



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Leevi Niinimäki

Sähkönkulutuksen optimointi hintatietojen perusteella

Hintatiedot esittävän laitteen käyttäjälähtöinen suunnittelu, toteutus ja
vaikuttavuuden arviointi

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö
Tekniikan kandidaatti
Automaatio ja tietotekniikka

Vaasa 2024

VAASAN YLIOPISTO**Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö****Tekijä:** Leevi Niinimäki**Tutkielman nimi:** Sähkönkulutuksen optimointi hintatietojen perusteella : Hintatiedot esittävän laitteen käyttäjälähtöinen suunnittelu, toteutus ja vaikuttavuuden arviointi**Tutkinto:** Tekniikan kandidaatti**Oppiaine:** Automaatio ja tietotekniikka**Työn ohjaaja:** Janne Koljonen**Valmistumisvuosi:** 2024 **Sivumäärä:** 53

TIIVISTELMÄ:

Viimeaikaiset maailman tapahtumat ovat ravistelleet energiamarkkinoita. Viime vuosina energian hinnoissa on nähty sellaisia lukemia, joiden ei edes ajateltu olevan realistisia vain muutama vuosi takaperin. Sähkösopimusten hinnat ovat nousseet radikaalisti ja täten moni on siirtynyt pörssisähkön käyttöön. Pörssisähkön hinta voi vaihdella tunneittain huomattavasti, mikä tekee sen käytön optimoinnista jatkuvasti tärkeämpää.

Tämän työn ytimessä on kehittää laite, joka auttaa kuluttajia optimoimaan sähkönkäyttöään pörssisähkön hinnan ollessa alhaisimmillaan, näyttäen reaaliaikaisesti pörssisähkön hintatietoja OLED-näytöllä. Tavoitteena on tarjota kuluttajille intuitiivinen työkalu sähkönkäytön optimointiin, mikä edistää energiatehokkuutta ja auttaa säästämään kustannuksissa.

Työssä käydään läpi laitteen suunnitteluprosessi, rakennusprosessi, testausprosessi ja jälkianalyysi. Työ tarkastelee laitteen potentiaalista vaikutusta kuluttajien energiankäyttöön ja korostaa älykkäiden teknologioiden ja ratkaisujen integroimisen merkitystä arkipäiväiseen energiankäyttöön. Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on osoittaa, miten sähkönkäytön optimoinnilla voidaan edistää kuluttajan taloudellista hyvinvointia itse kootulla, mikrokontrolleriohjatulla laitteella, ja näin ottaa askel kohti kestävämpää ja tehokkaampaa energiataloutta.

AVAINSANAT: Optimointi, intuitiivinen, esineiden internet, sähkömarkkinat, mikrokontrolleri, OLED-näyttö

Sisälllys

1	Johdanto	7
2	Suomen sähkön hinnan määräytyminen	9
2.1	Sähkön hinnan vaihtelua aiheuttavia tekijöitä	11
2.1.1	Viikonpäivä ja vuorokaudenaika	11
2.1.2	Vuodenaika ja sää	12
2.1.3	Sateisuus, tuulisuus ja aurinkoisuus	14
2.1.4	Tuontisähkö ja tuotantokapasiteetti	15
2.2	Viime vuosien tapahtumat	16
2.2.1	Voimalaitosten ja siirtoyhteyksien vaikutus sähkön hintaan	18
3	Teknologia energiankulutuksen optimoinnissa	19
3.1	IoT – Internet of Things	19
3.2	Mikrokontrollerit ja kehitysalustat	21
3.3	Käyttäjäkokemuksen suunnittelu energialaitteille	22
3.3.1	UX-suunnittelu	23
3.3.2	UI-suunnittelu	23
3.3.3	OLED	23
4	Toteutus	24
4.1	Laitteen suunnittelu	25
4.1.1	Laitteen komponentit ja rakennus	25
4.1.2	Kytkentäkaavio ja komponenttien kuvat	26
4.1.3	Ohjelmointi ja toiminnallisuus	27
4.1.4	Yhteys ja synkronointi	27
4.1.5	Datan kerääminen ja käsittely	28
4.1.6	Käyttäjäkokemus	29
4.2	Käyttäjien ennakkohaastattelut	30
4.2.1	Käyttäjäodotukset ja -mielipiteet	30
4.2.2	Laitteen konseptin arviointi	30
4.2.3	Käyttäjien huolenaiheet ja esteet	31

4.2.4	Loppukommentit ja avoin palaute	32
5	Testit ja tulokset	33
5.1	Testitulokset ja analyysi	33
5.1.1	Ennen laitteen käyttöönottoa	33
5.1.2	Laitteen käyttöönoton jälkeen	35
5.1.3	Analyysi	36
5.2	Jatkotoimenpiteet	37
6	Yhteenveto	39
	Lähteet	41
	Liitteet	45
	Liite 1. Ennakkohaastattelukysymysrunko	45
	Liite 2. Laitteen ohjelmistokoodi	46

Kuvat

Kuva 1. Sähkömarkkinoiden jakautuminen Euroopassa. (Yihang, Z., Zhenxi, Z., Kaiwen, Z., Yaotong, H., Dong, S., Huiru, Z., Jingqi, S., Sen, G., 2023) Joillakin alueilla, kuten Ranskassa ja Suomessa, on vain yksi sähkömarkkina. Toisilla alueilla on useita sähkömarkkinoita, kuten Norjassa. 10

Kuva 2. Sähkön spot-hinnat päiväkeskiarvoina vuodelta 2024 sis. arvonlisäveron. (Oomi, 2024) Tästä diagrammista näkyy viikonpäivien vaikutus sähkön hintaan. Hinnat ovat korkeampia keskellä viikkoa kuin viikonloppuisin. 5.1.2024 sähkön spot-hintojen keskiarvo oli ennätysellinen 109,97 c/kWh. 12

Kuva 3. Sähkön kulutus Suomessa kuukausittain ajalta 23.9.2021–22.9.2022. Diagrammissa näkyy pienin tuntikohtainen kulutus, keskiarvo ja suurin kulutus. (Heima & Viita, 2022) Kulutus nousee lämpötilan laskiessa, joten talvikuukausina sähköä kuluu enemmän kuin kesällä. 13

Kuva 4. Vesi ja tuulivoiman tuotanto 17–22.10.2022. (Energiateollisuus/vesivoima, 2024) Diagrammista nähdään, kuinka vesivoima ja tuulivoima korvaavat toisiaan sääolosuhteiden vaihtuessa. 15

Kuva 5. Ostetun lämmitysenergian hinta asumisessa vuosilta 2022–2023. (Tilastokeskus) Asumuksen lämmitys sähköenergialla kallistui vuoden 2022 lopulla radikaalisti, mutta 2023 hinta lähti laskuun ja vakiintui lähes samalle tasolle aikaisempien hintojen kanssa. 17

Kuva 6. Esineiden internetin lukuisia käyttömahdollisuuksia. (Business tech, 2024) Nykyään IoT ulottuu arkeemme lähes jokaisella osa-alueella. 20

Kuva 7. Arduino Uno Rev3 SMD, hyvin suosittu mikrokontrolleri ja kehitysalusta. Arduino Uno Rev3 SMD:ssä on liittimet, joiden avulla se saadaan yhdistettyä tietokoneeseen ja virtalähteeseen sekä erilaisiin komponentteihin. (Arduino, 2024) 22

Kuva 8. Laitteessa käytetyt komponentit: Wemos D1 CH340 WiFi, kytkentälevy, apujohtoja, PCA9548A-multiplexeri ja kaksi 64x128 OLED-näyttöä. 26

Kuva 9. Laitteen kytkentäkaavio. Generoitu Wokwi ja Paint -sovellusten avulla. 27

Kuva 10. Valmiiksi rakennetun laitteen käyttäjänäkymä. Vasemman puolen OLED-näytössä on pylväsdiagrammi pörssisähkön hinnoista ja oikean puolen OLED-näytössä näkyy kellonaika sekä tämänhetkisen pörssisähkön hinta. 29

Kuva 11. Kohdetalouden kulutustiedot sekä pörssisähkön hinnat päivältä 12.4.2024. (Elenia, 2024) (sahko.tk, 2024) 34

Kuva 12. Kohdetalouden kulutustiedot sekä pörssisähkön hinnat päivältä 19.4.2024. (Elenia, 2024) (sahko.tk, 2024) 34

Kuva 13. Kohdetalouden kulutustiedot sekä pörssisähkön hinnat päivältä 26.4.2024. (Elenia, 2024) (sahko.tk, 2024) 35

Kuva 14. Kohdetalouden kulutustiedot sekä pörssisähkön hinnat päivältä 2.5.2024. (Elenia, 2024) (sahko.tk, 2024) 36

Lyhenteet

OLED	Organic Light Emitting Diode
LCD	Liquid Crystal Display
CET	Central European Time
IoT	Internet of Things (Esineiden internet)
NTP	Network Time Protocol
I2C	Inter-Integrated Circuit
UX	User Experience
UI	User Interface

1 Johdanto

Tämän päivän energiamarkkinat ovat dynaamisempia kuin koskaan ennen. Uusiutuvien energialähteiden kasvava osuus energiantuotannossa tuo mukanaan haasteita sähkön hinnan ennustettavuuteen ja vakaisuuteen. Varsinkin viimeaikaisten tapahtumien myötä sähkön pörssihinta on ollut ennätyksiä rikkovissa lukemissa, ja sähkön käytön optimointi on tullut entistä relevantimmaksi. Sähkön korkeat hinnat ovat aiheuttaneet pörssisähkön kuluttajien keskuudessa taloudellista huolta, josta päästäänkin siihen, miksi sähkönkäyttöä kannattaa optimoida. Optimoimalla sähkönkäyttöänsä, kuluttajat voivat säästää merkittäviä summia sähkökuluissa ja täten lievittää taloudellista huoltaan. Tässä kontekstissa älykkäiden teknologioiden ja laitteiden merkitys korostuu, sillä ne mahdollistavat reaaliaikaisen tiedon hyödyntämisen ja tehokkaamman energiankäytön.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on kehittää sähkölaite, joka ohjaa kuluttajaa käyttämään sähköä silloin, kun pörssisähkön hinta on alimmillaan. Laite koostuu kehitysalustasta, kahdesta OLED-näytöstä, multiplekseristä, kytkentälevystä ja apujohdoista. Laitteen keskeinen ominaisuus on visualisoida käyttäjälle reaaliaikainen tieto kellonajasta, tämänhetkisestä pörssisähkön hinnasta sekä graafi kuluvan päivän tuntikohtaisista pörssisähkön hinnoista. Tämän kokoonpanon tavoitteena on tarjota käyttäjälle helppokäyttöinen ja intuitiivinen työkalu sähkönkäytön optimointiin, mikä edistää energiatehokkuutta ja auttaa säästämään kustannuksissa.

Työn alussa luvussa 2. esitellään lyhyesti Suomen sähkömarkkinat ja Suomen sähkön hinnan muodostuminen. Luvussa 3. perehdytään esineiden internetiin, joka liittyy työssä kehitetyn laitteen toimintaan sekä sähkönkulutuksen optimoinnissa hyödynnettäviin laitteisiin yleisesti.

Työn keskeisenä aiheena luvuissa 4. ja 5. käsitellään laitteen suunnitteluprosessi, rakennusprosessi, testausprosessi ja jälkianalyysi. Suunnitteluprosessissa käydään läpi laitteen käyttötarkoitus, komponenttivalinnat, käyttäjäkokemus-suunnittelu ja käyttäjien

ennakkohaastattelut. Rakennusprosessi kattaa laitteen kokoamisen, kytkentäkaavion sekä laitteen ohjelmiston. Testausprosessissa mitataan laitteen vaikutusta käyttäjien sähkönkulutukseen vertailemalla päiviä ennen laitteen käyttöönottoa ja sen käyttöönoton jälkeen. Jälkianalyysissä pohditaan laitteen potentiaalista hyötyä kuluttajien energiankulutus käyttäytymiseen ja käydään läpi laitteen testauksessa saatuja tuloksia. Luvussa 6. käydään läpi yhteenveto työstä, tuloksista ja jatkotoimenpiteistä.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on osoittaa, miten sähkönkäytön optimoinnilla voidaan edistää kuluttajan taloudellista hyvinvointia ja miten se on mahdollista toteuttaa itse kootulla, mikrokontrolleriohjatulla laitteella. Työssä tarjotaan lukijalle tietoa pörssisähkön hinnoista, esineiden internetistä, sähkönkulutuksen optimoinnista sekä IoT-laitteista (Internet of Things). Lukija voi itse rakentaa kehitetyn laitteen, hyödyntämällä työssä esitettyjä materiaaleja.

