aurinkotuotannon ennakoitiin käytän Home Assistantin "Solar forecast" APIa, joka laskee kuluvan ja tulevan vuorokauden arvioidun aurinkotuotannon. Rajapinnan on alunpitäen luonnut Paulus Schoutsen, joka on yksi Home Assistantin perustajista, mutta nykyään rajapinnan kehitykseen on osallistunut noin 50 ohjelmoijaa. Ohjelmaan on syötetty aurinkojärjestelmän koko, suuntaus ja sijainti. Päivittäiseen arvioon vaikuttavat auringon ekliptika ja sääennuste. Lisäosa tuottaa kuluvan vuorokauden kokonaisarvion lisäksi tuntikohtaisen ennustekäyrän. (Forecast.Solar, 2023)



Kaavio 4 Aurinkoenergian tuotantoennuste ja toteuma 17.8.2023

Kaaviossa 4 esitetään 4,8 kWp:n suuruisen sekä 0,5 kWp:n aurinkokennojärjestelmien tuotantoennusteet 17.8. Ennuste on esitetty käyränä ja vastaava toteutunut energiantuotanto pylväsdiagrammina. Tämän lisäosan tarjoama ennuste ulottuu 24 tunnin ajalle ja adaptoituu saatavilla olevan yön sääennusteen perusteella. Esimerkiksi isomman paneelijärjestelmän tuotantoennuste arvioi yöllä klo 03 tuotannoksi yhteensä 20 kWh, kun todellinen päiväkohtainen tuotanto oli 22,8 kWh.

Vedenlämmityksen logiikka on suunniteltu niin, että vesi lämpenee silloin, kun tuotettua sähköä myydään verkkoon, eli kun sähkönkulutus on negatiivinen. Järjestelmässä on määritelty -1 kW ja 0,2 kW raja-arvot; kun yli 1,0 kW sähköä viedään verkkoon, aktivoidaan 1,0 kW lämpövastus. Jos verkkoon vietävä sähkö ylittää edelleen 1,0 kW, seuraava lämpövastus aktivoituu 15 sekuntia myöhemmin. Kun sähkönkulutus ylittää 0,2 kW, lämpövastus deaktivoituu. Tämä logiikka mahdollistaa lämpövastusten tehon säätämisen 1 kW, 2 kW tai 3 kW välillä. Suojatakseen ohjausrelettä, joka kestää 50 000 – 100 000 kyt kentäkertaa, on päälle- ja pois-kytkentäaika asetettu vähintään 10 minuutiksi. Tämä tarkoittaa käytännössä, että päivässä tapahtuu 10–30 kyt kentäkertaa, minkä myötä releen odotettavissa oleva käyttöikä on parhaimmillaan yli 20 vuotta mutta huonoimmillaan alle viisi vuotta. (O’Gorman, 2014) Yhtenä kehittämisideana voisi olla ohjausreleen korvaaminen kestävämmällä tyristori-säätimellä, joka mahdollistaisi myös kuorman portaattoman säätämisen.



Kaavio 5 sähkön kulutus ja veden lämmitys (HA loki 17.8.2023)

Kaaviossa 5, joka on otettu Home Assistantin käyttöliittymästä, esitetään vedenlämmitysjärjestelmän toimintalogiikkaa. Klo 08:56 havaitaan, että sähkönkulutus on alle -1 kW, mikä tarkoittaa aurinkosähkön viemistä verkkoon. Tämän seurauksena vedenlämmitys aktivoituu kymmeneksi minuutiksi. Samanaikaisesti kotitaloudessa on muita sähkönkulutuskohteita, minkä vuoksi seuraavat lyhyet lämmitysjaksot alkavat ajankohdissa 9.23 ja 10.13. Yhtäjaksoisempi vedenlämmitys alkaa kuitenkin vasta puolenpäivän jälkeen.

Lämminvesivaraaja saavuttaa 75 celsiusasteen tavoitelämpötilan klo 16.38. Kello 12.00 – 18.00 aikavälillä kotitalous on ostanut sähköä verkosta 0,42 kWh edestä, kun taas aurinkotuotannosta on myyty verkkoon 11,67 kWh.

Lämminvesivaraajan ohjauksen automaatio on kirjoitettu YAML-scriptillä josta ote opinnäytetyön liitteessä [Liite1].

5.1.3 Astetta älykkäämpi automaatiojärjestelmä

Älykkäämmän automaatiojärjestelmän tulisi voida hyödyntää tietoa myös tulevasta hinnasta.

Otetaan esimerkiksi talvikausi: kun talon sisälämpötila laskee keskimäärin 0,25 celsiusastetta tunnissa, talon lämpötilan nostaminen yhdellä asteella antaa mahdollisuuden jättää lämmitys pois päältä neljän tunnin ajaksi. Näin ollen saadaan sisälämpötila pysymään 21 asteen (+/- 1) tavoitehaarukassa.

Ilmalämpöpumppujen teho ei kuitenkaan ole optimaalisimmillaan, mikäli niiden käyttöaste on ääripäissä eli 0 % tai 100 %. Sen sijaan saavutetaan paras energiatehokkuus säätämällä pumpun tehoa progressiivisesti suhteessa sähkön hintaan. Tämä johtuu siitä, että pumpun hyötysuhde heikkenee sen toimiessa korkeammilla tehoilla. Kotiautomaation lokitietojen mukaan (Joulukuu 2022) kodin kahden 1500 watin ilmalämpöpumpun kulutusteho vaihtelee 0 ja 800 watin (teho 0 – 55 %) välillä, jopa ankarimpina talvipakkaspäivinä.

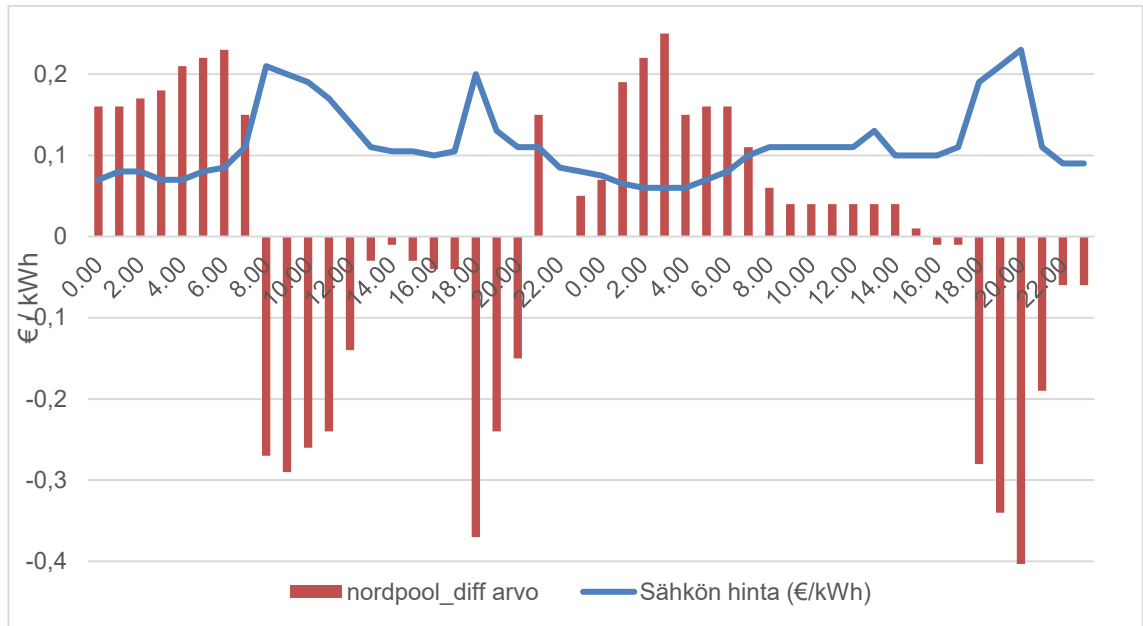
Home Assistant -alustalle on tarjolla erinomainen työkalu nimeltä "nordpool_diff", joka on suunniteltu nimenomaan sähkönkulutuksen optimointiin spot-hintojen perusteella. Tämä Pythonilla toteutettu lisäosa mahdollistaa sähkön hintavaihteluiden seuraamisen ja sen perusteella älykkäiden päätösten tekemisen energiankulutuksesta. "nordpool_diff" tarjoaa useita algoritmeja, joita hyödyntäen voi ajastaa esimerkiksi lämmityksen, vedenlämmityksen tai auton latauksen hintojen mukaan. (Pulakka, 2022)

