

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

UUSIUTUVAN ENERGIAN RATKAISUT KOTITALOUKSISSA

Aurinkovoimalat, ilmalämpöpumput ja sähköautojen latausasemat

TEKIJÄ Henri Kiviranta

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Henri Kiviranta			
Työn nimi Uusiutuvan energian ratkaisut kotitalouksissa: aurinkovoimalat, ilmalämpöpumput ja sähköautojen latausasemat			
Päiväys	18.9.2024	Sivumäärä/Liitteet	61
Toimeksiantaja Teho Posako Oy			
Tiivistelmä Energiamurroksen kynnyksellä uusiutuvan energian mahdollisuudet ovat herättäneet kiinnostusta ja monet kiinteistön omistajat ovat alkaneet miettimään voisiko heistä tulla energian tuottajia. Teknologian kehityksen ja maailman muuttumisen myötä energia-ala on voimakkaassa muutoksessa, kun fossiilista polttoaineista pyritään pääsemään eroon, uusiutuvan energian tuotanto yleistyy ja liikenne sähköistyy. Tässä opinnäytetyössä esitellään aurinkovoimalajärjestelmän, ilmalämpöpumppujen sekä sähköautojen latausasemien peruserätyöt ja toiminta. Tavoitteena on, että lukijalle muodostuu selkeä ja ajantasainen tieto pientuotannosta ja sen hyödyntämisessä sähköautojen latauksessa. Työssä käsitellään myös ilmalämpöpumppujen käyttöä lämmityksen tukena sähkölämmitteisissä kohteissa taloudellisesta näkökulmasta. Opinnäytetyössä uusiutuvan energian järjestelmiä mitoitetaan esimerkkikohteisiin, jolloin laskennalliset tulokset ovat mahdollisimman realistisia ja hyödynnettävissä tulevaisuuden järjestelmien suunnittelussa ja mitoituksessa. Työn lopputuloksena saatiin laaja käsitys eri järjestelmien yhteensovittamisesta kotitalouksissa. Opinnäytetyössä huomioitiin erityisesti järjestelmien oikean mitoituksen merkitys taloudellista kannattavuutta suunniteltaessa. Työssä tuotiin myös esille mahdollisuuksia hyödyntää aurinkoenergiaa kotitalouksissa kuormanhallinnan ja energiankulutuksen näkökulmasta. Lukijalle opinnäytetyö on kattava tietopaketti aurinkovoimaloiden, ilmalämpöpumppujen ja sähköautojen latausasemien mahdollisuuksista kotitalouksissa ja tarjoaa ajankohdasta tietoa investointien tueksi.			
Avainsanat Aurinkovoimala, ilmalämpöpumppu, sähköauton lataus, mitoittaminen, optimointi, taloudellisuus			

ESIPUHE

Haluan kiittää mahdollisuudesta saada tehdä opinnäytetyö Teho-Posako Oy:lle. Erityiskiitokset myös Savonia ammattikorkeakoululle laadukkaasta opetuksesta sekä mahdollisuuksista kehittää omaa osaamista sähkö- ja energia-alan muuttuvassa maailmassa. Näiden kokemusten ansiosta olen kasvanut ammatillisesti ja saanut itseluottamusta tulevaisuuden haasteisiin. Opit ja kokemukset antavat vankan perustan uralleni ja tulevaisuuden kehitykselleni.

"Määrän sijaan myymme oikein ja vain asiakkaalle tarpeellisia ratkaisuja."

- Teho Posako Oy

Kuopiossa 18.9.2024



Henri Kiviranta

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	AURINKO JA SEN HYÖDYNTÄMINEN ENERGIANTUOTANNOSSA	9
2.1	Aurinkovoimaloiden periaatteet ja suunnittelu	10
2.2	Energian tarve ja liitettävyyssraja	11
2.3	Aurinkopaneelin valinta ja hyötysuhde.....	12
2.4	Invertterin mitoitus ja MPPT-säädin.....	14
2.5	Tyhjäkäynti- ja toimintajännite.....	15
2.6	Sijoitus, suuntaus ja kallistus	16
2.7	Varjostukset	18
2.8	Mikroinvertteri	18
2.9	Kaapelointi	19
3	AURINKOVOIMALAN PIENTUOTANTO JA TAKAISINMAKSUAIKA	19
3.1	Tuotanto ja kulutus.....	19
3.2	Voimaloiden takaisinmaksuajan vertailu nousevalla sähkön hinnalla	21
3.3	Voimaloiden takaisinmaksuajan vertailu kiinteällä sähkön hinnalla	22
3.4	Rahoituskustannukset	23
3.5	Voimaloiden vertailu kulutuksen ja tuotannon mukaan	23
3.6	Voimaloiden vertailu laskevalla sähkön hinnalla.....	24
3.7	Tuloksien tarkastelu	25
3.8	Laskureiden vertailu	26
4	LÄMPÖENERGIA	27
4.1	Ilmalämpöpumpun toimintakuvaus.....	27
4.2	Lämpökerroin ja lämmitys	28
4.3	Taloudellisuus lämmityksessä	30
4.4	Kylmäkerroin ja jäähdytys	33
4.5	Taloudellisuus jäähdytyksessä.....	33
4.6	Ilmalämpöpumpun käyttökustannukset ja tuotto esimerkkikohteessa	34
5	SÄHKÖAUTOT	38
5.1	Sähköauton perusmekaniikka.....	39
5.2	Sähköauton akku	40
5.3	Sähköauton lataaminen	41

5.4	Kotitalouslaturi.....	41
5.5	Pika- ja suurteholaturi	42
5.6	Latauspistokkeet.....	42
5.7	Latausaseman mitoittaminen kotitalouksiin	42
5.8	Sähköauton lataus aurinkoenergialla	44
5.9	Dynaaminen kuormanhallinta.....	44
6	SÄHKÖKUORMAN OHJAUS KIINTEISTÖSSÄ	46
6.1	Tuntinetotus	48
7	TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT	49
7.1	Haasteet.....	50
8	POHDINTA.....	52
8.1	Sertifioitu asentaja	54
8.2	Aurinkopaneelien standardit.....	54
9	YHTEENVETO.....	55
10	LÄHTEET	57

KUALUETTELO

Kuva 1. PN-liitos (Motiva, 2024)	10
Kuva 2. Aurinkopaneelin ominaiskäyrä (HT-SAAE, ei pvm.)	13
Kuva 3. Havainnekuva aurinkojärjestelmästä (Motiva, ei pvm)	14
Kuva 4. 10 aurinkopaneelien sijoitus (Kiviranta, 2024)	17
Kuva 5. 39 aurinkopaneelin sijoitus (Kiviranta, 2024).....	17
Kuva 6. Mikroinverttereillä toteutettu aurinkovoimala (Green Energy Finland)	18
Kuva 7. Kulutuksen- ja tuotannon vertailu	23
Kuva 8. Kulutuksen- ja tuotannon kWh vertailu voimaloittain	25
Kuva 9. Lämpöpumpun toimintakuvaus (Designsindetail, 2024)	28
Kuva 10. Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate (Heatpumpsolutions, ei pvm)	29
Kuva 11. Ilmalämpöpumpun lämpökerroin toimintakokeen aikana (VTT-testiraportti, 2021).....	30
Kuva 12. Ilmalämpöpumpun SCOP- ja SEER-merkinnät (Mitsubishi Electric, ei pvm.).....	30
Kuva 13. Ulkolämpötilan vaikutus lämpötehoon (VTT)	31
Kuva 14. Kuukauden keskilämpötila ja sähkön pörssihinta 2023	35
Kuva 15. Lämpökerroin ja lämpöteho	35
Kuva 16. Lämpöenergian tuotanto ja ilmalämpöpumpun tarvitsema sähköenergia	36
Kuva 17. Liikennekäytössä olevien sähköautojen määrät Suomessa (Autoalan tiedotuskeskus, 2024)	38
Kuva 18. Täyssähköauton tekniikka (Motiva, 2024)	39
Kuva 19. Akusto kotelossa (Nissan, 2019).....	40
Kuva 20. Sähköauton lataaminen (kWhNet, ei pvm)	41
Kuva 21. Kotitalouslaturi (Nordic plug, ei pvm).....	41
Kuva 22. Kiinteä latausasema (Nordig plug, ei pvm)	42
Kuva 23. Latausaseman syöttökaapelin mitoitus	44
Kuva 24. DLB-ohjaimen kytkentäkaavio (Scanoffice, ei pvm.).....	45
Kuva 25. Demonstraatio järjestelmän toiminnasta (Scanoffice, ei pvm.)	45
Kuva 26. GEF kulutusohjaus (Green Energy Finland, ei pvm.)	48
Kuva 27. Myydyt lämpöpumput vuosina 1996–2023 (SULPU Ry, 2024.).....	49
Kuva 28. Verkkoon liitettyjen pienvoimaloiden tuotantokapasiteetti megawatteina (Energiavirasto, 2024)...	50
Kuva 29. Vuosien 2010–2022 päästöjakauma (Suomen ympäristökeskus, ei pvm).....	51
Kuva 30. Maa-asennusteline (Orima, ei pvm.)	52
Kuva 31. Akku aurinkoenergian varastointiin (Onninen, ei pvm.)	53

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Yritysten ilmoittama optimaalinen omakäyttöaste.....	11
Taulukko 2. Liitettävyyusraja Energiaviraston ohjeistuksen mukaisesti (Energiavirasto)	11
Taulukko 3. HT54-18X(ND)-F aurinkopaneeli (HT-SAAE).....	12
Taulukko 4. Takaisinmaksuaika nousevalla sähkön hinnalla.....	22
Taulukko 5. Takaisinmaksuaika kiinteällä sähkön hinnalla	22
Taulukko 6. Omakäyttöosuus aikavälillä tammikuu-elokuu	24
Taulukko 7. Aurinkovoimaloiden takaisinmaksuajat laskevalla sähkön hinnalla	24
Taulukko 8. Laskureiden vertailu opinnäytetyön tuloksiin	26
Taulukko 9. Lämpötilat aikavälillä marraskuu 2023-helmikuu 2024	31
Taulukko 10. Pörssisähkön hinta marraskuu 2023-helmikuu 2024	32
Taulukko 11. Sähkön hinnankehitys 2018–2025	47
Taulukko 12. Kaukolämpökohteen sähkönkäytön kustannukset	51

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia integroitujen uusiutuvien energiajärjestelmien käyttöä kotitalouksissa, painottuen erityisesti aurinkoenergian hyödyntämiseen yhdessä sähköautojen lataus-
asemien kanssa. Lisäksi työssä tarkastellaan ilmalämpöpumppujen taloudellisuutta lämmityksen tu-
kena. Uusiutuvan energian mahdollisuuksista on tehty paljon erilaisia tutkimuksia eri näkökulmista,
koska teknologian kehitys on ollut erittäin nopeaa. Tämä opinnäytetyö perehtyy nykytilanteeseen
ajankohtaisesti sekä tuo erilaisia näkökulmia uusiutuvan energian hyödyntämiseen energiatehok-
kaasti.

Aurinkovoimaloiden kysyntä on kasvanut maailmanlaajuisesti ja aurinkoenergian hyödyntäminen on
tullut entistä edullisemmaksi ja tehokkaammaksi komponenttien kehityksen myötä 2020-luvulla. In-
vertterien ja erityisesti aurinkopaneelien teknologinen kehitys on ottanut huiman harppauksen viime
vuosina. Tämä tekee aurinkoenergiasta kilpailukykyisen ja erittäin potentiaalisen vaihtoehdon ener-
giantuotantolähteenä. (STT, 2023; Danielsen ym. 32.)

Sähköautojen yleistyessä on aurinkoenergian merkitys kasvanut, koska sähköauto voidaan teoriassa
ladata aina uusiutuvalla energialla ilman kustannuksia sähköstä tai sähkönsiirrosta. Sähköautojen
latausasemat on ottanut myös merkittävän harppauksen kehityksessä, koska esimerkiksi kuorman-
hallinnalla voidaan säätää latausta automaattisesti kiinteistön sähkökuorman mukaan. (Solle, ei
pvm.) Sähköautoja ladataan yleensä yöllä, jolloin sähkö on edullisempaa. Sähkön pientuotanto mah-
dollistaa kuitenkin auton kustannustehokkaan lataamisen myös päivällä. Tämä mahdollisuus voi ko-
rostua esimerkiksi etätyömahdollisuuksien lisääntyessä.

Viilentäviä ilmalämpöpumppuja on ollut saatavilla jo 50-luvulta lähtien Suomessa (Lämpöykkönen, ei
pvm), mutta vasta 2000-luvulla alkoi yleistymään pohjoisen olosuhteissa toimivat mallit. (Rakennus
Maailma, ei pvm). Aurinkoenergian kehitys on osaltaan myös nostanut suosiota ilmalämpöpumppu-
jen hyödyntämistä kiinteistön lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Suomessa on tunnetusti pitkät tal-
vet, mutta aurinkopaneelit alkavat tuottamaan sähköä jo hyvin helmi-maaliskuussa, jolloin osan kiin-
teistön lämmitystarpeesta voi korvata ilmalämpöpumpulla ja auringosta saatavalla uusiutuvalla ener-
gialla. Lämpiminä kesäkuukausina kiinteistön voi taas jäähdyttää täysin aurinkoenergialla. (Lumme
Energia ei pvm).

2 AURINKO JA SEN HYÖDYNTÄMINEN ENERGIANTUOTANNOSSA

Maapallosta katsottuna 150 miljoonan kilometrin päässä on kaasupallo eli aurinko, joka sisältää suu- reksi osaksi vetyä H ja heliumia He . Auringon ytimessä kaksi vetyatomia ydintä yhtyy heliumatomiksi vapauttaen samalla suuren määrän energiaa. Auringon säteilemä energia on siis peräisin edellä mai- nitusta fuusioreaktiosta. (Ilmatieteenlaitos, ei pvm).

Auringon elinajaksi arvioidaan 5 miljardia vuotta, joten tästä universumin suurimmasta fuusioreakto- rista riittää vielä hyvin pitkäksi aikaa energiaa. Aurinko toimii sukupolvelta toiselle ja on aina käytet- tävissä ihmiskunnan energiantarpeita varten. Auringosta saapuva energia voi täyttää koko ihmiskun- nan vuorokausitarpeen vain 14,5 sekunnissa. (Tahkokorpi ym. 2016, 11–14.)

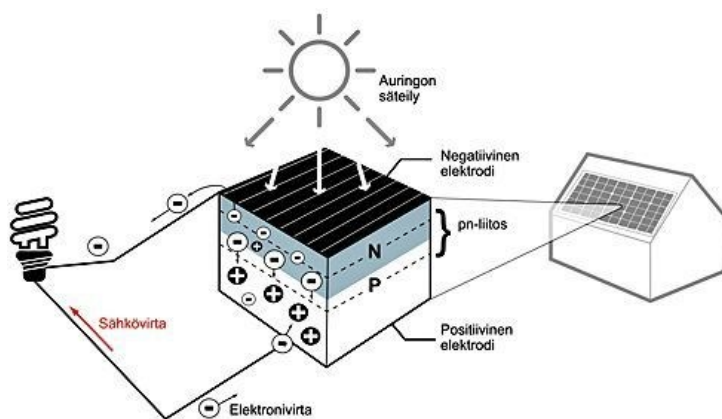
Teknologian kehityksen myötä on tullut mahdollista hyödyntää tätä maapallolle 150 miljoonan kilo- metrin päästä saapuvaa energiaa. Kaikki alkoi siitä, kun ranskalainen fyysikko Alexandre-Edmond Becquerel laitto vuonna 1839 kaksi metallielektrodia johtavaan nesteeseen ja havaitsi niiden välillä virtaavan sähkövirtaa, kun niitä valaistiin valolla. Tästä syntyi *Becquerelin ilmiö*, joka tunnetaan pa- remmin aurinkosähköilmiönä. (Solarenergy, ei pvm.)

Tästä 44 vuotta myöhemmin syntyi ensimmäinen aurinkokenno, kun keksijä Charles Fritts päällysti seleenipoolijohteen kultakerroksella. Kennon muuntohyötysuhde oli vain 1 %, mutta se antoi toivoa aurinkoenergian mahdollisuuksista. Aurinkosähkö saavutti läpimurron vuonna 1954, kun tutkijat Da- ryl Chapin, Calvin Fuller ja Gerald Pearson toteutti ensimmäisen piiaurinkokennon, jonka hyötysuhde oli 6 %. (Maysun Solar, 2023.)

Danielsen toteaakin kirjassa *Ehtymätön Energia* (2016, 2) fossiilisten polttoaineiden loppuvan puolen vuosisadan kuluttua ja uusiutuvien energiamuotojen kasvaman merkittävää tahtia. Aurinkopaneelei- den hyötysuhdetta pyritäänkin tutkijoiden toimesta kehittämään, jotta jatkuvasti kasvava energian tarve voidaan kattaa. Nykyään aurinkopaneeleiden hyötysuhde on jopa yli 30 % ja niiden yleisin val- mistusmateriaali on yksi- tai monikiteinen pii, yksikiteinen pii on hieman hyötysuhteeltaan parempi, kun taas monikiteinen pii on halvempi valmistaa. Pohjolan viileässä ilmastossa kiteisestä piistä val- mistettu paneelin hyötysuhde paranee. (Tekniikan Maailma, 2023.)

Kiteiset piikennot ja ohutkalvokennot on valmistettu kahdesta erityyppisestä puolijohdemateriaalista, jotka tunnetaan markkinoilla nimillä P-tyyppi ja N-tyyppi. Markkinoilla on myös ohutkalvokennoista valmistettuja aurinkopaneeleja, jossa valoherkkää ainetta lisätään pohjamateriaalille. Näiden paneeli- den hyötysuhde on merkittävästi heikompi. (Tekniikan Maailma, 2023).

Puolijohdeella tarkoitetaan materiaaleja, jotka johtavat sähköä huonommin kuin metallit, mutta pa- remmin kuin eristeet. Aurinkopaneeleissa käytetään seostettuja puolijohdeita; joten P-tyypin aurinko- paneeleilla tarkoitetaan, että puolijohdeeseen on saostettu alkuainetta, jolla on vähemmän elektro- neja kuin puolijohteen muilla atomeilla, tässä käytetään usein booria B tai galliumia Ga . N-tyypin paneeli on toteutettu päinvastoin P-tyypin paneelin verrattuna; puolijohdeisiin on saostettu alkui- netta, jolla on enemmän elektroneja kuin puolijohteen muilla atomeilla, kuten arseeni As tai yksi maapallon yleisimmistä alkuaineista fosfori P . (Motiva, 2024; ST-käsikirja 40, 47).



Kuva 1. PN-liitos (Motiva, 2024)

Auringosta ytimessä syntyneet fotonit, eli valonsäteet ovat auringonsäteilyä, jotka vapauttavat auringonkennon osuessaan puolijohdemateriaalin elektroneja. N-tyyppin puolijohteet on valittu niin, että elektronit olisivat mahdollisimman virittyneitä valenssivyölle. Fotonin osuessa virittäytyneeseen elektroniin, se siirtyy johtavuusvyölle, jolloin elektroni pystyy liikkumaan lähes vapaasti P-tyyppin puolijohteen sisältämiin aukkoihin. (Motiva, 2024; Kuisma, ei pvm.)

Liitettäessä nämä negatiiviset ja positiiviset puolijohteet yhteen, muodostuu PN-liitos kuvan 1. mukaisesti. Liitokseen syntyy varausjakauma, koska liitoksen N-puolella syntyy positiivinen varaus irronneiden elektronien vuoksi sekä P-puolelle syntyy negatiivinen varaus, koska se vetää irronneita elektroneja puoleensa. PN-liitos on kuitenkin vahvaa tekoa, joten elektronit eivät pääse suoraan lyhyintä mahdollista reittiä N-puolelta P-puolelle, joten ne kulkevat sähköjohtoa pitkin tuottaen näin sähköenergiaa. (Motiva, 2024; ST-käsikirja 40, 39–40.)

2.1 Aurinkovoimaloiden periaatteet ja suunnittelu

Suomen olosuhteet sopivat hyvin aurinkoenergian hyödyntämiseen kotitalouksissa, taloyhtiöissä, maatalouksissa, vapaa-ajan kohteissa, yrityksissä ja julkisissa rakennuksissa. Tämä perustuu siihen, että Suomessa on hieman viileämpi ilmasto, joka voi kasvattaa aurinkopaneelien hyötysuhdetta ja energiantuotantoa (Yle, 2024). Voimalan sijoituksessa on otettava huomioon maastolliset haasteet eli rakennuksien ja puuston aiheuttamat varjot, sekä aurinkopaneelien ilmansuunnalla ja asennuskulmalla on merkittävä vaikutus sähkön tuotantoon. Optimaalinen tilanne on asentaa paneelit suunnattuna etelään noin 40 asteen kulmaan. (Tahkokorpi ym. 2016, 98; ST-käsikirja 40, 49; Teho-Posako, ei pvm.)

Aurinkovoimalat voidaan suunnitella kattamaan kiinteistön sähkökulutuksen kokonaan, osittain tai vaihtoehtoisesti aurinkovoimala voidaan reilusti ylilimitoittaa, jolloin suurin osa tuotannosta menee myyntiin tai akustoihin, lisäksi ylilimitoituksella varmistetaan, että sähköä on aina reilusti käytettävissä myös niinä päivinä, jolloin aurinko ei paista pilvettömältä taivaalta. Tuotettu sähkö ei mene koskaan hukkaan, vaikka sitä ei itse pysty kokonaan käyttämään.

Aurinkovoimalan suunnittelu ja mitoitus on tehtävä aina kohdekohtaisesti ja yksilöllisesti, koska energian tarpeet, sijainti ja budjetointi voi vaihdella hyvinkin paljon. Investoinnin näkökulmasta on suositeltavaa mitoittaa aurinkovoimala, niin että suurin osa tuotannosta menee omaan käyttöön. Teho-Posakon mukaan tämä tarkoittaa, että 20–35 % kulutuksesta katetaan omalla pientuotannolla vuosisatasolla, kun taas Motivan ylläpitämän aurinkosähkö- sivuston mukaan optimaalisin omakäyttöaste olisi 50–80 %, joten jälleenmyyjät pyrkivät selvästi markkinoinnissaan ilmoittamaan pienemmän suositellun omakäyttöasteen kuin viralliset tahot.

Taulukko 1. Yritysten ilmoittama optimaalinen omakäyttöaste

Yritys	Optimaalinen omakäyttöaste
Lumme Energia	10-30 %
Hehku Energia	30 %
Väre	50 %
Scanoffice	20-60 %
Teho-Posako	20-35 %
Motiva	50-80 %

Aurinkovoimalaa suunniteltaessa kannattaa muistaa, että voimalan käyttöikä on vuosikymmeniä ja esimerkiksi liikenne tulee sähköistymään enenemissä määrin. Kannattaako pohtia, haluaako tulevaisuudessa ladata sähköauton omalla aurinkosähköllä tai hyödyntää aurinkoenergiaa esimerkiksi lämmöntuotannossa. Hyvä suunnittelu takaa erinomaisen lopputuloksen, joten se kannattaa tehdä huolellisesti ja tarkasti. Suunnittelussa kannattaa hyödyntää ohjekirjana standardia IEC 62548:2016:fi. (Suomen Aurinkotekniikka Oy, ei pvm.; Tahkokorpi ym. 2016, 178; Motiva, ei pvm.)

2.2 Energian tarve ja liitettävyyssraja

Aurinkovoimalan suunnittelu aloitetaan aina arvioimalla energiantarve ja tämän tiedon perusteella määritellään voimalan koko ja kapasiteetti. Kulutustiedot ovat saatavilla verkkoyhtiöltä tai Fingrid Oyj:n tarjoamasta Datahub- palvelusta tuntiarviona, tai jos kohteessa on AMR-sähkömittari, niin kulutustiedot ovat saatavilla 15 minuutin tarkkuudella. Uudiskohteissa kannattaa hyödyntää vastaavien jo olemassa olevien kohteiden kulutustietoja tai arvioimaan sähkökuormien perustella kulutusta. Kohteen sähköliittymän pääsulakkeen koko rajaa järjestelmän maksimikoon mitoituksen, aurinkovoimalan nimellisvirta voi olla enintään yhtä suuri kuin liittymän ylivirtasuojan nimellisarvo. (Käypylehto 2016, 99.) Pienjänniteliittymään liitettävän aurinkovoimalan pätöteho P_n ei saa kuitenkaan koskaan ylittää verkkoyhtiön määrittämiä liitettävyyssrajoja.

Taulukko 2. Liitettävyyssraja Energiaviraston ohjeistuksen mukaisesti (Energiavirasto)

Liittymäkoko	Yksivaiheinen mitoitusosakoskuvirta	Aurinkosähkötuotannon liitettävyyss
3x25 A	250 A	11 kW
3x35 A	250 A	11 kW
3x50 A	250 A	11 kW
3x63 A	320 A	14,1 kW
3x80 A	425 A	18,7 kW
3x100 A	580 A	25,5 kW
3x125 A	715 A	31,5 kW
3x160 A	950 A	41,8 kW

Verkonhaltijan on Energiaviraston mukaan aina hyväksyttävä aurinkovoimalan liittäminen verkkoon tai vaihtoehtoisesti vahvistettava verkkoa, jotta siihen voidaan liittää aurinkovoimala. Suuremmissa aurinkovoimalahankkeissa on erittäin tärkeää varmistaa verkkoyhtiöltä sallitun aurinkovoimalan koko, koska verkkoyhtiöillä voi olla omia käytäntöjään sen suhteen. Esimerkiksi yli 50 kW aurinkovoimalat tarvitsevat erillisen keskitetyn suojalaitteiston, jotta verkkoyhtiö voi antaa voimalalle kytkentäluvan. Isommat ja pienemmätkin aurinkovoimalat saattavat tarvita erillisen luvan esimerkiksi kunnan rakennusvirastolta, toisinaan myös toimenpideluvan- tai ilmoituksen riippuen asuinkunnan käytännöistä. (ST-käsikirja 40, 11–12, 88, Pientuotannon liittäminen sähköjakeluverkkoon YA 9:23, 9.)

2.3 Aurinkopaneelin valinta ja hyötysuhde

Aurinkopaneelin teho ilmaistaan piikkiwatteina W_p , joka kertoo paneelin tuottaman piikkitehon optimaalisissa standardiolosuhteissa paneelin lämpötilan olessa 25 °C astetta ja paneelille tuleva säteily määrän ollessa 1 000 W/m². Käytetään tässä esimerkkinä Teho-Posakon valikoimasta löytyvää HT-SAAE:n valmistamaa HT54-18X(ND)-F aurinkopaneelia, jonka sähkötekniset arvot löytyvät taulukosta 3. (Tahkokorpi ym. 2016, 138–139.)