2 Suomen sähkön hinnan määräytyminen

Suomi kuuluu yhteiseurooppalaisille sähkömarkkinoille, joissa sähkön osto ja myynti tapahtuvat pääsääntöisesti Nord Pool -sähköpörssin kautta. Nord Pool -sähköpörssissä ostajat ja myyjät esittävät oman tarjouksensa tulevan vuorokauden sähköstä. Ostajat tekevät arvion siitä, kuinka paljon sähköä he tarvitsevat ja esittävät tämän pohjalta oman tarjoushinnan. Vastaavasti myyjät arvioivat, kuinka suuren määrän sähköä he kykenevät tuottamaan tulevan vuorokauden aikana ja määrittävät myyntihinnan. Ostajat ja myyjät jättävät omat tarjouksensa joka päivä kello 13 (12:00 CET) mennessä, jolloin kumpikaan osapuoli ei tiedä toistensa tarjouksia. Kun tarjoukset on jätetty, käytetään algoritmia määrittämään seuraavan päivän tuntikohtaiset hinnat kysynnän ja tarjonnan tasapainopisteessä. (Nordic Green Energy/Spot-hinta, 2023)

Nord Poolin spot-hinta-alue määritellään prosessissa, joka ottaa huomioon sähkön tarjonnan ja kysynnän eri tarjousalueilla (katso Kuva 1). Nämä alueet määritellään kyseisten siirtojärjestelmän toimesta Pohjoismaissa ja Baltiassa sähköverkon ruuhkien hallitsemiseksi. Sähkö virtaa alueilta, joissa sähkön hinta on alhainen, kohti alueita, joissa kysyntä ja tarjottu hinta ovat korkeampia. Jos siirtokapasiteetti alueiden välillä ei riitä täyttämään alueiden sähköntarvetta, syntyy sähkövajeita, jotka johtavat eri hintoihin eri alueilla. Jos kuitenkin voimansiirto huutokauppa-alueiden välillä pysyy siirtojärjestelmän asettamien kapasiteettirajojen sisällä, eri huutokauppa-alueiden hinnat ovat lähes samat. (Nord Pool/Price calculation, 2024)

Nord Pool käyttää SESAM-laskentamallia, joka pyrkii tasapainottamaan tarjonnan ja kysynnän eri alueilla fyysisten rajoitteiden, kuten tilavuusrajoitusten, alueellisten tasapainojen, sekä siirron ja kapasiteetin nousunopeuden rajoitusten, puitteissa. Malli varmistaa, että sähkö virtaa alueiden välillä optimaalisesti, maksimoiden kuluttajien hyödyn samalla kun tuottajien kustannuksia minimoidaan. (Nord Pool/Price calculation, 2024)



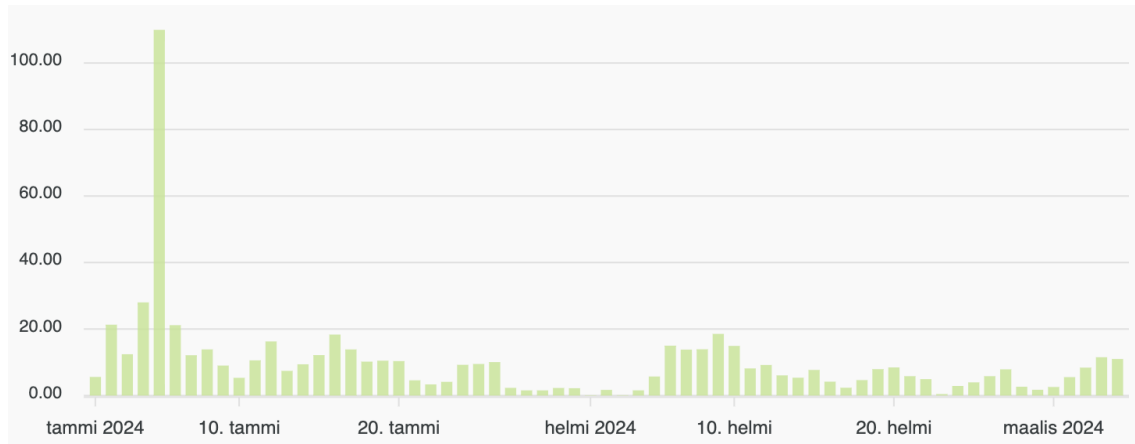
Kuva 1. Sähkömarkkinoiden jakautuminen Euroopassa. (Yihang, Z., Zhenxi, Z., Kaiwen, Z., Yaotong, H., Dong, S., Huiru, Z., Jingqi, S., Sen, G., 2023) Joillakin alueilla, kuten Ranskassa ja Suomessa, on vain yksi sähkömarkkina. Toisilla alueilla on useita sähkömarkkinoita, kuten Norjassa.

2.1 Sähkön hinnan vaihtelua aiheuttavia tekijöitä

Sähkön hinta vaihtelee hyvinkin paljon. Se elää kulutuksen ja tuotantokapasiteetin sekä monien muiden tekijöiden mukana. Erityisesti Suomessa, missä kylmät talvet ja valoisat kesät vaikuttavat merkittävästi sähkönkulutukseen, hinnan vaihtelu on selvästi nähtävissä.

2.1.1 Viikontäivä ja vuorokaudenaika

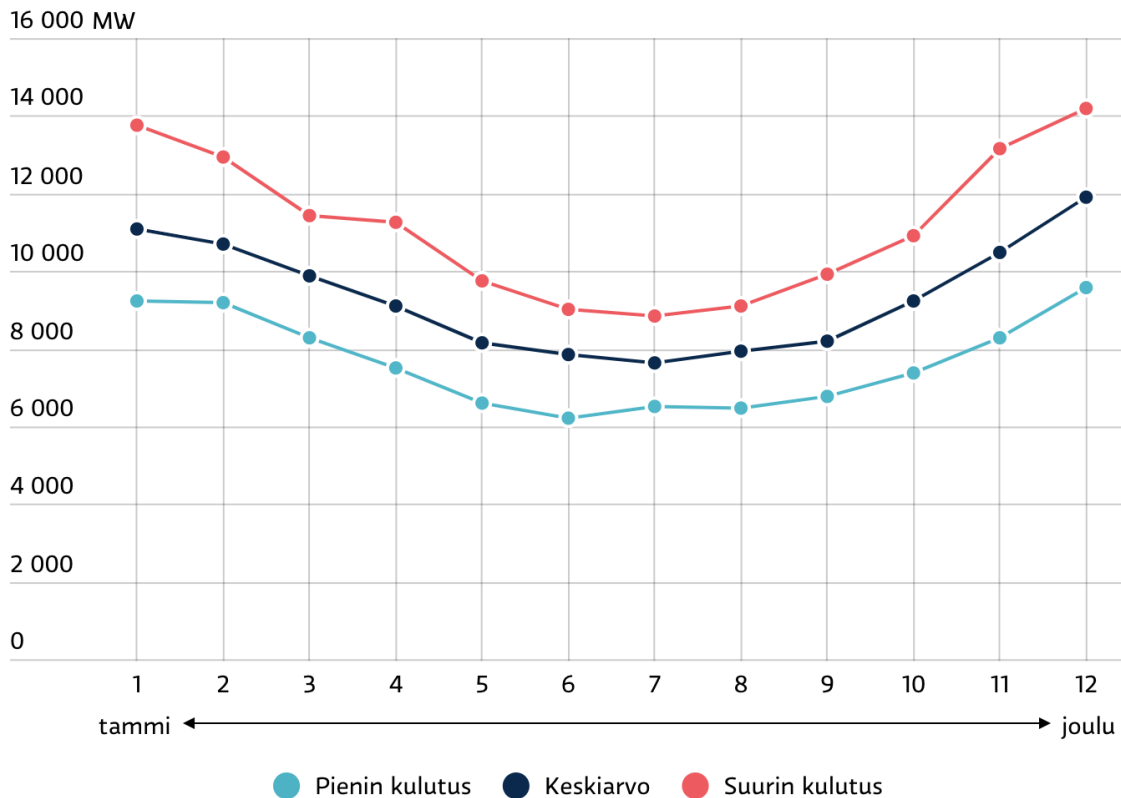
Sähkön kulutus vaihtelee huomattavasti päivän ja yön sekä viikontäivien mukaan (katso Kuva 2). Tyypillisesti kulutus kasvaa aamulla, kun ihmiset valmistautuvat päiväänsä ja illalla, kun he palaavat koteihinsa ja käynnistävät kodin sähkölaitteita. Nämä kulutushuiput osuvat useimmiten aamulla klo 8–9 ja illalla 17–19 aikaan. Näiden kulutushuippujen aikana sähkön hinta on kalleimmillaan, koska silloin sähköä käytetään paljon. Viikonloppuisin aamun kulutuspiikki on loivempi, koska ihmiset heräävät yleensä myöhemmin ja teollisuuden kulutus on huomattavasti pienempi. Toisaalta viikonloppuisin iltasähkön hinta on usein korkea, mikä johtuu taas kulutuksen kasvusta, kun kotitalouksien lisäksi myös monet kaupat, harrastuspaikat ja yritykset saavat paljon asiakkaita ja täten lisäävät kulutustaan. (Vaasan sähkö, 2023)



Kuva 2. Sähkön spot-hinnat päiväkeskiarvoina vuodelta 2024 sis. arvonlisäveron. (Oomi, 2024) Tästä diagrammista näkyy viikonpäivien vaikutus sähkön hintaan. Hinnat ovat korkeampia keskellä viikkoa kuin viikonloppuisin. 5.1.2024 sähkön spot-hintojen keskiarvo oli ennätysellinen 109,97 c/kWh.

2.1.2 Vuodenaika ja sää

Vuodenaika ja sää ovat merkittäviä tekijöitä sähkönkulutuksessa. Talvella, pimeyden ja kylmyyden vallitessa, sähkön tarve valaistukseen ja lämmitykseen kasvaa huomattavasti. Kylmä sää lisää lämmitystarvetta, jolloin sähkön kokonaiskulutus kasvaa. Kesällä, erityisesti juhannuksen aikaan, sähkönkulutus on alhaisimmillaan (katso Kuva 3). (Eskonen, H. & Hukkanen, V., 2022)



Lähde: ENTSO-E Transparency Platform

Grafiikka: Samuli Huttunen / Yle

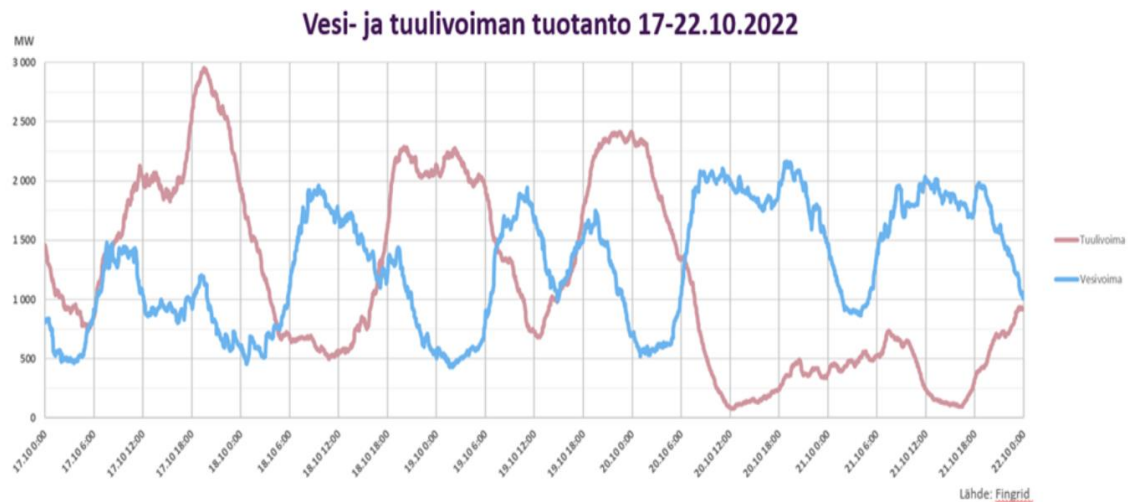
Kuva 3. Sähkön kulutus Suomessa kuukausittain ajalta 23.9.2021–22.9.2022. Diagrammissa näkyy pienin tuntikohtainen kulutus, keskiarvo ja suurin kulutus. (Heima, T. & Viita, K., 2022) Kulutus nousee lämpötilan laskiessa, joten talvikuukausina sähköä kuluu enemmän kuin kesällä.

Sään vaikutus sähkön hintaan on merkittävä, koska se vaikuttaa energian tuotannon ja kulutuksen määrään. Tuulinen sää lisää tuulivoiman tuotantoa, kun taas aurinkoiset päivät suosivat aurinkoenergian saantia. Runsas sademäärä puolestaan edistää vesivoimatuotantoa. Äärimmäiset sääilmiöt, kuten myrskyt ja kuivuus, voivat häiritä energiantuotantoa ja aiheuttaa sähkön hintojen vaihtelua markkinoilla. Siten sään vaikutus uusiutuvan energian tuotantoon, ja täten myös sähkön hinnan muodostumiseen, on huomattava. (Carabott, M., 2021)

2.1.3 Sateisuus, tuulisuus ja aurinkoisuus

Sateisuudella, tuulisuudella ja aurinkoisuudella on merkittävä vaikutus Suomen sähkön hinnan vaihteluun, sillä ne ovat tärkeitä tekijöitä uusiutuvan energian tuotannossa. Tuulivoiman osuus Suomen sähkön kokonaiskulutuksesta oli vuonna 2020 noin 10 %, ja sen merkitys sähkömarkkinoilla kasvaa jatkuvasti. (Kuusinen, K., 2021) Tuulivoiman tuotannon lisääntyminen vaikuttaa selvästi sähkön hintaan – kun tuulivoimatuotannon määrä on korkealla, alueen sähkön hinta yleensä laskee. Tämä johtuu siitä, että tuulivoiman tuotantokustannukset ovat suhteellisen pienet, ja voimakkaan tuotannon aikana sähkön hinta voi jopa laskea negatiiviseksi. Tuulivoiman lisäksi aurinkoenergian tuotanto vaikuttaa sähkön hinnan vaihteluihin, erityisesti kun tuotanto kasvaa ja teknologia kehittyy. Sääriippuvaisena energiamuotona, tuulivoiman haasteena on sen vaihtelevuus: tuulisähköä ei tuoteta, jos ei tuule, mikä voi johtaa sähkön hinnan nousuun korkean kysynnän aikana. Vastaavasti, aurinkoenergian tuotanto vaikuttaa myös sähkön hintaan, etenkin teknologian kehittyessä ja tuotannon lisääntyessä. (Ekholm, T., 2023)

Vesivoiman osuus on huomattava Pohjoismaiden sähköntuotannossa. Suomen sähköntuotannosta noin 10–20 % tuotetaan vesivoimalla vuosittaisen vesitilanteen mukaan. Suomessa on kuitenkin vielä hyödyntämätöntä vesivoimapotentiaalia, ja tulevaisuudessa teknologiset innovaatiot ja digitalisaatio voivat tarjota mahdollisuuksia parantaa vesivoimalaitosten säätöominaisuuksia ja vastata tulevaisuuden tarpeisiin. Sateisuus vaikuttaa vesivoimatuotannon määrään, sillä vähäiset sateet vähentävät vesivarantoja, mikä voi johtaa sähköntuotannon vähentymiseen. Tämä puolestaan voi nostaa sähkön hintaa, kun vesivoimaa korvataan kalliimmilla tuotantomuodoilla. (Energiateollisuus/vesivoima, 2024) Vesivoiman ja tuulivoiman yhteistyö sähköjärjestelmässä lisää joustavuutta. Kun tuulivoimaa tuotetaan paljon, vettä voidaan säästää, mikä auttaa pitämään sähkön hinnan alhaalla (katso Kuva 4). (Sinisalmi, T., 2024)



Kuva 4. Vesi ja tuulivoiman tuotanto 17–22.10.2022. (Energiateollisuus/vesivoima, 2024)
Diagrammista nähdään, kuinka vesivoima ja tuulivoima korvaavat toisiaan sääolosuhteiden vaihtuessa.