Itse olen ottanut käyttöni "triangle filter" -suodattimen, joka vertailee kuluvan tunnin sähkön hintaa seuraavan viidentoista tunnin hintoihin. Kun kuluvan tunnin hinta on edullisempi kuin tulevat, lisäosa antaa positiivisen arvon, yleensä välillä 0,0 - 0,2. Jos taas hinta on kalliimpi, saadaan arvoja yleensä väliltä 0,0 ja -0,2. Joskus, suurissa hinnanmuutoksissa, arvo saattaa liikkua jopa +/- 0,6 haarukassa.

"Triangle filter" käyttää FIR (Finite Impulse Response) -suodatinta. Tämä tarkoittaa, että suodatin ottaa huomioon tulevien tuntien hintojen erotuksen ja laatii sen perusteella ennusteen. Lähimpänä oleva seuraava tunti saa suurimman painoarvon ennusteessa, kun taas kaukaisimman määritetyn tuntihinnan merkitys on pienempi. Ennusteen avulla voidaan päättää esimerkiksi parhaista ajankohdista käynnistää lämmitys tai sammuttaa vedenlämmitin. (Pulakka, 2022)

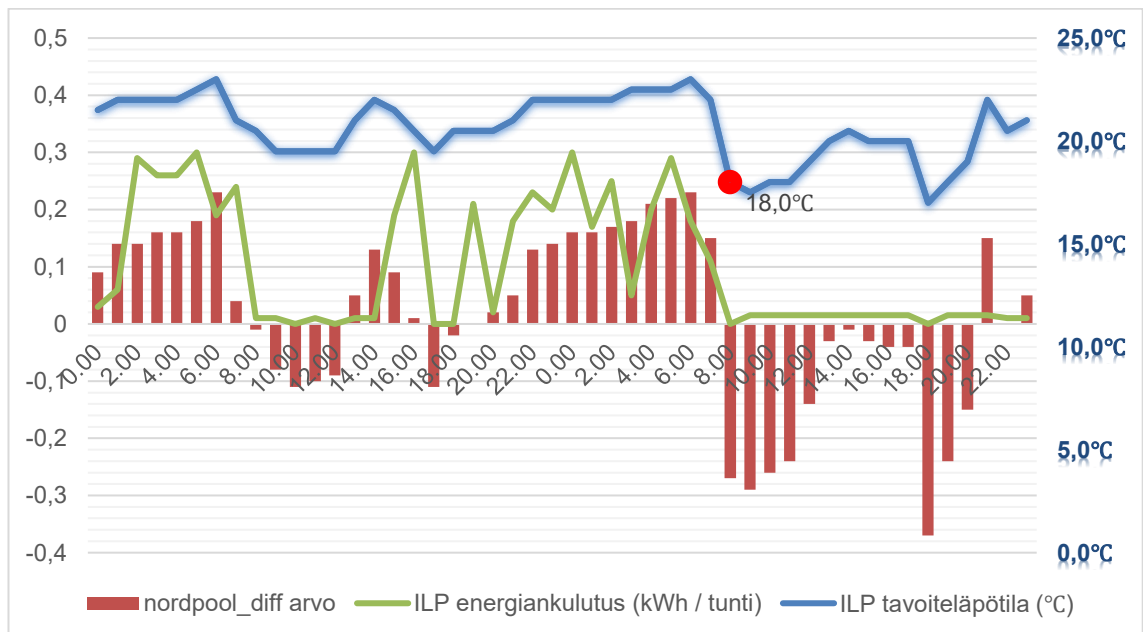
Lisäosaa voi mukauttaa oman talouden tarpeisiin, jolloin energiankulutus optimoituu entistä tehokkaammin. Sähkön hinnan laskemisessa on olennaista huomioida kaikki sivukulut, kuten sähkövero, arvonlisävero ja siirtomaksut. Esimerkiksi päivä- ja yösiirtomaksujen erotus voi jopa kaksinkertaistaa sähkön hinnan, mikä vaikuttaa suuresti kannattavan energiankulutuksen ajankohtaan.

Aurinkoenergian hyödyntämisessä löytyy lähes vain hyviä puolia, mutta energian tuottajana on muistettava, että energia myydään energiapörssiin pörssihinnalla. Pörssihinta on välillä negatiivinen, jolloin käyttäjän tulisi miettiä onko halukas myymään ylijäämätuotantoa verkkoon joutuen samalla maksamaan tästä, hinnan ollessa negatiivinen. Esimerkkikohteessa oleva aurinkoinverterti (Growatt, MOD 5000 TL-X) antaa mahdollisuuden rajoittaa tuotantoa joko kärkitiedolla tai suoraan MODBUS datan välityksellä, mutta tätä toimintoa ei ole otettu käyttöön esimerkkikohteessa.



Kaavio 7 Sähkön hinnan vaikutus nordpool_diff arvoon (14.-15.8.2023)

Kaaviossa 7 esitetään sähkön hintakehitystä kahden vuorokauden ajalta, 14.-15.8.2023. Hinnan määrittelyssä on käytetty Suomen pörssihintaa, otettu huomioon 24% arvonlisävero, Caruna Oy:n yösiirtomaksu (klo 22.00 – 07.59) 2,88 snt/kWh ja päiväsiirtomaksu 4,69 snt/kWh, sekä huomioitu sähkövero 2,79 snt/kWh. Esimerkkinä 14.8. klo 08.00 sähkön pörssihinta nousi noin viidellä sentillä. Tähän kun lisätään korotettu päiväsiirtomaksu, kokonaishinta kohoaa 0,14€ / kWh. Tämän muutoksen "nordpool_diff" rekisteröi -0,27 arvona. (Caruna Oy, 2023)



Kaavio 8 Nordpool_diff vaikutus ILP tavoitelämpöön 13. – 14.8.2023

Omassa järjestelmässäni säädän ilmalämpöpumpun tavoitelämpötilaa nordpool_diff-vertailuluvun perusteella siten, että jokainen vertailuluvun kymmenys vastaa puolta astetta pumpun tavoitelämpötilassa. Kaava 8 kuvaa selkeästi, kuinka nordpool_diff-vertailuluku vaikuttaa ilmalämpöpumpun tavoitelämpötilaan ja täten energiankäyttöön. Esimerkiksi 14.8.2023 klo 08.00 havaitsemme tavoitelämpötilan laskeneen 18 asteeseen [Kaavio 8], jolloin ilmalämpöpumpun energiankulutus vähenee merkittävästi. Ilmalämpöpumpun lämpötilan ja toimintotilan ohjauksen YAML-scriptistä ote opinnäytetyön liitteenä [Liite 2].

