

# **OMAKOTITALON ENERGIA TEHOKKUUS JA LYHYTAIKAINEN OMAVARAISUUS**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Valkeakosken kampus, Sähkö- ja automaatiotekniikka

Kevät 2019

Timm Heikkilä

Koulutus Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Kampus Valkeakoski

---

<b>Tekijä</b>	Timm Heikkilä	<b>Vuosi</b> 2019
<b>Työn nimi</b>	Omakotitalon energiatehokkuus ja lyhytaikainen omavaraisuus	
<b>Työn ohjaaja/t</b>	Timo Viitala	

---

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tarjota perustason informaatiota ja vaihtoehtoja energiankäytön ja -kustannusten vähentämiseen, asumismukavuuden parantamiseen ja mahdollisuuteen ylläpitää kiinteistön perustoiminnot pieniaikaisen sähkökatkoksen aikana. Myös mahdollisuutta pienimuotoiseen energiantuotantoon käsiteltiin.

Työssä esimerkkinä käytetty rakennus on 90 -luvun puolivälissä valmistunut öljylämmitteinen kiinteistö. Työ tehtiin toimimaan oppaana myöhemmin tapahtuvaa kiinteistön remonttia varten, mutta työssä käsiteltiin aiheita myös yleisellä tasolla. Yksi energiankäytön vähennyskohteita on kiinteistön ilmanvaihtokone ja työssä yritettiin mukailla Suomen lainsäädäntömuutoksia, jotka on tehty kiinteistön valmistuksen jälkeen.

Työ otettiin ensin huomioon pienet muutokset, joita kuluttaja voi tehdä energiankulutuksensa vähentämiseksi. Tämän jälkeen työssä rajattiin sähkökatkoksen aikana halutut toiminnot ja arvioitiin näiden hetkellinen energiankulutus. Työssä käytiin läpi mahdollisia energiantuotanto ja säilöntätapoja kaupunkiympäristössä, käsiteltiin mahdollisia automaatiojärjestelmiä ja tarkasteltiin kuinka antureita voi käyttää energiankulutuksen vähentämiseen ja asumismukavuuden parantamiseen.

Työn loppupäätelmä oli yleisesti, että kuluttajan kannattaa odottaa vielä muutama vuosi ennen sijoittamista sähkön pientuotantoon tai välttämättömien kiinteistön toimintojen ylläpitämiseen.

**Avainsanat** Energiatehokkuus, ilmanvaihto, käyttövarmuus

**Sivut** 41 sivua, joista liitteitä 8 sivua

Name of degree programme		Electrical and Automation Engineering
Campus	Valkeakoski	
<hr/>		
Author	Timm Heikkilä	Year 2019
Subject	Energy efficiency and self-sufficiency of a detached house	
Supervisors	Timo Viitala	

ABSTRACT

Aim of this thesis is to provide basic information and options for energy consumption and cost reduction, improvement of living quality and possibility of maintaining necessities in building for a short term of time in case of blackout. Possibility and viability of small-scale energy generation is also reviewed.

The building used for example is a house completed in mid-90's, that has an oil-based heating system. Thesis was made for the house owner to act as a basic guide for later renovation plans, but it also reviews the topics on a broader view. One of the energy usage reduction targets is the buildings ventilation unit and thesis tries to accommodate Finland's legislation changes that have been made after construction.

Thesis first takes in account small things consumer can do for reducing energy consumption. Afterwards thesis delimits the functions wanted during blackout and estimates their momentary energy consumption. Thesis reviews possible energy generation methods and energy storages possible in city environment, goes through possible automation systems and reviews how sensors can save on energy and improve living quality.

Outcome of the thesis is in general that consumers should wait for a few years before investing in energy generation systems or larger scale investment in necessities sustaining.

**Keywords** Energy efficiency, reliability, ventilation

**Pages** 41 pages including appendices 8 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	LÄHTÖKOHTA JA TAVOITE .....	2
2.1	Vesikiertopumput.....	3
2.1.1	Lämmitysverkoston pumppu.....	3
2.1.2	Lämpimänveden pumppu .....	4
2.2	Keskuslämmityskattila ja öljypoltin.....	4
2.3	Ilmanvaihtokone .....	5
3	ENERGIAN KOKONAISKÄYTÖN VÄHENTÄMINEN .....	7
4	ENERGIATARPEEN SELVITTÄMINEN .....	9
5	VARAVIRTAVAIHTOEHDOT .....	11
5.1	Polttoainegeneraattori.....	12
5.2	Aurinkoenergia .....	13
5.2.1	Tampereen kaupungin määräykset aurinkopaneeliasennuksista.....	15
5.2.2	Aurinkopaneelien optimaalinen asennus.....	16
5.3	Akusto.....	17
5.3.1	Akkutyypit.....	18
5.3.2	Akusto varavirtavaihtoehtona.....	20
6	AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ.....	21
6.1	Arduino.....	21
6.2	Raspberry pi .....	22
6.3	Beckhoff.....	23
7	ANTURIT.....	24
7.1	Hiilidioksidianturi .....	25
7.2	Ilmankosteusanturi .....	25
7.3	Muut anturit.....	26
8	POHDINTA.....	26
	LÄHTEET .....	28