Taulukko 3. HT54-18X(ND)-F aurinkopaneeli (HT-SAAE)

Maksimiteho	P_{max}	435 W
Tyhjäkäyntijännite	V_{oc}	38,4 V
Oikosulkuvirta	I_{sc}	14,31 A
Jännite maksimiteholla	V_{mp}	32 V
Virta maksimiteholla	I_{mp}	16,6 A
Suurin järjestelmä jännite		1500 VDC
Suurin sulake		25 A

Aurinkopaneelin hyötysuhde lasketaan jakamalla nimellisteho sen pinta-alalla ja säteily määrällä 1 000 W/m². Esimerkiksi teholtaan 435 W aurinkopaneelin, jonka koko on 1722 mm x 1134 x 30 mm hyötysuhde voidaan laskea, vaikkakin lähtökohtaisesti tämä tieto on yleensä saatavilla valmistajalta. Lasketaan ensin aurinkopaneelin pinta-ala kertomalla aurinkopaneelin pituus a ja leveys h :

$$A = a \times h \quad (1)$$

$$1,722 \text{ m} \times 1,134 \text{ m} = 1,95 \text{ m}^2$$

(Seppänen ym. 2013, 25.)

Tämän jälkeen lasketaan yksittäisen aurinkopaneelin hyötysuhde kaavalla 2:

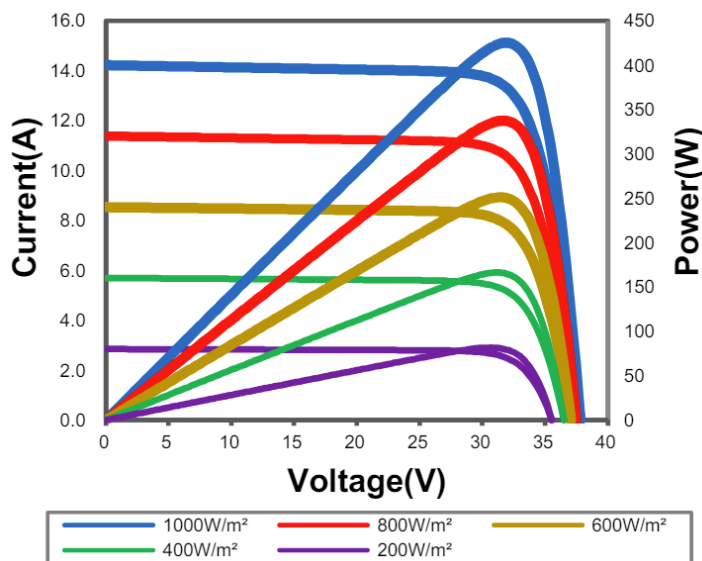
$$\eta = \frac{P}{\left(1000 \frac{W}{m^2} \times A\right)} \quad (2)$$

$$\frac{435 \text{ W}}{\left(1000 \frac{W}{m^2} \times 1,95 \text{ m}^2\right)} = 22,3 \%$$

(Tahkokorpi ym. 2016, 142)

Esimerkkipaneelin laskennallinen hyötysuhde on siis 22,3 %, eli tämä prosentuaalinen osuus aurin-
gon säteilyenergiasta muuttuu sähköenergiaksi. Kuvasta 1 on havaittavissa jännitteen ja virran väli-
nen riippuvuus, eli virran I ollessa 0 A on paneelien navoissa tyhjäkäyntijännite V_{oc} ja kun paneelia
kuormitetaan progressiivisella virralla, jännite kasvaa aluksi hyvin hitaasti ja myöhemmin erittäin no-
peasti. Aurinkopaneelin ominaiskäyrästä voidaan laskea paneelin teho P eri virta-arvoilla. (Käpylehto
2016, 61–64.)

• IV Curves



Kuva 2. Aurinkopaneelin ominaiskäyrä (HT-SAAE, ei pvm.)

Paneelin teho vaihtelee eri jännitealueilla, esimerkiksi kun aurinkopaneelia kuormitetaan 20 V jännit-
teellä virran ollessa 14 A, saadaan tuotettu teho seuraavalla laskutoimituksella.

$$P = U \times I$$

$$20 \text{ V} \times 14 \text{ A} = 280 \text{ W}$$

(3)

(Mäkelä ym. 2010, 120.)

Kuormitusjännitteen V noustessa virta I pienenee ja teho P kasvaa, joka todistettavissa laskennalli-
sesti kaavan 4. mukaisesti kaavalla 5:

$$P = U \times I$$

$$35 \text{ V} \times 12 \text{ A} = 420 \text{ W}$$

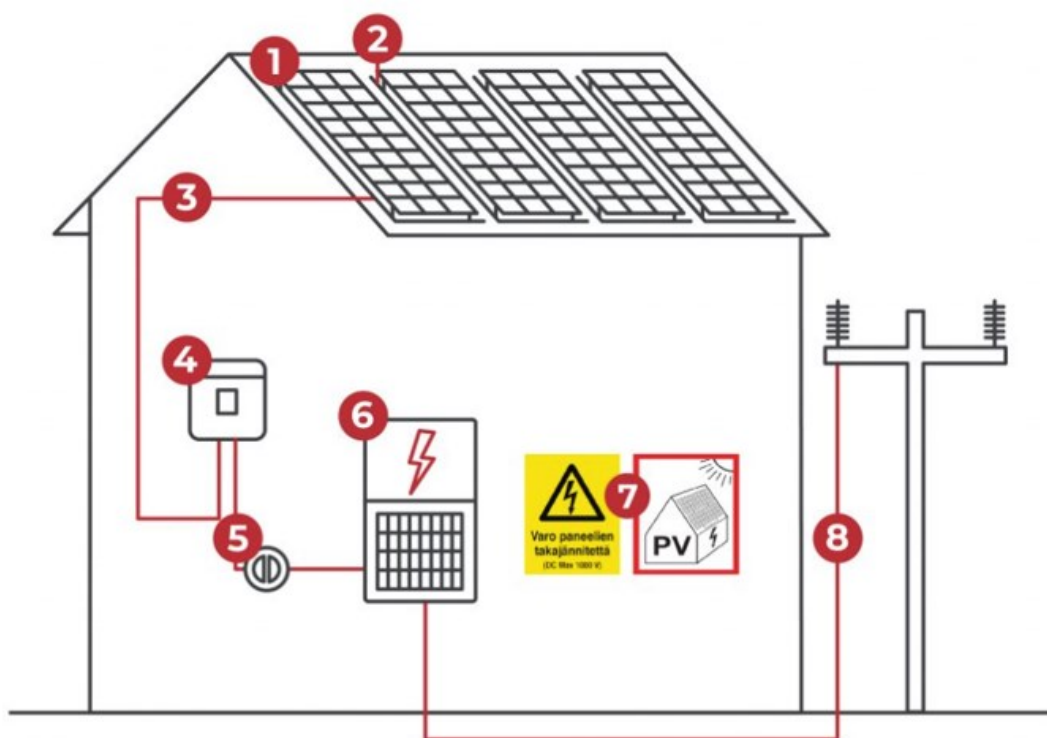
(4)

(Mäkelä ym. 2010, 120.)

2.4 Invertterin mitoitus ja MPPT-säädin

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu siis kahdesta pääosasta; aurinkopaneeleista ja invertteristä, eli vaihtosuuntaajasta, jonka oikea mitoitus on tärkeä osa aurinkovoimalan suunnittelua.

Invertterin teho tarkoittaa sitä, että kuinka paljon se voi maksimissaan syöttää verkkoon tehoa. Valmistajan toimittamassa datalehdessä (Solar Sofar käyttöohje, 5) mainitaan, että Invertteriä voi kuormittaa 1,5 kertaisesti takuun puitteissa, joten vaihtosuuntaajaa ei kannata ylimitoittaa turhaan, ellei ole aikomuksena laajentaa aurinkovoimalaa lähitulevaisuudessa. Toisaalta on taas muistettava mitoituksessa se, että kolmivaihejärjestelmä tarvitsee aina vähintään 3 kW tehon, jotta teho jakaantuu tasaisesti kaikille kolmelle vaiheelle. (Tahkokorpi ym. 2016, 144.; Teho-Posako, ei pvm.)



Kuva 3. Havainnekuva aurinkojärjestelmästä (Motiva, ei pvm)

Kuvassa 3. on esitetty aurinkosähköjärjestelmän havainnekuva, joka sisältää pakolliset varoitustarrat ja kuvauksen ylijäämäsiähkön myynnistä verkkoon. Lisäksi järjestelmään kuuluu seuraavat komponentit:

1. Aurinkopaneelisto
2. Asennustelineet
3. DC-kaapeli
4. Invertteri
5. AC-turvakytkin
6. Kiinteistön sähkökeskus

Kolmivaiheinen vaihtosuuntaaja mitoitetaan hyvin yksinkertaisesti kertomalla suunniteltu aurinkopaneelien lukumäärä paneelin teholla:

$$kpl \times P = P_{max} \quad (5)$$

$$10 \text{ kpl} \times 435 \text{ W} = 4,35 \text{ kW}$$

Laskennallisesti kymmenen 435 W aurinkopaneelin pienvoimala on kokonaisteholtaan 4,35 kW ja kun on tiedossa, että Solar Sofar vaihtosuuntaajaa voidaan kuormittaa 1,5 kertaista invertteriksi 3 kW tehoinen invertteri. Kuormituskerroin voi vaihdella eri valmistajilla, joten on aina noudatettava valmistajan ohjeistusta invertterin mitoituksessa. Aurinkopaneelin teho vaihtelee hyvinkin paljon samalla säteilyteholla riippuen paneelin kuormituksesta, muuttamalla kuormitusvirtaa voidaan löytää suurimman tehon piste eli MPP, *Maximum Power Point*. MPPT-tyyppiset lataussäätimet, Maximum Power Point Tracking onkin toteutettu niin, että pyrkivät toimimaan aina suurimman tehon pisteessä, eli kyseessä on suomennettuna maksimitehopisteen jäljitys. (Perälä 2017, 50, 70–74).

2.5 Tyhjäkäynti- ja toimintajännite

HT54-18X(ND)-F aurinkopaneelin tyhjäkäyntijännite V_{oc} on 38,4 V ja oikosulkuvirta I_{sc} 14,31 A taulukon 1 mukaisesti. Aurinkopaneelin datalehden mukaan avoimen piirin jännite muuttuu $-0,25 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ ympäristön lämpötilan mukaisesti, kun otetaan huomioon vielä ympäristön matalin mitattu lämpötila Suomessa, joka oli ilmatieteen laitoksen mukaan $-33,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ vuonna 2023. (Valmistajan datalehti ei pvm., 2).

Näillä tiedoilla voidaan laskea korkein mahdollinen avoimen piirin jännite V_{ocMAX} kaavalla 6:

$$V_{ocMAX} = K_U \times V_{oc} \quad (6)$$

(SFS 6000-7-712, 2022, 29.)

Kaavassa K_U on korjauskerroin, joka ottaa huomioon ilmoitetun alimman mahdollisen lämpötilan T_{min} aurinkovoimalan käyttökohteessa, joka vaikuttaa avoimen piirin jännitteeseen. Korjauskerroin voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$K_U = 1 + \left(\frac{\alpha_{V_{oc}}}{100} \right) \times (T_{min} - 25 \text{ }^{\circ}\text{C}) \quad (7)$$

(SFS 6000-7-712, 2022, 29.)

Kaavassa $\alpha_{V_{oc}}$ on lämpötilakerroin $\text{\%/}^{\circ}\text{C}$, joka on ilmoitettu aurinkopaneelin datalehdessä. Esimerkikohteen korjauskerroin lasketaan kaavalla 8:

$$K_U = 1 + \left(\frac{-0,25 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}}{100} \right) \times (-33,1 \text{ }^{\circ}\text{C} - 25 \text{ }^{\circ}\text{C}) = 1,145 \quad (8)$$

Laskennallinen korjauskerroin on 1,145, jonka avulla voidaan laskea korkein mahdollinen kuormittamattoman piirin jännite kaavalla 6, joka on tässä tapauksessa 43,98 V.

Esimerkiksi, jos kohteeseen suunnitellaan kymmenen paneelin järjestelmää, lasketaan kuormittamattoman piirin maksimijännite kaavalla 9:

$$V_{oc10} = V_{oc} \times 10 \text{ kpl}$$

$$V_{oc10} = 38,4 \text{ V} \times 10 \text{ kpl} = 384 \text{ V} \quad (9)$$

$$V_{oc10MAX} = K_{U \times} V_{oc10} = 1,145 \times 384 \text{ V} = 439,7 \text{ V}$$

Kymmenen paneelin järjestelmän avoimen piirin jännite $V_{oc10MAX}$ on 439,7 V, joka ei saa ylittää invertterin toimintajännitettä. Jännite on kuitenkin pyrittävä pitämään riittävän korkealla tehohäviöiden minimoimiseksi. Valmistajan datalehdessä on maininta, että parhaan tehon toimintajännite aurinkopaneelissa on 30,7 V, joten suljetun piirin kokonaisjännite saadaan seuraavasti:

$$10 \text{ kpl} \times 30,7 \text{ V} = 307 \text{ V} \quad (10)$$

Esimerkiksi 10 paneelin ja 4,35 kW järjestelmälle soveltuva 3 kW Solar Sofar- invertterin DC-jännitealue on 160–850 V, joka soveltuu erinomaisesti lasketulle tyhjäkäynti- ja toimintajännitteelle. Sarjaan kytkennässä on huomioitava, että jännitteeksi tulee yksittäisten paneelien summa ja jos paneelien virrat poikkeavat toisistaan, määrätty virta heikoimman paneelin mukaan. (Perälä 2016, 52; Solar Sofar käyttöohje ei pvm, 5.)

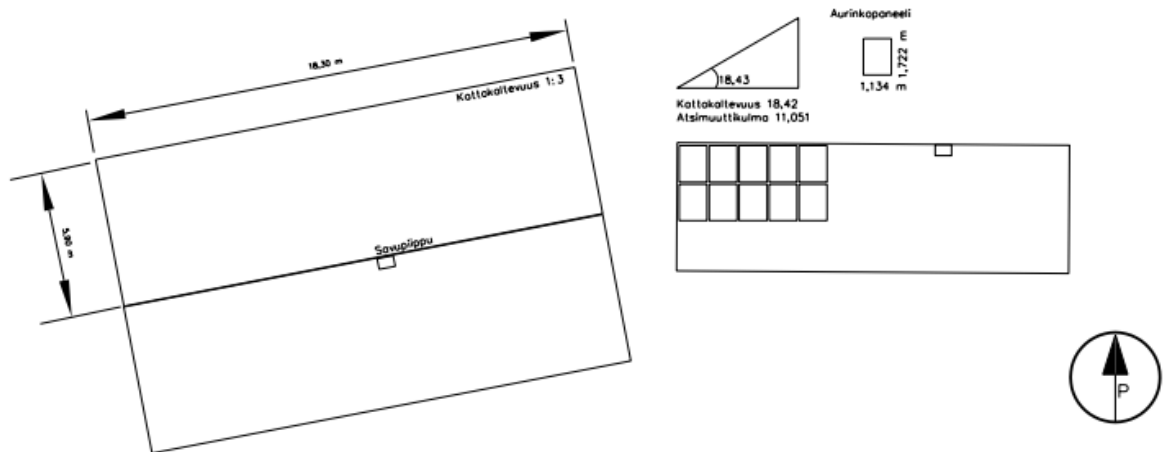
2.6 Sijoitus, suuntaus ja kallistus

Parhaan hyötysuhteen saavuttamiseksi suunnitelman olennaisena osana on myös selvitys, joka sisältää aurinkopaneelien asettelun kuten kallistuksen ja suuntauksen eli atsimuutin. Suuntauksella ja kallistuksella on suuri merkitys aurinkovoimalan sähköntuotannon ajankohtaan, joten aurinkopaneelien suuntauksella voidaan etsiä optimaalinen tilanne suhteessa kulutukseen. Esimerkiksi maatila ja yrityskohteissa poikkeavat kulmat voivat olla hyvä ratkaisu tuotannon ajoittamisen vuoksi. Kattoasennuksissa paneelit tarvitset vapaata tilaa, joten on tärkeä huomioida kiinteistön läpiviennit, savupiiput ja lumisesteet. (ST-käsikirja 40, 50.)

Vapaan tilan tarve aurinkopaneelille voidaan arvioida myös laskennallisesti, jossa tarvittava paneelien määrä kerrotaan paneelin pinta-alalla:

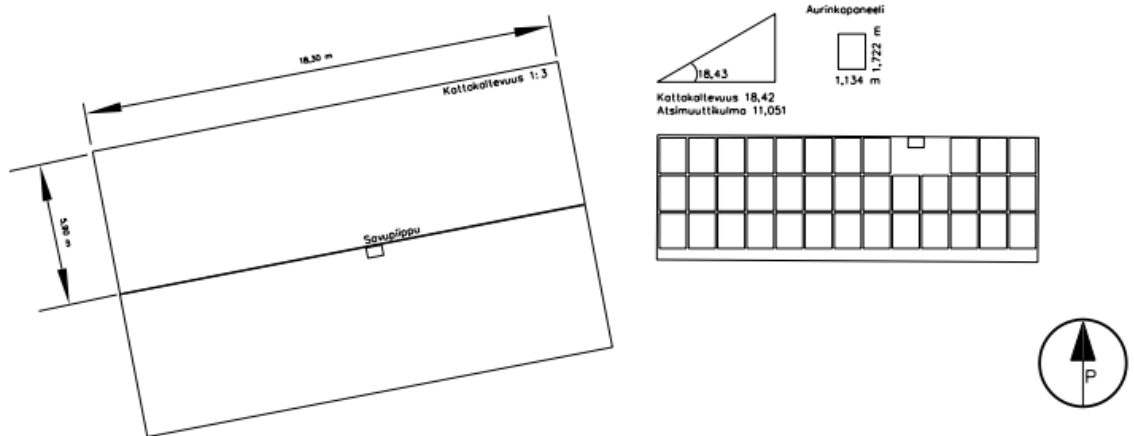
$$10 \text{ kpl} \times 1,95 \text{ m}^2 = 19,5 \text{ m}^2 \quad (11)$$

Aurinkosähkösuunnitelmassa on siis huomioitava, että vapaata, esteetöntä tilaa on saatavilla riittävästi. Suunnitelmaa voidaan mallintaa yksinkertaisesti ruutupaperilla ja kynällä, tai esimerkiksi Cadmatic-ohjelmaa hyödyntäen. Suunnitteluvaiheessa selvitetään valitun lappeen mitat, ilmasuunta ja katon kaltevuus, nämä tiedot löytyvät yleensä ottaen rakennuspiirustuksista. (Tahkokorpi, 179).



Kuva 4. 10 aurinkopaneelin sijoitus (Kiviranta, 2024)

Esimerkkikohteen suunniteltavan lappeen pituus on 18,3 m ja leveys 5,9 m, katon kaltevuus on rakennuspiirustuksen mukaan 1:3, joka vastaa $18,43^\circ$ kaltevuutta. Kohteen atsimuuttikulma on $11,051^\circ$, joka saadaan mitattua Cadmatic ohjelmiston kulmatyökalulla. Kohteeseen mitoitettut 10 aurinkopaneelia sopivat lappeelle hyvin ja laajennusvaraakin jää tulevaisuutta varten.



Kuva 5. 39 aurinkopaneelin sijoitus (Kiviranta, 2024)

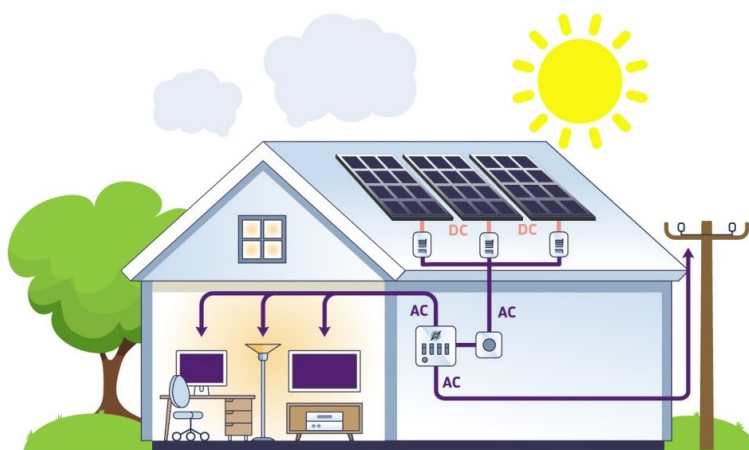
Suunnitteluvaiheessa voidaan myös demonstroida erilaisia sijoitteluja ja asetteluja aurinkopaneelille, esimerkiksi kuvassa 3 on sijoitettu 39 paneelia kohteen katolle, joka suurin mahdollinen määrä, jotka tähän kohteeseen voidaan pinta-alan puolesta asentaa.

2.7 Varjostukset

Aurinkopaneelien sarjaan kytkennässä varjostukset voivat aiheuttaa merkittäviä tehon menetyksiä, vaikka aurinkopaneelissa on nykyään ohitusdiodit, varjostukset on silti minimoitava. Diodi on elektroniikan peruskomponentti, joka päästää virran kulkemaan vain yhteen suuntaan, sisäisellä ohitusdiodilla paneeli jaetaan kolmeen tai kuuteen erillisiin lohkokoon ja lohkot kytketään keskenään sarjaan, jolloin koko paneeli ei pimene varjostuman takia. Aurinkopaneelien kytkentäkoteloon voidaan myös asentaa estodiodeja, jolloin jos koko paneeli lakkaa tuottamasta varjostuman, likaisuuden tai vian vuoksi ei koko voimala lakkaa toimimasta. (Tahkokorpi 2016, 181–182; ST käsikirja 40, 52). Varjostusten aiheuttamia haittavaikutuksia voidaan myös minimoida ja ehkäistä toteuttamalla aurinkovoimala mikrovaihtosuuntaajilla, jolloin yhdestä kahteen paneelia kytketään omaan MPPT-säätimeensä. (ST-käsikirja 40, 71; Aurinkovirta, 2021.)

2.8 Mikroinvertteri

Mikroinvertterillä toteutettu aurinkosähköjärjestelmä on hyvin yksinkertainen, turvallinen sekä varmatoiminen verrattuna perinteiseen kolmivaihe inverttereillä toimivaan aurinkovoimalaan. Mikroinvertteriä käytettäessä vältetään pitkiltä tasasähkökaapeloinnilta. Tämä tarkoittaa sitä, että jännitteet pysyvät maltillisina, kun taas perinteistä keskitettyä invertteriä käytettäessä jännitteet saattavat olla jopa 20 kertaa korkeampia. Mikroinvertterillä toteutetussa aurinkojärjestelmässä jokainen paneeli toimii itsenäisesti, joten myöskään varjostumat tai yhden paneelin likaantuminen ei vaikuta voimalan toimintaan merkittävästi. Tämä tarkoittaa sitä, että aurinkopaneeli kytketään mikroinvertteriin rinnan, jolloin jokaisesta aurinkopaneelistä tulee oma aurinkovoimala ja se tuottaa sähköä täysin itsenäisesti. Mikroinvertteriin heikkoutena on suuremmat kustannukset ja mahdollisten huoltotöiden suurempi määrä. (Perälä 2016, 81; ST-käsikirja, 71).



Kuva 6. Mikroinverttereillä toteutettu aurinkovoimala (Green Energy Finland)

2.9 Kaapelointi

Aurinkovoimalan kaapeloinnin oikea mitoittaminen on tärkeää tehohäviöiden minimoimisen kannalta. Kaapelireitit on pidettävä mahdollisimman lyhyinä erityisesti aurinkopaneelien ja invertterin välissä, eli tasasähköpuolella. Kaapelireittejä suunniteltaessa on siis huomioitava invertterin sijoituspaikka huolellisesti. DC-kaapelit mitoitetaan ja valitaan standardin SFS 6000-7-712:2022 mukaisesti, jotta maa- ja oikosulkujen riskit voidaan minimoida.

DC-kaapelit voivat myös altistua erilaisille luonnonilmiöille, lumelle, jäälle ja lämmönvaihteluille, joten asennuksissa on käytettävä juuri tähän tarkoitukseen soveltuvaa UV-säteilyn kestävästi eristettyä kaapelia tai metallivaipatonta yksijohdinkaapelia. (ST-käsikirja 40, 119–120, SFS 6000-7-712:2022, 18). Hyvä ja laadukas kaapelointi kasvattaa voimalan käyttöikä ja madaltaa huolto- ja ylläpitokustannuksia aurinkovoimalan elinkaaren aikana, joten asennuksissa on lisäksi käytettävä asennusputkia tai johtokourua. Aurinkosähköjärjestelmille on olemassa oma kaapelistandardi EN 50618, joka antaa urakoitsijoille selvät ohjeet kaapelin valintaan liittyen. (Sonepar, ei pvm.)

3 AURINKOVOIMALAN PIENTUOTANTO JA TAKAISINMAKSUAIKA

Aurinkovoimalan tuotantoa voidaan arvioida tunti- ja vuositasolla PVGIS-sivustolla. PVGIS tarjoaa tietoa aurinkojärjestelmien tuotannosta eri tekniikoilla ja kokoonpanoilla. Sivusto on tällä hetkellä käytettävissä Englannin, Ranskan, Italian, Espanjan ja Saksan kielellä ilman rekisteröintiä. Sivusto on erinomainen apu aurinkovoimalan suunnittelussa ja antaa ymmärrettävää tietoa odotetusta tuotannosta sekä mahdollistaa aurinkovoimalan optimoinnin. (ST-käsikirja 40, 97–99.) Tässä opinnäytteessä käytetään PVGIS-sivulta saatua dataa esimerkkikohteiden tuotannon suunnitteluun ja arviointiin.

3.1 Tuotanto ja kulutus

Oikein mitoitettu aurinkojärjestelmä maksaa itsensä takaisin 5–15 vuodessa (ST-käsikirja 40, 82.) jolloin takaisimaksu-aikaan vaikuttavat suoraan seuraavat asiat:

- investointikustannukset
- sähkön markkinahinta
- ylijäämäsähkön hinta
- lainat ja rahoitukset
- ylläpito- ja huoltokustannukset

PVGIS sivustolta ladataan suunnitellun aurinkopaneelijärjestelmän tuntikohtainen tuotantotieto ja tätä dataa verrataan Fingrid Oyj:n ylläpitämään Datahub-tietojärjestelmästä saatavaan kulutustietoon. Tietoja vertailemalla saadaan luotettavaa tietoa energiantuotannosta, omakäyttöosuudesta ja siitä, kuinka paljon aurinkovoimalan tuotannosta menee myyntiin. Vertailemalla arvioituja tuotantotietoja tuntikohtaisesti kulutukseen, voidaan aurinkovoimalan jo suunnitteluvaiheessa optimoida voimala kohteeseen sopivaksi. Tuntikohtaiset kulutustiedot voivat auttaa myös kuormanohjauksen suunnittelussa kohteeseen. (ST-käsikirja 40, 182).