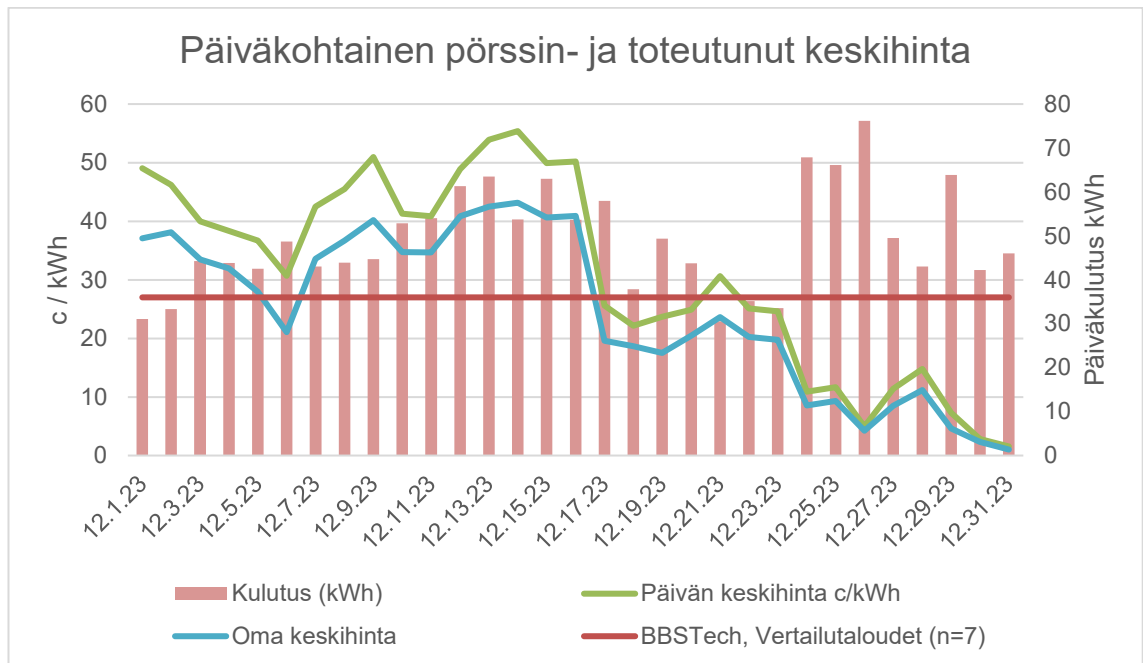
Olen asettanut järjestelmässäni lämpöpatterit 17 asteen lämpötilaan. Ne eivät siis toimi pääasiallisena lämmityksen lähteenä, vaan ne tukevat ilmalämpöpumppuja talon syrjäisemmissä osissa ja erityisen kylminä pakkaspäivinä. Pattereiden toiminta on ohjelmoitu myös reagoimaan sähkön hintaan: ne ovat aktiivisina vain, kun nordpool_diff tuottaa yli 0,2 arvon. Jos ulkolämpötila kuitenkin laskee alle -10 astetta, patterit kytkeytyvät päälle aina, kun arvo on positiivinen.

5.2 Säästöjen kvantifiointi ja vaikutus energiakustannuksiin

Tässä osassa käsitellään saavutettuja tuloksia energiankulutuksen optimoinnissa ja niiden vaikutusta käyttäjien energialaskuihin. Tarkastellaan konkreettisia esimerkkejä siitä, miten älykotijärjestelmän käyttö vaikutti energiankulutukseen eri aikoina. Kvantifioidaan säästöjä sekä prosentuaalisesti että taloudellisesti, jotta lukija saa käsityksen optimoinnin konkreettisista hyödyistä. Samalla analysoidaan, miten nämä säästöt vaikuttivat kotitalouden energiatalouteen ja millaisia vaikutuksia energian hallinta voi pitkällä aikavälillä tuoda.

On tärkeää huomata, että kun tarkastellaan talon energiataloutta kokonaisenergiankulutuksen kautta, mittaukset sisältävät myös ne arkipäiväiset kulutukset, jotka eivät ole kotiautomaation ohjauksen piirissä, kuten pyykinpesu ja ruoanlaitto. Huolimatta näistä poikkeuksista, mittaustulokset esitetään kokonaiskulutuksen perusteella, jotta voimme ymmärtää, kuinka merkittävästi älykotijärjestelmä voi vaikuttaa koko talouden sähkölaskuun.

5.3 Kuukauden ajanjakson arviointi (1.-31.12.2022)



Kaavio 6 Joulukuu 2022, Toteutunut pörssisähköhinta sekä oma kulutus

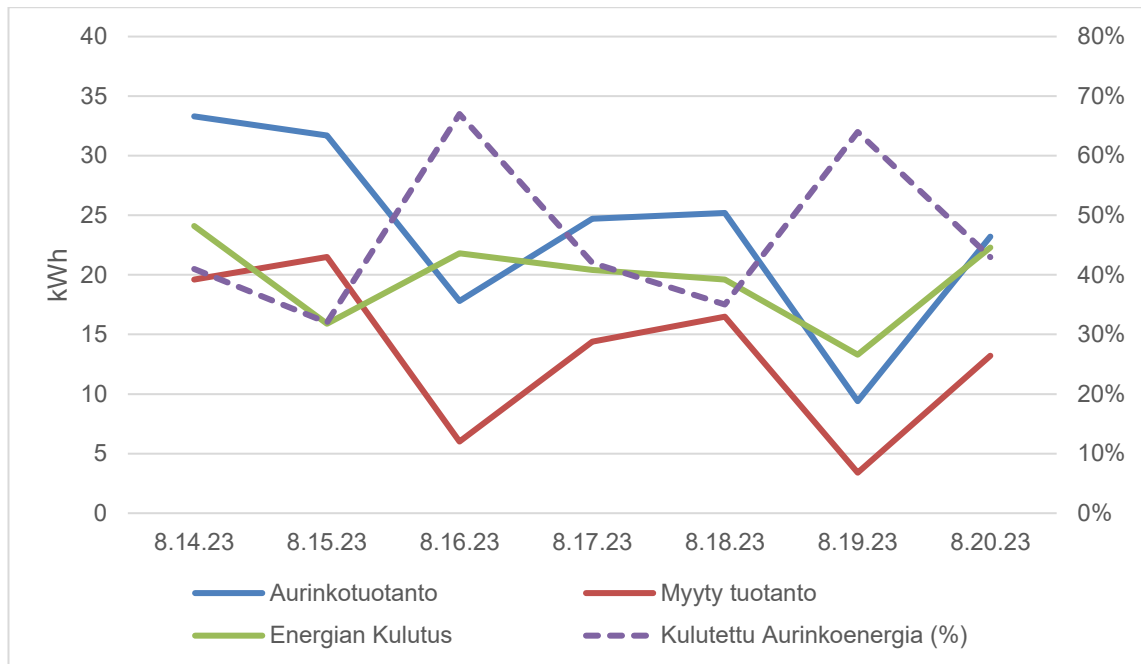
Kaaviossa 6 kulutus- ja hintatietojen perusteella voidaan havaita, että päivittäinen hintaero pörssin keskihinnan (31,04 snt/kWh) ja todellisen keskihinnan (24,75 snt/kWh) välillä on keskimäärin 6,30 snt/kWh. Kun tätä eroa sovelletaan keskimääräiseen päivittäiseen sähkönkulutukseen (49,0 kWh/päivä), saadaan laskettua teoreettinen säästö joulukuulta 2022, yhteensä 93,50€.