## Liitteet

Liite 1	PVGIS estimates of solar electricity generation -roof assembly
Liite 2	PVGIS estimates of solar electricity generation – south-east wall assembly
Liite 3	PVGIS estimates of solar electricity generation – south-west wall assembly
Liite 4	PVGIS estimates of solar electricity generation – optimal assembly

## 1 JOHDANTO

Työn tavoitteena on uudistaa 1990 -luvun puolivälissä valmistuneen omakotitalon lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmää, sekä mahdollistaa tietyn-tasoisien asumismukavuuden ylläpitäminen mahdollisten pieniaikaisten sähkökatkosten aikana. Asumismukavuuden ylläpidossa otetaan taloudellisen näkökulman lisäksi huomioon myös muut energian tuotantoon ja käyttöön liittyvät tekijät. Työssä käydään myös läpi lyhyesti yksityishenkilölle helppoja tapoja vähentää kokonaisenergiankulutusta.

Aihe on tärkeä, koska tällä hetkellä suomessa kiinnitetään huomiota energian säästämiseen ja omatuotantoon uusia asuinrakennuksia rakennettaessa ja suurikokoisissa uudistamisprojekteissa, mutta remontoitaessa pienessä mittakaavassa tämä on vielä harvinaista. (Energiavirasto, 2015, s. 6)

Automaatio on aina tärkeässä osassa, kun optimoimme minkä tahansa laitteen tai laitekokonaisuuden toimintaa ja energiankulutusta. Tämän takia on tärkeää, että myös pienemmän mittakaavan asuinrakennuksissa aletaan kiinnittämään huomiota energiankäytön optimointiin, sekä energiahukkien vähentämiseen.

Työn tilaaja on yksityishenkilö, jolla on kiinnostusta nykYTEKNOLOGIAA kohtaan ja haluaa tämän vuoksi hyödyntää sitä kiinteistönsä tulevassa remontissa. Yksityishenkilöiden kannalta on tärkeää ottaa myös huomioon uudistusten kustannukset, sillä puhtaasti ekologisista näkökulmista tehdyt sijoitukset uusiin laitteisiin ovat harvinaisia.

Työn tilaajan kannalta suurin ongelma on esimerkki kiinteistön ilmanvaih- tokoneen ikääntyminen. Ilmanvaihtokoneen toimintakyky on laskenut laitteen ikääntyessä ja lisäksi ilmanvaihtoon liittyvät standardit ovat muuttuneet talon valmistamisen jälkeen. (Asetus uuden rakennuksen sisäilmas- tosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017)

Työn valmistuttua tilaajan on mahdollista tehdä tarkempi uudistussuunni- telma tavoitteena yleinen energiankulutuksen vähentäminen ja halujensa mukaan uudistaa lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmänsä. Työn pohjalta on myös mahdollista koota tarkempi suunnitelma pienimuotoiseen oma- tuotantoon ja asumismukavuuden ylläpitoon sähkökatkokkien aikana, sekä säästää sähkölaskussa.

Työn alussa kartoitetaan laitteistojen nykytilanne ja käsitellään kuluttajalle helposti suoritettavia energiansäästötapoja lyhyesti, jonka jälkeen työ kä- sittelee eri vaihtoehtoja kiinteistön energiankulutuksien laskemiseksi ja energiakustannusten vähentämiseksi. Työ ottaa myös osaksi huomiota kiinteistön asumismukavuuteen.