Suunnitellun voimalan prosentuaalinen omakäyttöosuus voidaan laskea seuraavalla kaavan 13. avulla, kun ensin on laskettu myyntiin menevä osuus kaavalla 12:

$$\text{tuotanto kWh} - \text{kulutus kWh} = \text{ylijäämämyynti kWh} \quad (12)$$

$$\frac{\text{tuotanto kWh} - \text{myynti kWh}}{\text{tuotanto kWh}} = \text{omakäyttöosuus \%} \quad (13)$$

Aurinkovoimala menettää tuotantotehoa käyttövuosien aikana ja olen arvioinut sen olevan -0,5 % vuodessa. Tämä perustuu siihen, että useimmat paneelivalmistajat lupaavat 25 vuoden tehontuotto-takuun. Tämä tarkoittaa, että 25 vuoden kuluttua teho on vähintään 80 % nimellistehosta. (Motiva, 2024). Tuotannon vähenemä voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$(\text{edellisen vuoden vuosituotto kWh/v} \times 2) + \text{tuotannon vähenemä \%} \quad (14)$$

$$= \text{seuraavan vuoden korjattu sähköntuotanto kWh/v}$$

Aurinkovoimalan ylijäämänsähkön myynti tuo lähtökohtaisesti tulovirtaa tuottajalle. Ylijäämänsähkön myyntihinnaksi arvioidaan pörssisähkön Spot-hinta. Ylijäämänsähkön myyntihinta vaihtelee riippuen sähköyhtiöstä, kun vertailee eri sähkönmyyjien ostohintoja. Ylijäämänsähkö myydään Nord Pool- sähköpörssin hinnalla, josta sähkönostaja voi veloittaa välityspalkkion. Ylijäämänsähkö myydään odote-tusti päiväaikaan, kun kohteen omakäyttöosuus on vähäistä. Tämä tarkoittaa, että myynnistä saa-tava korvaus voi olla alhaisempi kuin pörssin keskihinta. (Hehku Energia, ei pvm.; Helsingin Energia, ei pvm.; Vaasan Sähkö, ei pvm.; Lumme Energia, ei pvm). Vuosikohtaiset ylijäämästä syntyneet tuo-tot voidaan laskea kaavalla 15:

$$\text{tuotanto kWh/v} \times \text{ylijäämäosuus \%} \times \text{ylijäämäkorvaus snt/kwh} \quad (15)$$

$$= \text{ylijäämän myyntituotto €/v}$$

Seuraavien käyttövuosien ylijäämätuottojen laskennassa käytetään aina korjattua vuosituottoa, ku-ten kaavassa 14. on esitetty ja ylijäämänsähköstä maksettavaa korvausta, johon on tarvittaessa sisäl-lytetty arvioitu hinnan muutos. Aurinkovoimalan toisen käyttövuoden myyntituotot lasketaan kaa-valla 16:

$$\text{korjattu tuotanto kWh/v} \times \text{ylijäämäosuus \%} \times \text{ylijäämäkorvaus €/kwh} \quad (16)$$

$$= \text{2. vuoden ylijäämän myyntituotto €/v}$$

Aurinkovoimalan investoinnin asennuskustannuksista on mahdollista hakea kotitalousvähennystä, joka on 40 % (Verotoimisto, ei pvm). Kannattavuuslaskentaa tehdessä ei ole välttämättä tiedossa asennuskustannuksia, joten vaihtoehtoisesti voidaan käyttää 10 % osuutta kokonaisinvestointiku-luista kotitalousvähennyksen arvioinnissa. Investointikustannus kotitalousvähennys huomioituna voi-daan laskea seuraavalla kaavalla:

$$\text{investointikustannus €} - (\text{investointikustannus €} \times 10 \%) \quad (17)$$

$$= \text{Investointikustannus kotitalousvähennys huomioituna}$$

3.2 Voimaloiden takaisinmaksuajan vertailu nousevalla sähkön hinnalla

Opinnäytetyön esimerkkikohde sijaitsee Etelä-Suomessa, kiinteistö on suorasähkölämmitteinen ja varustettu kahdella ilmalämpöpumpulla. Kiinteistön sähkökulutustiedot ovat saatavilla aikaväliltä 1.11.2023-31.7.2024, jolloin kohteen kokonaiskulutus on ollut 11 121 kWh ja koko vuoden arvioitu energiankulutus tulee olemaan noin 15 000 kWh. Kohteeseen suunnitellaan asennettavaksi aurinkovoimala, jolla pyritään kattamaan osa sähkön tarpeesta.

Aurinkovoimalasta syntyy vuotuisia käyttö- ja huoltokustannuksia. Esimerkiksi invertteri on yleensä vaihdettava ainakin kerran aurinkovoimalan käyttöiän aikana. Käyttökustannuksiksi huomioidaan 30 € vuodessa, ja invertterin vaihtokustannukset asennuksineen arvioidaan olevan 8 % alkuperäisistä investointikustannuksista. (Tahkokorpi 2016, 142.)

Sähkön markkinahinta voi keskiarvoisesti laskea, nousta tai pysyä muuttumattoman pitkällä aikavälillä. Sähkön hinnan nousu tarkoittaa, että voimalan taloudellinen hyöty paranee. Sähköhinnan lasku tarkoittaa toisaalta ylijäämästä maksettavan korvauksen laskua ja aurinkovoimalatuotanto ei välttämättä pysty myöskään kilpailemaan hinnassa verkosta ostetun sähkön kanssa. Tässä vertailussa arvioidaan, että sähkön arvo nousee 1 % vuosittain koko pitojakson ajan.

Järjestelmän kannattavuutta arvioitaessa on oltava tiedossa sähkön ostohinta, siirtohintaa ja arvonlisävero. Laskennassa ei ole huomioitu mahdolliset perusmaksuja. Etelä-Suomessa sijaitseva kohde kuuluu sähköjakeluyhtiö Carunan toimialueeseen, jolloin siirtomaksu on 4,19 snt/kWh. Laskennoissa on käytetty arvonlisäveroa 25,5 % (Verovirasto, 2024). Järjestelmän vertailuhinta saadaan laskettua kaavalla 18:

$$\begin{aligned} & \left(\text{ostohinta} \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + \text{siirtohintaa} \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + \text{sähkövero} \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \right) \times (1 + \text{alv} \%) \\ & = \text{sähkön vertailuhinta snt/kWh} \end{aligned} \quad (18)$$

Sähkön hinnan pitkän aikavälin ennustetta on kuitenkin vaikea arvioida tarkkaan vuosikymmenten päähän futuurien, eli rahoitusinstrumenttien perusteella. vaikka ne antavatkin luotettavan ennusteen lyhyemmällä ajanjaksolla. Sähkön muuttunut kustannus lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$C_0 \times (1 + r)^t = C_t \quad (19)$$

Missä:

C_t = sähkön muuttunut kustannus snt/kWh

C_0 = sähkön alkuperäinen hinta snt/kWh

r = hinnan muutosprosentti

t = vuosi

Laskennassa pörssisähkön alkuperäinen hinta on 3,64 snt/kWh ja kun hintaan lisätään pakolliset oheiskustannukset, ostosähkön hinnaksi muodostuu 13,30 snt/kWh. Tämän laskentamallin perusteella pörssisähkön hinta nousee 4,44 snt/kWh kolmenkymmenen vuoden aikana. Pörssisähkön hinnan nousu merkitsee kustannusten sekä ylijäämäkorvauksen nousua.

Taulukko 4. Takaisinmaksuaika nousevalla sähkön hinnalla

INVESTOINTIKUSTANNUS	5 500 €	5 700 €	7 500 €	8 500 €
VUOSITUOTTO	2563 KWH	3280 KWH	5758 KWH	7706 KWH
YLIJÄÄMÄTUOTANNON OSUUS %	3,4 KWP TAKAISINMAKSUAIKA	4,35 KWP TAKAISINMAKSUAIKA	6,5 KWP TAKAISINMAKSUAIKA	8,7 KWP TAKAISINMAKSUAIKA
10 %	🚩 17	✅ 13	✅ 9	✅ 8
20 %	🚩 19	✅ 15	✅ 10	✅ 8
30 %	🚩 21	🚩 17	✅ 11	✅ 9
40 %	🚩 23	🚩 18	✅ 12	✅ 10
50 %	❌ 26	🚩 21	✅ 15	✅ 11
60 %	❌ 30	❌ 24	🚩 17	✅ 13
70 %	❌ 30	❌ 27	🚩 19	🚩 16
80 %	❌ 30	❌ 27	🚩 23	🚩 19
90 %	❌ 30	❌ 30	❌ 28	🚩 23

3.3 Voimaloiden takaisinmaksuajan vertailu kiinteällä sähkön hinnalla

Laskennassa oletetaan, että sähkön hinta pysyy tulevaisuudessakin vuoden 2024 tasolla. Kesällä pörssisähkön keskihinta oli 3,64 snt/kWh, jota käytetään tässä laskennassa. Aurinkovoimalahankkeissa tärkeä vertailla eri sähkön hinnan muutoksien vaikutusta takaisinmaksu-aikaan. Aurinkovoimalan takaisinmaksu-aikaa on haastavaa arvioida erittäin tarkasti, koska ainut varmasti tiedossa oleva asia on alkuinvestointi, johon vaikuttaa komponentit, kohteen sijainti, asennuksen vaativuus ja mahdolliset sähkötekniset muutostyöt, kuten sähkökeskuksen laajennus. Muuttuvia tekijöitä on sähkön markkinahinnan kehitys, huolto- ja ylläpitokustannukset sekä mahdollinen sähkön kulutuksen vaihtelu.

Taulukossa 4. punaisella merkityt takaisinmaksuajat osoittavat, että voimala ei ole kannattava hankinta kyseisellä ylijäämäntuotannon osuudella. Keltaisella merkityt takaisinmaksuajat kuvaavat tilannetta, jossa investoinnin kannattavuus on riskirajoilla, kun taas vihreällä merkityt takaisinmaksuajat viittaavat taloudellisesti järkeviin investointeihin.

Taulukko 5. Takaisinmaksuaika kiinteällä sähkön hinnalla

INVESTOINTIKUSTANNUS	5 500 €	5 700 €	7 500 €	8 500 €
VUOSITUOTTO	2563 KWH	3280 KWH	5758 KWH	7706 KWH
YLIJÄÄMÄTUOTANNON OSUUS %	3,4 KWP TAKAISINMAKSUAIKA	4,35 KWP TAKAISINMAKSUAIKA	6,5 KWP TAKAISINMAKSUAIKA	8,7 KWP TAKAISINMAKSUAIKA
10 %	🚩 19	✅ 15	✅ 10	✅ 8
20 %	🚩 21	🚩 16	✅ 11	✅ 9
30 %	❌ 24	🚩 18	✅ 12	✅ 10
40 %	❌ 27	🚩 20	✅ 13	✅ 11
50 %	❌ 30	🚩 23	🚩 16	✅ 12
60 %	❌ 30	❌ 27	🚩 19	✅ 15
70 %	❌ 30	❌ 30	🚩 22	🚩 18
80 %	❌ 30	❌ 30	❌ 26	🚩 21
90 %	❌ 30	❌ 30	❌ 30	❌ 27

3.4 Rahoituskustannukset

Rahoituskustannukset muuttavat merkittävästi voimalan kokonaishintaa. Nordea rahoitus tarjoaa joustorahoitusta aurinkopaneeleihin, jolloin koron osuus vaikuttaa merkittävästi investointikustannuksiin. Nordea ilmoittaa, että 3 kuukauden euribor (07/2024) + 12,0 % tarkoittaa 5000 € investoinnille 23,1 % korkoa (Nordea, ei pvm.) Käytetään tätä ilmoitettua korkoa, kun selvitetään laskennallisesti rahoituksella ostetun aurinkovoimalan takaisinmaksuaikaa. Rahoitusta haetaan kotitalousvähennyksen jälkeen jäävälle summalle, joka on 7 650 € takaisinmaksuajan ollessa 3 vuotta. Tarjolla on saatavilla kolmannen osapuolen korkolaskureita, joilla voidaan selvittää lainan kokonaiskustannukset. (Laskurini.fi, ei pvm.)

Vaihtoisesti investoinnin kokonaiskustannukset voidaan laskea kaavalla 20. tämä tarkoittaa, että valitun voimalan takaisinmaksu aika nousee. Investoinnin kokonaiskustannus on laskennallisesti noin 12 956 €, josta pelkästään korkojen osuus on 5 300 €.

Suurempien hankintojen yhteydessä on suositeltavaa vertailla eri rahoituslaitosten tarjoamia vaihtoehtoja, koska mahdolliset tilinhoitomaksut, avausmaksut ja järjestelymaksut voivat korkojen lisäksi vaikuttaa merkittävästi kokonaiskustannuksiin. Kokonaiskustannus voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

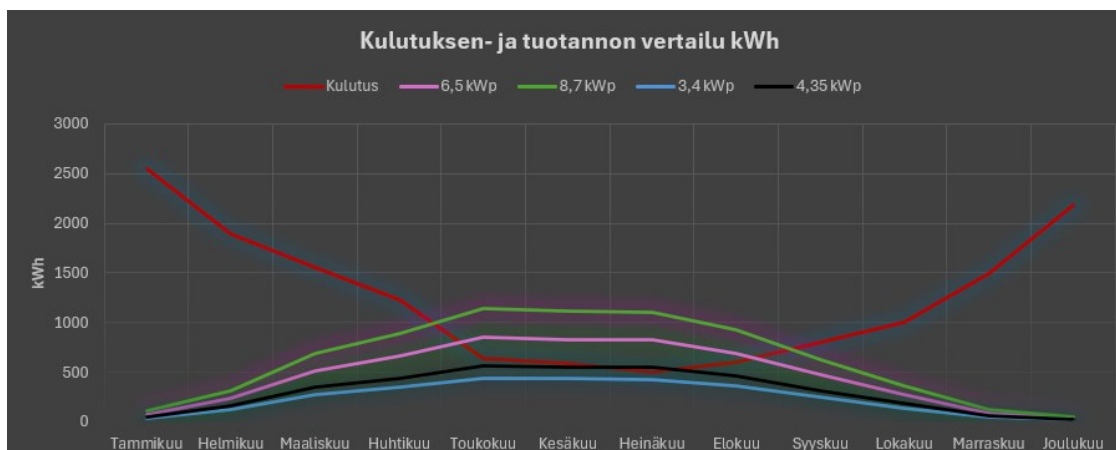
$$\frac{\text{pääoma } \text{€} \times \text{korko } \% \times \text{maksuaika } v}{100} = \text{korko } \text{€} \quad (20)$$

$$\frac{7650 \text{ €} \times 23,1 \% \times 3}{100} = 5\,308,95 \text{ €}$$

$$7650 \text{ €} + 5308,95 \text{ €} = 12\,958,95 \text{ €}$$

3.5 Voimaloiden vertailu kulutuksen ja tuotannon mukaan

Sähkölämmityskohteen kulutustietoja ei ollut saatavilla ajanjaksolta elokuu-syyskuu, joten ne arvioitiin kulutuskäyttäytymisen perusteella. Kohteeseen takaisinmaksuajan perusteella valikoitua 8,7 kWp voimalaa voidaan vertailla eri vaihtoehtoihin kuukausikohtaisen energiankulutuksen ja järjestelmän arvioidun tuotannon perusteella. Kuvan 8. vihreä käyrä kuvastaa 8,7 kWp aurinkovoimalan tuotantoa ja punainen on kohteen mitattu energiankulutus.



Kuva 7. Kulutuksen- ja tuotannon vertailu

Oletuksena on, että paneelit ovat talviaikana puhtaana lumesta, jolloin aurinkovoimala tuotanto pääsee käynnistymään jo aikaisin keväällä ja kattaa osan lämmitykseen tarvittavasta energiasta. Kuvajasta on nähtävissä, kuinka 8,7 kWp aurinkovoimalan tuotanto pysyttelee reilusti alle kulutuksen huhtikuulle asti, jonka jälkeen tuotanto nousee reilusti kulutuksen yli. Syksyn edetessä tuotanto laskee auringon valon hiipuesssa kulutuksen alle.

3.6 Voimaloiden vertailu laskevalla sähkön hinnalla

Kaukolämpökohteeseen suunnitellaan aurinkovoimala, jolloin aurinkopaneelit asennettaisiin kohteeseen lappeen mukaisesti 18,43° kulmaan atsimuuttikulman ollessa 11,051°. Optimaalinen kulma aurinkopaneeleille tässä Pohjois-Savossa sijaitsevalle esimerkkikohteelle olisi 44°, jolloin aurinkopaneeleista saataisiin maksimaalinen piikkituotto. Asennuskulmaa muuttamalla aurinkoenergian tuotantoa voidaan optimoida kohteen tarpeisiin sopivaksi esimerkiksi, jos halutaan maksimoida iltapäivän tuotanto.

Uudiskohteen kulutustiedot ovat saatavilla aikaväliltä tammikuu-elokuu 2024, jolloin kokonaiskulutus oli 1825,8 kWh ja arvioitu vuotuinen kokonaiskulutus on noin 3000 kWh. Kahdeksan kuukauden mitausjakson aikana on selvästi havaittavissa, että kohteen kulutus on verrattain pieni ja ajoittuu iltapäiväaikoihin. Kohteeseen vertaillaan 2,6 kWp-8,7 kWp teholuokan aurinkovoimalaratkaisuja ja pyritään selvittämään, onko aurinkovoimala missään tilanteessa kannattava ratkaisu kaukolämpökohteessa.

Kohteen kulutustietojen perusteella 2,6 kWp aurinkovoimalan omakäyttöosuus on noin 35 % tuotetusta energiasta. Tuntidatan perusteella voidaan todeta, että tuotetusta energiasta 1069 kWh on ylijäämää, joten kokonaistuotannosta myytävän sähköenergian prosentuaalinen osuus on noin 65 %. Taloudellisesta näkökulmasta katsottuna on haastavaa suositella kyseisen teholuokan aurinkovoimalaa tähän kohteeseen, koska takaisinmaksuaika venyy merkittävästi.

Taulukko 6. Omakäyttöosuus aikavälillä tammikuu-elokuu

Voimalan koko	2,6 kWp	3,4 kWp	4,35 kWp	6,5 kWp	8,6 kWp
Tuotto kWh	1650	2158	2761	4125	5521
Ylijäämäämyynti €	1 070 €	1 540 €	2 111 €	3 429 €	4 799 €
Omakäyttöosuus %	35 %	29 %	24 %	17 %	13 %

Laskennassa oletetaan, että sähkön hinta laskee vuosittain 1 prosenttiyksikön verran, jolloin ensimmäisen pitovuoden sähkön kokonaishinta on 12,05 snt/kWh ja 30 vuoden kuluttua 9 snt/kWh. Kustannuksissa huomioidaan myös Kuopin Energian siirtomaksu 3,14 snt/kWh.

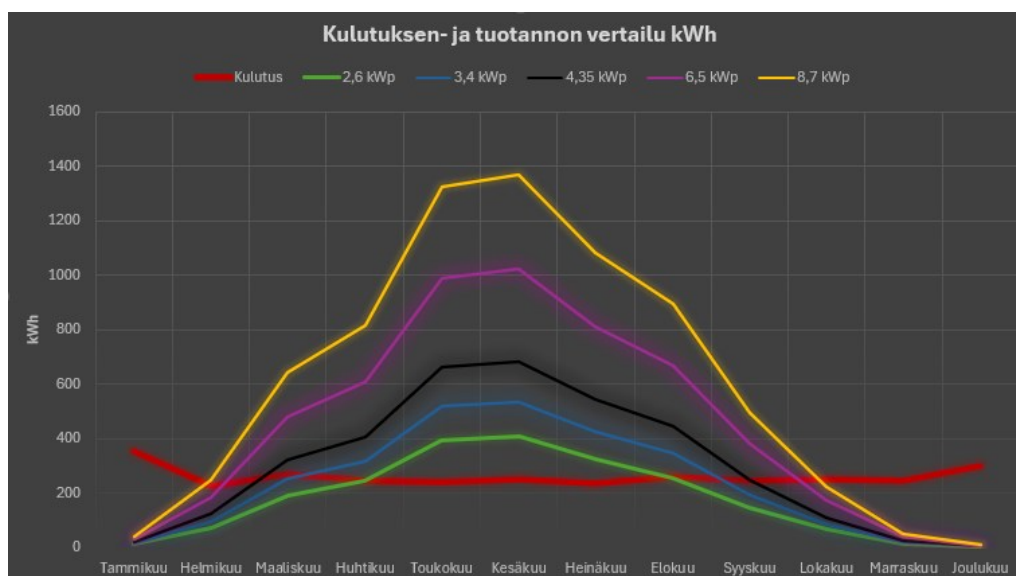
Taulukko 7. Aurinkovoimaloiden takaisinmaksuajat laskevalla sähkön hinnalla

INVESTOINTIKUSTANNUS	4 500 €	5 500 €	5 700 €	7 500 €	8 500 €
VIOSITUOTTO	1630 kWh	2563 kWh	3280 kWh	4901 kWh	6560 kWh
YLIJÄÄMÄTUOTANNOS	2,6 KWP	3,4 KWP	4,35 KWP	6,5 KWP	8,7 KWP
OSUUS%	Takaisinmaksuaika	Takaisinmaksuaika	Takaisinmaksuaika	Takaisinmaksuaika	Takaisinmaksuaika
10 %	✗ 30	✗ 25	⚠ 18	✓ 15	✓ 11
20 %	✗ 30	✗ 28	⚠ 20	✓ 17	✓ 12
30 %	✗ 30	✗ 30	⚠ 23	⚠ 19	✓ 15
40 %	✗ 30	✗ 30	✗ 26	⚠ 21	⚠ 17
50 %	✗ 30	✗ 30	✗ 30	✗ 24	⚠ 19
60 %	✗ 30	✗ 30	✗ 30	✗ 29	⚠ 22
70 %	✗ 30	✗ 30	✗ 30	✗ 30	✗ 30
80 %	✗ 30	✗ 30	✗ 30	✗ 30	✗ 30
90 %	✗ 30	✗ 30	✗ 30	✗ 30	✗ 30

Tuloksia vertaillessa on kannattaa huomioida, että vuodet ei ole samanlaisia eikä ne ole täysin vertailukelpoisia keskenään. Oman sähköntuotannon merkitys on suurimmillaan, jos kohde pystyy kulluttamaan suuremman osan tuotetusta sähköenergiasta. Tässä kaukolämpökohteessa kulutus on pientä ja eikä siihen ole tulossa muutoksia lähitulevaisuudessa.

Kohteissa, jossa energiankäyttö on pientä, ei aurinkovoimala ole kannattava investointi nykyisillä sähkön hinnoilla. Esimerkiksi tähän kaukolämpökohteeseen sijoitettava 2,6 kWp ja 3,4 kWp aurinkovoimalat ei maksa välttämättä itseään takaisin käyttöikänsä aikana millään omakäyttöosuudella. Laskennan perusteella kyseiseen kohteeseen ei voida suositella aurinkovoimalaa.

Merkittävä sähkön kulutuksen kasvu, energian varastointi tai sähkönhinnan nousu voi muuttaa investoinnin kannattavaksi. Vertailussa olevan kaukolämpökohteen puuttuvat kulutustiedot arvioitiin kokemusperäisesti aikaväliltä elokuu-joulukuu. Kuvassa 8. näkyvä punainen käyrä kuvastaa kohteen kulutusta, josta käy ilmi, ettei kaukolämpökohteen kulutuksessa ole suurta kuukausivaihtelua. Talvi-kuukausina kulutus voi olla hieman suurempaa, mikä todennäköisesti johtuu kausivalaistuksesta. Vihreällä käyrällä on esitetty 2,6 kWp aurinkovoimalan tuotanto, joka pysyy maltillisena suhteessa kulutukseen mittausjakson aikana.



Kuva 8. Kulutuksen- ja tuotannon kWh vertailu voimaloittain

3.7 Tuloksien tarkastelu

Tuloksia tarkasteltaessa voidaan todeta, että pienemmän teholuokan aurinkovoimala ei ole kannattava investointi missään omakäyttöasteessa, kohteesta riippumatta. Tämä perustuu siihen, että ostosähkön hinta on suhteellisen alhainen. Suurempi aurinkovoimala voi muuttua kannattavaksi, jos kohteen sähkönkulutus kasvaa merkittävästi ja kohde voi hyödyntää lähes kaiken tuotetun energian. Tässä on kuitenkin huomioitava, että verkkoyhtiöiden sivukulut, kuten kuukausimaksut voivat vaihdella, joten kohteen sijainnilla voi olla merkitys aurinkoenergian kannattavuuteen.

Takaisinmaksuaikaa arvioitaessa on laskennassa huomioitu nettonykyarvo NPV, *net present value*, joka on tulovirran- ja nykyarvon menovirran erotus. (Vaasan yliopisto, ei pvm). Nettonykyarvo on saatu seuraavalla laskutoimituksella:

$$\text{tuotannon arvo} \frac{kWh}{v} - \text{ylläpitokustannukset} \frac{€}{v} = \text{tuotto} \frac{€}{v} \quad (21)$$

$$\text{Tuotto} \frac{€}{v} + (-\text{investointikustannus} €) = \text{investoinnin tuotto} \frac{€}{v} \quad (22)$$

Tämän laskentamallin avulla määritellään jokaiselle käyttövuodelle nettonykyarvo, joka voi olla negatiivinen tai positiivinen. Tuoton kääntyessä negatiivisesta positiiviseksi, investointi on kokonaisuudessa maksettu takaisin ja se alkaa tuottamaan taloudellista hyötyä. Toisin sanoen, negatiiviset arvot kuvaavat takaisinmaksuvuosia.

Vertaillen takaisinmaksuaikaa nousevalla tai kiinteällä sähkönhinnalla, ylijäämätuotannon on oltava alle 50 %, jotta suuremmat voimat olisivat taloudellisesti kannattavia. Laskevalla sähköhinnalla aurinkovoimalan hankinta perinteiseen kotitalouteen, jonka omakäyttöosuus on vain 20–30 %, ei ole taloudellisesti perusteltua. Kokemukseni mukaan asiakkaat olettavat usein pystyvänsä hyödyntämään suurimman osan tuotetusta energiasta. Todellisuudessa tuotanto ja kulutus harvoin kohtaa toivotulla tavalla.