2.1.4 Tuontisähkö ja tuotantokapasiteetti

Suomen sähköntuotantokapasiteetti ei aina riitä vastaamaan kulutuksen huippuhetkiin, jolloin tuontisähköä tarvitaan muista Pohjoismaista. Tuontisähkön tarve kasvaa erityisesti silloin, kun kotimainen tuotanto ei pysty vastaamaan kysyntään, esimerkiksi kylminä talvipäivinä. Tuontisähkön hinta riippuu naapurimaiden tuotantomuodoista ja niiden saatavuudesta.

Tuontisähkön määrä ja tuotantokapasiteetin laajuus ovat avainasemassa määriteltäessä sähkön hintaa. Kun kotimainen tuotantokapasiteetti kasvaa, erityisesti uusiutuvien energiamuotojen myötä, riippuvuus tuontisähköstä vähenee. Tämä voi vakauttaa tai jopa laskea sähkön hintoja markkinoilla. Toisaalta, jos tuotantokapasiteetti ei vastaa kulutuksen huippuhetkiä, tuontisähkön lisääntynyt tarve voi nostaa hintoja.

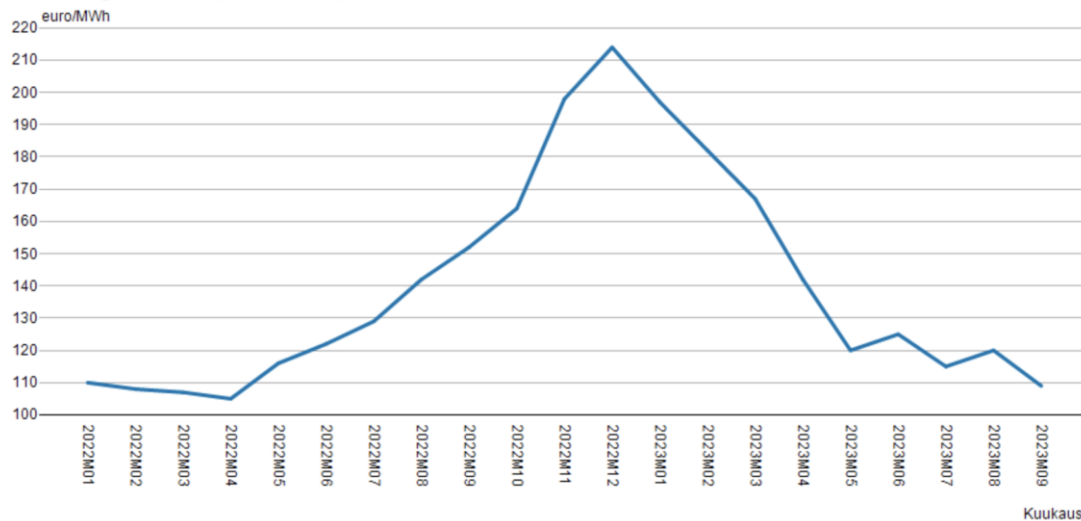
Tuontisähkön tarve ja tuotantokapasiteetin muutokset ovat keskeisiä tekijöitä, jotka vaikuttavat sähkön hintaan Suomessa. Vuonna 2023 nähtiin, kuinka tuotantokapasiteetin kasvu ja tuontisähkön tarpeen väheneminen vaikuttivat markkinoihin. Lisääntyneet investoinnit uusiutuvaan energiaan, kuten tuulivoimaan ja

Olkiluoto 3:n käyttöönotto, kasvattivat merkittävästi kotimaista tuotantoa. Tämä, yhdistettynä sähkönkulutuksen laskuun, vähensi Suomen riippuvuutta tuontisähköstä, joka oli aiemmin ollut korkealla tasolla. Päästöttömän tuotannon osuuden kasvu ja fossiilisten polttoaineiden käytön väheneminen edistivät myös vihreämpää energiantuotantoa, mikä voi pidemmällä aikavälillä vaikuttaa sähkön hintojen vakautumiseen. (Energiateollisuus/Sähkövuosi-2023, 2024)

2.2 Viime vuosien tapahtumat

Suomen sähkömarkkinoilla on koettu merkittäviä hinnannousuja vuodesta 2021 lähtien, johtuen lukuisista tekijöistä, kuten Euroopan maakaasun saatavuushuolista, päästöoikeuksien hinnannoususta, sekä Euroopan sotatilanteesta. (Energiateollisuus/ajankohtaista sähkömarkkinoista, 2024) Vuonna 2022 sähkön hinta jatkoi nousuaan ennen näkemättömiin lukemiin, johtuen erityisesti kaasun hinnan noususta ja Ukrainan sodasta (katso Kuva 5). Tätä vuoden 2022 hinnan nousua alettiin pitää eurooppalaisena energiakriisinä. Ukrainan sodan myötä, sähkön tuonti Venäjältä lakkasi toukokuun 14. päivänä. Venäjän tuonti oli noin 1000 MW, ja se vastasi yhden ydinvoimalan kapasiteettia. Tämä Olkiluodon voimalan myöhästymisen kanssa aiheutti Suomessa yhä suuremman sähköpulan. (Eskonen, H. & Hukkanen, V., 2022)

Ostetun lämmitysenergian hinta asumisessa muuttujina Kuukausi. Erillinen pientalo, Sähkö, Ostoenergian hinta (euro/MWh).



Kuva 5. Ostetun lämmitysenergian hinta asumisessa vuosilta 2022–2023. (Tilastokeskus/Energian hinnat, 2024) Asunnon lämmitys sähköenergialla kallistui vuoden 2022 lopulla radikaalisti, mutta 2023 hinta lähti laskuun ja vakiintui lähes samalle tasolle aikaisempien hintojen kanssa.

Vuonna 2023 sähkömarkkinat tasoittuivat viime vuosien aikana nähtyihin spot-hintoihin verrattuna. Kesällä spot-hinnat laskivat merkittävästi, osittain jopa negatiivisiksi. Sähkön hinnan vaihtelu jatkui, ja yritysten kiinnostus hinnan kiinnittämiseen kasvoi kohti vuoden loppua. Sähkön hintaan Suomessa vaikuttavat Olkiluoto 3:n toiminta ja vallitsevat sääolot. Vastuullisuustrendi ja kiinnostus alkuperäsertifioituun sähköön kasvavat edelleen. (Oomi, 2024)

EU pyrkii edistämään edullisen, uusiutuvan sähkön käyttöä, erityisesti vedyntuotantoon. Samalla unioni on siirtymässä pois suuri päästöisestä hiilivoimasta ja joissakin jäsenmaissa suunnitellaan ydinvoimasta luopumista. Teollisuuden kasvava sähkönkäyttö, liikenteen sähköistäminen ja kaukolämmön siirtyminen sähkön käyttöön Suomessa ovat esimerkkejä tämän siirtymän vaikutuksista. (Huttula, M., Seppälä, O. & Urpelainen, S., 2024)

2.2.1 Voimalaitosten ja siirtoyhteyksien vaikutus sähkön hintaan

Tammikuun 2024 alussa Suomessa koettiin poikkeuksellisen korkeita sähkön hintoja, joita kiihdytti pitkäaikainen kylmä sääjakso koko maassa. Tämä ennätyksellinen hintapiikki korosti voimalaitosten ja siirtoyhteyksien toimintakyvyn sekä hintajouston merkitystä sähkömarkkinoiden vakauttamisessa.

Voimalaitosten ja siirtoyhteyksien toimintakyky on kriittistä sähkön tarjonnan ja kysynnän tasapainottamiseksi, erityisesti äärimmäisissä sääolosuhteissa. Fingridin johtaja Tuomas Rauhala korostaa, että pakkasten aiheuttama kulutuksen kasvu yhdessä useiden voimalaitosten vikaantumisen kanssa johti tiukkaan tilanteeseen sähkömarkkinoilla. (Cygnel, S., 2024) Huolimatta yli 1 000 megawatin tuotantovajeesta, suurten voimalaitosten, kuten Olkiluoto 3:n, toiminta ja siirtoyhteyksien kapasiteetti mahdollistivat sähkönjakelun ylläpidon kriittisillä hetkillä.

Hintajouston vaikutus ilmeni selvästi, kun sähkön korkea hinta kannusti kuluttajia vähentämään kulutustaan. Tämä ilmiö, jossa kuluttajat reagoivat sähkön hintaan vähentämällä käyttöään kalleimpina hetkinä, osoitti hintajouston potentiaalin sähkönkulutuksen hallinnassa. Rauhalan mukaan Fingridin kokemukset tästä poikkeuksellisesta tilanteesta opettivat, että hintajousto voi vaikuttaa merkittävästi sähkön kulutukseen, erityisesti kriisitilanteissa. (Cygnel, S., 2024)

Tämä tapaus opettaa, että voimalaitosten ja siirtoyhteyksien luotettavuus yhdistettynä aktiiviseen kuluttajien osallistumiseen hintajoustomekanismien kautta on olennaisen tärkeää sähkömarkkinoiden vakauden ylläpitämiseksi. Se myös korostaa tarvetta jatkuvalla investoinnilla energiainfrastruktuuriin sekä kuluttajien kouluttamiselle ja osallistumiselle aktiivisiin energiahallintatoimiin. (Cygnel, S., 2024)

3 Teknologia energiankulutuksen optimoinnissa

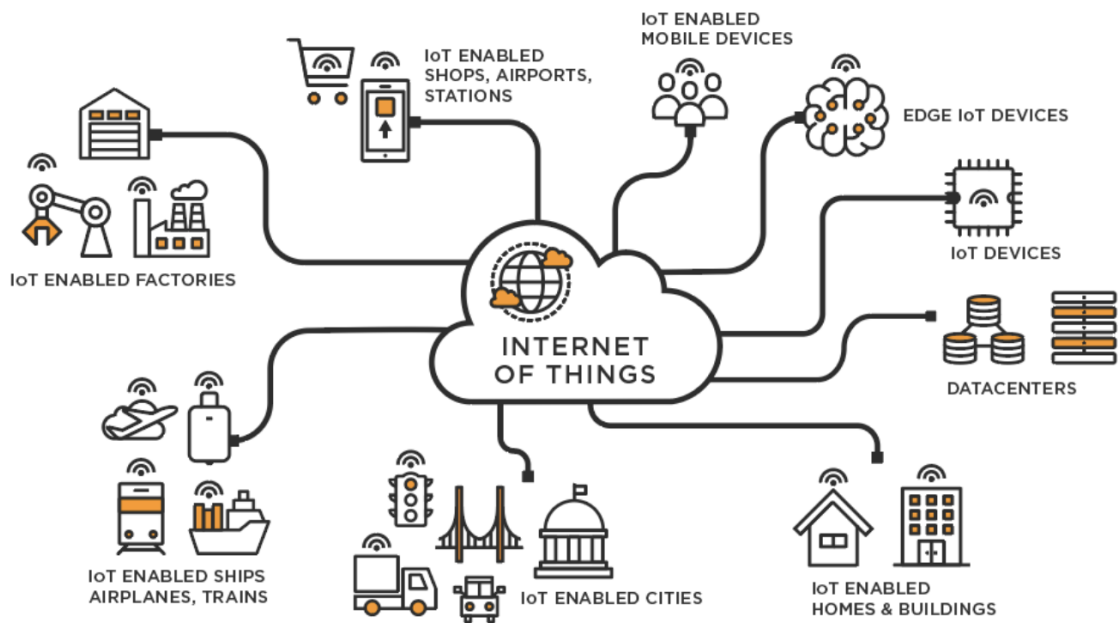
Perinteinen energiankulutuksen optimointi liittyy käyttäjän omaan optimaaliseen energian kulutukseen, tarkoittaen esimerkiksi ylimääräisten valojen sammutusta, turhaa jääkaapin auki pitämisen välttämistä ja tiskikoneen täyttämistä ääriä myöden. Energian käyttöä on hankalaa optimoida pelkästään omalla valppaudellaan ja siksi nykyään teknologiaa käytetään erittäin laajasti hyödyksi energian optimoinnissa. (Mattson, E., 2023) Teknologia mahdollistaa älykkään energianhallinnan ja -käytön tehostamisen. Innovatiiviset ratkaisut, kuten älykkäät verkot (smart grids), esineiden internet -laitteet (IoT) ja tekoäly, auttavat ennakoimaan energiankäyttöä ja ohjaamaan kulutusta tehokkaammin. Näiden teknologioiden avulla voidaan minimoida hukkaenergia, optimoida uusiutuvan energian tuotanto ja parantaa energiatehokkuutta niin teollisuudessa, liikenteessä kuin kodeissakin. Tässä työssä tutustutaan erityisesti esineiden internetiin ja tutkitaan sen vaikutusta energian optimointiin.

3.1 IoT – Internet of Things

IoT-järjestelmät rakentuvat langallisista tai langattomista verkoista sekä niihin liitetyistä laitteista. Käytännössä mikä tahansa laite, joka kykenee lähettämään tai vastaanottamaan tietoa internetin kautta, voidaan laskea IoT-laitteeksi. Tämä mahdollistaa laajat sovellukset, aina kodinkoneista teollisuuden laitteisiin. (Empirica, n.d.) IoT:n juuret ulottuvat 1980-luvulle, ja termi otettiin käyttöön ensimmäisen kerran vuonna 1999. Ensimmäisenä IoT-laitteena pidetään varsinaisesti vuonna 1990 John Romkeyn kehittämää leivänpaahdinta, joka toimi siihen yhdistetyn tietokoneen avulla. 2000-luvulla IoT-laitteiden suosio kasvoi räjähdysmäisesti, ja vuonna 2008 internetiin oli yhteydessä enemmän laitteita kuin ihmisiä. (Empirica, n.d.)