Lisäksi kaaviossa kuusi on poimittu TechBBS forumilta seitsemän (n=7) pörssisähkötalouden toteutuneiden sähkön keskiarvo (min= 25,1 snt/kWh, max=29,95 snt/kWh). Kaikki kirjoittajat ovat ilmoittaneet harrastavansa kotienergian hallintaa jollain tasolla. Yleisimpänä (yht. kolme kpl) ilmoittivat, että maa- tai ilmalämpöpumpussa on pörssisähköhjaus joka estää lämmitystoiminnon kalleimpina pörssisähkötunteina. (TechBBS / io-tech.fi, 2023)

Käytettävät lämmitysjärjestelmät, asuintottumukset, automatiikka ja sähkösopimus vaikuttavat sähkön hintaan, joten kaiken kattavan hintavertailun tekeminen on haastavaa ja vertailu on aina painotettava johonkin osa-alueeseen.

5.4 Viikon ajanjakson arviointi (14.-20.8.2023)

Vertailun vuoksi otetaan toinen täysin erilainen vertailujakso, jossa mukana on omaa aurinkotuotantoa. Ja sähkön hinta on koko viikon aikana on niin matala, että aurinkotuotantoa ei ole kannattavaa myydä verkkoon. (Pörssisähkön Spot-hinta Suomessa, 2023)

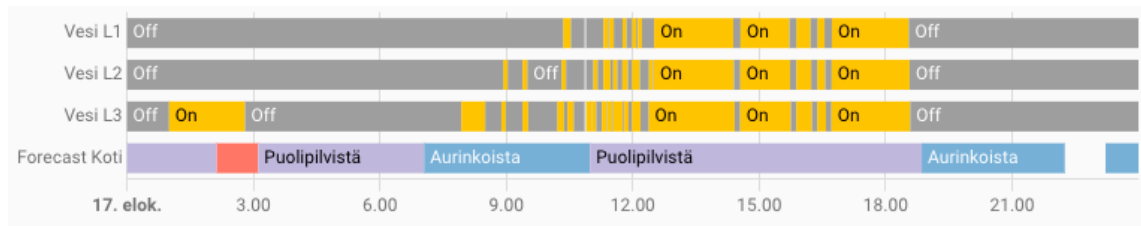


Kaavio 7 Aurinkotuotannon vertailu energiankulutukseen, vko 33 / 2023

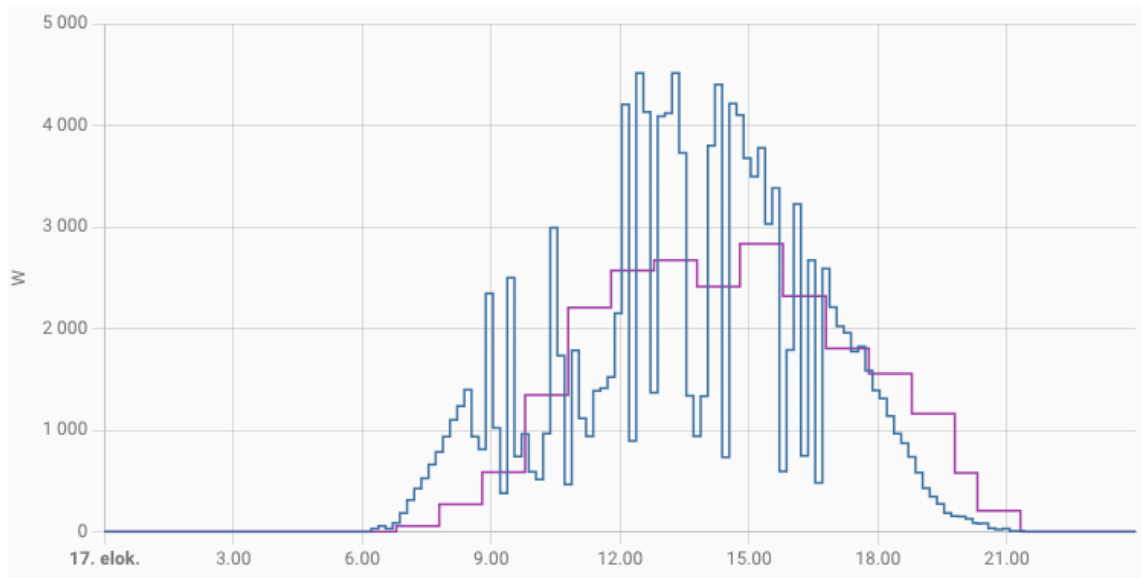
Kaaviota 7 tutkimalla havaitaan, että aurinkoenergian tuotanto vaihtelee viikon mittaan 10 kWh:sta 33 kWh:iin. Tätä tuotettua energiaa on käytetty tehokkaasti, hyödyntäen sitä 32%:sta aina 67%:iin asti. Tiedot perustuvat Home Assistantin tuottamaan dataan. Vaikka viikon vertailujakson kaavion luominen on suoraviivaista, sen tietojen syvällisempi analysointi vaatii vähintään tuntikohtaisten mittausten ja automaation ohjausten tarkastelua.

5.5 Vuorokauden ajanjakson arviointi (17.8.2023)

Seuraavaksi syvennymme yksittäisen päivän energiankulutuksen, -tuotannon ja automaatiotoimintojen tarkasteluun. Kyseisen päivän laajemmat loki- ja mittaustiedot on esitelty liitteessä 3.



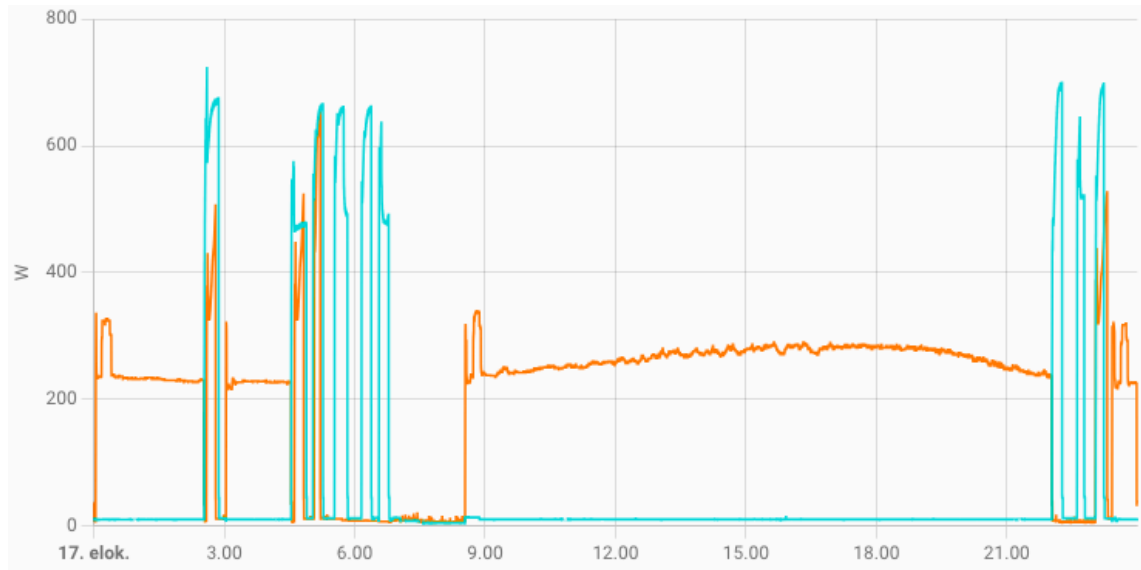
Kuva 7 Vedenlämmityksen ohjauksen vaiheita, sekä ulkona vallitseva keli