3.8 Laskureiden vertailu

Vertailun vuoksi testataan yleisesti saatavilla olevien aurinkolaskureiden ehdotuksia aurinkovoimalan mitoitukseen. Laskureiden antamat tulokset ovat poikkeavia verrattuna tässä opinnäytetyössä saatuihin tuloksiin, mikä herättää pohdintaa laskureiden tarkkuudesta ja puolueettomuudesta. Laskureihin määritellään samat parametrit, jota on käytetty tässä työssä:

- Sähkön hinta: 13,30 snt/kWh
- Voimalan sijainti ja suuntaus: Etelä

Taulukko 8. Laskureiden vertailu opinnäytetyön tuloksiin

Voimalan koko	3,4 kWp	4,35 kWp	6,5 kWp	8,7 kWp
Scanoffice Oy	13 vuotta	10 vuotta	9 vuotta	7 vuotta
Nivos Oy	8 vuotta	8 vuotta	7 vuotta	7 vuotta
Aurinkomaailma Oy	12 vuotta	9 vuotta	7 vuotta	7 vuotta
Opinnäytetyö	19 vuotta	15 vuotta	10 vuotta	8 vuotta

Kaikki laskurit arvioivat 8,7 kWp voimalan takaisinmaksuajaksi 7 vuotta, kun taas tässä opinnäytetyössä on esitetty 10 % ylijäämäosuudella takaisinmaksuajaksi on 8 vuotta kiinteällä sähkönhinnalla. Laskureissa oletetaan siis, että kiinteistö käyttää lähes kaiken tuotetun sähkön itse. Yleisesti käytössä olevat laskurit tuottavat erilaisia tuloksia, eikä niistä selviä selkeästi, miten lopullinen takaisinmaksuaika muodostuu annettujen lähtötietojen perusteella.

4 LÄMPÖENERGIA

Ilmassa on varastoituneena lämpöenergiaa, jota voidaan hyödyntää kiinteistöjen lämmityksessä. Tämä lämpöenergia on peräisin jo aikaisemmin mainitusta kaasupallosta, auringosta. Ilmassa on siis lämpöä aina kun sen lämpötila pysyttelee absoluuttisen nollapisteen $-273,15^{\circ}\text{C}$ paremmalla puolella. Lämpö pyrkii siirtymään aina lämpimästä kylmempään ilmaan termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan (Aalto yliopisto, ei pvm), joten rakennusten, huoneistojen ja kiinteistöjen sisältä lämpö siirtyy ikkunoiden, ovien, rakenteiden sekä ilmanvaihdon kautta ulkoilmaan.

Ulkoilmaan varautunutta lämpöenergiaa voidaan siirtää myös sisätiloihin, mutta tätä varten tarvitaan ilmalämpöpumppu. Ilmalämpöpumppu soveltuu tukemaan kiinteistön tai huoneiston lämmitystarvetta Suomen olosuhteissa. (Scanoffice, ei pvm.; Teho-Posako, ei pvm.)

Ilmalämpöpumpun ideaalinen ja tehokkain käyttölämpötila on $-10\text{ C}^{\circ} + 10\text{ C}^{\circ}$ välillä, tämä tarkoittaa sitä, että Suomen talvisissa olosuhteissa tarvitaan kiinteistöön jokin muu lämmöntuottovaihtoehto ilmalämpöpumpun lisäksi. Tästä syystä ilmalämpöpumppu on erinomainen lisä esimerkiksi sähkölämmitteisissä kohteissa. Kaukolämpökohteissa lämmitystarve ei ole niin suuri, jolloin voi olla tarve viilentää kohdetta kesäaikaan, joten vaihtoehtoisesti sisätiloihin varastoitua lämpöenergiaa voidaan kuljettaa ulkoilmaan ilmalämpöpumpulla, eli ilmalämpöpumppu soveltuu monenlaisiin olosuhteisiin ja käyttötarkoituksiin. (Pientalon lämmitysjärjestelmät, 33; Vattenfall, ei pvm.; Teho-Posako, ei pvm.).

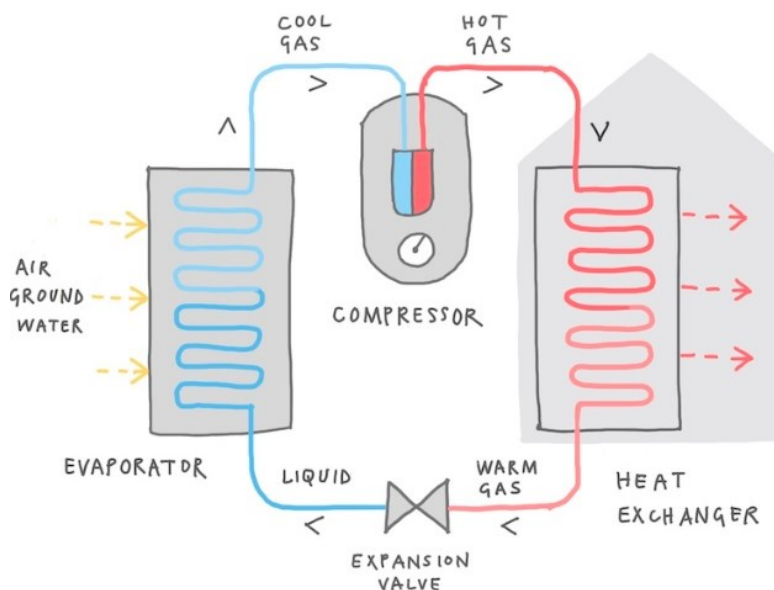
Ilmalämpöpumppu on aina mitoitettava kohteen tarpeisiin, eli on otettava huomioon lämmitettävän kiinteistön koko ja rakennesuunnittelu. Esimerkiksi, jos kiinteistö tai huoneisto on hyvin sokkeloinen ei lämpö pääse leviämään riittävän tehokkaasti ja ilmalämpöpumpusta ei saada välttämättä säästöä lämmityskustannuksiin. Suunnittelussa on siis tarkasti mietittävä ilmalämpöpumpun sijoittelu (Perälä & Perälä 2013, 93; Vattenfall, ei pvm. Teho-Posako, ei pvm.) Suunnitteluvaiheessa asiakkaalle on tarvittaessa pystyttävä perustelemaan toteutuksen hyödyt ja haitat. Tämä vähentää väärinymmärryksiä ja epärealistisia odotuksia sekä mahdollisesti kasvattaa luottamusta ja tyytyväisyyttä yritystä kohtaan.

4.1 Ilmalämpöpumpun toimintakuvaus

Nopealla tahdilla yleistyvät ilmalämpöpumput ei ole aivan uusi keksintö, koska niiden toiminta perustuu kiertoprosessin teoriaan, jonka esitteli jo vuonna 1824 ranskalaisen fyysikko Sadi Carnot. Ilmalämpöpumpun, eli *ILP:n* toimintaperiaate perustuu ulkoilmassa olevan energian hyödyntämiseen, jolloin kylmäprosessin avulla lämpöenergia siirretään ulkoilmasta sisäilmaan hyvin tehokkaasti. (Perälä & Perälä 2013, 27).

Ilmalämpöpumppu sisältää kaksi pääkomponenttia, sisä- ja ulkoyksikön, jonka välissä kiertää fluorihiilivetyjä, eli HFC-yhdisteitä, tämä yhdiste tunnetaan paremmin nimellä kylmäaine. Ulkoyksikkö pitää sisällään kompressorin, ohjauslaitteet, jolla ohjataan kylmäprosessia, lämmönsiirtokennon, antureita lämpötilan mittaamiseen, puhaltimen ja moottorin, sekä ohjauselektronikkaa. Sisäyksikössä on myös lämmönsiirtokenno sekä puhallin moottoreineen. Ilmalämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen liikkeeseen sisä- ja ulkoyksikön välillä. (Perälä & Perälä 2013, 27; Scanoffice, ei pvm.)

Tätä kaasumuodossa olevaa kylmäainetta pumppaa lävitseen kompressor, jolloin kylmäaineen paine sekä lämpötila nousee ja tästä syntyvä kaasu ohjautuu sisäyksikön lämmönsiirtokennolle. Tämän kennon läpi puhalletaan ilmaa, jolloin lämmönsiirtokennon läpi virtaava kylmäaine luovuttaa energiaa huoneilmaan ja tämän seurauksena kylmäaine jäähtyy muuttuen taas nestemuotoon sekä siirtyy paisuntaventtiilille muodostaen juuri oikean paine-eron kylmäpiiriin. Tämän seurauksena paineen laskiessa kylmäpiirissä kylmäaine alkaa kaasuuntua ja siirtyy ulkoyksikköön sitoen suuren määrän lämpöenergiaa. Kaasuuntunut kylmäaine siirtyy takaisin kompressorille ja sisäyksikölle. (Scanoffice, ei pvm.)

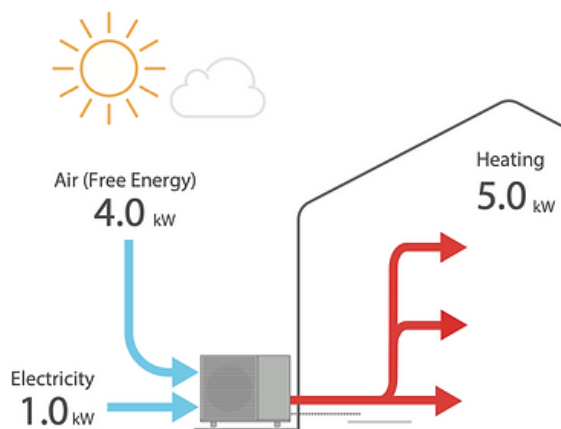


Kuva 9. Lämpöpumpun toimintakuvaus (Designsindetail, 2024)

Kylmäaineiden tärkeimmät ominaisuudet ovat ottaa vastaan lämpöä nestemäisessä olomuodossa ja muuttua höyryksi alhaisessa lämpötilassa. Lukuisat ilmakehää tuhoavat kylmäaineyhdisteet on kielletty kansainvälisten vaatimusten kiristymisen myötä. (Tekniikan Maailma, 2024). Nykyään yleisesti käytössä olevat R410A ja R32- kylmäaineet eivät tuhoa otsonikerrosta, mutta tulevaisuudessa nämäkin kylmäaineet tullaan hyvin todennäköisesti kieltämättään ja tilalle kehitetään ympäristöystävällisempi kylmäaine. (Scanoffice, 2020).

4.2 Lämpökerroin ja lämmitys

Lämpökerroin kertoo kulutetun ja tuotetun energian suhteen, eli kuinka monta kilowattia laite tuottaa jokaista kulutettua kilowattia kohden. Tästä käytetään nimitystä COP-arvo, tämä lyhenne tulee sanosta *Coefficient Of Performance* tai vaihtoehtoisesti *Capacity Of Performance*. Esimerkiksi COP arvon ollessa 4 tarkoittaa tämä, että 1 kW sähkön ottoteholla saadaan tuotettua 4 kW lämpötehoa. COP-arvo määrittelee kuinka, energiatehokas laite on, eli mitä korkeampi COP-arvo sitä parempi hyötysuhde. (Perälä & Perälä 2013, 30).



Kuva 10. Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate (Heatpumpsolutions, ei pvm)

COP-arvo ei kerro koko lämmityskauden keskiarvoa lämpötilojen vaihtelujen vuoksi. Tästä syystä on hyvä myös tarkastella SCOP-arvoa, joka tulee sanoista *Seasonal Coefficient Of Performance*, eli lämmityskauden lämpökerroin. SCOP-arvo on luotettavampi ilmalämpöpumppujen energiatehokkuuden vertailuun. (Perälä & Perälä 2013, 32; Toshiba, ei pvm.) Laskennallisesti COP-arvo voidaan selvittää seuraavalla kaavalla:

$$COP = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad (23)$$

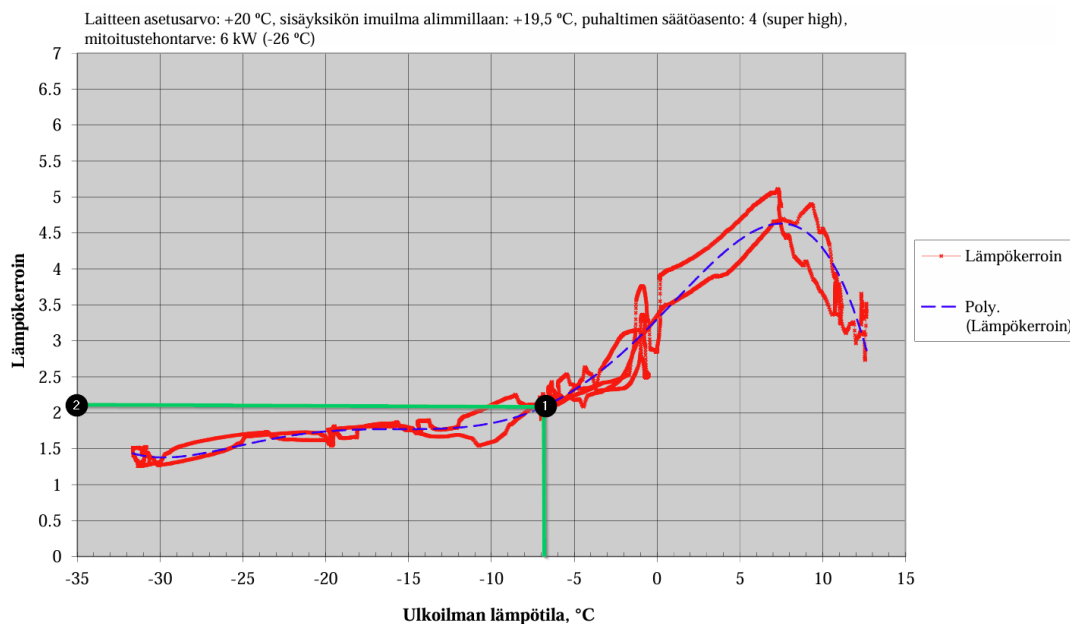
(Perälä & Perälä 2013, 30.)

Kaavassa T_1 on kohteen ulkoilmalämpötila ja T_2 kohteen sisälämpötila. Lämpötilat on ilmoitettava absoluuttisina arvoina eli Kelvin yksiköinä summaamalla mitattuun $^{\circ}\text{C}$ -arvoon 273,15 K:

$$COP = \frac{21\text{ }^{\circ}\text{C} + 273,15\text{ K}}{(21\text{ }^{\circ}\text{C} + 273,15\text{ K}) - (-10\text{ }^{\circ}\text{C} + 273,15\text{ K})} = 9,4 \quad (24)$$

Teoreettinen COP-arvo on $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ulkolämpötilassa on 9,4. Tämä tarkoittaa, että ilmalämpöpumppu tuottaa 9,4 kW lämpöenergiaa jokaista kuluttamaansa kilowattituntia kohden. Tästä energiasta 1 kW tulee sähköverkosta, ja loput 8,4 kW on ulkoilmasta kerättyä lämpöenergiaa. Laskennassa on huomioitava, että COP-arvo on vain teoreettinen eikä sovellu täydellisesti ilmalämpöpumppujen vertailuun.

Tästä syystä ilmalämpöpumppuja vertaillessa kannattaa kiinnittää huomiota SCOP-arvoon, joka on tärkeässä roolissa takaisinmaksuaikaa laskettaessa. SCOP-arvo on luotettava vain silloin kun se on saatu Suomea vastaavissa testiolosuhteissa (Toshiba, ei pvm.) Kuvassa 11. on esitetty VTT:n, eli Teknologian tutkimuskeskuksen raportti Mitsubishi MSZ-FT25VGK ilmalämpöpumpun toimintakoosteesta, josta selviää ulkolämpötilan vaikutus lämpökertoimeen.

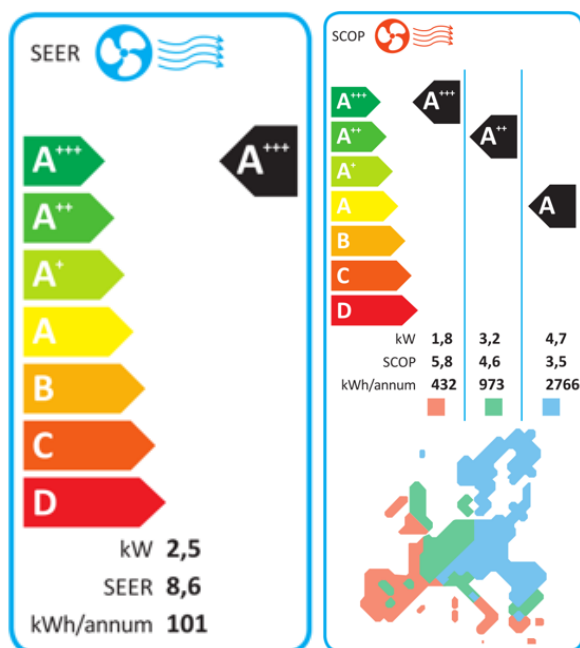


Kuva 11. Ilmalämpöpumpun lämpökertoain toimintakokeen aikana (VTT-testiraportti, 2021)

Kuvasta 11. voidaan selvästi havaita ulkolämpötilan merkittävä vaikutus lämpökertoimeen. Ulkolämpötilan ollessa -20 °C lämpökertoain laskee 1,5 tasolle, mutta ulkolämpötilan noustessa 7 °C:een lämpökertoain nousee 4,5:n yli. Tämä osoittaa laitteen suorituskyvyn heikkenemisen kylmissä olosuhteissa.

4.3 Taloudellisuus lämmityksessä

Taloudellista kannattavuutta laskettaessa on oltava tiedossa laitteen COP tai SCOP-arvo, joka löytyy useimmiten energiatarhasta, valmistajan esitteestä tai jälleenmyyjältä. Esimerkiksi Mitsubishi MSZ-FT25VGK ilmalämpöpumpun SCOP-arvo on 3,5 ja laitteen teho 4,7 kW – 15 °C lämpötilassa.



Kuva 12. Ilmalämpöpumpun SCOP- ja SEER-merkinnät (Mitsubishi Electric, ei pvm.)

Laskennallisesti voidaan arvioida, kuinka paljon laite tuottaa lämpöenergiaa marraskuusta helmikuu-
hun, eli kylmimpien talvikuukausien aikana, jolloin lämmitystarve on suurimmillaan. Laskentamallissa
oletetaan, että lämpötila pysyy koko kauden ajan tasaisessa $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa, jolloin voidaan hyö-
dyntää valmistajan ilmoittamaa ilmalämpöpumpun tehoa:

$$h/\text{käyttökäyttöjakso} \times P_{ILP} = ILP \text{ tuottama energia kWh} \quad (25)$$

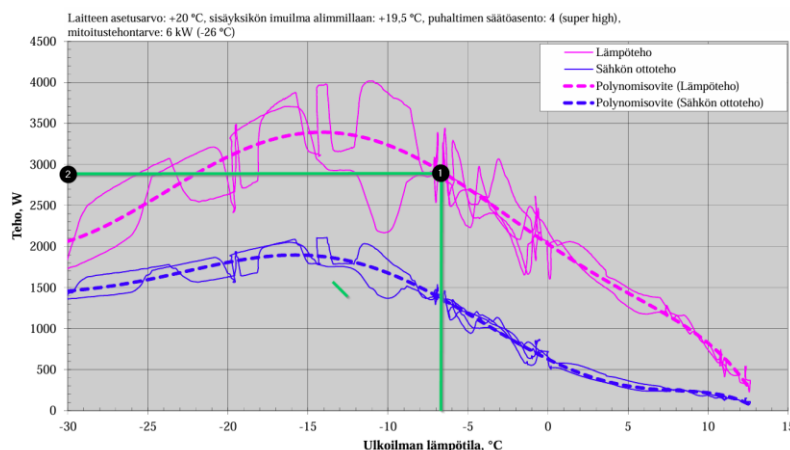
$$2880 \text{ h} \times 4,7 \text{ kW} = 13\,536 \text{ kWh}$$

Lämpötilan vaihtelut vaikuttavat merkittävästi ilmalämpöpumpun hyötysuhteeseen. Toteutuneet ul-
kolämpötilat voidaan selvittää Ilmatieteenlaitoksen ylläpitämästä tilastosta. Vuosien 2023–2024 kyl-
mimpien talvikuukausien mittaussyksöllä keskilämpötila oli $-6,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ Pohjois-Savossa taulukon 9. mu-
kaisesti. (Ilmatieteenlaitos, ei pvm.)

Taulukko 9. Lämpötilat aikavälillä marraskuu 2023-helmikuu 2024

2023-2024	$^{\circ}\text{C}$
Marraskuu	-3,6
Joulukuu	-3,7
Tammikuu	-12,5
Helmikuu	-7,9
Keskiarvo	-6,9

Laskennassa käytetään VTT:n testiraportin mittaustuloksia. Testiraportin mukaan $-6,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpöti-
lassa ilmalämpöpumpun teho on $2,9\text{ kWh}$, kuten kuvassa 13. on esitetty. Tässä lämpötilassa lämpö-
kerroin on $2,2$.



Kuva 13. Ulkolämpötilan vaikutus lämpötehoon (VTT)

Kuvassa 13. kohta 1 viittaa pisteeseen, jolloin ulkolämpötilan olleessa $-6,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ilmalämpöpumpun
lämpöteho saavuttaa $2,9\text{ kWh}$ tason pisteessä 2. Kuvassa sininen käyrä kuvastaa sähkön ottotehoa,
eli sitä tehoa, jonka ilmalämpöpumppu ottaa sähköverkosta. Käyrien välissä oleva tyhjä alue havain-
nollistaa hyötysuhdetta. Mitä suurempi lämpötehon ja sähkön ottotehon välinen ero on, sitä korke-
ampi on laitteen hyötysuhde.

Lasketaan muuttuneilla lämpötila-arvoilla ilmalämpöpumpun lämpöenergiaantuotto samaiselle ajanjaksolle kaavalla 26:

$$2880 \text{ h} \times 2,9 \text{ kWh} = 8350 \text{ kWh} \quad (26)$$

Korjattujen alkuarvojen perusteella laskennan tulos muuttuu merkittävästi kaavan 26. mukaisesta tuloksesta. Laskennan mukaan ilmalämpöpumpun tuottama lämpöenergia on 8350 kWh. Tämän energiamäärän tuottamiseen tarvittava sähköenergia voidaan laskea kaavalla 27:

$$\frac{\text{ILP energian tuotanto kWh}}{\text{COP}} \quad (27)$$

$$= \text{IPL:n käyttämä sähköenergia kWh}$$

$$\frac{8350 \text{ kWh}}{2,2} = 3795 \text{ kWh}$$

Ilmalämpöpumpun lämmitykseen tarvitsema sähköenergia on 3795 kWh. Laskennallisesti tuotettu ja kulutettu teho on tiedossa, joten ilmaisen lämpöenergian osuus voidaan määrittää seuraavasti:

$$\text{ILP:n energian tuotanto kWh} - \text{ILP:n käyttämä sähköenergia kWh} \quad (28)$$

$$= \text{ilmaisen energian osuus kWh}$$

$$8350 \text{ kWh} - 3795 \text{ kWh} = 4555 \text{ kWh}$$

Taloudellista kannattavuutta arvioitaessa tarkastellaan pörssisähkön hintaa ajanjaksolta marraskuu-helmikuu 2023–2024. Sähkön keskihinta tällä ajanjaksolla on 9,46 snt/kWh. Tämän lisäksi kokonaiskustannuksiin vaikuttaa siirtomaksut sekä sähkö- ja arvonlisäverot, jotka huomioidaan laskennassa.

Taulukko 10. Pörssisähkön hinta marraskuu 2023-helmikuu 2024

2023-2024	snt/kWh
Marraskuu	8,8
Joulukuu	9,46
Tammikuu	13,18
Helmikuu	6,4
Keskiarvo	9,46

Lasketaan sähkön kokonaiskustannus kaavan 29. mukaisesti ja ilmalämpöpumpusta syntyneet rahalliset säästöt kaavan 30. ja 31. avulla. Näiden kolmen kaavan avulla voidaan arvioida, kuinka paljon ostosähköstä aiheutuu kustannuksia ja kuinka paljon ilmalämpöpumppu voi tuoda rahallisia säästöjä.

$$\left(\text{ostohinta} \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + \text{siirtohint} \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + \text{sähkövero} \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \right) \times (1 + \text{alv } \%) \quad (29)$$

$$= \text{sähkön hinta kWh}$$

$$\left(9,46 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + 3,31 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + 2,253 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \right) \times (1 + 0,255) = 18,85 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}}$$

$$\text{sähkön hinta kWh} \times \text{ilmaisen energian osuus kWh} \quad (30)$$

$$= \text{vuosisäästö €}$$

$$18,63 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \times 4555 \text{ kWh} = 858,6 \text{ €}$$

$$\text{ILP: n arvioitu käyttöikä} \times \text{vuosisäästö €} \quad (31)$$

$$= \text{elinkaarisäästöt €}$$

$$15 \text{ vuotta} \times 849 \text{ €} = 12\,879 \text{ €}$$

Tämä ilmalämpöpumpun tuottama lämpöenergia säästää laitteen 15 vuoden elinkaaren aikana lämmityskustannuksissa yhteensä 12 879 €. Säästöt voivat kuitenkin vaihdella mahdollisten huolto- ja ylläpitokustannusten, sähkön hinnan muutokset ja ulkolämpötilojen vaihtelujen vuoksi. Lisäksi laitteen hyötysuhde voi heikentyä, mikä vaikuttaa kokonaissäästöihin.

4.4 Kylmäkerroin ja jäähdytys

Ilmalämpöpumppu tuo merkittävää hyötyä lämmityskaudella, mutta myös helpotusta kesäkauden kuumuuteen. Ilmalämpöpumpulla voidaan energiatehokkaasti siirtää lämpöä sisäilmasta ulos, joka toimii siis käänteisenä lämmityksenä. Tässä tapauksessa kylmäaine höyrystyy sisäyksikössä sekä viilentää kennon, jonka jälkeen ulkoyksikössä kylmäaine taas nesteytyy ja vapauttaa lämpöenergian. (Scanoffice, ei pvm.)

Ilmalämpöpumpulla voidaan sisälämpötila viilentää 2–5 astetta ulkolämpötilaa viileämmäksi, mutta suositeltavaa on säätää viilennys pari astetta ulkolämpötilaa pienemmäksi, ettei asuintilat tunnu jääkaapilta. Jäähdytystarvetta suunniteltaessa on huomioitava ikkunoiden koko ja suuntaus, rakenne- materiaalit, kiinteistön koko. (Alavuden LVI, ei pvm.)

Ilmalämpöpumpun jäähdytyksestä puhuttaessa käytetään nimitystä SEER-arvo, jäähdytyksen kylmäkerroin, joka tukee sanoista *Seasonal Energy Efficiency Ratio*. Tämä arvo kertoo, kuinka tehokkaasti sähköenergia saadaan muutettua jäähdytysenergiaksi, esimerkiksi Mitsubishi MSZ-FT25VGK ilmalämpöpumpun SEER-arvo on energiamerkinnän mukaan 8,6. Tämän perusteella kyseinen ilmalämpöpumppu tuottaa 8,6 kertaisesti kulutetun energian verran jäähdytysenergiaa, eli jos kulutetaan 1 kWh sähköenergiaa, saadaan 8,6 kWh jäähdytysenergiaa. (Perälä & Perälä 2013, 32; Scanoffice, ei pvm.; valmistajan käyttöohje).