Esineiden internet tarjoaa innovatiivisia ratkaisuja energiankulutuksen optimointiin, liittämällä laitteita ja järjestelmiä toisiinsa ja internetiin. Tämän avulla saadaan kerättyä ja analysoitua tietoja reaaliajassa, mahdollistaen energiankäytön tehokkaamman hallinnan. IoT mahdollistaa älykkäiden rakennusten kehittämisen, jotka voivat automaattisesti säätää lämmitystä, valaistusta ja muita järjestelmiä energiatehokkuuden maksimoimiseksi. IoT:n avulla voidaan myös parantaa yksilöiden ja yritysten kykyä seurata ja hallita energiankulutusta. (Kaspersky, 2024)

IoT viittaa toisiinsa liittyvien tietoteknisten laitteiden järjestelmään, joka kerää ja siirtää tietoja langattoman verkon kautta ilman ihmisen välitöntä panosta. IoT sisältää laitteita, jotka vaihtelevat yksinkertaisista antureista ja kotitalouslaitteista monimutkaisiin teollisuusvälineisiin. Järjestelmä koostuu neljästä osasta: sensoreista/laitteista, yhteyksistä, tietojenkäsittelystä ja käyttöliittymästä. IoT:n sovellukset ulottuvat puettavista teknologioista ja älykodeista älykkäisiin kaupunkeihin ja itseajaviin autoihin (katso Kuva 6). (Kaspersky, 2024)



Kuva 6. Esineiden internetin lukuisia käyttömahdollisuuksia. (Business tech, 2024)
Nykyään IoT ulottuu arkeemme lähes jokaisella osa-alueella.

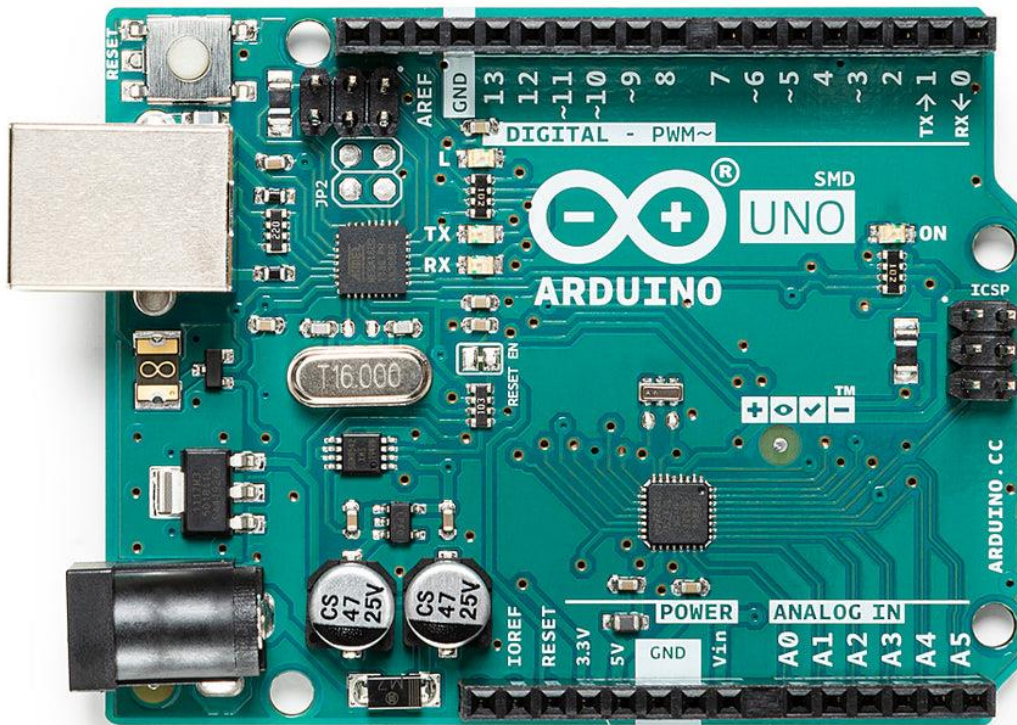
3.2 Mikrokontrollerit ja kehitysalustat

Mikrokontrollerit ovat kompakteja tietokoneita, jotka on suunniteltu suorittamaan erityisiä tehtäviä ohjelmien ohjaamina. Ne ovat kaikkialla – kotitalouslaitteista ja autoista teollisuuden ohjausjärjestelmiin. Mikrokontrollerien rinnalla kehitysalustat tarjoavat olennaisia työkaluja ja resursseja, jotka mahdollistavat näiden mikrokontrollerien ohjelmoinnin ja hyödyntämisen.

Mikrokontrolleri on mikroprosessoriin perustuva järjestelmä, joka sisältää keskusyksikön (CPU), muistia (sekä RAM että flash-muistia) ja muita komponentteja kuten tulo- ja lähtöportteja yhdellä piirilevyllä. Niiden pieni koko, alhainen hinta ja monipuoliset ominaisuudet tekevät niistä ihanteellisen valinnan moniin sovelluksiin. Mikrokontrollerit on suunniteltu suorittamaan rajallisia, määriteltyjä tehtäviä – esimerkiksi sensoridatan keräämistä, laitteiden ohjausta tai viestien välittämistä. (Karppinen, M., 2020)

Mikrokontrollerit ja kehitysalustat ovat IoT:n (Internet of Things) perustana, mahdollistaen siirtymisen yhä yhteenliitetympiin ja automatisoituihin ympäristöihin sekä työssä että vapaa-ajalla. IoT-laitteiden kasvava kysyntä on johtanut yrityksiä kuten Espressif Systems, Arduino ja Raspberry Pi kehittämään monenlaisia laitteistoalustoja. Nämä alustat mahdollistavat innovaatiot älykodeissa, maataloudessa, terveydenhuollossa ja muualla mahdollistamalla etätoiminnot ja tiedonkeruun vähäisellä ihmiskontaktilla. IoT:n jatkuva kehitys korostaa laitteistoalustojen ominaisuuksien, toimintojen ja yhteisötuen ymmärtämisen tärkeyttä tehokkaiden IoT-ratkaisujen kehittämisessä. (Priyank, N., Sandhu, A., Singh, D. & Thakur, A., 2020)

Kehitysalustat tarjoavat kehittäjille tarvittavat työkalut mikrokontrollerien ohjelmointiin ja testaamiseen. Ne sisältävät ohjelmointiympäristöt, kirjastot, ohjeistukset ja joskus myös fyysisen laitteiston, kuten kehityslevyt. Esimerkkejä suosituista kehitysalustoista ovat Arduino (katso Kuva 7), Raspberry Pi ja ESP32, jotka ovat demokratisoineet pääsyn elektroniikan ja ohjelmoinnin maailmaan, tarjoten käyttäjäystävällisiä alustoja harrastajille, opiskelijoille ja ammattilaisille. (Karppinen, M., 2020)



Kuva 7. Arduino Uno Rev3 SMD, hyvin suosittu mikrokontrolleri ja kehitysalusta. Arduino Uno Rev3 SMD:ssä on liittimet, joiden avulla se saadaan yhdistettyä tietokoneeseen ja virtalähteeseen sekä erilaisiin komponentteihin. (Arduino, 2024)

3.3 Käyttäjäkokemuksen suunnittelu energialaitteille

Käyttäjäkokemuksen suunnittelu, eli UX-suunnittelu (User Experience), on keskeinen osa energialaitteiden kehitysprosessia. Se keskittyy käyttäjän kokemuksen parantamiseen tuotteen tai palvelun käytön aikana, ja sen tavoitteena on tehdä käyttökokemuksesta mahdollisimman miellyttävä ja tehokas. UX-suunnittelun ytimessä on käyttäjien tarpeiden ja odotusten ymmärtäminen ja niiden pohjalta ratkaisujen kehittäminen. UI-suunnittelu (User Interface) on myös yksi osa UX-suunnittelua. Käyttöliittymän visuaaliset elementit ja design ovat suoraan yhteydessä UI-suunnitteluun.

3.3.1 UX-suunnittelu

Energialaitteiden UX-suunnittelussa (User Experience) täytyy ottaa huomioon laitteen käytettävyys, intuitiivisuus ja saavutettavuus. Tämä tarkoittaa esimerkiksi selkeiden ja ymmärrettävien ohjeiden luomista tuotteen käyttöönottoon ja toimintojen helposti löydettävissä ja käytettävissä olemista. UX-suunnittelun keskeisiä osa-alueita ovat käytettävyys ja saavutettavuus, visuaalinen suunnittelu sekä käyttäjätutkimus, jonka avulla ymmärretään paremmin kohderyhmien tarpeita ja mieltymyksiä (Haltu, 2023).

3.3.2 UI-suunnittelu

UI-suunnittelu (User Interface) eli käyttöliittymäsuunnittelu keskittyy siihen, miten tuote tai palvelu esitetään käyttäjälle. UI-suunnittelussa tärkeää on visuaalinen ilme, kuten värit, typografia ja muut visuaaliset elementit, jotka tekevät tuotteesta houkuttelevan ja helposti navigoitavan. (Pixels, 2019).

Energialaitteille suunnattu UX/UI-suunnittelu vaatii erityistä huomiota, sillä niiden käyttö liittyy usein olennaisiin ja arkipäiväisiin toimintoihin. Käyttäjäkeskeinen suunnittelu ja jatkuva käyttäjäpalaute ovat tärkeässä asemassa, kun halutaan varmistaa, että lopputuote palvelee käyttäjiä parhaalla mahdollisella tavalla.

3.3.3 OLED

OLED-näytöt, (Organic Light Emitting Diode), edustavat nykyaikaista näyttöteknologiaa, joka tarjoaa erinomaisen kuvanlaadun, korkeat kontrastisuhteet ja laajat katselukulmat. OLED-näytöt tuottavat valoa orgaanisen materiaalin sähköisen stimulaation kautta, mikä eliminoi tarpeen taustavalolle ja mahdollistaa ohuempia, joustavampia näyttörakenteita verrattuna perinteisiin LCD-näyttöihin (Liquid Crystal Display). Tähän työhön on valittu OLED-näyttö, jotta käyttäjäkokemus olisi intuitiivinen ja selkeä. (IO-tech, 2021)

4 Toteutus

Tässä osiossa kuvataan yksityiskohtaisesti IoT-laitteen tekninen toteutus, joka on suunniteltu näyttämään reaaliaikaiset pörssisähkön hinnat, kellonajan sekä visuaaliset diagrammit päivittäisistä sähkönhinnoista. Laite hyödyntää kahta OLED-näyttöä, jotka tarjoavat selkeän ja energiatehokkaan tavan esittää dataa. Kehitysalustana toimii Wemos D1 CH340, joka perustuu ESP8266-mikrokontrolleriin. Tämä mahdollistaa luotettavan yhteyden internetiin WiFi-yhteyden kautta, mikä on välttämätöntä datan ajantasaisen saatavuuden kannalta. ESP8266 kattaa myös enemmän muistia kuin yleinen Arduino Uno, joten laitteessa voidaan käyttää 64x128 resoluution näyttöjä.

Kehitysalusta ja OLED-näytöt on valittu niiden kompaktin koon, energiatehokkuuden ja yhteensopivuuden vuoksi. Tämä yhdistelmä mahdollistaa monipuolisen ja modulaarisen lähestymistavan laitteen suunnitteluun ja toteutukseen, joka tukee jatkokehitystä ja skaalautuvuutta. Seuraavaksi tarkastelemme tarkemmin laitteen pääkomponentteja, niiden konfigurointia ja sitä, miten ne yhdessä muodostavat toimivan kokonaisuuden, joka palvelee käyttäjän tarpeita tehokkaasti ja luotettavasti.

4.1 Laitteen suunnittelu

Tässä osiossa käydään läpi laitteen rakennusprosessi, käytetyt komponentit sekä laitteen toiminnallisuus. Osion tavoitteena on tarjota perusteellinen yleiskuvaus laitteen suunnittelusta ja toiminnasta, mukaan lukien ohjeet ja visuaaliset apuvälineet laitteen kokoonpanoon ja käyttöönottoon. Laitteen ohjelma on kirjoitettu Arduino IDE:llä C++ ohjelmointikielellä.

4.1.1 Laitteen komponentit ja rakennus

Laite on koottu käyttämällä kehitysalustaa, joka toimii sen keskusyksikkönä, ohjaten ja koordinoiden muiden komponenttien toimintaa. Laite sisältää myös kytkentälevyn, joka varmistaa eri komponenttien riskivapaan yhdistämisen. Toiminnan tehostamiseksi laitteeseen on integroitu multiplexeri, jonka ansiosta useita signaaleja voidaan käsitellä yhdeltä ohjauskanavalta. Tässä tapauksessa kahdella OLED-näytöllä on sama sarjamuotoisen tiedonsiirtoväylän I2C-osoite, joten niiden käyttämiseen yhdessä laitteessa tarvitaan multiplexeri, jolloin ne saadaan toimimaan eri kanavilla.