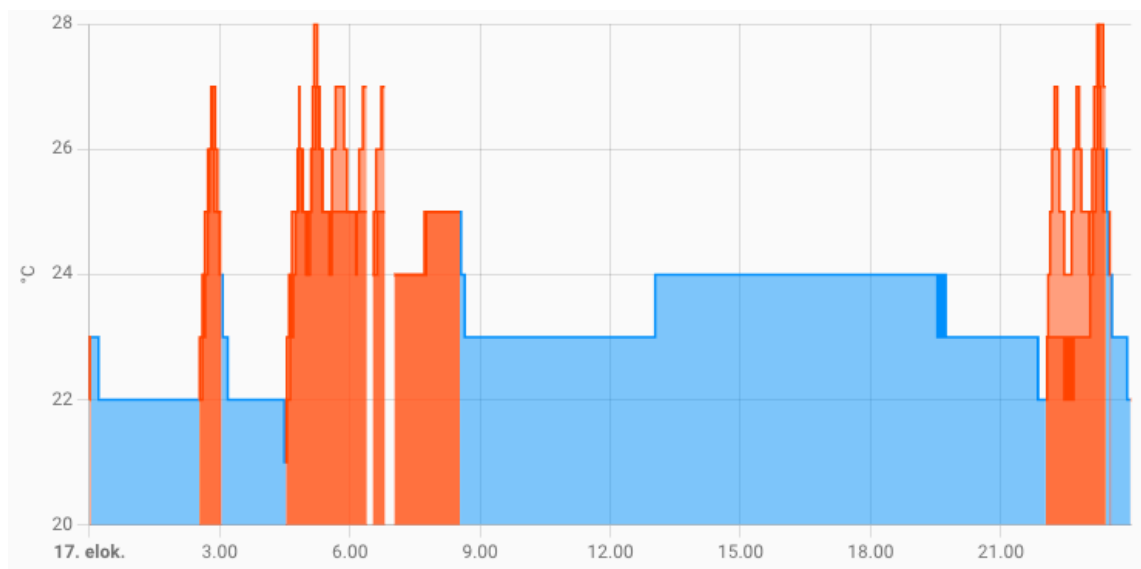
Kuva 8 Aurinkoenergian ennustettu (lila) ja toteutunut (sininen) tuotanto

Kuvassa 8 näemme, että aurinkotuotanto ylittää 1000 watin rajan ensimmäisen kerran noin klo 08, jolloin näemme vastaavasti kuvassa 7 veden lämmityksen kytkeytyvän päälle. Aurinkotuotanto on mittauspäivänä, pilvisyydestä johtuen, erittäin vaihteleva, josta syystä vedenlämmityksen ohjauksen [kuva 7] joutuu myös mukautumaan tuotantoon useita kertoja päivän aikana. Sähkön kulutus ja tuotanto on tehokkainta ajoittaa samalle sähkönmyynnin netotusajanjaksolle, eli tunnin neljännekselle, jotta välttyttäisiin vuorotellen ostamasta ja myymästä energiaa. Aurinkotuotannon hyötykäyttöä voitaisiin tehostaa esimerkiksi portaattomasti ohjattavalla lämmitysvastuksella. Ja ylijäämätuotannon varastointia akustoon.

Seuraavaksi tarkastelemme asunnon lämmitystä. Talvea lukuun ottamatta asunto lämpenee yksinomaan ilmalämpöpumpuilla. Ilmalämpöpumppujen ohjaukseen ei ole sisällytetty tietoja sähkön viennistä tai aurinkotuotannosta. Kyseisenä mittauspäivänä ulkolämpötila on ollut noin 15°C - 24°C välillä, joten päivällä on tarvinnut myös jonkin verran viilennystä, jotta asumismukavuus on saatu säilytettyä.



Kuva 9 Alakerran ILP (turkoosi) ja Yläkerran ILP (oranssi) tehonkulutus



Kuva 10 Ilmalämpöpumppujen lämmitys (ylä- ja alakerta) / jäähdytys (yläkerta)

Kuvassa 9 näemme ilmalämpöpumppujen tehonkulutuksen. Kuvasta näemme, että yläkerran lämpöpumppu on pääasiassa hoitanut lämmitystä ja loppuyöstä sähkön kulutus on painottunut alakertaan. Ennen klo 08.30 on parin tunnin tauko lämmityksessä, ennen kuin yläkerran lämpöpumppu ohjautuu ulkolämpötilan nousun takia ($> 18^{\circ}\text{C}$) jäähdytystilaan, jossa se pysyy aina klo 22 asti. Kuvissa 9 ja 10 esitetyistä tiedoista pystytään havainnoimaan, että välittömästi jäähdytyksen päätyttyä alakerran ilmalämpöpumppu alkaa lämmittämään asuntoa.

Yllä olevaa ilmalämpöpumppujen статистиikkaa analysoimalla voidaan todeta, että yläkerran pumpulla tapahtuva jäähdytys on oletettavasti liian tehokas, koska alkuyöstä pumppu on joutunut lämmittämään yläkertaakaan vaikka lämpö normaalisti nousee itsestään yläkertaan. Lisäksi kun viilennystila vaihtuu illalla lämmitykseen, niin alakerran lämpöpumppu alkaa välittömästi lämmittämään alakertaakaan. Energiaa menee hukkaan, kun sisäilmaa joudutaan vuorotellen lämmittämään ja viilentämään.

Tehokkuuden parantamiseksi tulisi tarkistaa yläkerran jäähdytyksen tavoitelämpötila ja/ tai Home Assistanttiin voisi ohjelmoida esimerkiksi 2 tunnin siirtymäaika lämmityksen ja viilennyksen välille, jolloin lämmölle annetaan aikaa tasoittua asunnossa ja voitaisiin vähentää tarvetta lämmittää ja viilentää vuorotellen.

6 Kotiautomaation tulevaisuuden mahdollisuudet

Kotiautomaation merkittävä potentiaali energiansäästöissä on osoitettu aikaisemmissa luvuissa. Siitä huolimatta teknologian jatkuva kehitys ja yhä paremmat integraatiomahdollisuudet antavat aihetta miettiä, mitä seuraavaksi voidaan saavuttaa.

6.1 Kustannus-hyötyanalyysi

Aikaisemmin tarkastelimme konkreettisia säästöjä energiankulutuksessa ja niiden vaikutuksia käyttäjien energialaskuihin.