4.5 Taloudellisuus jäähdytyksessä

Kiinteistön jäähdyttäminen on ilmalämpöpumpulla edullista ja energiatehokasta. Tämä johtuu siitä, että Suomen ilmastossa jäähdytystarve on suhteellisen vähäinen ja lyhykestoinen. Lasketaan kustannukset jäähdytykselle olettaen, että ilmalämpöpumppu on toiminnassa ympäri vuorokauden. Laskelmissa ei huomioida mahdollisia perus- tai kuukausimaksuja. Kuvan 12. Energiamerkinnän mukaan laitteen SEER arvo on 8,6 ja nimellinen sähkönkulutus 2,5 kWh.

Kaavalla 32. voidaan laskea valitulla ajanjaksolla jäähdytykseen kulunut energiamäärä:

$$P_{ILP} \times vrk \times h = \text{Jäähdytykseen kulunut energia kWh} \quad (32)$$

$$0,250 \text{ kWh} \times 30 \text{ vrk} \times 24 \text{ h} = 180 \text{ kWh}$$

Ilmalämpöpumpun energiankulutus kyseisellä ajanjaksolla on 180 kWh. Tiedossa on kesän 2024 sähkön pörssihinta, joten voidaan laskea aiheutuneet kustannukset kaavalla 33. Yhden kesäkuukauden jäähdytyskustannukset ovat tällöin 22,4 €. Tämä vastaa 0,74 € vuorokautta kohden:

$$\left(2,624 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + 4,19 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} + 2,253 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}}\right) \times (1 + 0,255) = 12,06 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \quad (33)$$

$$12,44 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \times 180 \text{ kWh} = 21,70 \text{ €}$$

4.6 Ilmalämpöpumpun käyttökustannukset ja tuotto esimerkikohteessa

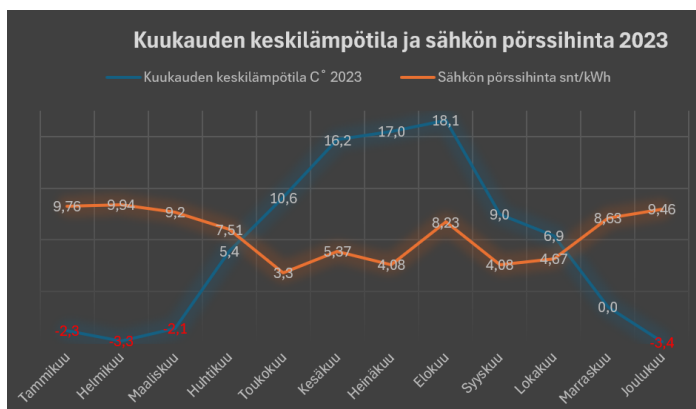
Ilmalämpöpumpun avulla voidaan saavuttaa kustannussäästöjä verrattuna suoraan sähkölämmitykseen. Optimaalisessa tilanteessa säästöt voivat olla jopa 50 % lämmityskustannuksista. Tämä edellyttää, että ilmalämpöpumpun valinnassa on huomioitu kohteen käyttötarkoitus ja ympäröivät olosuhteet. Suurin hyöty ilmalämpöpumpusta saadaan sen oikeanlaisella käytöllä ja säädöillä, esimerkiksi päälämmön lähde olisi hyvä säätää muutaman asteen viileämmälle kuin ilmalämpöpumppu, jotta lämmönlähteet eivät kilpaile keskenään vaan tukevat toisiaan. (Scanoffice, 2024; Rakennustarkkailija, 2023).

Käyttökustannuksia syntyy määräaikaishuolloista, jotka olisi hyvä tehdä 3–5 vuoden välein ammattilaisen toimesta. Huoltoon kuuluu yleensä puhaltimen, ilmapanavien- ja ohjainten puhdistus sekä kylmäprosessin toiminnan tarkastus. Huollon yhteydessä sisäyksikön kenno on pestävä ja varmistettava kondenssiveden kierrätysjärjestelmän toiminta. Näillä toimenpiteillä ilmalämpöpumpun teho ja hyötysuhde säilyy. (Perälä & Perälä 2013, 100, Teho-Posako, ei pvm.).

Suorasähkölämmitteisissä kohteissa, joissa vuotuinen lämmityksen sähkönkulutus on 15 000 kWh ja sähkön kokonaishinta on 15,75 snt/kWh, sähkön kokonaiskustannus lasketaan kaavan 34. mukaisesti:

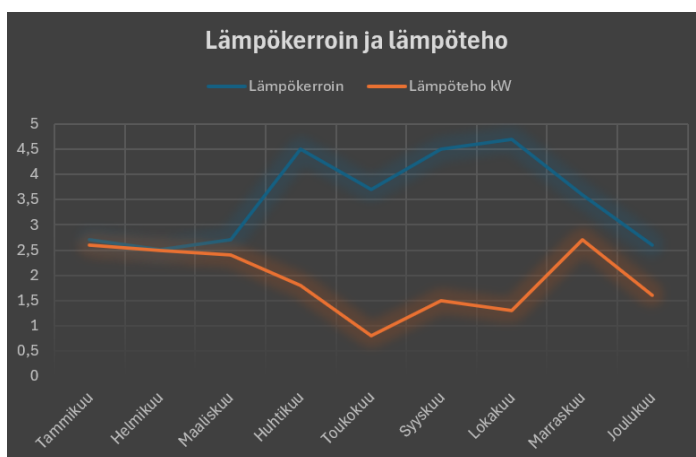
$$15,75 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \times 15\,000 \text{ kWh} = 2316 \text{ €} \quad (34)$$

Hankitaan kohteeseen ilmalämpöpumppu, jolla pyritään kattamaan osa lämmitystarpeesta. Ilmalämpöpumpun lämpökerroin vaihtelee pohjolan olosuhteissa kuvan 11. mukaisesti. Tästä syystä vertailu on tehtävä kuukausikohtaisesti, jolloin voidaan huomioida kuukauden keskilämpötila ja valita lasketaan sen perusteella realistiset lämpökertoimet ja ilmalämpöpumpun tuottama lämpöteho. Käytetään laskennassa vuoden 2023 kuukausikohtaista keskilämpötilaa ja sähkönpörssihintaa. Lämpötilan mitaustulokset ovat Kouvolan mittausasemalta. (ilmatieteenlaitos, ei pvm.)



Kuva 14. Kuukauden keskilämpötila ja sähkön pörssihinta 2023

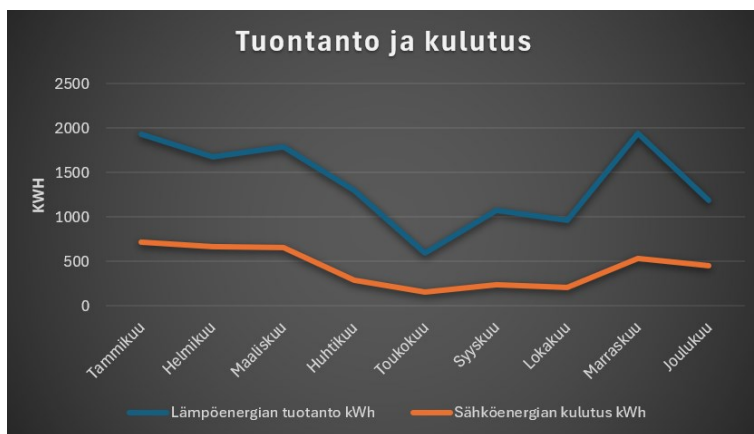
Jokaiselle lämmityskuukaudelle poimitaan ilmalämpöpumpun lämpökerroin ja lämpöteho kuvista 11. ja 13. Lämpöteho ja COP-arvo vaihtelee eri ulkolämpötiloissa, joten tällä toimenpiteellä laskennasta tulee mahdollisimman realistinen. Kesä-elokuussa kohdetta ei tarvitse lämmittää ilmalämpöpumpulla, joten nämä kuukaudet jätetään pois laskennassa.



Kuva 15. Lämpökerroin ja lämpöteho

Kuvasta 15. on havaittavissa, että lämpökerroin saavuttaa valmistajan ilmoittaman tason vasta kun ulkolämpötila lähenee 7 C° huhtikuussa. Joulukuu oli vuoden 2023 kylmin kuukausi lämpötilan olessa keskiarvoltaan -3,4 C°, jolloin lämpökerroin oli 2,6 ja lämpöteho 1,6 kW. Ilmalämpöpumpun kuukausikohtainen lämpöenergiaantuotto saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

$$h/kk \times \text{lämpöteho kWh} = \text{tuotto kWh} \quad (35)$$



Kuva 16. Lämpöenergian tuotanto ja ilmalämpöpumpun tarvitsema sähköenergia

Kuvassa 16. on esitetty ilmalämpöpumpun tuoton ja kulutuksen vertailu. Hyötysuhde on ollut parhaimmillaan joulu-tammikuussa, kun ulkolämpötila on ollut yli -3 C° . Ilmalämpöpumppu tuottaa tarkasteltavan ajanjakson aikana yhteensä 12 473 kWh energiaa. Sähköenergian kulutus on ollut 3 942 kWh, joka voidaan laskea kaavan 36. mukaisesti:

$$\frac{\text{Lämpöenergian tuotanto kWh}}{\text{Lämpökerroin}} = \text{kulutus kWh} \quad (36)$$

Laskennallisesti 12 473 kWh lämpöenergian tuottaminen ilmalämpöpumpulla vaatii 3942 kWh sähköenergiaa tarkastelujakson aikana. Lämmitystarpeen kattamiseksi kohteeseen on ostettava verkosta energiamäärä, joka vastaa lämmitystarpeen ja ilmalämpöpumpulla tuotetun energian erotusta:

$$\begin{aligned} &\text{lämpöenergian tarve kWh} - \text{tuotettu lämpöenergia kWh} \\ &= \text{sähkölämmityksen osuus kWh} \\ &15\,000\text{ kWh} - 12\,473 = 2527\text{ kWh} \end{aligned} \quad (37)$$

Kohteen lämmitykseen kuluu sähköenergiaa 2 527 kWh suorasähkölämmitykseen ja ilmalämpöpumpun käyttöön 3 942 kWh. Lämmityksestä aiheutuvat kustannukset voidaan laskea kaavan 38 mukaisesti:

$$\begin{aligned} &\text{sähkön hinta snt/kWh} \times (\text{ILP:n käyt. energia kWh} + \text{sähk. läm osuus kWh}) \\ &= \text{lämmityskustannukset €} \\ &15,72 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \times (3942\text{ kWh} + 2527\text{ kWh}) = 1017\text{ €} \end{aligned} \quad (38)$$

Ilmalämpöpumpun osuus lämmityskustannuksista on 620 €, jolloin kokonaislämmityskustannukset ovat 1017 €. Alkuperäiset lämmityskustannukset olivat 2316 €, joten ilmalämpöpumpun hankinnan myötä kustannukset pienevät 1299 euroa tarkastelujaksolla. Laskelmissa oletetaan, että ilmalämpöpumpun sisäyksikön imuilman lämpötila ei laske alle $19,5\text{ C}^\circ$, ja laite toimii täydellä teholla koko tarkastelujakson ajan. Näiden tulosten perusteella ilmalämpöpumpulla voidaan saavuttaa yli 50 % säästö lämmityskustannuksista laboratorio-olosuhteissa.

Laskennan perusteella kokonaisenergiankulutus väheni kaavan 39. mukaisesti 56,8 prosenttia:

$$\frac{\textit{kulutettu sähköenergia kWh}}{\textit{alkuperäinen sähköenergian tarve kWh}} \times 100 \quad (39)$$

= *kulutuksen vähenemä %*

$$\frac{8531 \textit{ kWh}}{15000 \textit{ kWh}} \times 100 = 56,8 \%$$

Optimaalisissa olosuhteissa ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika jää alle kahden vuoden. Investointi maksaa itsensä takaisin nopeasti lämmityskustannusten säästöjen kautta. Takaisinmaksuaikaa voidaan arvioida seuraavalla kaavalla:

$$\frac{\textit{Investointikustannukset}}{\textit{lämm.kust ilmam ILP + lämm.kust ILP asennettuna}} \quad (40)$$

= *takaisinmaksuaika*

$$\frac{2500 \textit{ €}}{2316 \textit{ €} - 1017 \textit{ €}} = 1,9 \textit{ vuotta}$$

Investointi rahoitetaan kokonaisuudessa lainalla, jonka korko on 23,1 %. Tässä tapauksessa kustannukset nousevat 1732,5 euroa ja investointikustannus on 4232,5 € kaavan 41. mukaisesti:

$$\frac{\textit{pääoma €} \times \textit{korko \%} \times \textit{maksuaika v}}{100} = \textit{korko €} \quad (41)$$

$$\frac{2500 \textit{ €} \times 23,1 \% \times 2}{100} = 1732,5 \textit{ €}$$

pääoma € + korko € = investointikustannus €

$$2500 \textit{ €} + 1732,5 \textit{ €} = 4232,5 \textit{ €}$$

Lainarahoituksella hankitun ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika nousee 3,3 vuoteen. Investoinnin korkokustannukset voi vaikuttaa kokonaishyötyihin pitkällä aikavälillä, joka on tärkeä huomioida suunniteltaessa ilmalämpöpumpun hankintaa.

Esimerkkikohteessa oletettiin, että ilmalämpöpumppu on jatkuvassa käytössä tarkastelujakson ajan ja kiinteistön pohjaratkaisu on avoin, jolloin lämpö pääsee esteettömästi leviämään. Todellisessa olosuhteissa ilmalämpöpumpulla ei kuitenkaan pystytä korvaamaan yli 50 % lämmitystarpeesta. Motivan (ei pvm) tutkimuksessa osoitetaan, että kohteen maantieteellinen sijainti vaikuttaa myös ilmalämpöpumpun tehokkuuteen. Motivan raportin mukaan parempia tuloksia on saatu lauhemmilla alueilla verrattuna Pohjois-Suomen vaativiin olosuhteisiin. Suurimmat säästöt lämmityskustannuksista saavutetaan kohteissa, joissa tarvitaan paljon lämmitystehoa. Tällöin takaisinmaksuaika on noin 3,8–6,4 vuotta. (Motiva, ei pvm.)

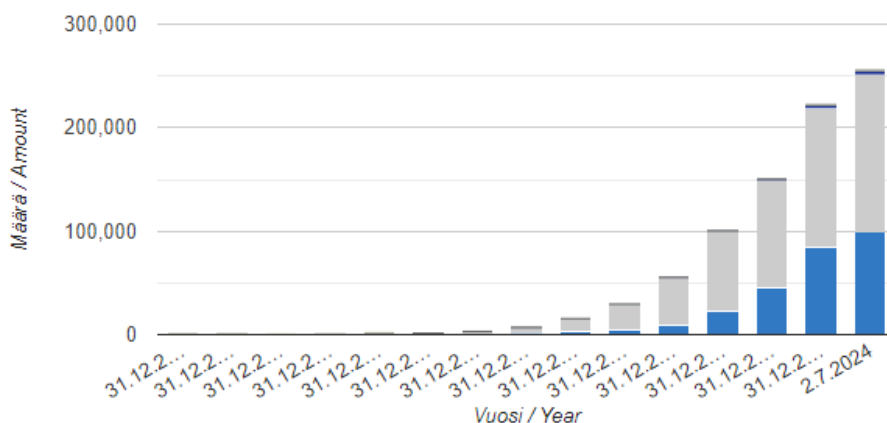
5 SÄHKÖAUTOT

Sähköautoilu ei ole mikään uusi keksintö, vaikkakin se on nykyään vasta levinnyt ihmisten tietoisuuteen. Ensimmäinen sähköauto kehitettiin jo 1884 sähköinsinööri Thomas Parkerin toimesta, auto kulki vain muutaman kilometrin tuntinopeudella, mutta tästä kaikki alkoi. Muutama vuosi myöhemmin, vuonna 1889 Belgialainen Camille Jentazy kehitti ja rakensi sähköauton, joka kulki jo testiolosuhteissa yli 100 km/h. Sähköautot alkoivat yleistyä Yhdysvalloissa 1900-luvulla ja Suomeenkin ensimmäinen sähköauto saatiin vuonna 1909. (Teslasuomi, 2022; Yleisradio, 2024).

Sähköautot eivät kuitenkaan yleistyneet riittävästi, koska polttomoottoriautot olivat huomattavasti edullisempi valmistaa. Edes öljykriisi 70-luvulla ei auttanut houkuttelemaan riittävästi autovalmistajia tarttumaan sähköautojen kehitykseen, joten sähköautojen kehitys pidettiin pöytälaatikossa aina 2000-luvun alkupuoliskolle asti. Vuonna 2006 Tesla Motors julkaisi suunnitelmansa sähköauton tuotannosta, tästä innostui monet autovalmistajat ja kehityssuunnitelmat kaivettiin taas pöytälaatikosta. (Teslasuomi, 2022).

Sähköautojen yleistyminen 2010-luvulla on vaatinut monta teknologista läpimurtoa, esimerkiksi matkapuhelimien kehityksen, joka sai aikaan akkujen kehitykseen harppauksen. Nykyään sähköautot yleistyvät nopeasti, tähän on monia syitä, mutta suurimmat syyt on Euroopan unionin ilmastotavoitteet, öljyriippuvuuden vähentäminen sekä akkujen kehityksen vaikutus valmistuskustannuksiin. Kuluttajan näkökulmasta sähköautojen etu oli hiljainen käyntiääni ja vähäiset päästöt jo 1900-luvulla, ja on nykyäänkin. (Teslasuomi, 2022; Yleisradio, 2024).

Sähköauto tarvitsee toimiakseen nimensä mukaansa sähköenergiaa, joten se vaatii tähän tarkoitukseen soveltuvan latausaseman. Yleisradion mukaan (2016) Suomen silloisen hallituksen tavoite oli saada 250 000 sähköautoa ja lataushybridiä Suomen teille vuoteen 2030 mennessä. Liikenne- ja viestintäministeriön työryhmän raportissa (2020, 38) Suomen tavoite sähköautoissa olisi jopa 700 000 kappaletta, joten latausasemille on jatkossa suurta kysyntää.



Kuva 17. Liikennekäytössä olevien sähköautojen määrät Suomessa (Autoalan tiedotuskeskus, 2024)

Heinäkuussa 2024 Suomessa oli jo 99 312 kappaletta täyssähköautoja liikennekäytössä, aikaisempiin vuosiin verrattuna kysyntä on laskenut, mutta edelleen nousujohteinen. Kysynnän heikentymiseen on vaikuttanut sähkön hinnan vaihtelut ja valtion tarjoaman hankintatuen päätyminen vuonna 2022. (Autoalan tiedotuskeskus, 2024; ST-käsikirja 41, 13). Tämän perusteella Liikenne- ja viestintäministeriön ilmoittama tavoite sähköautojen määrän suhteen voi olla haastava saavuttaa, ellei lisätoimenpiteitä oteta käyttöön. Raportissa mainitaankin, että edistääkseen sähköautojen määrää on latausmahdollisuuksia lisättävä haja-asutusalueilla ja taloyhtiöissä sekä kannustettava vaihtamaan polttomoottoriauto sähköautoon erilaisin ohjauskeinoin, kuten vero- ja hankintatuilla. (Liikenne- ja viestintäministeriön raportti 2020, 39.)

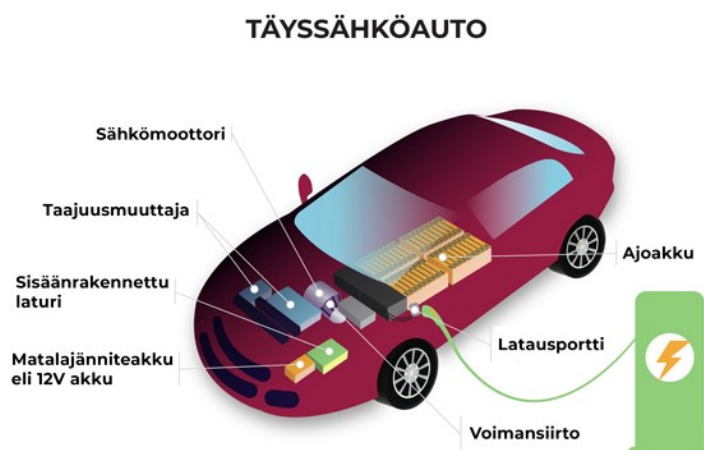
5.1 Sähköauton perusmekaniikka

Sähköautossa on induktiomoottori tai kestopagneettimoottori, jotka saa sähköenergiansa yhdestä tai useammasta akusta, jotka puolestaan koostuvat useista kennoista. Taajuusmuuttajalla sähköenergia muunnetaan oikeaan muotoon ja ohjataan moottoria sekä säädetään kierrosnopeutta. Sähköautosta löytyy pääakun lisäksi 12–24 V akku apulaitteille. (Projektiloota, 2021; Motiva, 2024.)

Induktiomoottorin roottori muodostuu oikosuljetusta käämistä, kun taas kestopagneettimoottorin roottori muodostuu kestopagneetista. Sähköautoissa induktiomoottori on yleisempi vaihtoehto, koska siinä on parempi rasituksen kesto ja se pystyy pyörimään vapaasti eikä tarvitse jatkuvasti sähköenergiaa. Moottorit pystyvät tuottamaan myös sähköä auton akulle, eli toimivat generaattorina hyödyntämällä jarrutusenergiaa. (Projektiloota, 2021; Motiva, 2024.)

Moottoreita ohjataan taajuusmuuttajalla, joka on moottorin ja akun välissä säätiäen moottorille tulevaa virtaa tai vaihtoehtoisesti kun moottorit toimivat generaattorina taajuusmuuttaja muuntaa virran akulle sopivaksi tasasähköksi.

Taajuusmuuttajaa ohjataan kaasupolkimella, jolla siis määritellään virran määrä, eli kuinka kovasti auto liikkuu. Sähköautossa on integroituna latausyksikkö eli laturi, jonka kautta sähkövirta menee akulle. Laturin tehtävänä on muuntaa vaihtovirta akulle sopivaksi tasavirraksi, koska akku pystyy ainoastaan varastoimaan tasavirtaa. (Projektiloota, 2021.)



Kuva 18. Täyssähköauton tekniikka (Motiva, 2024)

5.2 Sähköauton akku

Sähköautojen akkujen kapasiteetit on kasvaneet valmistuskustannusten pienentyessä. Nykyään akkujen kapasiteetit ovat 40–100 kWh välillä automallin mukaan. Sähköauton akku kostuu tuhansista toisiinsa kytketyistä litiumkennoista. Pienet kennot mahdollistavat akun nopean jäähtymisen. Jäähdytystä tehostaa kennojen välissä kulkeva jäähdytysneste.

Periaatteessa sähköautojen akkua jäähdytetään samalla periaatteella kuin polttomoottoriauton moottoria; auton etuosassa on syläri, eli jäähdytin, joka on täytetty jäähdytysnesteellä ilmavirta jäähdyttää jäähdytysnesteen ja jäähtynyt neste pumpataan akkukennojen väliin. Toisaalta taas Suomen olosuhteissa akkukennoja voidaan lämmittää samalla ratkaisulla talvipakkasilla. (Motiva, 2024; Projektiloota, 2021; ST-käsikirja 41, 40).

Keskimäärin akun litiumkenno tuottaa 3,7 V jännitteen riippuen varaustilasta. Näitä kennoja on kytketty sarjaan, jotta jännite nousee ja sekä rinnan, jolloin virranluovutuskyky kasvaa. Yleisin kenno muodostuu katodista, jonka alumiinisen levyn pinnalla on litiummetallioksidia Li_2O ja anodista, jonka kuparisen virrankerääjälevyn pinnassa on grafiittia C . Näiden välissä on separaattori, jonka sisällä on elektrolyyttiliuosta, jotta litiumit pääsevät liikkumaan anodin ja katodin välillä. Akun ominaisuuksiin vaikuttaa suuresti katodin aktiivimateriaali, esimerkiksi halvemmän hintaluokan sähköautoissa käytetään LEF-akkuja, joissa katodimateriaalina on litiumrautafosfaattia $LiFePO$. Litiumrautafosfaattia käytettäessä ei tarvita kobolttia Co , joka on kallista ja harvinaista, vaan voidaan käyttää maapallolta helposti löytyvää litiumia Li , rautaa Fe ja fosforia P . Näiden materiaalien käyttö alentaa kennon jännitettä, joka taas tarkoittaa sitä, että kennoja pitää kytkeä sarjaan enemmän, joka taas lisää akun kokonaismassaa. Riippumatta valmistusmateriaaleista riittävä määrä kennomattoja pakataan moduuleiksi ja kytketään sarjaan sekä sijoitetaan kestävään akkukoteloon. (ST-käsikirja 41, 40).

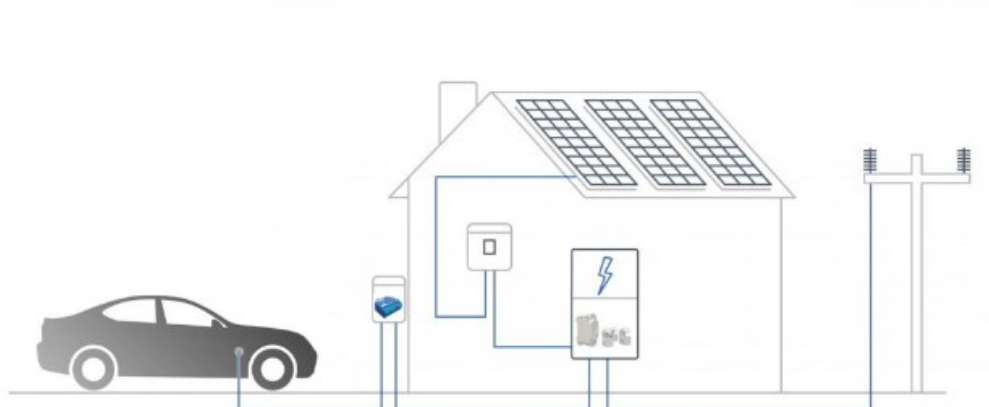
Sähköautojen toimintasäde vaihtelee hyvinkin paljon, mutta lähtökohtaisesti automallin mukaan se on 100–500 km välillä. Mitä enemmän autoon saadaan mahtumaan litiumkennoja, sitä parempi auton toimintakapasiteetti on. Akku lisää merkittävästi auton kokonaismassaa, mutta yleensä se sijoitetaan auton pohjaan, joten painopiste ja ajettavuus pysyy hyvänä. (Projektiloota, 2021).



Kuva 19. Akusto kotelossa (Nissan, 2019)

5.3 Sähköauton lataaminen

Sähköauton onnistuu yleisillä latausasemilla tai kotona olevalla latauspisteellä. Sähköautoa voidaan ladata vaihtovirralla tai tasavirralla, koska vaihtovirta kulkee akkuun auton oman laturin kautta ja muuttaa sen akulle sopivaksi tasavirraksi. Vaihtovirralla lataaminen on hieman hitaampaa, koska vaihtovirran muuntaminen vaihtovirraksi ottaa hieman aikaa auton sisäiseltä OBC-latauslaitteelta. Sähköauton lataus onnistuu pistorasiasta käyttämällä autoon soveltuvaa latausjohtoa, mutta tämä ei sovellu säännölliseen lataukseen, koska se on hidasta ja paloturvallisuusriskit kasvavat. (ST-käsikirja 41, 46; Motiva, 2024).