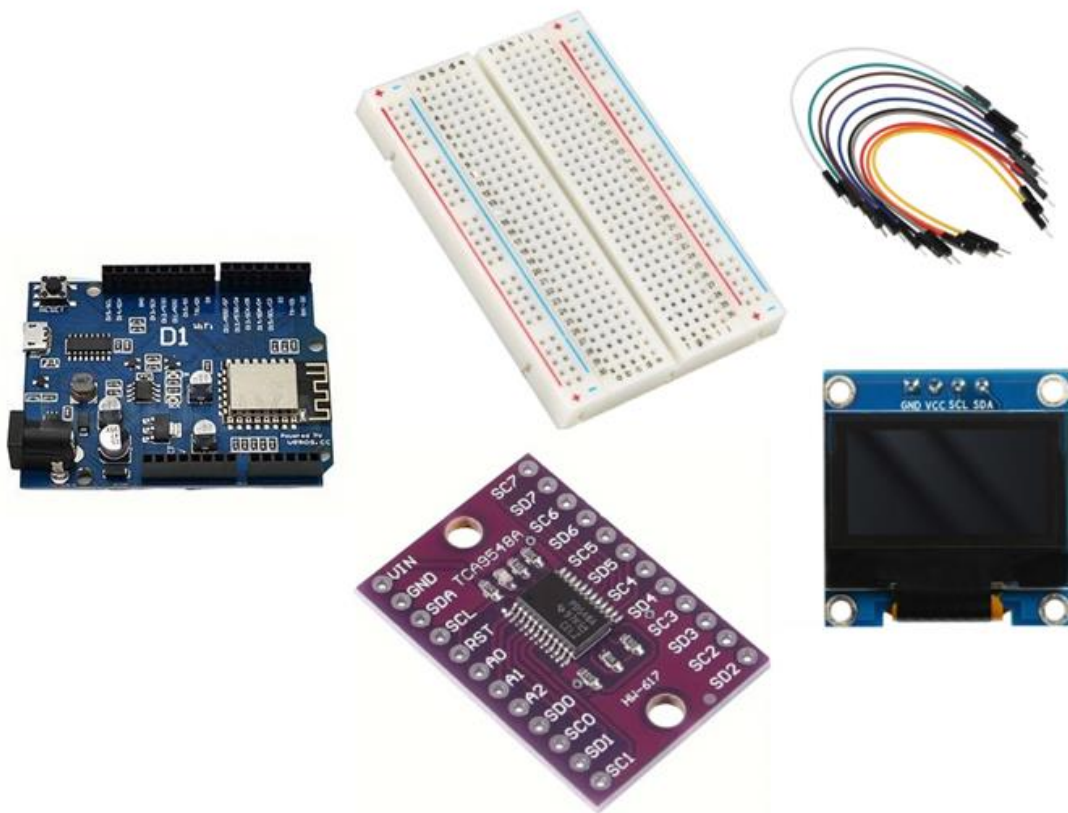
Laitteen visuaalinen esitys tapahtuu kahden OLED-näytön avulla, jotka tarjoavat kirkkaan ja selkeän kuvan sähkön hinnoista ja kellonajasta. OLED-näyttöjen valinta perustuu niiden korkeaan kontrastiin ja energiatehokkuuteen, mikä on erityisen tärkeää laitteen pitkäaikaisessa ja jatkuvassa käytössä.

OLED-näyttöjen käyttämä I2C (Inter-Integrated Circuit) väylä on sarjamuotoinen väyläprotokolla, jota käytetään yleisesti erilaisten piirien, kuten sensorien, muistien ja muiden mikrokontrolleripiirien, väliseen kommunikaatioon. I2C-väylä mahdollistaa useiden laitteiden liittämisen samaan väylään vain kahden johdon avulla: dataväylä (SDA) ja kellolinja (SCL). Se tukee konfiguraatiota, jossa yksi laite toimii väylän isäntänä (master) ja yksi tai useampi laite toimivat orjina (slave), reagoiden isännän pyyntöihin. Jokaisella

orjalla on uniikki I2C-osoite, jonka avulla isäntä voi kommunikoida kunkin orjan kanssa erikseen. (Hutasu, 2017)

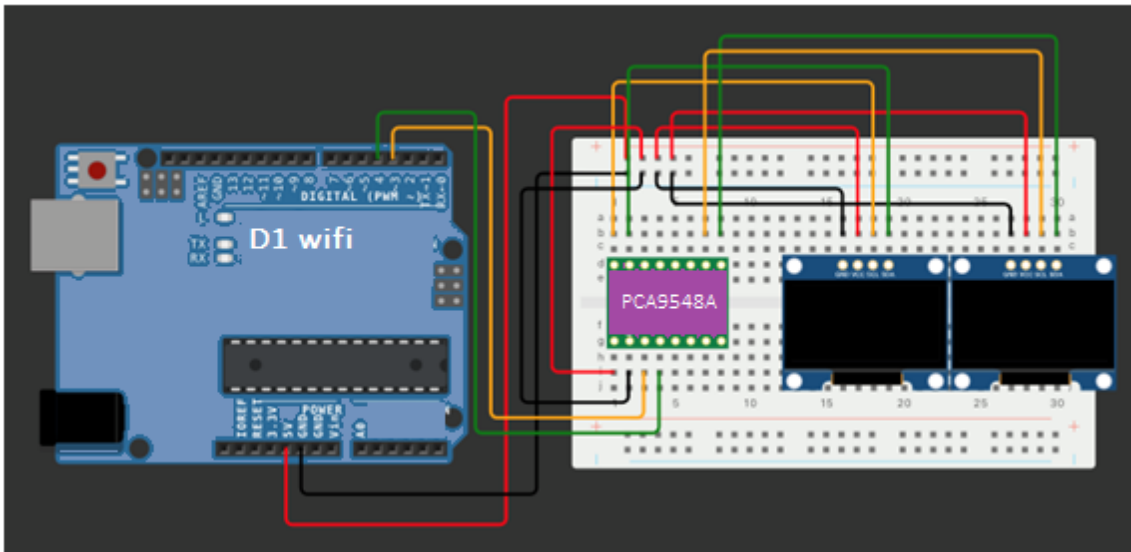
4.1.2 Kytkentäkaavio ja komponenttien kuvat

Tässä osiossa käydään läpi laitteen kaikki komponentit (katso Kuva 8). Komponenttien kuvat tarjoavat visuaalista apua laitteen rakenteen ymmärtämisessä ja auttavat osien oikeanlaisessa sijoittelussa.



Kuva 8. Laitteessa käytetyt komponentit: Wemos D1 CH340 WiFi, kytkentälevy, apujohtoja, PCA9548A-multiplexeri ja kaksi 64x128 OLED-näyttöä.

Liitetty kytkentäkaavio havainnollistaa, miten laitteen eri komponentit on kytketty yhteen (katso Kuva 9). Kytkentäkaavio on arvokas työkalu laitteen rakennusvaiheessa sekä vianmäärityksessä että huollossa.



Kuva 9. Laitteen kytkentäkaavio. Generoitu Wokwi ja Paint -sovellusten avulla.

4.1.3 Ohjelmointi ja toiminnallisuus

Laitte on ohjelmoitu Arduino IDE:llä, joka on suosittu ohjelmointialusta IoT-laitteiden ja prototyyppien kehittäjien keskuudessa. Arduino IDE:n käyttö mahdollistaa nopean ohjelman kehittämisen ja yksinkertaisen testauksen. Laitteen toiminta perustuu WiFi-yhteyden kautta saatuihin sähkön hintatietoihin, joita se näyttää OLED-näytöillä pylväsdiagrammien muodossa. Näytöllä esitetään päivän sähkön hinnat, nykyinen hinta ja kellonaika reaaliajassa.

4.1.4 Yhteys ja synkronointi

Laitteen yhteys internetiin on toteutettu käyttäen Wemos D1 CH340:n sisäänrakennettua WiFi-moduulia, joka mahdollistaa luotettavan ja nopean yhteyden. WiFi-yhteyden konfigurointi tapahtuu laitteen ensimmäisellä käynnistyksellä, ohjelmaan sisäänrakennetuilla verkon tunnustiedoilla. Laitteen ohjelman verkon tunnustiedot pystytään muuttamaan tarvittaessa, jos se halutaan yhdistää uuteen verkkoon.

Tietojen päivitys tapahtuu reaaliajassa, missä laite hakee uusimmat internetistä sähkön hinnat ja kellonajan joka minuutti. Laitteen sisäinen kello synkronoidaan myös säännöllisesti NTP-palvelimen (Network Time Protocol) avulla, mikä takaa ajan pysymisen ajantasaisena ja tarkkan.

4.1.5 Datan kerääminen ja käsittely

Laite hakee pörssisähkön hintatiedot julkisesta API-rajapinnasta (Application Programming Interface). API-rajapinta on määritelmien ja protokollien joukko, joka mahdollistaa sovellusten välisten yhteyksien luomisen ja hallinnan. API-rajapinnat sallivat ohjelmien keskustella keskenään ilman, että kehittäjien täytyy tietää yksityiskohtia toistensa ohjelmista. Ne voidaan jaotella niiden saatavuuden mukaan eli esimerkiksi yksityiset API-rajapinnat ovat vain yrityksen sisäiseen käyttöön, kun taas julkiset API-rajapinnat ovat saatavilla kenelle tahansa kehittäjälle. (Postman, 2024)

API-rajapinnat ovat olennainen osa nykyisiä digitaalisia ekosysteemejä, mahdollistaen esimerkiksi sovellusten integroinnin pilvipalveluihin, IoT-laitteiden hallinnan ja mikropalveluita hyödyntävien järjestelmien rakentamisen. Ne ovat myös tärkeitä työkaluja uusien liiketoimintamahdollisuuksien kehittämisessä, tarjoten alustoja, joiden päälle voidaan rakentaa uusia palveluita ja sovelluksia. (Postman, 2024)

Tässä työssä käytetty rajapinta on sivustolta porssisähkö.net (porssisahko.net, 2024). Rajapinta palauttaa uusimmat 48 tunnin hintatiedot joka päivä klo 14, jos Nord Poolin hintojen julkistuksessa ei ole ollut viivettä. Datan keräämisen jälkeen laitteen algoritmi purkaa saadun datan ja sulkee pois ei halutun datan. Tämän jälkeen haluttu data muunnetaan graafisiksi esityksiksi, jotka näytetään OLED-näytöillä.

4.1.6 Käyttäjäkokemus

Laitteen käyttöliittymä on suunniteltu olemaan intuitiivinen ja helppokäyttöinen. OLED-näytöt tarjoavat selkeän ja yksityiskohtaisen näkymän sähkönhinnoista ja kellonajasta. Työssä käytetyt näytöt ovat kaksivärisiä ja niiden värijakauma keltaisen ja sinisen välillä on seuraava: 16 ylintä pikseliriviä ovat keltaisia ja 48 alinta riviä ovat sinisiä.

Ensimmäisessä eli vasemman puolen OLED-näytössä näkyy kuluvan päivän pörssisähkön hinnat tunneittain (katso Kuva 10). Hintapylväiden alapuolella näkyy pylväiden kellonaika jaettuna kolmen tunnin väleihin. Kellonajat on ohjelmoitu näkymään kolmen tunnin välein näytön lukemisen selkeyttämiseksi sekä näytön pikselimäärän tuomien rajoitusten vuoksi. Hintapylväät ovat skaalattu siten, että päivän korkein hinta osuu aina näytön keltaiselle alueelle. Hintapylväiden keltainen pääty siis korostaa sen hetkisen hinnan korkeutta. Tällä tavoitellaan sitä, että kun käyttäjä huomaa pylväässä keltaista, hän intuitiivisesti välttäisi sähkön käyttämistä juuri tähän kellonaikaan.

Toisen eli oikean puolimmaisena OLED-näytön yläreunassa näkyy joka minuutti päivittyvä kellonaika ja sen alapuolella kuluvan tunnin pörssisähkön hinta (katso Kuva 10). Kellonajan keltainen väri on suunniteltu helpottamaan sen erottamista pörssisähkön hinnasta ja tekemään näytön lukemisesta selkeämpää.



Kuva 10. Valmiiksi rakennetun laitteen käyttäjänäkymä. Vasemman puolen OLED-näytössä on pylväsdiagrammi pörssisähkön hinnoista ja oikean puolen OLED-näytössä näkyy kellonaika sekä tämänhetkisen pörssisähkön hinta.

4.2 Käyttäjien ennakkohaastattelut

Tässä osiossa käsitellään ennakkohaastatteluja, joissa potentiaaliset käyttäjät antavat palautetta laitteen suunnitelluista ominaisuuksista ennen sen varsinaista käyttöönottoa. Tavoitteena on kerätä tietoa käyttäjien odotuksista, mielipiteistä ja mahdollisista huolista liittyen laitteen toiminnallisuuteen ja käyttökokemukseen.

4.2.1 Käyttäjäodotukset ja -mielipiteet

Kun pohditaan käyttäjäodotuksia ja -mielipiteitä kotitalouden IoT-laitteille, on selvää, että käyttömukavuus nousee keskeiseksi teemaksi. Käyttäjät korostavat IoT-laitteiden tärkeimpien ominaisuuksien joukossa helppokäyttöisyyttä ja luotettavuutta. Lisäksi vähäinen energiankulutus on tärkeää, koska se auttaa säästämään kustannuksissa.

"Kotitalouden IoT-laitteilta odottaisin ennen kaikkea helppokäyttöisyyttä ja luotettavuutta. Ne pitäisi pystyä asentamaan ja käyttämään ilman ohjeita. Vähäinen energiankulutus olisi myös tärkeää."

Kun keskustellaan ihanteellisesta laitteesta, joka näyttää reaaliaikaisia sähkön hintoja, toivotaan usein, että laite olisi sekä kompakti että esteettisesti miellyttävä. Tämänkaltaisen laitteen tulisi sopia saumattomasti kotiympäristöön ja olla ulkoasultaan tyylikäs, jolloin se ei häiritse kodin sisustusta. Selkeä näyttö, josta sähkön hintatiedot ovat helposti luettavissa, on myös olennainen osa käyttäjäystävällisyyttä.

"Ihanteellinen laite olisi kompakti ja esteettisesti miellyttävä, jotta se sopisi hyvin osaksi sisustusta. Haluaisin, että siinä olisi selkeä näyttö, josta voisin helposti tarkastaa sähkön hintatiedot."

4.2.2 Laitteen konseptin arviointi

Laitteen ominaisuus näyttää sähkön hinnat ja visuaaliset diagrammit herättivät kiinnostusta käyttäjien keskuudessa. Tämä ominaisuus tarjoaisi arvokasta tietoa energiankulutuksesta, mahdollistaen tehokkaamman hallinnan ja sähkön käytön

optimoinnin hintatietojen perusteella. Etenkin diagrammin ominaisuus näyttää korkeat hintapylväät eri värillä vaikutti käyttäjiä kiinnostavalta.

"Pidän todella paljon tästä ideasta, koska se auttaisi minua ymmärtämään energiankulutustani paremmin ja optimoimaan sähkön käyttöä hinnoittelun mukaan. Etenkin diagrammin korkeiden hintojen korostus keltaisella vaikuttaa todella hyvältä"

Laitteen käyttöliittymän osalta vaikuttaa suunnitellun käyttäjäystävälliseksi. Näytöt esittävät datan selkeästi ja laitteen käyttö vaikuttaa helpolta.