Esimerkkipaketti jolla oman kotiautomaation voisis saada onjaamaan veden ja talon lämmitystä (suorasähkö sekä ILP) koostuisi seuraavaista laitteista:

- Raspberry Pi 3, hankintahinta käytettynä 20 € (uusi noin. 100 €)
- 5kpl eWeLink etäohjattava kytkin (vaihtoehtoisesti älypistorasia), hinta 10 € – 15 € / kpl
- Internet yhteys, oletetaan että löytyy valmiiksi kohteesta, hinta 0 €

Kun otetaan huomioon investointikustannukset (alk. 150 €) kotiautomaatiojärjestelmään ja verrataan niitä saavutettuihin säästöihin, voidaan nähdä selkeästi, että järjestelmän takaisinmaksuaika on parhaimmillaan parin kuukauden luokkaa, riippuen tietysti sähkön hinnasta, ulkolämpötilasta ja kokonaisenergiankulutuksesta.

6.2 Laajentamisen ja parantamisen mahdollisuudet

Kotiautomaation nykyinen tila antaa vankan pohjan järjestelmän laajentamiselle. Esimerkiksi, järjestelmään voitaisiin integroida älykkäitä sääennusteita, jolloin aurinkoenergian tuotantoa voitaisiin ennakoida paremmin tai säästää energiaa sateisina päivinä.

Lisäksi voitaisiin kehittää älykkäämpiä algoritmeja, jotka ottavat huomioon asukkaiden tottumukset ja toiveet, jolloin järjestelmä voisi ennakoida milloin lämmitystä, valaistusta tai muita toimintoja tarvitaan enemmän tai vähemmän.

Vuodesta 2023 alkaen sähkön osto- ja myyntinetotus on tapahtunut 15 minuutin tasejaksoilla, mikä avaa uusia mahdollisuuksia verkkoon liitetyn akuston käytölle. Akuston avulla voidaan varastoida ylimääräistä sähköä kulutushuippujen tai hintapiikkien ajaksi, mikä voi parantaa kotiautomaation energiatehokkuutta ja -taloutta.

Akustolla voidaan myös ottaa talteen ylituotantoa, varastoida halpaa (esimerkiksi yöllä ostettua) sähköä ja myydä sitä hintapiikkien aikaan verkkoon paremmalla tuotolla.

6.3 Lisämittaukset ja testit

Parhaan mahdollisen tehokkuuden saavuttamiseksi olisi syytä tehdä lisämittauksia ja -testejä. Esimerkiksi voitaisiin seurata eri algoritmien vaikutuksia energiankulutukseen tai testata uusia laitteita ja teknologioita osana kotiautomaatiojärjestelmää. Vertailemalla eri automaatiojärjestelmien tehokkuuksia, voitaisiin määrittää mikä järjestelmä tai teknologia tuottaisivat parhaat säästöt sekä selvittää miten ne voitaisiin integroida nykyiseen järjestelmään.

7 Yhteenveto

Kotiautomaation potentiaali on viime vuosina noussut esiin paitsi teknologisen kehityksen myötä, myös kasvavan ympäristötietoisuuden ansiosta. Tässä työssä on käyty läpi, kuinka kotiautomaation avulla on mahdollista saavuttaa merkittäviä energiansäästöjä ja samalla parantaa asumismukavuutta. Aikaisempien laskelmien ja analyysien valossa on selvää, että kotiautomaation investointi ei ole pelkästään ekologinen valinta, vaan myös taloudellisesti kannattava päätös.

Nykyiset kotiautomaation järjestelmät ovat vain raapaisu pintaa verrattuna siihen, mitä tulevaisuus voi tuoda tullessaan. Teknologian jatkuva kehitys, tekoälyn hyödyntäminen ja parempi integrointi erilaisten laitteiden ja palveluiden välillä avaavat ovia entistä tehokkaampiin ja älykkäämpiin ratkaisuihin. On tärkeää, että jatkamme uusien innovaatioiden omaksumista ja testaamista sekä niiden vaikutusten arviointia.

Lisäksi on olennaista, että kuluttajat ja kotitaloudet ymmärtävät kotiautomaation tuomat edut ja mahdollisuudet. Tiedon lisääminen ja jakaminen auttaa ihmisiä tekemään tietoisempia päätöksiä ja investoimaan kestävämpiin ratkaisuihin. Samalla se luo painetta valmistajille ja palveluntarjoajille kehittää parempia ja tehokkaampia järjestelmiä.

Kun otamme huomioon maailmanlaajuiset haasteet, kuten ilmastonmuutos ja energiakriisit, on selvää, että jokainen askel kohti kestävämpää ja tehokkaampaa energiankäyttöä on askel oikeaan suuntaan. Kotiautomaatio tarjoaa yhden ratkaisun tähän haasteeseen, ja tässä työssä esitetyt tulokset (mm. jopa 100 €:n kuukausittaiset säästöt sähkölaskuissa talvikaudella) ja analyysit vahvistavat sen potentiaalin ja arvon niin yksilöille kuin yhteiskunnalle laajemmin.

8 Lähdeluettelo

- Caruna Oy. (1. 8 2023). *Verkkopalveluhinnasto*.
<https://caruna.fi/sites/default/files/docs/Caruna%20Oy%20verkkopalveluhinnasto%201.8.2023.pdf>
- eWeLink. (10. 04 2023). eWeLink Blog: <https://ewelink.cc/blog/>
- FinGrid Oy. (2019). *Opas kulutusjoustoan Hallitse kotisi sähkökulutusta*.
- Forecast.Solar, H. A. (27. 08 2023). *Forecast.Solar*. HomeAssistant.io:
https://www.home-assistant.io/integrations/forecast_solar/
- Frisk, T. (2018). *Älykodin Rakentaminen Omakotitaloon*. Oulun Ammattikorkeakoulu.
<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018101215929>
- Home Assistant Community. (05. 09 2021). *Securing Your Home Assistant Instance*. Home Assistant Community: <https://community.home-assistant.io/t/securing-your-home-assistant-instance/336908>
- Juntunen, A. (2017). *Langation Tiedonsiirto UHF-taajuudella*.
<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017112818502>
- Kallioniemi, T. (10. 11 2009). *Zigbee Standardin Toiminta ja Periaatteet*.
<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201005078375>
- Kyberturvallisuuskeskus. (2. 10 2014). *Langattomasti, mutta turvallisesti - Langattomien lähiverkkojen tietoturvasuudesta*:
https://www.kyberturvallisuuskeskus.fi/sites/default/files/media/file/Langattomasti_mutta_turvallisesti_Langattomien_lahiverkkojen_tietoturvasuudesta.pdf
- Kyyhkynen, R. (2017). *Kotiverkon IoT-laitteiden tietoturva*. Turun AMK /
<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201705239566>
- Magnus Berglund, E. M. (Ohjaaja). (2023). *MOT - Sähkölaskun salaisuus* [Elokuva].
<https://areena.yle.fi/1-63858263>
- O'Gorman, S. (20. 7 2014). *Relays feature an electrical life of 100,000 cycles*.
<https://www.electronicsspecifier.com/products/passives/series-of-relays-feature-an-electrical-life-of-100k-cycles>
- Pennarun, A. (20. 3 2020). *How Tailscale Works*. Tailscale Homepage:
<https://tailscale.com/blog/how-tailscale-works/>
- Philips Hue. (01. 09 2023). *Philips Hue, How It Works*.
<https://www.philips-hue.com/fi-fi/explore-hue/how-it-works>
- Pulakka, J. (11. 11 2022). *GitHub*. jpulakka / nordpool_diff:
https://github.com/jpulakka/nordpool_diff
- Pörssisähkön Spot-hinta Suomessa. (09 2023).
<http://www.sahko.tk/>