Kuva 20. Sähköauton lataaminen (kWhNet, ei pvm)

5.4 Kotitalouslaturi

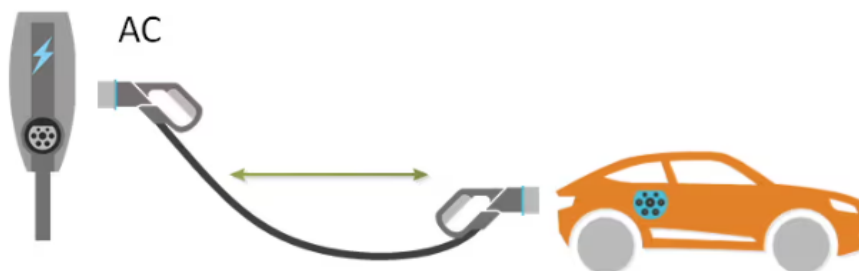
Kiinteä AC-laturi on suositeltava tapa ladata sähköautoa seinä- tai tolppalatauspisteestä, tällaisen laturin latausteho on 3,6–11 kW välillä riippuen laitteesta ja sähköteknisestä kapasiteetista. Tällaisessa latauspisteessä nopeampi energiansiirtonopeus verrattuna pistokkeeseen. Paloturvallisuusriskit pienevät merkittävästi, koska kiinteä AC-laturin järjestelmä tarkistaa, että latausjohto on kiinnitetty turvallisesti ja oikein sekä se on suojattu ylikuormitukselta. Kotitalouskäyttöön soveltuva AC-laturi on lähtökohtaisesti mahdollista asentaa kohteeseen aina, joko seinään tai erillisellä asennusadapterilla lohkopistorasiatolppaan. (ST-käsikirja 41, 48).



Kuva 21. Kotitalouslaturi (Nordic plug, ei pvm)

5.5 Pika- ja suurteholaturi

Nopeampaa latausta on saatavissa pikalatauspisteillä, jossa syötetään suoraan akulle soveltuvaa tasasähkövirtaa, tällöin tarkoitetaan mahdollisuutta ladata sähköautoa yli 50 kW tasajännitteellä. Tällaisia latauspisteitä on lähtökohtaisesti saatavilla huoltoasemien yhteydestä. Kaikissa sähköautoissa ei ole mahdollisuutta pikalataukseen, vaan se vaatii erillisen liittimen tähän tarkoitukseen. Lisäksi on olemassa suurteholatureita, joiden teho nousee jopa 350 kW paikkeille. (ST-käsikirja 41, 53.)



Kuva 22. Kiinteä latausasema (Nordig plug, ei pvm)

5.6 Latauspistokkeet

Sähköautoissa on kahta erilaista latauspistoketyyppiä, tyyppi 1 ja tyyppi 2. Yhdysvaltalaiset ja Japanilaiset autonvalmistajat käyttävät 1-tyyppin pistoketta, kun taas eurooppalaiset autonvalmistajat 2-tyyppin pistoketta. Hyvin todennäköistä on, että tulevaisuudessa tulee säädös, että Euroopassa myytävät autot pitää olla soveltuvia 2-tyyppin latauspistokkeelle. 2-tyyppin liitin mahdollistaa 63 A virran syötön ja sen kautta kulkee informaatio auton ja latauslaitteen välillä akun varauksesta. (Nordicplug, 2024.)

5.7 Latausaseman mitoittaminen kotitalouksiin

Markkinoilla on usean eri teholuokan latausasemia saatavilla, tästä syystä on syytä mitoittaa latausaseman teho kohde kohtaisesti. Latausaseman mitoittamiseen ja suunnitteluun vaikuttaa muun muassa keskimääräiset ajokilometrit, akun kyky vastaanottaa latausta, kuormanhallinta, latausaseman sijainti, suojaukset ja kaapelointi. Latausaseman suunnittelun ensimmäinen prioriteetti on selvittää sähköauton käyttöaste ja latausajan tarve. Näillä tiedoilla valitaan riittävän tehokas latausasema kohteen tarpeeseen, jonka jälkeen tehdään sähkötekniinen selvitys, jossa selvitetään pääsulakkeiden koko ja kaapelointi. Sähkökäyttöinen henkilöauto kuluttaa keskimäärin 20 kWh/100 km, jota voidaan käyttää latausaseman mitoituksessa. (ST-käsikirja 41, 91). Mitoitusta laskettaessa myös tiedettävä keskimääräinen ajosuorite kilometreinä vuorokaudessa sekä toivottu latausaika. Latauspisteen mitoitusaste saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

$$\frac{20 \text{ kWh} \times S_{\text{ajosuorite}}}{t_{\text{latausaika}}} = P_{\text{latauspiste}} \quad (42)$$

(ST-käsikirja 41, 91)

Ajosuorituksen arvioitu määrä kaupunkialueella on vähintään 100 km, jonka mukaan laskenta olisi tehtävä, ellei saatavilla ole tarkempaa tietoa auton käyttöasteesta. (ST-käsikirja 41, 86.) Päivittäisen ajosuoritteen voi selvittää helposti, kun tiedossa vuosittainen ajosuorite:

$$\frac{15000 \text{ km}}{365} = 41 \text{ km} \quad (43)$$

Latausaseman tehon tarpeen selvityksen jälkeen selvitetään kyseisen laitteen soveltuvuus kiinteistöön. Kiinteistön pääsulakkeet kuluttajakohteissa ovat pääsääntöisesti 25 A tai 35 A. (Tukes, ei pvm). Kiinteistön suurin mahdollinen kolmivaiheteho P lasketaan kaavalla 44:

$$P = U \times I \times 3 \quad (44)$$

$$230 \text{ V} \times 25 \text{ A} \times 3 = 17\,250 \text{ W}$$

(Mäkelä ym. 2010, 128)

Laskennallinen kokonaiskapasiteetti 25 A pääsulakkeilla olevassa kiinteistöissä on 17,25 kW, jonka pitää riittää kaikkien kiinteistössä olevien sähkölaitteiden yhtäaikaiseen tehontarpeeseen, esimerkiksi sähkölämmitykseen, sähkökiukaaseen ja sähköauton lataamiseen. Latausaseman suojalaite valitaan niin, että selektiivisyys säilyy, jolloin ainoastaan lähimpänä vikapaikkaa oleva suojalaite reagoi ja erottaa vikapaikan verkosta sähköasennustandardin SFS 6000 mukaisesti.

Sulakekoon määrittämiseksi tulee selvittää latausaseman nimellisvirta joko laitevalmistajan toimittamista teknisistä tiedoista tai laskennallisesti kaavalla 45:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U_p \times \cos\varphi} \quad (45)$$

$$\frac{11 \text{ kW}}{\sqrt{3} \times 230 \text{ V} \times 1} = 16 \text{ A}$$

(Mäkelä 2010, 128)

Laskennassa tehokertoimen $\cos\varphi$ arvona voidaan käyttää 1, jos tarkempaa tietoa ei ole saatavilla. Kaavan 45. mukaisesti 11 kW latauslaitteelle soveltuu 16 A johdonsuojakatkaisija. Lähtökohtaisesti 11 kW latausasema sopii siis kaikkiin kotitalouksiin, koska silloin tehoa jää vielä 6 kW tarvittaessa kodin muille sähkölaitteille. Suositeltavaa on kuitenkin asentaa dynaaminen kuormanhallinta, jotta välttyään varmuuden varalta ylikuormitukselta. (Scanoffice, 2024.)

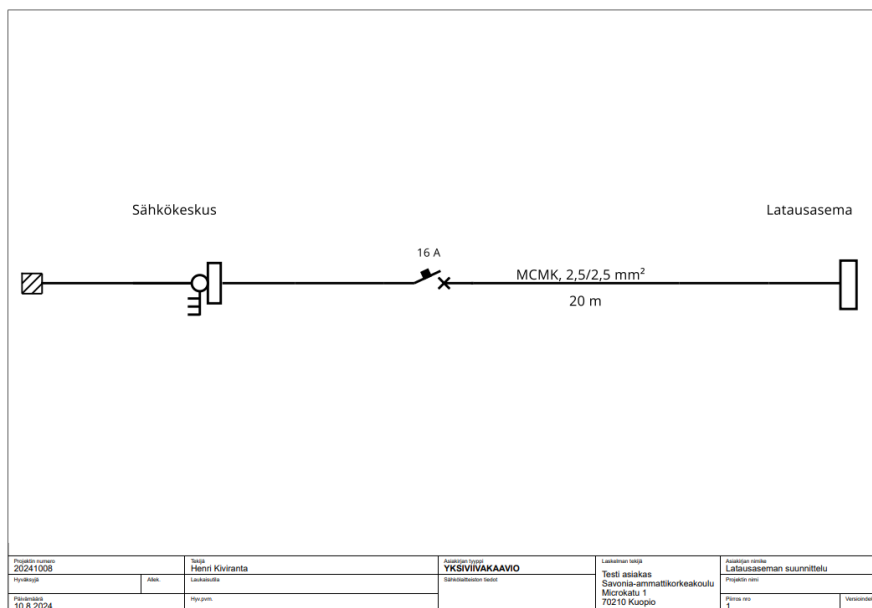
Sähkökeskuksen ja latausaseman kaapeloinnin mitoittamiseen vaikuttaa kuormitusvirta ja lämpenemä, jolloin kaapelia valittaessa on otettava huomioon kaavan 46. toteutuminen:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (46)$$

(SFS 6000-4-43:2022)

Kaavassa 46 I_B on virtapiirin mitoitusvirta, I_N on suojalaitteen mitoitusvirta ja I_Z johdonkuormitettavuus, johon vaikuttaa asennustavan ja johdon ominaisuudet.

Kaapelin mitoitus on mahdollista tehdä SFS 6000 standardin taulukon B.52.3 mukaisesti tai vaihtoehtoisesti hyödyntämällä erilaisia sähkötekniisiä suunnitteluohjelmia, kuten kuvassa 23. esitetty. Suunnitteluohjelmistot kykenevät mitoittamaan sopivan kaapelin ja laskemaan jännitehäviöt.



Kuva 23. Latausaseman syöttökaapelin mitoitus

Latausaseman kaapelin paksuus on laskettu EI-VIS suunnitteluohjelmistolla, kun lähtötietoina on ollut käytettävissä tarvittavan kaapelin pituus, asennustapa ja suojavaite. Tässä esimerkkilaskennassa kaapelointi suoritetaan putkessa seinän pinnalla, ilman lämpötilan ollessa enintään 30°C. Näillä lähtötiedoilla valittaisiin 11 kW latausaseman ja sähkökeskuksen välille MCMK 2,5 mm² voimakaapeli.

5.8 Sähköauton lataus aurinkoenergialla

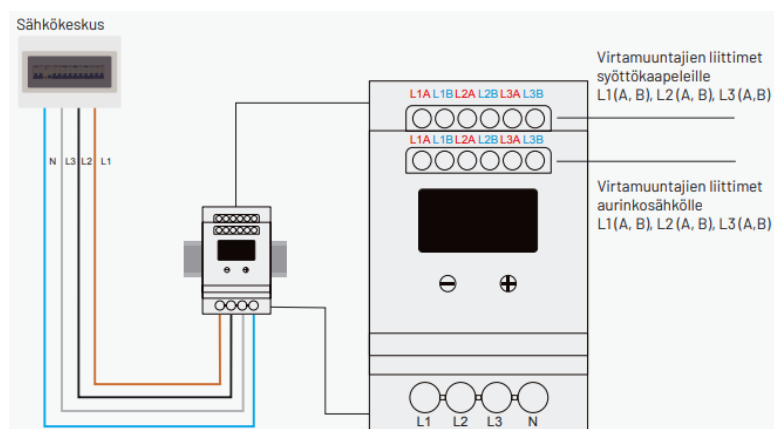
Aurinkosähkön hyödyntäminen sähköautojen latauksessa on kasvava trendi. Kiinteistöissä, joissa on asennettuna aurinkovoimala, mutta kulutus päiväaikaan hyvin pientä, kannattaa aurinkoenergiaa hyödyntää akkujen lataukseen. Sähköauton latausasemaa voidaan pitää siinä tapauksessa energian järjestelmänä, kun siinä hyödynnetään uusiutuvaa energiaa. Sähköautojen lataus aurinkoenergialle kannattaa ajoittaa erityisesti tuotannon huippuhetkiin, jotta sähköenergiasta suurin osa jää silloin kiinteistön käytettäväksi. Markkinoilta löytyy kotitalouslatausasemia, jotka sopivat erityisesti pien- ja keskisuurille tuotantokohteisiin, koska niissä on mukana tarvittavat lisälaitteet dynaamiseen kuormahallintaan, *Dynamic Load Balance*, josta käytetään lyhennettä DLB. (Scanoffice, ei pvm.; Nordicplug, 2023).

5.9 Dynaaminen kuormanhallinta

Dynaamisella kuormanhallinnalla tarkoitetaan, että latausasema säätää lataustehoa sen mukaan, kuinka paljon tehoa on saatavilla. Lataustehoa säädetään automaattisesti kiinteistön sähkönkulutuksen ja tuotannon mukaan, jolloin sähköliittymä ei pääse missään vaiheessa ylikuormittumaan.

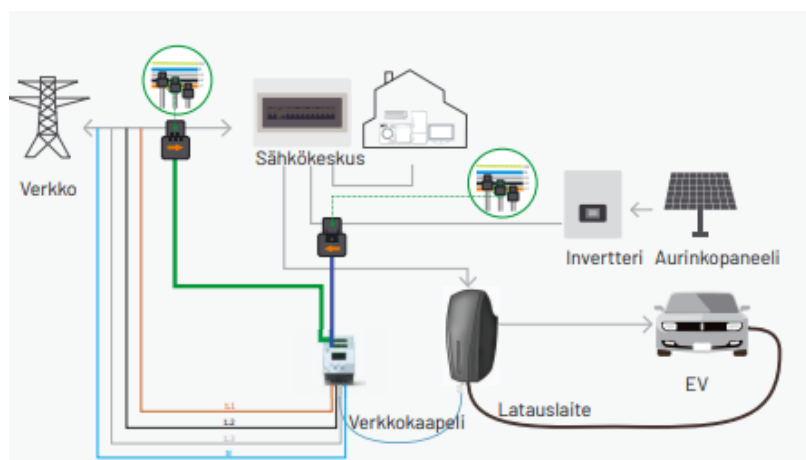
Esimerkiksi päiväaikaan kiinteistön peruskulutus on hyvin pientä, jolloin kuormanhallinnan avulla sähköautoa voidaan ladata täydellä teholla, toisaalta iltapäivällä kiinteistön kulutus kasvaa ja auton akuston latausteho laskee automaattisesti ja kapasiteetti ei pääse missään vaiheessa ylittymään. Useat eri toimijat valmistavat aurinkovoimalan kanssa yhteensopivia sähköautojen latausasemia. (Scanoffice, 2024).

Tässä opinnäytetyössä käytetään esimerkkituotteena Beny BCP-AT1N-L- latausasemaa, joka todettu varmatoimiseksi ja erittäin laadukkaiksi vaihtoehdoiksi. Beny latausasema kykenee hyödyntämään aurinkovoimalan tuottamaa ylijäämäenergiaa sähköauton akuston lataamisessa DLB-ohjaimen avulla. (Scanoffice, 2024).



Kuva 24. DLB-ohjaimen kytkentäkaavio (Scanoffice, ei pvm.)

Kuormanhallintayksikkö integroidaan sähkökeskukseen, johon kytketään *3-phase Solar DLB* virtamuuntajat, jotka mittaavat kiinteistön L1, L2 ja L3 vaiheiden virtaa sekä aurinkovoimalan vaiheiden L1, L2 ja L3 virtaa. DLB- yksikköön kyteään myös RJ45 verkkokaapeli kuormanhallintayksikön ja latausaseman välille, jonka kautta ohjain saa käyttöjännitteen. (Käyttö- ja asennusohje DLB-ohjain, ei pvm, 12).



Kuva 25. Demonstraatio järjestelmän toiminnasta (Scanoffice, ei pvm.)

Kiinteistön maksimivirta määritellään DLB-ohjaimesta, jolloin Beny- latausasema kykenee säätämään latausvirtaa välillä 0 A-32. Latausasema toimii siis aurinkosähköllä sekä verkkovirralla, koska latausasema pystyy säätämään lataustehoa aurinkopaneeleiden tuoton mukaan. Aurinkovoimaloilla varustetuissa kotitalouksissa on siis mahdollisuus optimoida sähkön kulutus hyödyntämällä tuotanto mahdollisimman tehokkaasta. (Käyttö- ja asennusohje DLB-ohjain ei pvm, 12).

6 SÄHKÖKUORMAN OHJAUS KIIINTEISTÖSSÄ

Kiinteistöissä voidaan vaikuttaa energiankulutusten kustannuksiin ohjaamalla sähkölaitteita tehokkaammin. Sääolosuhteista riippuvaisten energiatuotantomuotojen, kuten aurinkovoimaloiden yleistyessä tarvitaan dynaamista energian käyttöä, jotta kulutuksen ja tuotannon tasapaino on mahdollisimman hyvä. Teknologian kehitys ja automatiikka mahdollistaa järkevään energian käyttöön, esimerkiksi lämminvesivaraaja kytkeytyy päälle edullisen pörssisähkön aikaan tai sähkölämmitysten kytkeytyy pois päältä, kun sähkökiuas laitetaan päälle. (Shellykauppa, ei pvm.)

Aurinkosähköjärjestelmien tuotanto painottuu päiväsaikaan ja erityisesti keskipäivään, jolloin kiinteistön oletettu sähkönkulutus on pienimillään normaaliolosuhteissa. Sähköntuotanto, joka ylittää kiinteistön peruskulutuksen menee ylijäämänä sähköverkkoon. Ylijäämästä maksettava korvaus on suhteellisen pieni, joten on järkevää hyödyntää tämäkin sähköenergia kiinteistöissä mahdollisuuksien mukaan. Esimerkiksi sähkö voidaan vesivaraajan lämmitykseen, sähköauton lataukseen, akustoihin tai paljon ja uima-altaan lämmitykseen. Tällöin säästöä kertyy sähköenergiasta, sähkön-siirrosta, sähkö- ja arvonlisäverosta. Tilanteessa, jossa tuotantoa ei hyödynnetä kiinteistön omiin tarpeisiin, joudutaan pahimmassa tapauksessa ostamaan se samainen päivällä myyty ylijäämä sähkö illalla paljon korkeammalla markkinahinnalla takaisin.

Laskennassa oletetaan, että kiinteistö pystyy käyttämään ja varastoimaan kaiken aurinkovoimalan tuottaman energian. 8,6 kWp aurinkovoimalan vuosituotoksi arvioidaan 7706 kWh ja sähkön hinnaksi oheiskustannukset mukaan lukien 15,72 snt/kWh. Kohteen vuotuinen sähkölasku on ollut 2 316 €. Näillä tiedoilla aurinkosähköjärjestelmän tuottama vuotuinen säästö voidaan laskea seuraavasti:

$$15,70 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \times 7706 \text{ kWh} = 1211,4 \text{ €} \quad (47)$$

$$2316 \text{ €} - 1211,4 \text{ €} = 1104,6 \text{ €}$$

Kohteen sähkölasku pienenee 47 %, jos kaikki tuotettu energia pystytään hyödyntämään. Tämä edellyttää energian käytönhallintaa kuormanohjauksen ja varastoinnin avulla. Vaihtoehtoisesti, jos kiinteistä ei pysty hyödyntämään tuotettua energiaa, se myydään verkkoon pörssihinnalla, jonka on arvioitu olevan 7,14 snt/kWh. Tästä vähennetään ostajan välityspalkkio 0,3 snt/kWh ja lasketaan ylijäämätuotto:

$$\text{sähkön pörssihinta} \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} - \text{välityspalkkio} \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \quad (48)$$

$$= \text{sähkön myyntihinta} \frac{\text{snt}}{\text{kWh}}$$

$$7,14 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} - 0,3 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} = 6,84 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}}$$

$$\begin{aligned} & \text{sähkön myyntihinta} \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \times \text{yliäämätuotanto kWh} & (49) \\ & = \text{yliäämämyynti €} \\ & 6,84 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \times 7706 \text{ kWh} = 527 \text{ €} \end{aligned}$$

Yliäämätuotannon myynnissä on huomioitava vielä, se että sähkönmarkkinahinta voi olla kesäaikaan huomattavasti vuoden keskiarvoa pienempi. Energiayhtiö Oomin (ei pvm) mukaan kesäkuussa 2024 aikavälillä 9–17 pörssisähkön keskihinta on ollut 3,14 snt/kWh. Sähkön hinta on vuonna 2024 painunut reilusti alaspäin aikaisempiin vuosiin verrattuna.

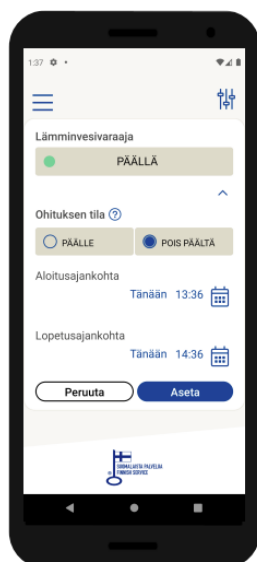
Energiayhtiö Väre Oy:n (ei pvm) mukaan sähkön pörssihinta oli vuonna 2022 18,74 snt/kWh ja vuonna 2023 6,68 snt/kWh. Taloustieteilijä David Sundén arvioi raportissaan, että Suomen sähkön hinta voi jopa kaksinkertaistua vuoden 2018 tasosta. (Skandinaviska Policyinstitutet, 2024). Toisaalta kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n Mikko Heikkilä ei pidä hinnannousua todennäköisenä. (Yle, 2024). Opinnäytetyötä tehdessä arvioin, että sähkön hintaan voi tulla suuriakin vaihteluja, sillä maailmantilanteen äkilliset ja ennalta-arvaamattomat tapahtumat voivat heijastua energian hintaan. Tämän vuoksi katson, että kansalaisten olisi tärkeä olla tietoisia omasta energiantuotannosta ja kuormanohjauksesta.

Taulukko 11. Sähkön hinnankehitys 2018–2025

Vuosi	snt/kWh
2025 ennuste	5,49
2024 ennuste	7,0
2023	6,68
2022	18,74
2021	8,89
2020	3,47
2019	5,46
2018	5,8

Markkinoilta on tarjolla useita kolmannen osapuolen tarjoamia ratkaisuja kuormanohjaukseen ja hallintaan. Kuormanohjaukseen on olemassa monenlaisia menetelmiä, kuten esimerkiksi kellokytkin, jolloin vesivaraaja asetetaan lämpenemään päiväaikaan. Kellokytkimellä toteutettu järjestelmä on helppo ja edullinen toteuttaa, mutta kyseinen ratkaisu on epätarkka. Pilvisenä päivänä ei ole välttämättä riittävästi aurinkoenergiaa saatavilla, jolloin joudutaan käyttämään kalliimpaa ostoenergiaa.

Lyhyesti sanottuna kuormanohjauksen perusidea on yksinkertainen, jokin kuorma kytketään päälle, kun aurinkovoimalan tuotantoa on saatavilla. Tämä toimii myös käänteisesti, pilvisen ajanjakson tai ukkosmyrskyn aikana kuorma on kytkettävä pois päältä. Tätä kutsutaan tehoon perustuvaksi ohjaukseksi, joka voidaan toteuttaa kontaktorin, virtareleen tai energiamittarin yhdistelmällä. Jos tavoitteena on ohjata mahdollisimman suuri osa tuotetusta energiasta omaan käyttöön, käytetään energiaan perustuvaa ohjausta. Tällaisessa ohjauksessa seurataan ostetun ja myydyin sähköenergian määrää ja ohjataan kuormia näiden erotukseen perustuen, mikä tunnetaan paremmin nimellä netotus. (Finnwind Oy, ei pvm).



Kuva 26. GEF kulutusohjaus (Green Energy Finland, ei pvm.)

Markkinoilla on siis tarjolla usean eri toimijan tarjoamia palveluja kulutuksen ohjaukseen eri hintaluokissa. Tarjontaa löytyy kertamaksulla olevia ratkaisuja sekä kuukausi- ja vuosiveloitukseen perustuvia palveluita. Kulutusohjaus soveltuu käyttöön myös ilman aurinkovoimajärjestelmää, koska sillä voidaan seurata sähkönmarkkinahintaa ja ajoittaa sähkölaitteiden ja lämmityksen käyttöä vuorokauden edullisimmille tunneille.

6.1 Tuntinetotus

Suomen laki on 1.1.2023 velvoittanut kaikkien verkkoyhtiöiden mittaustavaksi tuntinetotuksen, eli jokaisen tunnin sähköenergian osto ja myynti summataan, jolloin saadaan jokaiselle tunnille sähkönettomäärä. Tämän nettomäärän mukaan laskutetaan sähköenergia, sähkönsiirto sekä sähkövero. Netotusjakso voi olla yksi tunti tai varttitunti, riippuen sähkömittarista, mutta tulevaisuuden kaikki mittarit tulevat olemaan 15 minuutin netotusjaksoa tukevia mittareita.

Valtioneuvoston päätöksen mukaisesti on säädetty sähkömarkkinalain (588/2013) nojalla, että kaikissa alle 100 kVA voimaloissa on oltava netotus. (Savon Voima Oy, 2022; sähkömarkkinalaki 588/2013).

Tuntinetotuksen vuoksi aurinkosähkön ohjaaminen omaan käyttöön on entistä kannattavampaa. Esimerkiksi tässä opinnäytetyössä esitellyn 3,4 kWp aurinkovoimala tuottaa tasaisesti varttitunnin netotusjakson aikana 600 Wh sähköenergiaa. Tämän saman netotusjakson aikana kylpyhuoneen 1500 W lattialämmitys kytkeytyy päälle kuluttaen sähköenergiaa 600 Wh. Netotus saadaan, kun summataan kulutettu ja tuotettu sähköenergia $-600 \text{ Wh} + 600 \text{ Wh}$, jolloin siis netotettu energia on $+0$, eikä laskutettavaa synny. Hetkittäisen tarkastelun perusteella tehtävä mittausta muuttaa merkittävästi laskun loppusummaa, koska tuotanto ei todennäköisesti ole tasaista vartin ajanjakson aikana. Tämä tarkoittaa, että sähköä pitää ostaa verkosta, koska kulutus on ajoittain suurempaa kuin tuotto. Ostosähkö on arvokkaampaa kuin myyntisähkö, joten ilman netotusta sähkölaskut olisivat suurempia. (Yleisradio, 2021).