"Näytöissä näkyy selkeästi se mitä pitääkin, joten käyttöliittymä vaikuttaa todella hyvältä."

4.2.3 Käyttäjien huolenaiheet ja esteet

Käyttäjillä ei ollut huolenaiheita laitteen turvallisuuden kannalta. Laitteen rakenne ei mahdollista vakavia tietovuotoja ja yhteydet toimivat turvallisesti.

"Laitte vaikuttaa ihan turvalliselta. Eihän siihen tarvitse mitään yksityistietoja laittaa ja verkon tunnukset tuskin vuotavat mihinkään laitteen takia."

Lisätoiminnallisuuden osalta käyttäjät arvostaisivat ominaisuuksia, jotka tuovat lisäarvoa päivittäiseen käyttöön. Esimerkiksi hälytystoiminnot sähkön hintapiikkien aikana voivat auttaa käyttäjiä optimoimaan energiankulutusta vielä paremmin. Myös historiatiedot energiankäytöstä ja hintojen vaihteluista olisivat hyödyllisiä pitkän aikavälin suunnittelussa ja kulutustottumusten analysoinnissa.

"Olisi hienoa, jos laitteeseen voisi lisätä hälytyksiä tai muistutuksia sähkön hintapiikkien aikana. Myös historiatiedot energiankäytöstä ja hintojen muutoksista voisivat olla hyvä lisä."

4.2.4 Loppukommentit ja avoin palaute

Loppukommentteina ja avoimena palautteena käyttäjät ovat ilmaisseet, että laite vaikuttaa käyttökelpoiselta ja he uskovat sen auttavan heitä vähentämään energiankulutusta kalleimpien tuntien aikana. Käyttäjät kuitenkin ehdottivat, että laitteeseen voitaisiin lisätä äänimerkkejä, jotka auttaisivat entistä paremmin huomioimaan korkeat sähkön hinnat.

"Laite vaikuttaa ihan hyvältä käyttää ja uskon, että se auttaa minua vähentämään kulutusta kalleimpien tuntien aikana. Tosiaan jonkinlaisten äänimerkkien lisääminen laitteeseen voisi auttaa vielä enemmän kalliiden hintojen huomioimisessa."

5 Testit ja tulokset

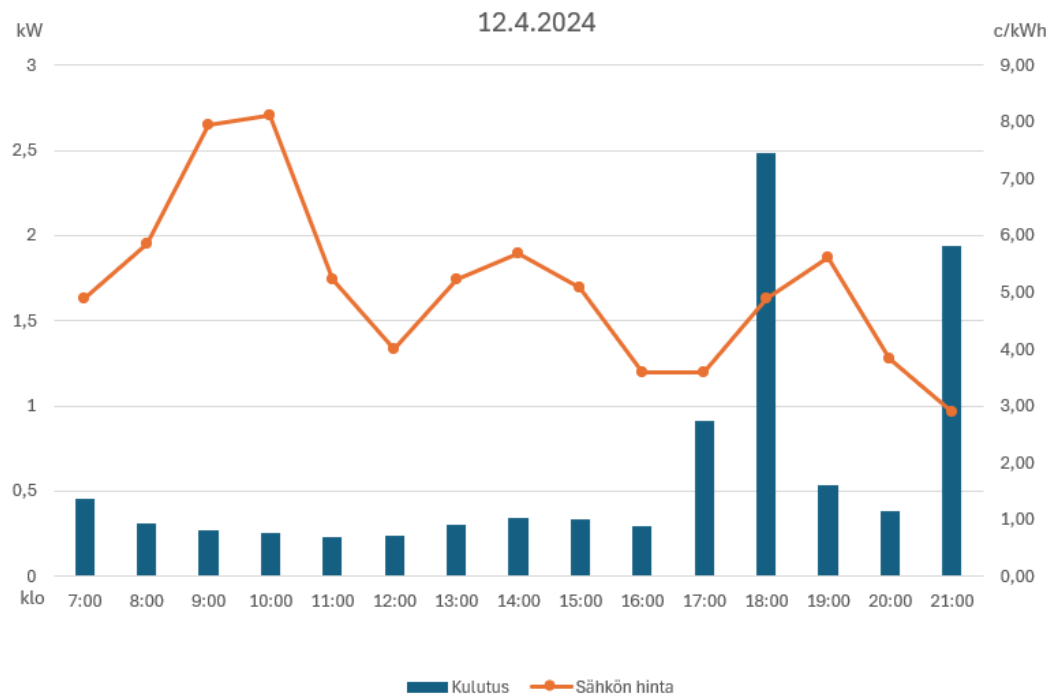
Tässä osiossa käsitellään laitteen aiheuttamaa vaikutusta kulutukseen sekä vertaillaan Elenian AinaLabin avulla laitteen merkityksellisyyttä. Talouden suurin kuluttaja on lämmitysjärjestelmä ja se on ohjattu käyttämään sähköä automaattisesti halvimpien tuntien aikana. Tämän vuoksi se käyttää suurimman osan sähköstä yöllä, jolloin käyttäjä ei juurikaan käytä sähkölaitteita. AinaLabista näkee päivä- ja yökulutuksen erikseen, joten tässä työssä tutkitaan vain päiväkulutusta, jotta laitteen vaikutus näkyisi selkeämmin ja saataisiin luotettavampia tuloksia.

5.1 Testitulokset ja analyysi

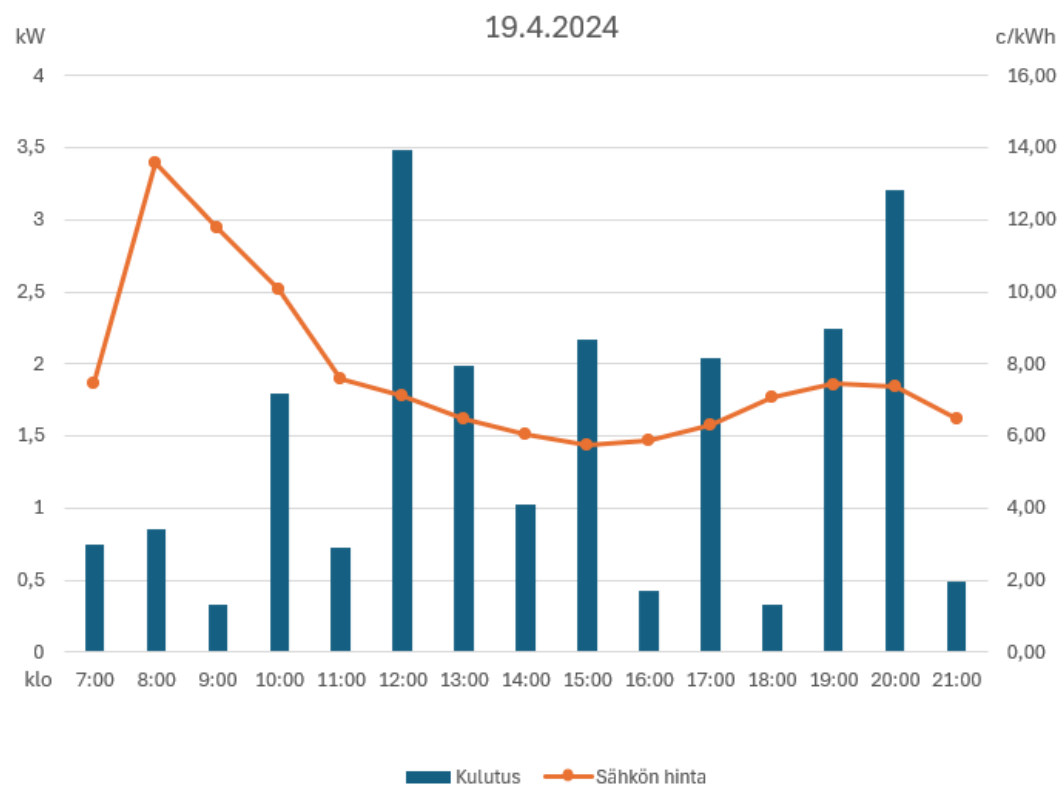
Tulokset esitellään kahdelta päivältä ennen laitteen käyttöönottoa sekä kahdelta päivältä laitteen käyttöönoton jälkeen. Analysoimalla näitä graafeja voidaan arvioida laitteen vaikutusta sähkönkulutukseen karkeasti, sillä kulutukseen vaikuttaa paljon muutkin muuttujat, kuten esimerkiksi lämpötilanvaihtelut, erilaiset sähköntarpeet eri päiville sekä käyttäjien huomioimattomuus. Graafeilla pyritään antamaan suuntaa antava esitys laitteen vaikutuksesta ja hyödyllisyydestä. Analyysissä kerrotaan myös käyttäjien oma mielipide laitteesta sekä voisivatko he suositella sitä muille.

5.1.1 Ennen laitteen käyttöönottoa

Ensimmäinen graafien sarja näyttää sähkön kulutuksen tunneittain tyypillisenä päivänä ennen laitteen käyttöönottoa (katso Kuva 11 ja Kuva 12). Nämä graafit antavat perustan, johon voidaan verrata laitteen vaikutuksia. Graafit osoittavat, että merkittävimmät kulutuspiikit sijoittuvat suhteellisen kalliille ajankohdille, mikä viittaa siihen, ettei sähkön hintavaihteluita ole aktiivisesti huomioitu kulutuksessa. Vaikka kumpikaan näistä päivistä ei ole erityisen kallis sähkön puolesta, havaitaan kuitenkin merkittävää vaihtelua hintatasossa. Nämä päivät antavat esimerkin siitä, kuinka laitteesta voisi olla hyötyä sellaisina päivinä, kun sähkön hintavaihtelut ovat huomattavia.



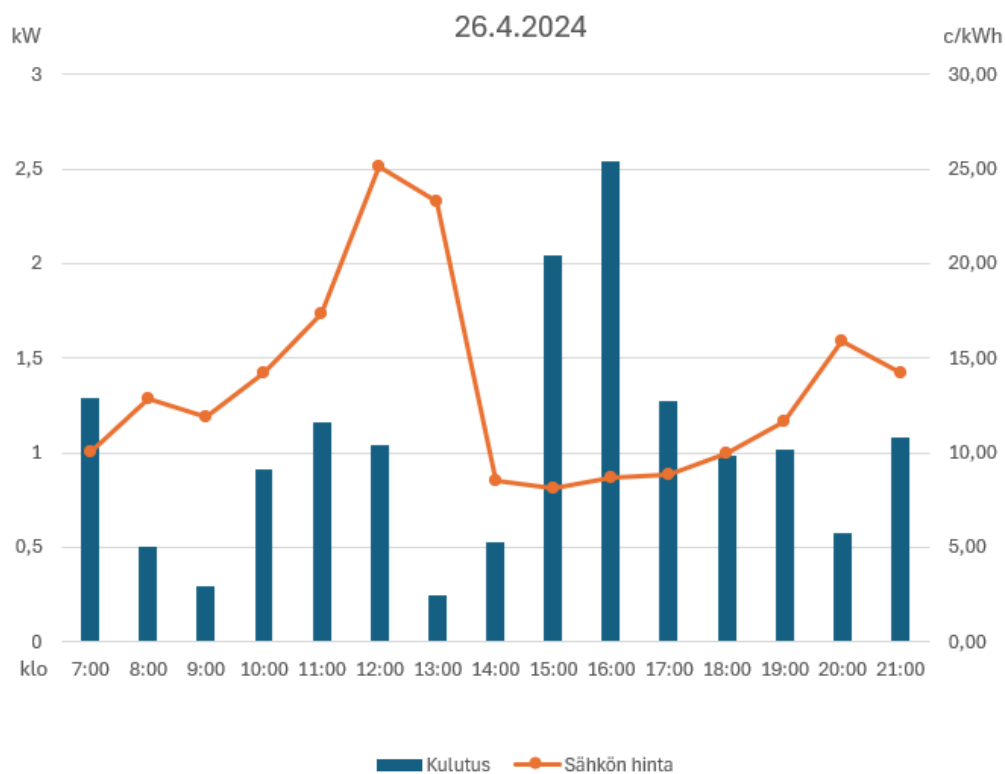
Kuva 11. Kohdetalouden kulutustiedot sekä pörssisähkön hinnat päivältä 12.4.2024.
(Elenia, 2024) (sahko.tk, 2024)



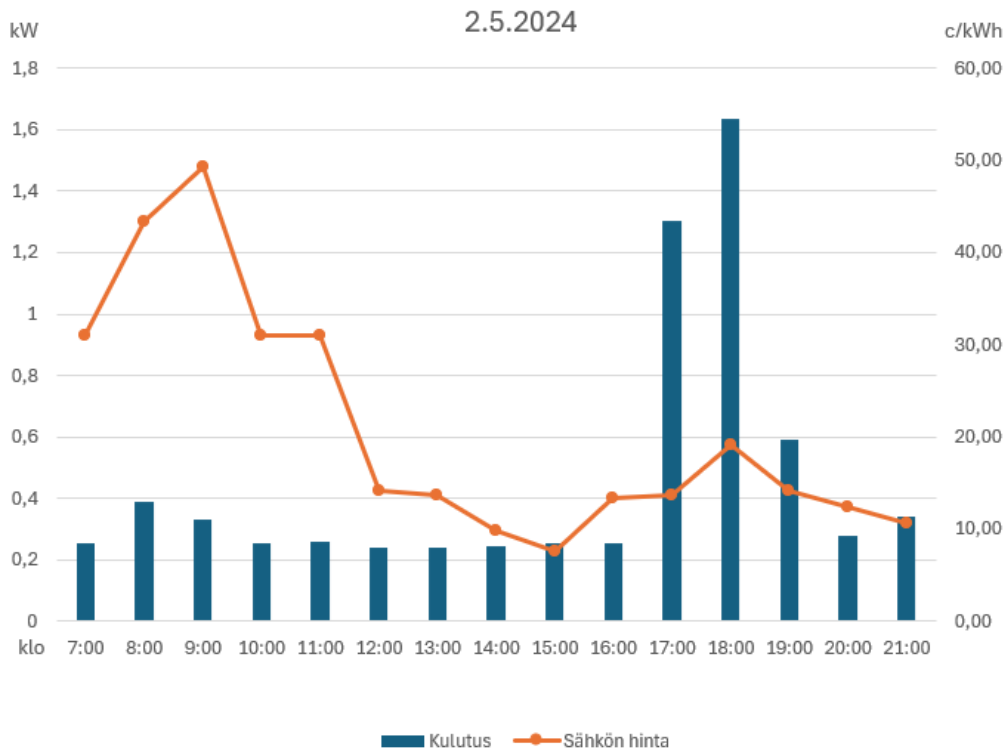
Kuva 12. Kohdetalouden kulutustiedot sekä pörssisähkön hinnat päivältä 19.4.2024.
(Elenia, 2024) (sahko.tk, 2024)

5.1.2 Laitteen käyttöönoton jälkeen

Toisessa graafisarjassa tarkastellaan sähkönkulutusta laitteen käyttöönoton jälkeen (katso Kuva 13 ja Kuva 14). Havaittavissa on merkittävä muutos kulutuskäyttäytymisessä, mikä ilmenee erityisesti kulutuksen huippuarvojen siirroksessa päivän halvemmille tunneille. Kulutus osoittaa tietoisuutta sähkön hinnoista sekä viittaa siihen, että sähkönkulutuksen ajoitusta on optimoitu hintatietoisesti. Kyseiset päivät olivat yleisesti ottaen sähkön hinnoittelun kannalta kalliita, joka voi osaltaan vaikuttaa käyttäjien motivaatioon seurata sähkön hintoja. Kulutuskäyttäytymisen analyysi osoittaa, kuinka laitteen tarjoama tieto voi vaikuttaa energiankäytön tehokkuuteen merkittäväällä tavalla.