- TechBBS / io-tech.fi*. (01. 09 2023). Toteutunut keskihinta/kk pörssisähköllä - keskustelupalsta: <https://bbs.io-tech.fi/threads/toteutunut-keskihinta-kk-poerssisaehkoellae.416842/>
- Tuhkanen, T. (2022). *Kotiautomaatio ja sen Tietoturva*. Vaasan Ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022053013037>
- Tuya. (01. 06 2023). *Residential Tuya Automation*. Tuya Homepage: <https://residential.tuya.com/>
- Tähtinen, J. (2022). *Kotiautomaatio Raspberry Pi:llä*. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202204145206>

Ote lämminvesivaraajan ohjauksesta YAML-scriptinä

alias: Lämminvesivaraajan Ohjaus

trigger:

- platform: time_pattern

 - minutes: /1

condition: []

action:

- if:

 - condition: and

 - conditions:

 - condition: state

 - entity_id: sensor.cheap_night_hour

 - state: "True"

 - enabled: true

 - condition: or

 - conditions:

 - condition: numeric_state

 - entity_id: sensor.energy_production_today

 - below: 7

 - condition: numeric_state

 - entity_id: sensor.nordpool_diff_rectangle_15_normalize_max_min_sqrt_max

 - above: 0.25

 - enabled: false

then:

- type: turn_on

 - device_id: 8912cea8c6d6569b2bcad90bb7e02063

 - entity_id: switch.sonoff_10006fd60c_1

 - domain: switch

- delay:

```
hours: 0
minutes: 0
seconds: 15
milliseconds: 0
- type: turn_on
device_id: 8912cea8c6d6569b2bcad90bb7e02063
entity_id: 622d8c4b190e25183b657cf57e899e02
domain: switch
- delay:
hours: 0
minutes: 0
seconds: 15
milliseconds: 0
- type: turn_on
device_id: 8912cea8c6d6569b2bcad90bb7e02063
```

Ote ilmalämpöpumpun ohjauksesta YAML-scriptinä

alias: HVAC Täys AUTO

description: ""

trigger:

- platform: time_pattern

 - minutes: "2"

// ///

```
        sensor.nordpool_diff_rectangle_15_normalize_max_min_sqrt_max
        above: 0.35
- condition: numeric_state
  entity_id: weather.forecast_koti
  attribute: temperature
  below: 11
- condition: numeric_state
  entity_id: sensor.sensornordpool_kwh_fi_eur_3_10_24
  below: 0.5
- condition: and
  conditions:
  - condition: numeric_state
    entity_id: sensor.ludvigxmc_total_output_power
    above: 800
  - condition: numeric_state
    entity_id: >-
      sensor.nordpool_diff_rectangle_15_normalize_max_min_sqrt_max
      above: 0.1
  - condition: numeric_state
    entity_id: weather.forecast_koti
    attribute: temperature
    below: 11
```

then:

- service: climate.set_temperature

 - data:

 - temperature: 22.5

 - target:

 - device_id:

 - 6f9a6df32a14c9b09588c7e8b08ec380

- service: climate.set_temperature

 - data:

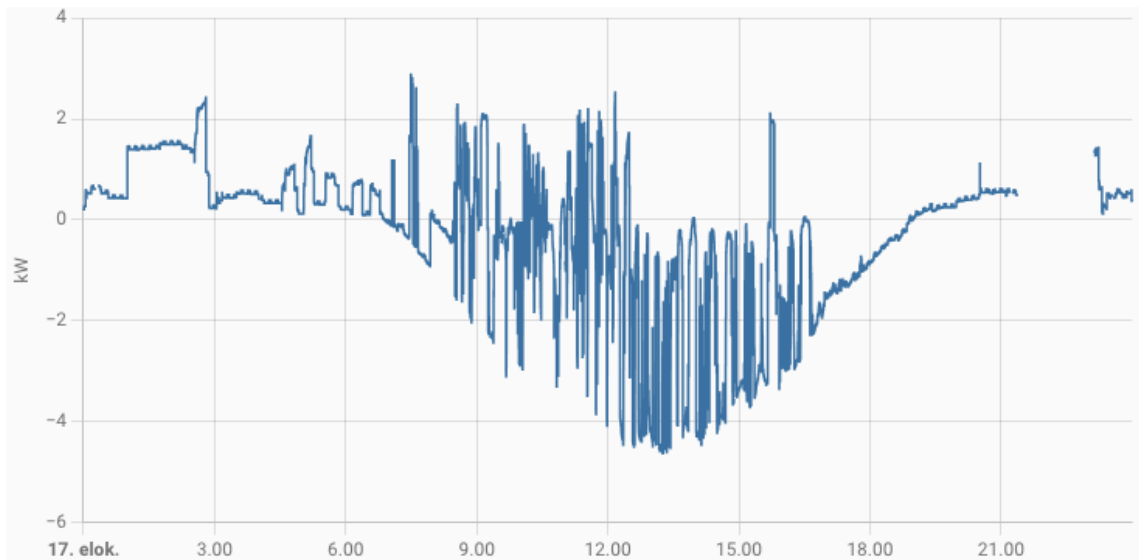
 - temperature: 22

 - target:

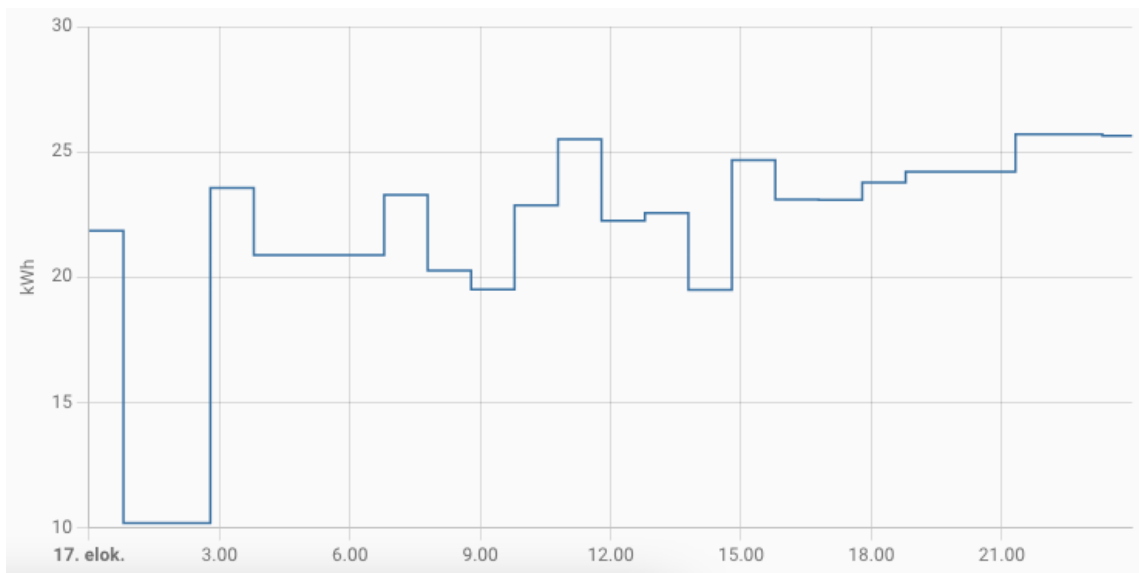
 - device_id:

 - 07929c5b6694f8966e427f68a849e3a4

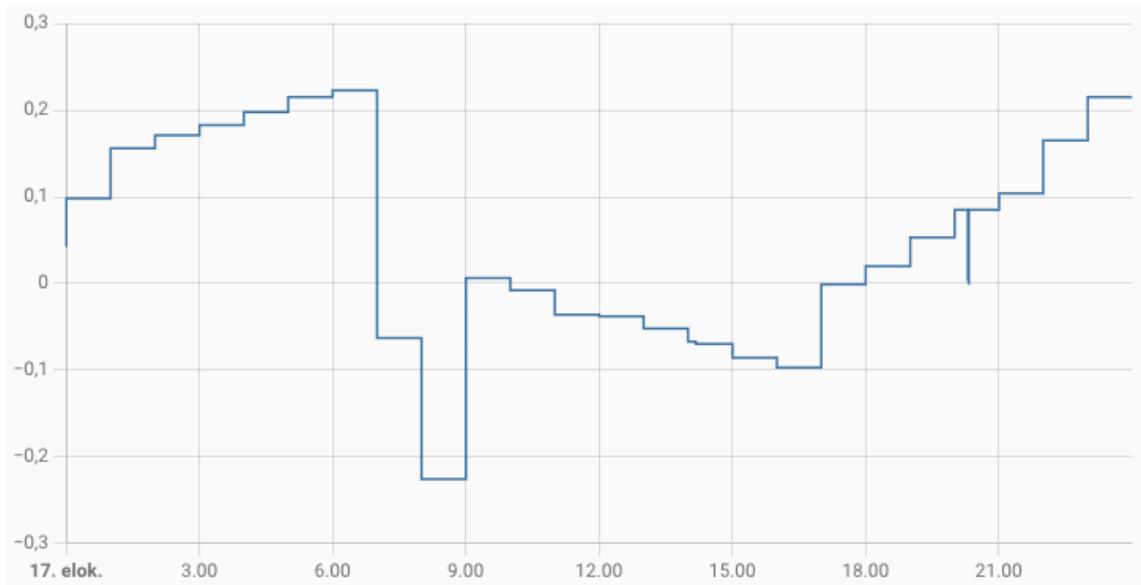
17.8.2023 Kulutus- ja ohjauksien lokitiedot HA-järjestelmästä



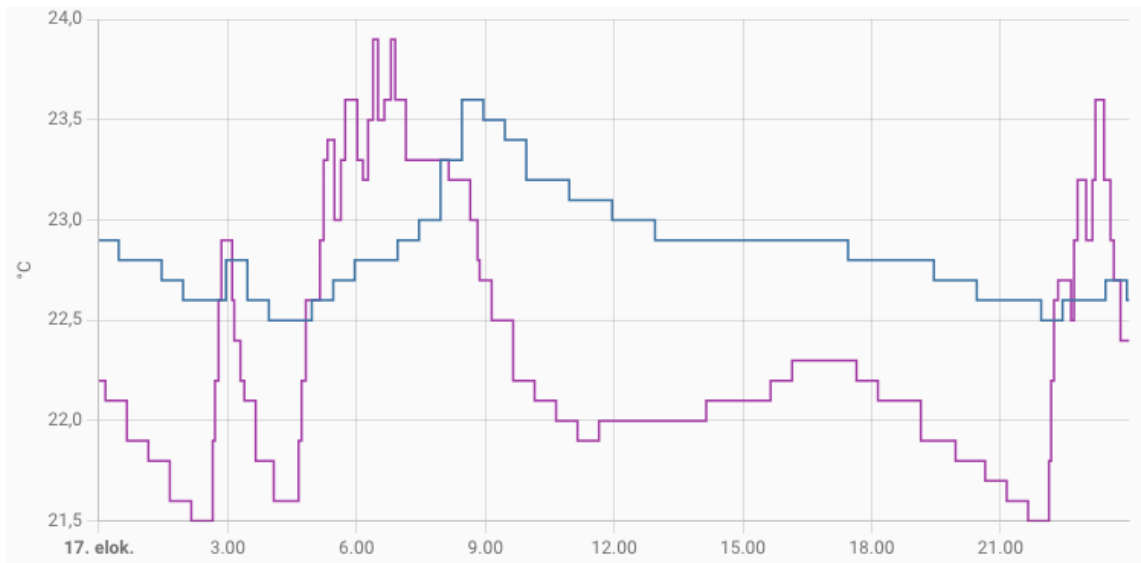
Kuva 11 Talouden kokonaisenergian kulutus (kW)



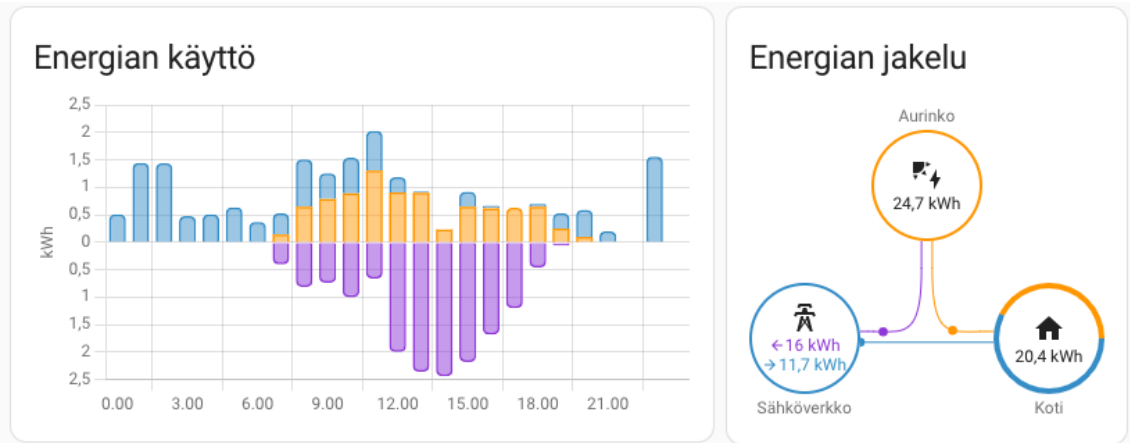
Kuva 12 Tulevan 24 tunnin aurinkotuotannon ennuste



Kuva 13 Nordpool_diff tuottama sähkön hinnan vertailuluku



Kuva 14 Olohuoneen (lila) ja Kylpyhuoneen (sininen) lämpötila



Kuva 15 HA:n käyttöliittymän Energia-välilehdeltä; Energian käyttö

Home Assistantin laskenta verkkoon syötetystä energiasta tapahtuu kulutusmittarin tietojen mukaan, kun sähköyhtiöllä taas on vartti-netotus, jolloin HA ilmoittamat arvot sähkön myynnistä / ostosta eroavat sähköyhtiön tiedoista