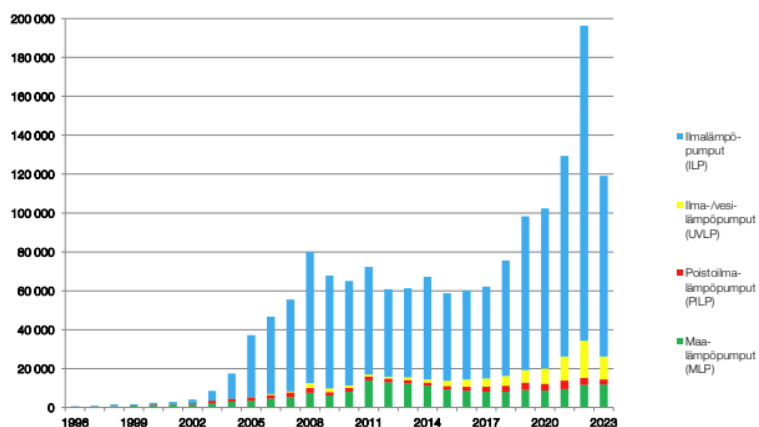
Tosiasiassa siis kiinteistöt ostavat ja myyvät sähköä yhtäaikaa. Aurinkopaneeleiden 600 W tuotannosta invertteri jakaa kaikille kolmelle vaiheille tasaisesti 200 W. Esimerkiksi kiinteistön 1. vaiheessa olevan ilmalämpöpumpun kulutus on 300 W, joten siihen pitää ostaa lisää sähköenergiaa sähköyhtiön verkosta, toisaalta taas 2. vaiheeseen kytketyn olohuoneen elektroniikka on pois päältä, joten tämän vaiheen sähköenergia menee kokonaisuudessaan myyntiin, kun taas 3. vaiheen kulutus on yhtä iso kuin tuotto. Tämä tarkoittaa, että sähköverkkoon kytketty kiinteistö ei ole omavarainen, vaan ostaa ja myy sähköä samalla netotusjaksolla. Aurinkovoimaloiden yksi markkinointikeinoista ollut omavaraisuuden korostaminen. Tämä ei pidä täysin paikkaansa, koska verkkoon kytketty kohde ei ole koskaan täysin omavarainen. Esimerkiksi sähkökatkon sattuessa perinteinen aurinkovoimala lakkaa toimimasta, koska invertteri ei tällöin kykene tahdistamaan tuotettua sähköä 50 Hz vaihtosähkötaajuudelle. Varavoimaan liitetyissä järjestelmissä tätä ongelmaa ei kuitenkaan ole, sillä niissä on käytössä hybridi-invertteri, joka mahdollistaa sähkön varastoinnin akustoihin.

7 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Ilmalämpöpumppujen ja aurinkovoimaloiden kysyntä on laantunut huippuvuosista. Ilmalämpöpumput herättävät kiinnostusta lämpimien kielten aikaan, mutta syksyn tullen kiinnostus vähenee. Taantumaan vaikuttaa moni asia, mutta suurimpina on rakentamisen hiipuminen sekä korkojen nousu.

Suomen ilmalämpöpumppuyhdistyksen mukaan vuonna 2023 myynti oli lähes 120 000 lämpöpumpua, josta ilmalämpöpumppujen osuus oli 90 00 kappaletta. Vuonna 2022 myynti oli 160 000 ilmalämpöpumpua kuvan 34. mukaisesti. Suomessa on asennettu yhteensä 1,6 miljoonaa ilmalämpöpumpua, jotka tuottavat noin 20 % rakennusten lämmitystarpeesta. (Yleisradio, 2024, SULPU Ry, 2024).

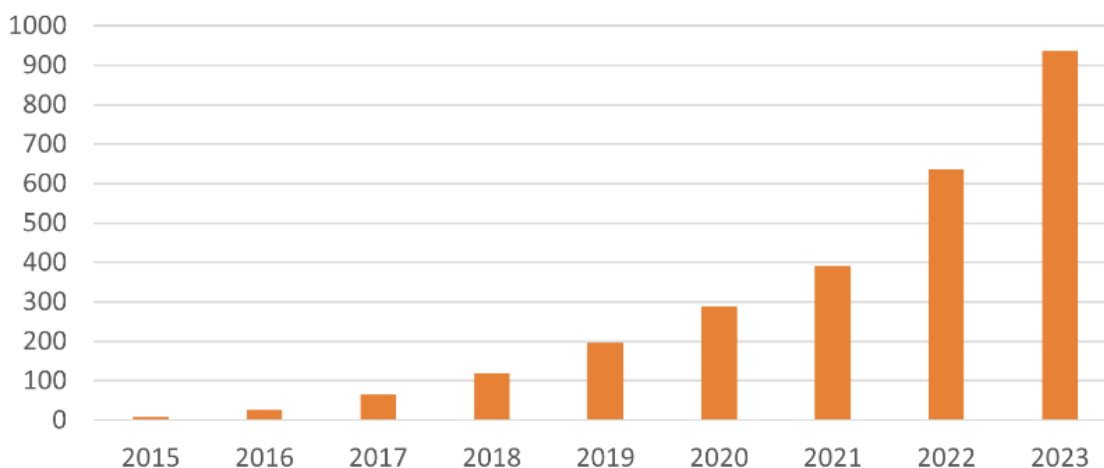
Ilmalämpöpumppujen tulevaisuuden näkymät vaikuttavat kuitenkin lupaavalta, johon vaikuttaa erityisesti kuluttajien ja yritysten kiinnostus riippumattomiin lämmitysratkaisuihin. Tämän tarve korostuu erityisesti öljyn, kaasun, sähkön ja kaukolämmön hintojen heilahtelujen myötä. Ilmalämpöpumput vähentävät riippuvuutta ostoenergiasta sekä sen hintavaihtelusta, mikä tekee niistä houkuttelevan vaihtoehdon. (Rakennusmaailma, 2024.)



Kuva 27. Myytyt lämpöpumput vuosina 1996–2023 (SULPU Ry, 2024.)

Vaikka kysyntä onkin heikentynyt, tähän liittyy myös positiivia vaikutuksia; asennuskapasiteettia on reilusti saatavilla, eikä komponenttipulat vaikuta toimituksiin. Lähitulevaisuudessa kysyntä kasvaa oletettavasti jälleen uudelleen, mikä voi johtaa pidempiin asennusaikoihin ja kysytyimmissä ilmalämpöpumpuissa voi olla saatavuusongelmia. Kuluttajan kannalta onkin järkevää tehdä hankinnat taantuman aikaan. (SULPU Ry, 2024.)

Suomessa aurinkosähkökapasiteetti oli vuonna 2023 lähes 1000 MW, josta pienvoimalatuotantoa oli 936 MW, joka vastaa 0,8 % Suomen kokonaistuotannosta. Energiaviraston mukaan uusia pienvoimaloita asennettiin vuonna 2023 lähes 30 000 kappaletta, jolloin tuotantokapasiteetti kasvoi 299 megawatilla. Kysyntä oli kovimmillaan vuonna 2022 ja uusia pienvoimaloita myytiin merkittäviä määriä. Kova kysyntä aiheutti komponenttipuutteita ja pitkiä asennusaikoja, joten vuonna 2022 myydyt pienvoimalat näkyvät vasta vuoden 2023 aurinkosähköntuotantokapasiteetissä. (Energiavirasto, 2024.)



Kuva 28. Verkkoon liitettyjen pienvoimaloiden tuotantokapasiteetti megawatteina (Energiavirasto, 2024)

7.1 Haasteet

Kuluttajille suunnattujen aurinkovoimaloiden kysyntä on romahtanut huippuvuosista ja vuoden 2024 kasvu ei tule olemaan merkittävä. Vaikka kysynnän heikentyminen on vaikuttanut hinnoitteluun, on silti aurinkovoimaloiden alkuinvestointi merkittävä, joten niiden huolellinen mitoitus, suunnittelu ja vertailu on ensiarvoisen tärkeää. Kuluttajan näkökulmasta taantuma on myös hyvä asia, niin kuin ilmalämpöpumpuissa, myös aurinkovoimaloissa, komponenttien hinnat ovat laskeneet ja asennusjotot ovat lyhyet. Investoinnin oikea-aikaisella ajoituksella voi aurinkovoimalan hankintakuluissa säästää huomattavia summia.

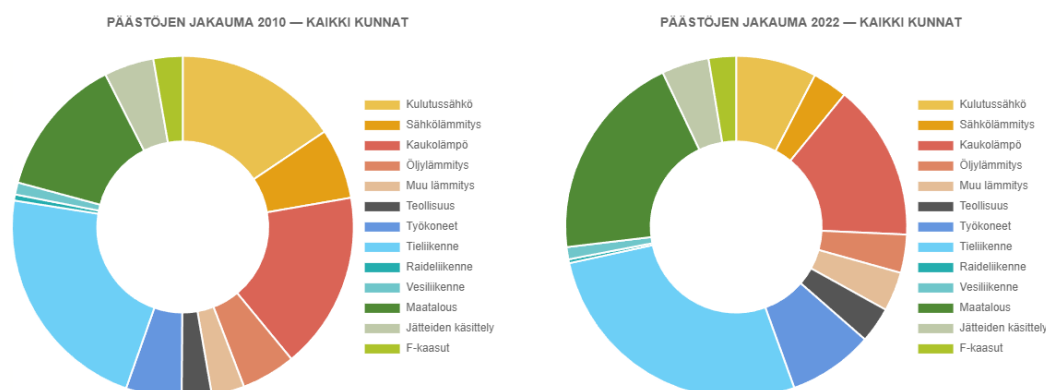
Kaukolämpölämmitteisiin kohteisiin ei mielestäni aurinkovoimalaa kannata asentaa, koska ostosähkön kustannukset jäävät useimmissa tapauksissa alhaiseksi, kuten kuvassa 34. on esitetty noin 80 m² omakotitalokohteen kulutuskäyttötymistä. Sähkölämmitteeseen kohteeseen on kannattavampaa asentaa aurinkovoimala ja ilmalämpöpumppu, koska vuosikulutus voi olla 4–10-kertainen verrattuna kaukolämpökohteeseen.

Taulukko 12. Kaukolämpökohteen sähkönkäytön kustannukset

Ajankohta	Ulkolämpötila °C	Sähkönkulutus kWh	Pörssisähkön hinta snt/kWh	Sähköenergia €
1.11.2023	-3,6	309,0	8,63	28,96
1.12.2023	-8,2	375,3	9,46	35,18
1.1.2024	-12,4	352,6	13,18	33,06
1.2.2024	-7,7	232,2	6,40	21,76
1.3.2024	-0,7	269,6	7,36	25,27
1.4.2024	1,3	246,0	6,06	23,06
1.5.2024	12,6	238,1	4,36	22,32
1.6.2024	18	251,8	4,47	23,6
1.7.2024	19	235,3	2,08	22,06

Yksi aurinkovoimalan tuotannossa haasteista on se, että sen toiminta ajoittuu valoisaan aikaan. Tämä tarkoittaa, että pahimmillaan voimala saattaa olla lepotilassa suurimman osan vuorokaudesta. Vaihtoehtoisesti tuotantoa on silloin kun sähköenergiaa ei tarvita kohteessa, tämä aiheuttaa energialyjäämään, mikä voi olla taloudellisesti erittäin hyvä tai äärimmäisen huono vaihtoehto riippuen sähkön markkinahinnasta sillä hetkellä.

Aurinkoenergian tuotannossa on hyvät ja huonot puolet, vaikka aurinkoenergia ei tuota suoranaisesti minkäänlaisia päästöjä, niin välilliset päästöt voivat pitkällä aikavälillä vaikuttaa ilmastoon ja ympäristöön. Nämä voivat olla aurinkopaneelien valmistusprosessissa syntyneet päästöt, koska valmistuksessa käytetyt mineraalit kuormittavat luontoa ja niitä on rajallisesti saatavissa. Käyttöikänsä päähän tulleiden paneelien kierrätyksestä syntyy myös päästöjä ja jätettä. (Vihreätoivot.fi, 2019). Suomen kokonaispäästöt on esitetty kuvassa 29. jossa erityisesti tieliikenteen, maatalouden ja kaukolämmön osuus nousevat esiin merkittävinä päästölähteinä. Suomen ympäristökeskuksen (ei pvm) mukaan kokonaispäästöt ovat laskeneet merkittävästi 2000-luvulla.



Kuva 29. Vuosien 2010–2022 päästöjakauma (Suomen ympäristökeskus, ei pvm)

Esimerkiksi kulutussähkön osuus kokonaispäästöistä oli vuonna 2010 yli 15 %, mutta vuoteen 2020 mennessä tämä osuus oli pudonnut 7,6 prosenttiin. Sähkölämmityksen ja kulutussähkön osuus on siis vähentynyt merkittävästi Suomessa, kuten kuvasta 29. ilmenee, jossa laskua on olla lähes 70 %.

Tähän kehitykseen uskoisin vaikuttavan kansalaisten kulutustottumusten muutoksen, ilmalämpöpumppujen ja aurinkovoimaloiden suosion kasvun, rakennutusten energiatehokkuuden kehittymisen sekä kulutuksen ohjauksen tehostumisen.

8 POHDINTA

Aurinkoenergian nopea kasvu aiheutti sen, että alalla on kaikenlaisia toimijoita, joilla ei ole välttämättä riittävää tietotaitoa ja osaamista tehdä vaatimusten mukaista asennusta. Huonot ja vaaralliset asennukset on lisänneet merkittävästi negatiivia mielikuvia aurinkoenergian hyödyistä. Aurinkovoimalaratkaisuihin on olemassa monenlaista tietoa, mutta puolueetonta tietoa on hyvin vähän tarjolla. (Tukes, 2023).

Aurinkovoimalan hankkiminen on suositeltavaa ottaa luotettavalta toimijalta, joilla on kokemusta aurinkovoimaloiden asennuksista. Tällöin asennukset tehdään voimassa olevien standardien, säädösten ja hyvien asennustapojen mukaisesti. Aurinkojärjestelmillä on pitkät takuuajat, ja kun järjestelmä on hankittu luotettavalta paikalliselta toimijalta, on mahdollinen reklamaatioiden hoitaminen helpompaa ja nopeampaa.

Aurinkovoimalan sijoitus kiinteänä asennuksena kohteen katolle määrittää ilmansuunnan, kulman ja vapaan tilan, johon ei voi vaikuttaa merkittävästi. Tämä aiheuttaa, sen että voimalasta ei välttämättä saada irti koko potentiaalia. Huomion arvoista on myös se, että aurinkopaneelit tarvitsevat riittävästi vapaata tilaa, jolloin kohteeseen ei saada aina suunniteltua optimaalista voimaa energiantarve huomioiden. Ratkaisuna tähän on, että aurinkopaneelit asennetaan maa-asennustelineisiin, jolloin voimalan suuntaus ja kulma määritellään juuri optimaalisesti parhaan tuotannon saavuttamiseksi. (ST-käsikirja, 116).



Kuva 30. Maa-asennusteline (Orima, ei pvm.)

Useat eri toimijat ja myyntiliikkeet tarjoavat aurinkovoimaloiden kannattavuuslaskureita, mutta tätä opinnäytetyötä tehdessä on havaittu, että ne voivat olla harhaanjohtavia. Aurinkolaskurit voivat jossain tilanteissa antaa liian optimistisen arvion takaisinmaksuajasta ja tämä saattaa tehdä kuluttajan päätöksenteosta haastavaa pelkästään tämän perusteella. Tästä syystä on tärkeää suhtautua laskureihin kriittisesti ja varmistaa niiden antamat tulokset ja taustat ennen ostopäätöstä. Olisi suositeltavaa aurinkoenergian yleistyessä, että Energiavirasto tai jokin muu ei-kaupallinen taho tutkisi mahdollisuuksia virallisten laskureiden käytölle ja puuttuisi harhaanjohtavan informaation leviämiseen.

Aurinkovoimalan tuottaa valoisaan aikaan ja tuotanto ei välttämättä kohtaa kulutuksen kanssa. Tämän ratkaisuna on energian varastointi, jolloin päivällä tuotettu sähkö voidaan käyttää illalla esimerkiksi käyttöveden lämmitykseen tai sähköauton lataukseen. On taloudellisesti kannattavampaa käyttää itse tuotettu sähkö, kuin myydä se muille edullisella pörssihinnalla. Aurinkovoimala on järkevä ratkaisu olosuhteissa, jossa kiinteistö voi hyödyntää suurimman osan itse tuotetusta energiasta tai jos energialle on varastointimahdollisuus.

Itse tuotettua ja varastoitua sähköenergiaa voidaan myös käyttää energiavarastona mahdollisia sähkökatkoja varten. Energianvarastointi lisää investointikustannuksia, mutta toisaalta antaa mahdollisuuksia taktiseen sähkönkäyttöön; varastoidaan tuotettu energia ja käytetään se, kun ostosähkö on kallista. Näkisin, että akustojärjestelmä olisi potentiaalinen vaihtoehto sähköautoilijoille, jolloin pien tuotannon hyöty voidaan maksimoida. Markkinoilla on akustoja, jotka on tarkoitettu sähkökatkojen varalla tai vaihtoehtoisen energiavastoja suuremmalla kapasiteetillä. Hinnoittelu energiavarstoilla alkaa muutamasta tuhannesta eurosta. (Nord Solar, ei pvm).



Kuva 31. Akku aurinkoenergian varastointiin (Onninen, ei pvm.)

Aurinkopaneelin käyttöikä on noin 25–30 vuotta ja kierrätyksestä on tulossa merkittävä ongelma tulevaisuudessa. Aurinkopaneelit sisältävät vain vähän metalleja, mutta paljon lasia ja muovia, jolloin niiden kierrätyksestä ei ole taloudellista hyötyä, mutta ne luokitellaan silti elektroniikkajätteeksi. Ratkaisuna tähän on yhtenäinen kierrätyslaitos pohjoismaihin, jonne kaikki käyttökänsä päähän tulleet aurinkopaneelit kuljetaan loppusijoitusta varten. (Yleisradio Oy, 2021).

Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivi EPBD on määritellyt, että jokaiseen uuteen asuinrakennukseen on asennettava aurinkoenergiajärjestelmä vuoteen 2030 mennessä, jos se on teknisesti mahdollista. Tämä tarkoittaa, että uusien rakennusten suunnitteluvaiheessa on otettava huomioon mahdollisuus aurinkoenergiajärjestelmille, joka voi tarkoittaa kiinteistön kattorakenteen optimaalista suuntaamista aurinkovoimalalle. (Euroopan parlamentti, 2023). Uusin julkisiin rakennuksiin aurinkovoimala olisi asennettava ja direktiivin mukaan vuoden 2026 loppuun mennessä ja vanhoihin yli 2000 m² julkisiin rakennuksiin vuoden 2027 loppuun mennessä, jos se on teknisesti ja taloudellisesti mahdollista. Direktiivin perusteella asennuspakko koskee kaikkia yli 250 m² julkisia rakennuksia vuoden 2030 loppuun mennessä. (Motiva, 2024; Ympäristöministeriö, ei pvm.; Alanne ym. 2024, 20).

Vaikka Euroopan unionin direktiivit antavat suuntaviivaa, miten aurinkovoimalat yleistyvät, niin direktiivi ei ole kuitenkaan laki, vaan jokainen valtio määrittelee itsenäisesti direktiiviin perustun kan- sallisen ohjeistuksen.

EU:n energiatehokkuusdirektiivin linjauksen mukaan rakennusten on oltava päästöttömiä vuoden 2030 jälkeen. Päästöttömän rakennuksen peruseriaatteet ovat erittäin hyvä energiatehokkuus, energiantarve on pieni, ei aiheuta fossiilisten polttoaineiden hiilidioksidipäästöjä sekä kasvihuone- päästöt ovat pienet. Energiatehokkuusdirektiivin vaikutus tulee näkymään ilmalämpöpumppujen asennuksissa merkittävästi muutaman vuoden sisällä. (Yleisradio, 2024; Alanne ym. 2024, 23).

Sähköautoilun yleistyessä on tarve lisääntynyt latausasemille ja Suomen lainsäädännön mukaan muussa kuin asuinkäytössä olevaan rakennuksessa on oltava latauspiste vuoden 2024 loppuun men- nessä, jos siinä on enemmän kuin 20 pysäköintipaikkaa (Laki rakennusten varustamisesta sähköajo- neuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä).

Kotilatausasemille on varmasti tulevaisuudessakin käyttöä, mutta ongelmaksi muodostuu sen hitaus, koska yleisin kotitalouksien sähkökapasiteetti on 3 x 25 A, joka mahdollistaa 11 kW lataustehon. Vaikka akut ja latausasemat kehittyvät, se ei poista kotitalouksien ongelmaa lataustehossa. Sähkö- autojen yleistyessä saattaa tulevaisuudessa kotitalouksissa olla enemmän kuin yksi sähköauto, jol- loin sähköteho ei riitä lataamaan kahta sähköautoa yhtä aikaa. (Nordicplug, 2023).

8.1 Sertifioitu asentaja

Aurinkovoimalahankkeiden asennuksia olisi järkevää valvoa virallisen tahon osalta, esimerkiksi aurin- kovoimalahankkeiden parissa työskentelevien henkilöiden olisi käytävä pakolliset sertifikaatit. Tällä hetkellä sertifioiminen on ollut vapaaehtoista, jolloin asentajien ammattitaitoa ole välttämättä miten- kään todennettu. Huonosti toteutetut asennukset aiheuttavat todennäköisesti merkittäviä kustan- nuksia tulevaisuudessa, esimerkiksi jos asennuskiinnikkeiden reikiä ei ole tiivistetty on vesi- ja home- vahingot mahdollisia. Sertifioituja asentajia on mahdollista hakea Motivan sivuilta paikkakunnan ja yrityksen nimen mukaan. Sertifikaatin uskoisin myös edistävän liiketoimintaa, koska silloin asiakas todennäköisemmin luottaa yrityksen ammattitaitoon. (ST-käsikirja 40, 152; Motiva, 2024).

8.2 Aurinkopaneelien standardit

Aurinkopaneelivalmistajien valikoima uudistuu nopeasti ja muutama vuosi sitten markkinoilla olevia paneeleita ei ole enää saatavilla. Tämä aiheuttaa haasteen paneelien rikkoontumisen seurauk- sena, esimerkiksi kun paneelikentästä rikkoontuu yksi aurinkopaneeli, on haastavaa löytää tilalle uusi fyysisiltä mitoiltaan oleva samanlainen paneeli.

Paneelikentät ovat rakennettu hyvin tiiviisti kiinteistöjen katolle ja yhden paneelin vaihto voi aiheut- taa merkittäviä muutostöitä ja kustannuksia. Olisi järkevää, jos aurinkopaneelien fyysiset mitat olisi standardoitu. Tämä tarkoittaa, että Euroopan alueella saa myydä ainoastaan hyväksytyjä pa- neeleita.

9 YHTEENVETO

Teknologia kehittyy välillä liiankin nopeasti, ja olisi hyvä joskus pysähtyä miettimään mitä ihmiskunta oikeasti tarvitsee. Järkevällä suunnittelulla ja hyvin toteutetulla lainsäädännöllä vältetään turhaa investointia ja mahdollistetaan uusiutuvaan energiaan siirtyminen hallitusti. Danielsen ym. (2016, 32) toteaaakin mielestäni hyvin, että tulevaisuudessa kaikki energia saadaan auringosta. Uskoisin, että tulevaisuudessa aurinkokennojen kehittyminen mahdollistaa esimerkiksi talojen rakennusmateriaalien päällystämisen ohuella kennolla, jossa olisi värvaihtoehtojakin tarjolla. Mitchell (2014) mainitseekin kolumnissaan, että tohtoritukija Illan Kramer Toronton Yliopistosta kehitteli jo vuonna 2014 aurinkokennomaalia, millä voi maalata mitä tahansa pintaa ja saada se tuottamaan aurinkoenergiaa.

Tulevaisuudessa, ehkä kaikki on maalattu aurinkomaalilla, esimerkiksi kännykkä tai tietokone voi saada energiansa auringosta. Kaikki on mahdollista, kunhan muistamme, että teknologian kehityksen seuraukset kantavat tulevat sukupolvet. Pyritään siis tekemään järkeviä ratkaisuja, mitoitetaan ne tarpeeseen ja optimoidaan järjestelmät toimimaan tehokkaasti.

Opinnäytetyötä tehdessä aloin pohtia, onko aurinkovoimala todellisuudessa lainkaan järkevä investointi pientalokohteissa. Olisiko järkevintä varastoida edullisten tuntien pörssisähkö energiavarastoihin? Vaikka energiavarastojen yleistyminen ja hintojen lasku ovat todennäköisesti edessä tulevaisuudessa, nykyisillä sähköhinnoilla sähkövarastointiin ei ole perusteltua ryhtyä. Varastoinnin mahdollisuutta voidaan markkinoida kuluttajakohteisiin ekologiasesta näkökulmasta, mutta mielestäni ekologisuutta se ei välttämättä lisää, vaan päinvastoin.

Työn edetessä vahvistui ajatus, että aurinkovoimala on kannattavampi hankinta kohteissa, jossa sähkönkulutus on suurempaa ja tuotettu energia voidaan hyödyntää reaaliajassa. Muutoin takaisinmaksuajat venyvät, eikä voimala välttämättä täytä sille asetettuja odotuksia. Aurinkoenergialle on varmasti oma aikansa ja paikkansa, mutta onko yksittäisen kuluttajan katolla. Tämä kannattaa selvittää huolellisesti ottaen huomioon yksilöllisesti kohteen tarpeet ja tulevaisuuden näkymät huomioiden, kuten tässä opinnäytetyössä on esitetty.

Parempana vaihtoehtona pidän opinnäytetyön tuloksiin perustuen aurinkovoimalaa yrityksen- tai liikehuoneiston katolla tai maa-asennustelineessä, jossa sähkönkulutus painottuu päiväaikaan eikä sen ensisijaisena tavoitteena ole merkittävien voittojen tavoittelu lyhyellä ajanjaksolla. Tutkimustulosten perusteella näen parempana investointina kuluttajakohteisiin ilmalämpöpumpun kuin aurinkovoimalan perusten taloudellisiin hyötyihin.

Opinnäytetyön lähdemateriaali on täytynyt käsitellä kriittisesti ja kyseenalaistaa esitettyjä väitteitä, sillä valitettavan usein saatavilla oleva materiaali on peräsin taholta, joilla on liiketoiminnallisia intressejä. Alaan liittyvää kirjallisuutta on toki saatavilla, mutta niissä harvemmin syvennytään kannattavuuslaskelmiin perusteellisesti tai pohditaan investointeja syvällisemmin. Kannattavuutta on luonnollisesti hankala arvioida tarkasti, ilman tietoa kohteesta ja sen tarpeista sekä tulevaisuuden suunnitelmista.