Kuva 13. Kohdetalouden kulutustiedot sekä pörssisähkön hinnat päivältä 26.4.2024. (Elenia, 2024) (sahko.tk, 2024)



Kuva 14. Kohdetalouden kulutustiedot sekä pörssisähkön hinnat päivältä 2.5.2024.
(Elenia, 2024) (sahko.tk, 2024)

5.1.3 Analyysi

Analysoimalla ennen ja jälkeen laitteen käyttöönottoa, voidaan havaita muutoksia sähkönkulutus käyttäytymisessä. Aineisto laitteen analysoimiseen on hieman vajavainen ja laitteen testausta pitäisi jatkaa pidemmän aikaa, jos haluttaisiin tarkempia ja luotettavampia tuloksia. Kuitenkin näinkin kapealla aineistolla selvisi, että laitteella oli vaikutusta käyttäjien sähkönkulutukseen, joten tuloksista voidaan päätellä laitteen olevan hyödyksi ainakin jollain tasolla.

Ensimmäinen graafisarja osoitti, että ennen laitteen käyttöönottoa kuluttajat eivät aktiivisesti sopeuttaneet kulutustaan sähkön hinnan mukaan, mikä johti huomattaviin kulutushuippuihin kalliina aikoina. Toisessa graafisarjassa sen sijaan nähdään kulutuksen selvä siirtyminen kohti edullisempia tunteja, mikä osoittaa hintatietoisuuden lisääntymistä ja kulutuksen aktiivisempaa hallintaa.

Tulokset korostavat, kuinka sähkön hinnan vaihtelut voivat vaikuttaa käyttäjien päätöksentekoon. Kun käyttäjillä on pääsy reaaliaikaiseen hintatietoon, he voivat tehokkaammin optimoida energiankäyttöään ja välttää kalliimman sähkön käytön huippuhetkinä. Käyttäjät itse kommentoivat laitteen jäävän ehdottomasti käyttöön testiajanjakson jälkeen sen tuomien hyötyjen vuoksi. Käyttäjät kokivat laitteen erittäin tarpeelliseksi ja tunsivat olonsa enemmän tietoiseksi kulutuksestaan. Laitetta oli helppo käyttää ja se näytti tiedot koko ajan vuorovaikuttamatta siihen millään tavalla. Täten se ei lisännyt minkäänlaista vaivaa hintatietojen etsimiseen ja teki niiden seuraamisesta intuitiivista.

5.2 Jatkotoimenpiteet

Tässä osiossa käsitellään laitteen jatkokehitystä ja suunnitellaan parannuksia, jotka perustuvat aiemmin havaittuihin puutteisiin ja käyttäjäpalautteeseen. Laitteen kokeiluvaihe oli suhteellisen lyhyt ja sen pitkäikäisyyttä tulisi testata myös pidemmällä aikavälillä. Laitetta pidetään jatkuvasti käynnissä useita päiviä, joten pitäisi varmistaa, ettei sen suorituskky heikkene pitkäaikaisessa käytössä. Laitteen pitkäaikaisvaikutuksista tulisi myös tehdä tutkimusta, jotta saataisiin luotettavampia tuloksia laitteen hyödyllisyydestä. Laitteen hyödyllisyyttä voitaisiin testata luotettavasti vasta sitten, kun verrattavia käyttöpäiviä on tarpeeksi sekä kulutus olisi nähtävissä vain sellaisilta laitteilta, joihin kuluttajaohjaus vaikuttaa.

Käyttökokemuksen ja analyysin perusteella laitteessa on olennaisia puutteita ja sen toiminnallisuutta voitaisiin parantaa lukuisilla tavoilla. Ensinnäkin laite näyttää tällä hetkellä vain hintatiedot antamatta mitään käyttäjän huomiota herättävää merkkiä korkeista hinnoista. Vaikka korkeat hintapylväät on merkattu keltaisella, käyttökokemus kertoo, että se ei ole tarpeeksi huomiota herättävä indikaattori. Tämän vuoksi käyttäjän on itse aktiivisesti tarkkailtava laitetta hyötyäkseen siitä optimaalisesti. Lisäksi vasemmanpuoleisessa OLED-näytössä näkyvä graafi voisi olla selkeämpi ja siihen voisi merkitä kellonajat paremmin luettavaksi. Kehitetyssä versiossa tulisi olla myös

suuremmat näytöt, jotta käyttäjäkokemus olisi entistä intuitiivisempi ja vaatisi vähemmän vaivaa käyttäjältä.

Yksi kehitysehdotuksista perustuu algoritmiin, joka laskisi kulutustietojen ja sähkön hintojen perusteella ihanteellisen kulutusmallin kuluvalle päivälle. Laite laskisi keskimääräisen arvon päivän kulutuksesta aiempien vastaavien päivien perusteella. Tämän jälkeen se laskisi pörssihintojen perusteella ihanteellisen prosenttijakauman, joka ohjeistaisi käyttäjää jakamaan sähkönkulutuksensa optimaalisesti päivän tuntien kesken. Tämä mahdollistaisi maksimaalisen hyödyn saamisen päivän edullisimmista hinnoista.

Toinen kehitysehdotus kaavailee matkapuhelinsovellusta, johon käyttäjä voisi saada ilmoituksia korkeista hinnoista sekä ihanteellisista kulutustavoitteista. Lisäksi pitkälle kehitetyssä versiossa voisi olla mahdollisuus ohjata kodin sähkölaitteita, joko matkapuhelinsovelluksen avulla tai itse laitteen avulla. Tämä edelleen parantaisi käyttäjän mahdollisuuksia optimoida energiankäyttönsä ja säästää kustannuksissa.

6 Yhteenveto

Työn alussa pyrittiin esittelemään lyhyesti Suomen sähkömarkkinat ja sähkön hinnan muodostuminen Suomessa. Lisäksi työssä esiteltiin IoT-laitteiden maailma yleisesti ja miten se liittyy työssä rakennettuun laitteeseen. Työn pääasiallisena aiheena oli IoT-laite, joka rakennettiin pörssisähkön optimaalista hyödyntämistä varten.

Työssä käytiin läpi laitteen suunnitteluprosessi, rakennusprosessi, testausprosessi ja jälkianalyysi. Suunnitteluprosessiin sisältyi käyttötarkoituksen rajaaminen, laitteen toiminnallisuuden suunnittelu, ennakkohaastattelut sekä komponenttivalinnat. Rakennusprosessissa käytiin läpi laitteen kytkentä ja lopullinen ulkomuoto. Testausprosessi käsitti laitteen kokeilujakson, josta valittiin vertailtavia päiviä laitteen toiminnallisuuden ja hyödyllisyyden testaamiseksi. Lopuksi jälkianalyysissä käytiin läpi testausprosessin tulokset ja pohdittiin laitteen hyödyllisyyttä, puutteita ja kehitysmahdollisuuksia.

Idea tämän työn tekemiseen syntyi viime vuosien suurista hintavaihteluista sähköpörssissä ja niiden aiheuttamasta huolesta. Sähkönkulutuksen optimointi on ollut viime aikoina jokseenkin trendikästä ja materiaalia tästä aiheesta löytyykin todella paljon. Myös IoT-laitteet yleistyvät jatkuvasti ja niitä hyödynnetään yhä enemmän sähkönkulutuksen optimoinnissa.

Vaikka työssä kehitetty laite tarjoaa jo nyt hyvän perustan sähkönkulutuksen optimointiin, sen toteutuksessa on useita kehityskohteita, jotka voivat merkittävästi laajentaa sen toiminnallisuutta. Laitteen modulaarinen rakenne mahdollistaa erilaisten sensorien ja releiden integroinnin. Tämä avaa mahdollisuuksia esimerkiksi lämpötilan, kosteuden ja valaistuksen tarkan seurannan toteuttamiseen, mikä puolestaan voi mahdollistaa entistä tehokkaamman sähkönkulutuksen hallinnan. Lisäksi laitteeseen voisi integroida kaiuttimen, joka mahdollistaisi paremman käyttäjäkokemuksen äänimerkkien avulla.

Laitteen ohjelmiston kehityksessä voitaisiin hyödyntää uusia ohjelmointitekniikoita ja algoritmeja, jotka mahdollistaisivat adaptiivisen oppimisen käyttäjän kulutustottumuksista. Jatkokehityksessä voitaisiin myös tutkia laajennettavuutta yleisempiin älykoti-integraatioihin, kuten älykäs kodin hallintajärjestelmä, joka yhdistää useita IoT-laitteita yhtenäiseksi ja tehokkaaksi kokonaisuudeksi.

Lähteet

- Arduino. (2024). Arduino Uno Rev3 SMD. Noudettu 8.5.2024 osoitteesta <https://www.arduino.cc/>
- Business tech. (2024). Tech 101: Internet of Things. Noudettu 13.4.2024 osoitteesta <https://businesstech.bus.umich.edu/uncategorized/tech-101-internet-of-things/>
- Carabott, M. (2021, 21. lokakuuta). How the climate and weather affect electricity prices. *LeadingEdgeEnergy*. Noudettu 14.4.2024 osoitteesta <https://www.leadingedgeenergy.com.au/news/how-the-climate-and-weather-affect-electricity-prices/>
- Cygnel, S. (2024, 12. tammikuuta). Voimalaitosten ja siirtoyhteysien toimintakyky sekä hintajousto suojaavat huippukalliilta sähköltä. *Fingridlehti*. Noudettu 20.4.2024 osoitteesta <https://www.fingridlehti.fi/voimalaitosten-ja-siirtoyhteysien-toimintakyky-seka-hintajousto-suojaavat-huippukalliilta-sahkolta/>
- Ekholm, T. (2023, 26. lokakuuta). Tutkimuksessa selvitettiin tuuli- ja aurinkoenergian vaikutusta sähkön hintaan ja investointien tuottoon. *Ilmatieteenlaitos/ajankohtaista*. Noudettu 20.4.2024 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/6e0KoEh6P99Xg37zVUwK03>
- Elenia. (2024). Sähkönkulutuksen seuranta. Noudettu 4.5.2024 osoitteesta <https://www.elenia.fi/palvelut/kotiin-ja-mokille/sahkonkulutuksen-seuranta>
- Empirica. (n.d.). Mikä on IoT? Esineiden internet yksinkertaisesti selitettynä Noudettu 15.4.2024 osoitteesta <https://www.empirica.fi/iot.html>
- Energiateollisuus. (2024). Ajankohtaista sähkömarkkinoista. Noudettu 28.3.2024 osoitteesta <https://energia.fi/energiapolitiikka/ajankohtaista-sahkomarkkinoista/>
- Energiateollisuus. (2024). Sähkövuosi 2023: Puhdas sähköntuotanto kasvoi, päästöt ja hinnat romahtivat. Noudettu 28.3.2024 osoitteesta <https://energia.fi/tiedotteet/sahkovuosi-2023-puhdas-sahkontuotanto-kasvoi-paastot-ja-hinnat-romahtivat/>
- Energiateollisuus. (2024). Vesivoima. Noudettu 28.3.2024 osoitteesta <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/sahkontuotanto/vesivoima/>

- Haltu. (2023, 9. tammikuuta). UX-suunnittelu. Noudettu 18.4.2024 osoitteesta <https://www.haltu.fi/blogi/ux-suunnittelu>
- Heima, T. & Viita, K. (2022, 26. syyskuuta). Näin paljon sähkön kulutus vaihtelee eri vuodenaikoina – talven kulutushuiput pahin ongelma sähkön riittävyydelle. *Yle/sähkö*. Noudettu 2.4.2024 osoitteesta <https://yle.fi/a/3-12635933>
- Helminen, J. & Wass, T. (2022). *Sähkön hinnan kehitykseen vaikuttaneet tekijät Suomessa vuonna 2022* [Opinnäytetyö, LAB-Ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022121530351>
- Eskonen, H. & Hukkanen, V. (2022, 25. elokuuta). Olkiluodon, Ruotsin ja säiden armoilla – nämä kolme riskiä ratkaisevat, sammuvatko sähköt ensi talvena. *Yle/sähkö*. Noudettu 16.4.2024 osoitteesta <https://yle.fi/a/3-12592155>
- Hutasu. (2017, 9. joulukuuta). Sarjaliikenne I2C. Noudettu 25.4.2024 osoitteesta <https://www.hutasu.net/elektroniikka/sulautettu-elektroniikka/sarjaliikenne-i2c/>
- Huttula, M., Seppälä, O. & Urpelainen, S. (2024, 8. helmikuuta). *Suomen sähkövajeen tarkastelua avoimen datan pohjalta 2023* [Julkaisu, Oulun yliopisto]. OuluREPO. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:oulu-202402071630>
- IO-tech. (2021, 22. kesäkuuta). OLED vai LCD-näyttö kannettavassa tietokoneessa. Noudettu 10.4.2024 osoitteesta <https://www.io-tech.fi/artikkelit/oled-vai-lcd-naytto-kannettavassa-tietokoneessa/>
- Karppinen, M. (2020). *Kehitysalustan suunnittelu - ja toteutus sulautettujen järjestelmien opetuskäyttöön* [Opinnäytetyö, Kajaanin ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020052212914>
- Kaspersky. (2024). Mikä esineiden internet on? Määritelmä ja selitys. Noudettu 17.4.2024 osoitteesta <https://www.kaspersky.fi/resource-center/definitions/what-is-iot>
- Kuusinen, K. (2021, 22. lokakuuta). Tuulisähkön tuotanto ja kysyntä voimakkaassa nosteessa. *EnergiaSuomi*. Noudettu 14.4.2024 osoitteesta <https://www.energiasuomi.fi/tietoa-meista/ajankohtaista/tuulisahkon-tuotanto-ja-kysynta-voimakkaassa-nosteessa/>

- Mattson, E. (2023). *Data-analytiikka energiankulutuksen optimoinnissa älykkäissä ympäristöissä* [Kandidaatin tutkielma, Jyväskylän yliopisto]. JYX <http://urn.fi/URN:NBN:fi:juu-202305112971>
- Nordic Green Energy. (2023). Spot-hinta. Noudettu 3.3.2024 osoitteesta <https://www.nordicgreen.fi/asiakaspalvelu/spot-hinta/>
- Nord Pool. (2024). Price calculation. Noudettu 3.3.2024 osoitteesta <https://www.nordpoolgroup.com/en/trading/Day-ahead-trading/Price-calculation/>
- Oomi. (2023). Katsaus energiavuoteen 2023. Noudettu 5.4.2024 osoitteesta <https://oomi.fi/oomi/blogi-ja-artikkelit/katsaus-energiavuoteen-2023/>
- Porssisahko.net. (2024). API-rajapinta. Noudettu 10.4.2024 osoitteesta <https://api.porssisahko.net/v1/latest-prices.json>
- Postman. (2024). What is an API? Noudettu 16.4.2024 osoitteesta <https://www.postman.com/what-is-an-api/>
- Priyank, N., Sandhu, A., Singh, D. & Thakur, A. (2020, 7. elokuuta). An Overview of IoT Hardware Development Platforms. *International Journal on Emerging Technologies*, Volume 11(5), 155-163. https://www.researchgate.net/publication/344207338_An_Overview_of_IoT_Hardware_Development_Platforms
- Sahko.tk. (2024). Menneiden kuukausien pörssisähkön hinnat. Noudettu 27.4.2024 osoitteesta <https://sahko.tk/>
- Sinisalmi, T. (2024). Vesi- ja tuulivoima turvaavat sähkönsaantia. *Fortum/Uutiset-ja-julkaisut*. Noudettu 16.4.2024 osoitteesta <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/uutiset-ja-julkaisut/puhtaampi-maailma/eteenpain-yhdessa/vesi-ja-tuulivoima-turvaavat-sahkonsaantia>
- Tilastokeskus. (2024, 12. maaliskuuta). Energian hinnat: Ostetun lämmitysenergian hinta asumisessa, tärkeimmät energialähteet, 2011M01-2023M12. Noudettu 20.3.2024 osoitteesta https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehi/statfin_ehi_pxt_13n_l.px

Turnsek, A. K. (2019, 12. syyskuuta). UX ja UI suunnittelu: Mitä ne ovat ja miksi niihin kannattaa panostaa. *Pixels*. Noudettu 15.4.2024 osoitteesta <https://pixels.fi/fi/blogi/ux-ja-ui-suunnittelu-mita-ne-ovat-ja-miksi-niihin-kannattaa-panostaa/>

Vaasan sähkö. (2023, 24. helmikuuta). Pörssisähkön tuntihinnan vaihtelut: Milloin sähkö on edullisinta? Noudettu 12.4.2024 osoitteesta <https://www.vaasansahko.fi/energianeuvonta/porssisahkon-tuntihinnan-vaihtelut-milloin-sahko-on-edullisinta/>

Yihang, Z., Zhenxi, Z., Kaiwen, Z., Yaotong, H., Dong, S., Huiru, Z., Jingqi, S., Sen, G. (2023, 15. tammikuuta). Research on spillover effect between carbon market and electricity market: Evidence from Northern Europe. *Energy*. Volume 263, Part F. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126107>

Liitteet

Liite 1. Ennakkohaastattelukysymysrunko

Taustatiedot:

1. Nimi
2. Ikä
3. Ammatti
4. Teknologiaosaaminen

Haastattelukysymykset

Käyttäjäodotukset ja -mielipiteet:

- Mitä ominaisuuksia odottaisit kotitalouden IoT-laitteilta?
- Miten kuvailet ihanteellista laitetta, joka näyttää reaaliaikaisia sähkön hintoja?

Laitteen konseptin arviointi:

- Mitä mieltä olet laitteen suunnitellusta kyvystä näyttää sähkön hinnat ja visuaaliset diagrammit? Onko se hyödyllinen ominaisuus sinulle?
- Miten arvioisit laitteen käyttöliittymän helppoutta ja intuitiivisuutta ensivaikutelman perusteella?

Käyttäjien huolenaiheet ja esteet:

- Onko sinulla huolia tai kysymyksiä laitteen turvallisuudesta tai yksityisyydensuojasta liittyen WiFi-yhteyteen?
- Millaisia toiminnallisuuksia tai tietoja kaipaisit lisäksi laitteeseen?

Loppukommentit ja avoin palaute:

- Onko sinulla muita huomioita tai ideoita, jotka haluaisit jakaa laitteen kehitystä varten?

Liite 2. Laitteen ohjelmistokoodi

```
// Tarvittavat kirjastot ESP8266:n WiFi-yhteyksiin, HTTP-
pyyntöihin, turvallisiin yhteyksiin, JSONin käsittelyyn,
I2C-väylään ja OLED-näyttöjen ohjaukseen
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <time.h>

#define OLED_RESET -1
Adafruit_SSD1306 display1(128, 64, &Wire, OLED_RESET);
Adafruit_SSD1306 display2(128, 64, &Wire, OLED_RESET);

// WiFi-verkon asetukset ja NTP-palvelimen tiedot

const char* ssid = "Wifi-network-name";
const char* password = "Wifi-password";
const char* ntpServer = "pool.ntp.org";
const long gmtOffset_sec = -3600;
const int daylightOffset_sec = 3600;

// Luodaan WiFiClientSecure-objekti HTTPS-yhteyttä varten
WiFiClientSecure client;

void setup() {
    // Alustaa sarjaportin, yhdistää WiFi-verkkoon ja odottaa
    yhteyttä
    Serial.begin(115200);
```

```

WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("\nConnected to WiFi");

// Asettaa ajan NTP-palvelimelta ja odottaa, kunnes aika
on saatavilla
configTime(gmtOffset_sec, daylightOffset_sec, ntpServer);
while (!time(nullptr)) {
    Serial.print(".");
    delay(1000);
}
Serial.println("\nTime synchronized");

// Alustaa I2C-väylän ja molemmat OLED-näytöt ja tyhjentää
näytön
Wire.begin();
display1.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
display1.display();
delay(2000);
display1.clearDisplay();

display2.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
display2.display();
delay(2000);
display2.clearDisplay();
}

void loop() {
    // Hakee ja näyttää sähkön hinnan, päivittää tiedot joka
    minuutti

```

```

    fetchAndDisplayElectricityPrice();
    delay(60000);
}
// Valitsee I2C-väylän PCA9548A-multiplexerin kautta
void PCA9548A(uint8_t bus) {
    Wire.beginTransmission(0x70);
    Wire.write(1 << bus);
    Wire.endTransmission();
}
void initDisplays() {
    PCA9548A(7);
    if (!display1.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
        Serial.println("Display 1 init failed");
        for (;;); // Infinite loop to halt further execution
    }
    display1.clearDisplay();

    PCA9548A(2);
    if (!display2.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
        Serial.println("Display 2 init failed");
        for (;;);
    }
    display2.clearDisplay();
}

// Hakee ja näyttää sähkön hinnan käyttäen API-kutsua
void fetchAndDisplayElectricityPrice() {
    // Tarkistaa WiFi-yhteyden tilan
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        HTTPClient http;
        client.setInsecure(); // Ohittaa SSL-varmenteen
        tarkistuksen
    }
}

```



```

    http.begin(client,
    "https://api.porssisahko.net/v1/latest-prices.json");
    int httpCode = http.GET();

    // Onnistuneen HTTP-pyyynnön käsittely
    if (httpCode == 200) {
        String payload = http.getString();
        DynamicJsonDocument doc(2048);
        deserializeJson(doc, payload);
        JsonArray prices = doc["prices"];

        time_t now;
        struct tm timeinfo;
        time(&now);
        localtime_r(&now, &timeinfo);

        float currentPrice = 0.0;
        bool currentPriceFound = false;
        for(JsonVariant p : prices) {
            float price = p["price"];
            const char* startDateStr = p["startDate"];

            struct tm start = {0};
            strptime(startDateStr, "%Y-%m-%dT%H:%M:%S.000Z",
            &start);

            // Ajan muuntaminen ottaen huomioon GMT-offset ja
            kesäaika
            time_t startEpoch = mktime(&start) - gmOffset_sec -
            daylightOffset_sec;

            localtime_r(&startEpoch, &start); // Muuntaa epoch-ajan
            takaisin struct tm:ksi paikallisessa aikavyöhykkeessä

```

```

    if (start.tm_hour == timeinfo.tm_hour && start.tm_mday
== timeinfo.tm_mday && start.tm_mon == timeinfo.tm_mon) {
        currentPrice = price;
        currentPriceFound = true;
        break;
    }
}

```

```

if (currentPriceFound) {
    Serial.print("Nykyinen aika: ");
    timeinfo.tm_hour += 3;
    if(timeinfo.tm_hour < 10) Serial.print('0');
    Serial.print(timeinfo.tm_hour);
    Serial.print(":");
    if(timeinfo.tm_min < 10) Serial.print('0');
    Serial.print(timeinfo.tm_min);
    Serial.print(" Nykyinen hinta: ");
    Serial.print(currentPrice, 2);
    Serial.println(" c/kWh");
    displayPriceOnOLED(currentPrice, timeinfo);
} else {
    Serial.println("Nykyisen tunnin hintaa ei
löydetty.");
}

```

```

    drawPriceChartOnOLED2(prices);
} else {
    Serial.print("HTTP GET request failed, error code: ");
    Serial.println(httpCode);
}
http.end();
} else {

```

```

        Serial.println("WiFi not connected");
    }
}

// Näyttää ajan ja hinnan ensimmäisellä OLED-näytöllä
void displayPriceOnOLED(float price, struct tm timeinfo) {
    PCA9548A(7); // Valitse I2C-väylän
    display1.clearDisplay();
    display1.setTextSize(2);
    display1.setTextColor(WHITE);
    display1.setCursor(0, 0);
    if(timeinfo.tm_hour < 10) display1.print('0');
    display1.print(timeinfo.tm_hour);
    display1.print(":");
    if(timeinfo.tm_min < 10) display1.print('0');
    display1.print(timeinfo.tm_min);
    display1.setTextSize(3);
    display1.setCursor(0, 20);
    display1.print(price, 2);
    display1.setTextSize(2);
    display1.setCursor(0, 50);
    display1.println("c/kWh");
    display1.display();
}

// Näyttää pylväsdiagrammin hinnoista
void drawPriceChartOnOLED2(JsonArray& prices) {
    PCA9548A(2);
    display2.clearDisplay();
    display2.setTextSize(1);
    display2.setTextColor(WHITE);
    const int maxHeight = 45;
    float maxPrice = 0.0;

```

```

const int width = 3;
const int gap = 2;
const int baseLine = 54;

time_t now;
time(&now);
struct tm now_tm;
localtime_r(&now, &now_tm);

for (JsonVariant p : prices) {
    float price = p["price"];
    const char* startDateStr = p["startDate"];
    struct tm start_tm = {0};
    strptime(startDateStr, "%Y-%m-%dT%H:%M:%S.000Z",
&start_tm);
    if (start_tm.tm_year == now_tm.tm_year &&
start_tm.tm_mon == now_tm.tm_mon && start_tm.tm_mday ==
now_tm.tm_mday) {
        if (price > maxPrice) maxPrice = price;
    }
}

int x = 0; // Aloitetaan piirtäminen vasemmasta reunasta

for (int hour = 0; hour < 24; hour++) {
    bool priceFound = false;
    float priceForHour = 0.0;

    for (JsonVariant p : prices) {
        const char* startDateStr = p["startDate"];
        struct tm start_tm = {0};
        strptime(startDateStr, "%Y-%m-%dT%H:%M:%S.000Z",
&start_tm);

```

```

        if (start_tm.tm_year == now_tm.tm_year &&
start_tm.tm_mon == now_tm.tm_mon && start_tm.tm_mday ==
now_tm.tm_mday && start_tm.tm_hour == hour) {
            priceForHour = p["price"];
            priceFound = true;
            break;
        }
    }

    // Piirretään palkki vain, jos hinta löytyi
kyseiselle tunnille
    if (priceFound) {
        int height = (int)((priceForHour / maxPrice) *
maxHeight);
        display2.fillRect(x, baseLine - height, width,
height, WHITE);
    } else {
    }

    // Kellonajat piirretään joka kolmas tunti
    if (hour % 3 == 0) {
        display2.setCursor(x, baseLine + 2);
        if(hour < 10) display2.print('0');
        display2.print(hour);
        display2.print(" ");
    }

    x += width + gap;
}

display2.display();
}

```