Toivon, että lukijalle muodostuu selkeä käsitys uusiutuvien energialähteiden integroiduista järjestelmistä; aurinkovoimaloista, ilmalämpöpumpuista ja sähköauton latausasemista, sekä niiden kannattavuudesta kotitalouksissa. Työssä on pyritty perustelemaan tuloksia laskelmien avulla, jotta lukija voi tehdä myös omia johtopäätöksiään.

Opinnäytetyön työstäminen oli mielenkiintoinen ja opettavainen kokemus. Aihealue osoittautui kuitenkin liian laajaksi käsitellä insinööriyössä, jolloin jotakin teemoja jouduttiin käsittelemään pintapuolisesti tai rajaamaan pois. Tämä rajaaminen antoi kuitenkin mahdollisuuden perehtyä syvällisemmin keskeisempiin aihealueisiin ja tarjoaa lukijalle selkeämmän kokonaiskuvan valituista aiheista.

10 LÄHTEET

Alanne, Kari, Holopainen, Rauno, Hyvärinen, Juhani, Kaappola, Esko, Ketomäki, Jaakko, Kurnitski, Jarek, Könkö, Samuli, Pylsy, Petrsi, Railio, Jorma, Seppänen, Olli, Vuolle, Mika, Vuorinen, Pekka & Yrjölä, Jukka 2024. Rakennusten Energiatekniikka. 1.painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Alavuden LVI, ei pvm. Ilmalämpöpumpun hinta ja käyttökustannukset. Verkkajulkaisu. <https://www.alavudenlvi.fi/tuotteet-ja-palvelut/ilmalampopumput/kayttokustannukset-hinta-sahkonkulutus/>. Viitattu 27.6.2024.

Aurinkovirta, 18.3.2024. Ohitusdiodit. Verkkajulkaisu. <https://aurinkovirta.fi/rakentaminen/tekniikat/ohitusdiodit/>. Viitattu 7.6.2024.

Pohjoisen sähkö ja kiinteistö Oy, ei pvm. Aurinkolaskuri. Verkkajulkaisu. https://aurinkomaailma.fi/aurinkopaneeli-laskuri/?srsltid=AfmBOorHQSK8pQu_noVvSubmDZHlKW32mq5EsAWo2qcsCD9Kk0m0LR5. Viitattu 31.8.2024.

Battery empire, ei pvm. Energian varastointi. Verkkajulkaisu. <https://batteryempire.fi/653-energian-varastointi?srsltid=AfmBOorcWkuXNK6JAnZZ0-ZdII51ab2J9z-6hp9PVx49qh3KyXKpWBtE>. Viitattu 30.8.2024.

Design in Detail, 2024. Retrofitting Heat Pumps into Houses: A Comprehensive Guide to the Pros and Cons. Verkkajulkaisu. <https://www.designindetail.com/articles/retrofitting-heat-pumps-into-houses-a-comprehensive-guide-to-the-pros-and-cons>. Viitattu 28.8.2024.

Finnwind Oy ei pvm. Aurinkopaneelituoton kuormanohjaus? Aurinkopaneelituoton maksimaalinen hyödyntäminen. Verkkajulkaisu. <https://aurinkopaneelitarjous.fi/blog/aurinkopaneelituoton-kuormanohjaus>. Viitattu 6.6.2024.

Euroopan parlamentti 14.3.2024. Rakennusten energiatehokkuus: EU-parlamentti hyväksyi kantansa. Verkkajulkaisu. <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/press-room/20230310IPR77228/rakennusten-energiatehokkuus-eu-parlamentti-hyvakysyi-kantansa>. Viitattu 12.8.2024.

Fossiilittoman liikenteen tiekartta -työryhmän loppuraportti. Pdf tiedosto. 2020. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162508/LVM_2020_17.pdf?sequence=4&isAllowed=y. Viitattu 4.8.2024.

Green Energy Radar Oy, 15.2.2024. Sähkön hinta voi kaksinkertaistua Suomessa vuoteen 2030 mennessä. Verkkajulkaisu. <https://www.greenenergyradar.fi/news/2024/02/15/sahkon-hinta-voi-kaksinkertaistua-suomessa-vuoteen-2030-mennessa/>. Viitattu 27.8.2024.

Helen Oy, 18.8.2020. Aurinkopaneelien asennuksessa ilmansuunnalla on väliä. <https://www.helen.fi/artikkelit/2020/aurinkopaneelien-asennus-video>. Viitattu 5.5.2024.

Helen Oy, ei pvm. Aurinkosähkön myynti. Verkkajulkaisu. <https://www.helen.fi/aurinkopaneelit/aurinkopaneelipaketit/pien-tuotannon-osto>. Viitattu 1.7.2024

Hehku Energia Oy, ei pvm. Aurinkosähkön myynti helposti. Verkkajulkaisu. <https://hehkuenergia.fi/aurinkopaneelit/aurinkosahkon-myynti/>. Viitattu 1.7.2024.

Hehku Energia Oy, ei pvm. Aurinkopaneelien mitoitus: Näin paneelien teho käytetään parhaiten hyödyksi. <https://hehkuenergia.fi/aurinkopaneelit/aurinkopaneelien-mitoitus/>. Verkkajulkaisu. Viitattu 13.9.2024.

HT54-18X(ND)-F. Pdf tiedosto. Ei pvm. https://www.ht-saae.com.au/wp-content/uploads/2023/05/HT54-18XND-F-EN-30_DS0226.pdf. Viitattu 25.6.2024.

Ilmatieteenlaitos, ei pvm. Kuukausitilasto. Verkkajulkaisu <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>. Viitattu 29.8.2024.

Ilmatieteenlaitos, ei pvm. Auringon rakenne ja elinkaari. Verkkajulkaisu. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/rakenne-ja-elinkaari>. Viitattu 1.6.2024.

Kortemäki, Aki, Lehto, Ina, Heikkilä, Tuukka, T, Orrberg, Matti, Ylinen, Marko, Andersén, Markus & Nikander, Mikko 2023. Aurinkosähkijärjestelmien suunnittelu ja toteutus. 3. painos. Espoo: Sähkötieto Ry.

Käyttö- ja asennusohje – Beny, DLB-ohjain. Pdf tiedosto. Ei pvm. <https://scanoffice.fi/wp-content/uploads/2022/11/Beny-DLB-ohjaimen-kaytto-ja-asennusohje-FI.pdf>. Viitattu 1.8.2024.

Käyttöohje Aurinkosähköinvertteri. Pdf tiedosto. Ei pvm. https://scanoffice.fi/wp-content/uploads/2022/12/sofar-3.3-12ktx-g3-kayttoohje_20210413_fi_29.4.2022.pdf. Viitattu 27.6.2024.

Iimalämpöpumpun Mitsubishi MSZ-FT25VGK + MUZ-FT25VGHZ toimintakoe matalissa ulkoilman lämpötiloissa ja sulatusjaksot sisältävä lämpökerroin. Pdf-tiedosto. julkaistu 2021. <https://scanoffice.fi/wp-content/uploads/2022/09/eufi29-20003443-t1-ft25.pdf>. Viitattu 20.6.2024.

Kotia Suomi Oy, ei pvm. Kolme tapaa ohjata aurinkoenergia omaan käyttöön. Verkkajulkaisu. <https://shellykauppa.fi/products/Kolme-tapaa-ohjata-aurinkoenergia-omaan-kayttoon-Shellyjen-avulla-c167912759>. Viitattu 2.8.2024.

Käpylehto, Janne 2016. Auringosta sähkö kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. 1. painos. Helsinki: into Kustannus.

Laskurini, ei pvm. Korkolaskuri. Verkkajulkaisu. <https://www.laskurini.fi/raha/korkolaskuri>. Viitattu 27.8.2024.

Linja-Aho, Vesa, Mäkinen, Jukka & Orrberg, Matti 2022. Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät. 6. painos. Espoo: Sähkötieto Ry.

Linja-Aho, Vesa 2021. Sähkö ja hybridiautojen sähkötyöturvallisuus. 3. painos. Suomen Autoteknillinen Liitto Ry.

Lumme Energia Oy, ei pvm. Aurinkopaneelit ilmalämpöpumpun rinnalla. Verkkajulkaisu <https://www.lumme-energia.fi/blogi/aurinkopaneeli-ilmalampopumppu>. Viitattu 28.8.2024.

Lumme Energia Oy, ei pvm. Pörssisähkön hinta. Verkkajulkaisu. <https://www.lumme-energia.fi/sahkosopimus/porssi-sahko/hinta>. Viitattu 1.7.2024.

Lumme Energia Oy, ei pvm. Aurinkopaneelien mitoitus - Oikean määrän valinta. <https://www.lumme-energia.fi/blogi/kuinka-valitsen-oikean-maaran-aurinkopaneeleita>. Verkkajulkaisu. Viitattu 13.9.2024.

Lämpöpumppujen soveltuvuus eri talotyyppeihin. Pdf-tiedosto.https://www.motiva.fi/files/9469/Lampopumppujen_soveltu_vuus_eri_talotyyppeihin.pdf. Viitattu 29.8.2024.

Lämpö Ykkönen Oy, ei pvm. Viilennys. Verkkajulkaisu. <https://lampoykkonen.fi/ratkaisut/viilennys/>. Viitattu 28.8.2024.

Maysun Solar, 21.2.2023. Aurinkosähkötekniikka ja sen historia. Verkkajulkaisu. <https://www.solarpanelsfi.com/blog/aurinkosahkotekniikka-ja-sen-historia>. Viitattu 5.5.2024.

Mikko Kuisma, ei pvm. Sähkönjohtavuus atomitasolla. Verkkajulkaisu.https://www.kuisma.eu/elper/6puolijohteet/2_5puolijohde.html. Viitattu 27.3.2024.

Motiva Oy, 31.1.2024. Aurinkosähköteknologiat. Verkkajulkaisu. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat. Viitattu 5.5.2024.

Motiva Oy, ei pvm. Laitteet. Verkkajulkaisu. <https://aurinkosahkoakotiin.fi/laitteet/>. Viitattu 27.3.2024.

Motiva Oy, 2.5.2024. Sähköauton tekniikka ja akku. Verkkajulkaisu. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikeminen/sahkoautoillen_-_arjen_alykas_sahkoautoilu/sahkoauton_tekniikka_ja_akku. Viitattu 17.6.2024.

Motiva Oy, 2.5.2024. Sähköauton lataus. Verkkajulkaisu. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/sahkoautoillen_-_arjen_alykas_sahkoautoilu/sahkoauton_lataus. Viitattu 17.6.2024.

Motiva Oy, 24.5.2024. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. Verkkajulkaisu. https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten_energiatehokkuusdirektiivi. Viitattu 12.8.2024.

Mäkelä, Mikko, Soininen, Lauri, Tuomola, Seppo, Öistämö, Juhani 2010. Tekniikan kaavasto. 9. painos. Tampere: Tammertekniikka Oy.

Nivos Oy, ei pvm. Aurinkolaskuri. <https://nivos.sunenergia.com/>. Verkkajulkaisu. Viitattu 31.8.2024.

Nordic Plug Oy, 20.10.2023. Sähköauton lataus tulevaisuudessa - katoavatko latausasemat?. Verkkajulkaisu. <https://nordicplug.fi/blogs/sahkoautot-ja-lataaminen-blogi/sahkoauton-lataus-tulevaisuudessa>. Viitattu 10.8.2024.

Nordic Plug Oy, 27.4.2024. Sähköautot ja sähköautojen lataus – Pikaopas. Verkkajulkaisu. <https://nordicplug.fi/pages/sahkoautojen-lataus-pikaopas>. Viitattu 23.8.2024.

Nord Solar, ei pvm. Energiavarastot. Verkkajulkaisu. https://nordsolar.fi/tuotteet/aurinkosahkoa-kotiin/energiavarastot/?srsltid=AfmBOorR-VtOgOZQWaed-C64eiuK8g_2ZWNsjMGgUCe8LQXT7n9nxdga. Viitattu 30.8.2024.

Nordea, ei pvm. Joustorahoitus. Verkkajulkaisu <https://www.nordeafinance.fi/henkiloasiakkaat/palvelumme/kortit-ja-kulutusluotot/joustorahoitus.html>. Viitattu 29.8.2024.

Onninen Oy, ei pvm. Energian varastointi alkaa kannattaa. Verkkajulkaisu. <https://www.onninen.fi/artikkelit/energian-varastointi-alkaa-kannattaa>. Viitattu 30.8.2024.

Perälä & Perälä 2013. Lämpöpumput. 3 painos. Helsinki: Alfamer.

Perälä, Rae 2017. Aurinkosähköä. 1.painos. Helsinki: Alfamer Oy.

Pientuotannon liittäminen sähköjaketuverkkoon YA 9:23. Pdf tiedosto. 2023. <https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/12/YA-9-23-pientuotannon-liittaminen-sahkonjakeluverkkoon-2023-11-29-final.pdf>. Viitattu 26.8.2024.

Pientalon lämmitysjärjestelmät. Pdf tiedosto. Ei pvm. <https://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>. Viitattu 1.8.2024.

Till vilket elpris som helst?. Pdf-tiedosto. Julkaistu 2024. <https://policyinstitutet.se/wp-content/uploads/2024/01/Policyinstitutet-Till-vilket-elpris-som-helst-1.pdf>. Viitattu 14.9.2024.

Projektiloota 26.12.2021. Miten sähköauto toimii? Sähköauton osat ja toiminta. Verkkajulkaisu. <https://projektiloota.fi/2021/12/26/miten-sahkoauto-toimii-sahkoauton-osat-ja-toiminta/>. Viitattu 17.6.2024.

Rakennus Maailma, 14.1.2023. Näin ilmalämpöpumput ovat kehittyneet 30 vuodessa. Verkkajulkaisu. <https://rakennusmaailma.fi/nain-ilmalampopumput-ovat-kehittyneet-30-vuodessa/>. Viitattu 26.6.2024.

Rakennus maailma 27.1.2024. Lämpöpumppujen myynti tasaantui huippuvuosista: Pumppuja ja asennuksia saa taas hyvin. Verkkajulkaisu. <https://rakennusmaailma.fi/lampopumppujen-myynti-putosi-huippuvuosista-pumppuja-ja-asennuksia-saa-taas-hyvin>. Viitattu 19.6.2024.

Rakennustarkkailija, 2024. Ilmalämpöpumppu tuli taloon – paljonko se todella säästää. Verkkajulkaisu. <https://rakennustarkkailija.com/2023/11/02/ilmalampopumppu-tuli-taloon-paljonko-se-todella-saastaa/>. Viitattu 29.8.2024.

Savon Voima Oy 28.2.2022. Mittausmuutos parantaa asiakkaan aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta. Verkkajulkaisu. <https://savonvoima.fi/netottava-sahkonmittaus-parantaa-pientuottajien-aurinkosahkon-tuottoa/>. Viitattu 3.8.2024.

Scanoffice Oy, 14.3.2024. Dynaaminen kuormanhallinta sähköauton latauksessa – kestävätkö laitteet ja sulakkeet?. Verkkajulkaisu. <https://scanoffice.fi/ajankohtaista/dynaaminen-kuormanhallinta-sahkoauton-latauksessa-kestavatko-laitteet-ja-sulakkeet/>. Viitattu 5.8.2024.

Scanoffice Oy, ei pvm. Miten ilmalämpöpumppu toimii?. Verkkajulkaisu. <https://scanoffice.fi/ilmalampopumppu/opas/mika-on-ilmalampopumppu/miten-ilmalampopumppu-toimii/>. Viitattu 8.6.2024.

Scanoffice Oy, 6.7.2020. Euroopan unionin F-kaasuasetus. Verkkajulkaisu. <https://scanoffice.fi/ajankohtaista/euroopan-unionin-f-kaasuasetus/>. Viitattu 8.6.2024.

Scanoffice Oy, ei pvm. Sähköauton lataus aurinkosähköllä. Verkkajulkaisu. <https://scanoffice.fi/aurinkopaneelit/opas/aurinkopaneelien-kaytto/sahkoauton-lataus-aurinkosahkolla/>. Viitattu 10.8.2024.

Scanoffice Oy, ei pvm. Aurinkolaskuri. Verkkajulkaisu. <https://scanoffice.fi/aurinkolaskuri/>. Viitattu 31.8.2024.

Seppänen Raimo, Mannila, Leena, Kervinen, Matti, Parkkila, Irma, Konttinen, Pasi, Karkela Lea, Yli-kokko Tuomas 2013. 1. painos. Keuruu: Otava.

- SFS 6000-7-712:2022. Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Aurinkosähköjärjestelmät. Helsinki. Suomen Standardisointiliitto SFS Ry. Viitattu 1.8.2024.
- SFS 6000-4-43:2022. Suojausmenetelmät. Ylivirtasuojaus. Helsinki. Suomen Standardisointiliitto SFS Ry.
- Solle Oy, ei pvm. Sähköauton lataus aurinkosähköllä: Selvää säästöä!. Verkkajulkaisu. <https://solle.fi/sahkoauton-lataus-aurinkosahkolla/>. Viitattu 20.6.2024.
- Solenergy System, ei pvm. Edmond Becquerel: the man behind solar panels. Verkkajulkaisu <https://solenergy.com.ph/solar-panel-philippines-edmond-becquerel/>. Viitattu 1.6.2024.
- Sonebar Oy, ei pvm. 10 asiaa aurinkokennokaapeleista. Verkkajulkaisu. <https://ideat.sonepar.fi/10-asiaa-aurinkokennokaapeleista/>. Viitattu 26.8.2024.
- Suomen Aurinkotekniikka Oy, ei pvm. Aurinkosähkövoimalan mitoittaminen omakotitaloon. Verkkajulkaisu. <https://www.aurinkotekniikka.fi/artikkeli/aurinkosahkovoimalan-mitoittaminen-omakotitaloon>. Viitattu 8.6.2024.
- Suomen Tietotoimisto Oy, 3.8.2023. Aurinkopaneelit ovat tuottoisa ja varma energianlähde, joka kiinnostaa nyt kaikkia – "Aurinkovoiman tuotannon kasvu on ollut viime vuosina räjähdysmäistä". Verkkajulkaisu. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/70000762/aurinkopaneelit-ovat-tuottoisa-ja-varma-energianlahde-joka-kiinnostaa-nyt-kaikkia-%22aurinkovoiman-tuotannon-kasvu-on-ollut-viime-vuosina-rajahdysmaista%22?publisherId=69819675&lang=fi>. Viitattu 1.7.2024.
- Sulpu Ry, 25.1.2024. Lämpöpumppumyynti normalisoitui huippuvuoden jälkeen edellisten vuosien tasolle. Verkkajulkaisu. <https://www.sulpu.fi/lampopumppumyynti-normalisoitui-huippuvuoden-jalkeen-edellisten-vuosien-tasolle/>. Viitattu 19.6.2024.
- Sähkön hintatilastot, 2023. Pdf-tiedostop. <https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/01/Sahkon-hintatilastot-4.1.2023.pdf>. Viitattu 29.8.2024.
- Tahkokorpi, Markku, Erat, Bruno, Hänninen, Pekka, Nyman, Christer, Rasinkoski, Aasko & Wiljander, Mats 2016. *Aurinkoenergia Suomessa*. 1. painos. Helsinki: Into Kustannus Oy.
- Teho-Posako Oy, ei pvm. Aurinkosähkö. Verkkajulkaisu <https://www.tehoposako.fi/tuotteet/aurinkosahko/>. Viitattu 20.5.2024.
- Teho Posako Oy, ei pvm. Usein kysyttyä aurinkosähköstä. Verkkajulkaisu. <https://www.tehoposako.fi/tuotteet/aurinkosahko/usein-kysyttya-aurinkosahkosta/>. Viitattu 25.5.2024.
- Teho-Posako Oy, ei pvm. Ilma-lämpö-pumpun ostajan muistilista. Verkkajulkaisu. <https://www.tehoposako.fi/tuotteet/lampopumput/ilmalampopumput/ilmalampopumpun-ostajan-muistilista/>. Viitattu 8.6.2024.
- Teho-Posako Oy, ei pvm. Ilma-lämpö-pumppu ainoana lämmön-lähteenä. Verkkajulkaisu. <https://www.tehoposako.fi/tuotteet/lampopumput/ilmalampopumput/ilmalampopumppu-ainoana-lammonlahtena/>. Viitattu 8.6.2024.
- Teho-Posako Oy, ei pvm. Ilma-lämpö-pumpun ulkoyksikön huoltaminen. Verkkajulkaisu. <https://www.tehoposako.fi/tuotteet/lampopumput/ilmalampopumput/ilmalampopumpun-ulkoyksikon-huoltaminen/>. Viitattu 10.6.2024.
- Tekniikan Maailma, 13.4.2024. Verkkajulkaisu. <https://tekniikanmaailma.fi/eu-komissio-ehdottaa-f-kaasuille-lahes-tayskieltoa-tarkoittaisi-ilmalampopumppujen-kieltamista/>. Viitattu 28.7.2024.
- Tekniikan Maailma, 7.7.2023. Useat tutkijaryhmät ovat onnistuneet ylittämään 30 prosentin hyötysuhteen. <https://tekniikanmaailma.fi/lapimurto-aurinkopaneeliteknologiassa-useat-tutkijaryhmat-ovat-onnistuneet-ylittamaan-30-prosentin-hyotysuhteen/>. Viitattu 6.5.2024.
- Termodynamiikan toinen pääsääntö ja entropia. Pdf-tiedosto https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/1296614/mod_resource/content/6/Luennot_vko5.pdf. Viitattu 28.8.2024.
- Teslasuomi, 28.10.2022. Sähköauton lyhyt historia. Verkkajulkaisu. <https://teslasuomi.fi/sahkoauton-lyhyt-historia/>. Viitattu 15.6.2024.
- Toronton Ylipiston uutiset, 5.12.2014. <https://news.engineering.utoronto.ca/new-technique-offers-spray-on-solar-power/>. Verkkajulkaisu. Viitattu 13.8.2024.

Toshiba, ei pvm. Ilmalämpöpumpun sähkönkulutus – kuinka paljon lämmittäminen ja viilentäminen maksaa?. Verkkajulkaisu. <https://www.toshibasuomi.fi/ilmalampopumpun-sahkonkulutus-kuinka-paljon-lammittaminen-ja-viilentaminen-maksaa/>. Viitattu 28.7.2024.

Turvallisuus- ja energiavirasto, ei pvm. Kodin sähköturvallisuus. Verkkajulkaisu. <https://tukes.fi/kodin-sahkoturvallisuus>. Viitattu 30.8.2024.

5.7.2023. Aurinkosähköjärjestelmien asennuksissa tehdään paljon virheitä. Verkkajulkaisu. <https://tukes.fi/-/aurinkosahkojarjestelmien-asennuksissa-tehdään-paljon-virheitä>. Viitattu 2.7.2024.

Vaasan Sähkö Oy, ei pvm. Aurinkosähkön myynti – myy ylijäämäsi sähköä meille. Verkkajulkaisu. <https://www.vaasan-sahko.fi/sahkosopimus/aurinkosahkon-myynti/>. Viitattu 1.7.2024.

Valtioneuvoston asetus sähkötoimitusten selvityksestä ja mittauksesta. <https://finlex.fi/fi/laki/al-kup/2021/20210767#Pidm46111191035600>. Viitattu 2.8.2024.

Vattenfall Oy, ei pvm. Ilmalämpöpumpun käyttö. Verkkajulkaisu. <https://www.vattenfall.fi/ilmalampopumppu/ilmalampopumpun-kaytto/>. Viitattu 28.7.2024.

Verovirasto, ei pvm. Yleinen arvonlisäverokanta nousee 25,5 prosenttiin 1.9.2024 alkaen. Verkkajulkaisu. <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/arvonlisaverotus/arvonlisaveroprosentit/Yleinen-arvonlisaverokanta-nousee-syyskuussa/>. Viitattu 26.8.2024.

Väre Oy, ei pvm. Sähkön hintaennuste. Verkkajulkaisu. <https://vare.fi/sahkon-hinta/sahkon-hintaennuste/>. Viitattu 30.8.2024.

Vihreätövet, 9.9.2019. Aurinkosähkön hyödyt ja haitat. Verkkajulkaisu. <https://vihreatovet.fi/aurinkosahkon-hyodyt-ja-haitat/>. Viitattu 30.6.2024.

Yleisradio Oy, 18.3.2024. Suomalaiset kehittivät sähköautoja jo 1980-luvun puolivälissä. Verkkajulkaisu. <https://yle.fi/aihe/a/20-10006286>. Viitattu 15.6.2024.

Yleisradio Oy, 3.6.2015. Sähköautoilla huristeltiin jo 100 vuotta sitten. Verkkajulkaisu. <https://yle.fi/a/3-8042447>. Viitattu 17.6.2024.

Yleisradio Oy, 8.7.2024. Lämpöpumppujen ja aurinkopaneelien myynti romahti huippuluvuista – alan yrittäjä: "Nyt on todella hiljaista". Verkkajulkaisu. <https://yle.fi/a/74-20094463>. Viitattu 25.6.2024.

Yleisradio Oy, 3.10.2021. Entistä useampi haluaa katolleen aurinkopaneelit, samaan aikaan pohditaan kuumeisesti, miten vältymme paneelien jätevuorelta. Verkkajulkaisu. <https://yle.fi/a/3-12098524>. Viitattu 15.7.2024.

Yleisradio Oy, 12.3.2024. EU velvoittaa jäsenmaat parantamaan rakennusten energiatehokkuutta – asukkaille ei tule pakkoremontteja. Verkkajulkaisu. <https://yle.fi/a/74-20078825>. Viitattu 12.8.2024.

Yleisradio Oy, 21.3.2018. Sähkön varastointi tulee pientaloihin – "Kahden vuoden sisällä aurinkojärjestelmistä taloudellisesti kannattavia". Verkkajulkaisu. <https://yle.fi/a/3-10123130>. Viitattu 30.8.2024.

Yleisradio Oy, 7.2.2021. Aurinkosähkön kannattavuus paranee omakotitaloissa ja taloyhtiöissä. Verkkajulkaisu. <https://yle.fi/a/3-11767604>. Viitattu 2.8.2024.

Yleisradio Oy, 14.1.2024. Aurinkopaneelit toimivat Suomen ilmastossa jopa paremmin kuin muualla, sanoo tutkija – ja ennakoiksi aurinkovoimabuomia. Verkkajulkaisu. <https://yle.fi/a/74-20069100>. Viitattu 19.9.2024.

Ympäristöministeriö, ei pvm. Rakennusten energia-tehokkuus-direktiivin uudistus. Verkkajulkaisu. <https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuusdirektiivin-uudistus>. Viitattu 12.8.2024.

Väre Oy, 28.4.2020. Kuinka valitsen oikean määrän aurinkopaneeleita?. <https://vare.fi/yrityksille/aurinkopaneelit/kuinka-valitsen-oikean-maaran-aurinkopaneleita/>. Verkkajulkaisu. Viitattu 13.9.2024.