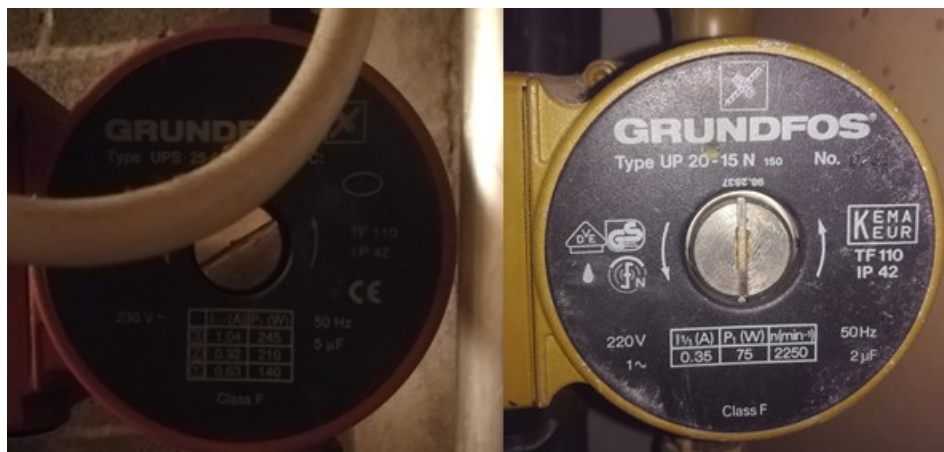


Vesikiertopumput sekä öljykattila ja -poltin sijaitsevat teknisessä tilassa, jonka sijainti kiinteistössä näkyy kuvassa yksi. Muutostyön aikana on tarpeeksi myös siirtää ilmanvaihtokoneen sijainti tekniseen tilaan vaihdon yhteydessä. Autotallin ilmanvaihto ei ole yhteydessä ilmanvaihtokonejärjestelmään. Tämän lisäksi tavoitteena on myös eri osioiden kommunikoinnin mahdollistaminen ja laitteiden tietojen kerääminen käyttäjälle ymmärrettävään muotoon esimerkiksi näyttöpäätteelle. Laitteiden kommunikointi keskenään tai käyttäjälle annettava tieto eivät ole pakollisia kokonaisuuden kannalta, mutta oikein toteutettuna tämä nostaa kuluttajatytyväisyyttä.

## 2.1 Vesikiertopumput

Kiinteistössä on kaksi vesikiertopumppua. Ensimmäinen kierrättää lattialämmitysverkoston vettä ja toinen luo paineen lämpimän veden verkostoon. Lämmitysverkoston pumppu on malliltaan Grundfos Type UPS 25-80 180 ja lämpimän veden verkoston pumppu Grundfos Type UP 20-15 N 150. (kuva 2)

Pumppua käyttäessä Tilavuusvirtaus on sidonnainen kuinka korkealle pumppu nostaa nestettä. Nesteiden nostaminen korkeammalle lisää painovoiman vaikutusta ja vaatii tämän vuoksi enemmän energiaa saman tilavuusvirran saavuttamiseksi. Tarkat arvot eivät kuitenkaan ole merkittäviä tämä kiinteistön kannalta, sillä kiinteistön parviaalueilla ei ole lattialämmitystä tai vesipistettä.



Kuva 2. Lämmitysverkoston ja lämpimän veden pumput.

### 2.1.1 Lämmitysverkoston pumppu

Lämmitysvesikierron pumppuna toimii Grundfos Type UPS 25-80 180. Pumppu on ruostumatonta terästä ja pystyy kestäämään enintään 10 barin painetta ja toiminta on mahdollista -25 - +110 celsiusasteen välillä.

Pumppu toimii 1-vaihemoottorilla. Maksimiteholla toimiessaan pumppu käyttää 245 W tehoa. (Grundfos, n.d., s. 55)

### 2.1.2 Lämpimänveden pumppu

Grundfos Type UP 20-15 N 150 toimii lämpimän käyttöveden pumppuna. Samaan tapaan kuin UPS 25-80 pumppu on ruostumatonta terästä ja kestää 10 barin painetta. Toimintalämpötila on 2 - 110 celsiusastetta. Pumppu on yksivaiheinen ja käyttää tehoa 65 W. (Grundfos, n.d., s. 101)

## 2.2 Keskuslämmityskattila ja öljypoltin

Keskuslämmityskattila on malliltaan Eetta 17 S. Kattilan Suositeltu tehoalue on 17 - 20 kW. Kattilassa on myös mahdollisuus käyttää sähkövastuksia lämmitykseen tarvittaessa, mutta tämä ei ole toiminnassa nykyhetkellä. (Lahtinen, 2002, s. 5) Kattilaan kiinnitetty öljypoltin on mallia Oilon junior pro LJ10. Polttimeen ottoteho on 200 W. (Oilon, n.d., s. 2) Poltin vaihdettiin tähän malliin 2016. Polttoaineena käytettävä polttoöljy on varastoitu maan alla sijaitsevassa 5000 litran öljysäiliössä. Molemmat edellä mainituista laitteista ovat nähtävissä kuvassa 3.

Kiinteistön lämminvesivaraaja sijaitsee öljykattilassa ja se lämpiää yhdessä lattialämmitysveden kanssa. Öljykattilan iän vuoksi kattilaa säädetään manuaalisesti ja tämä hankaloittaa lattialämmityksen säätämistä. Lattialämmityksen säätäminen tapahtuukin kokemuksen ja kokeilemisen yhdistelmänä.

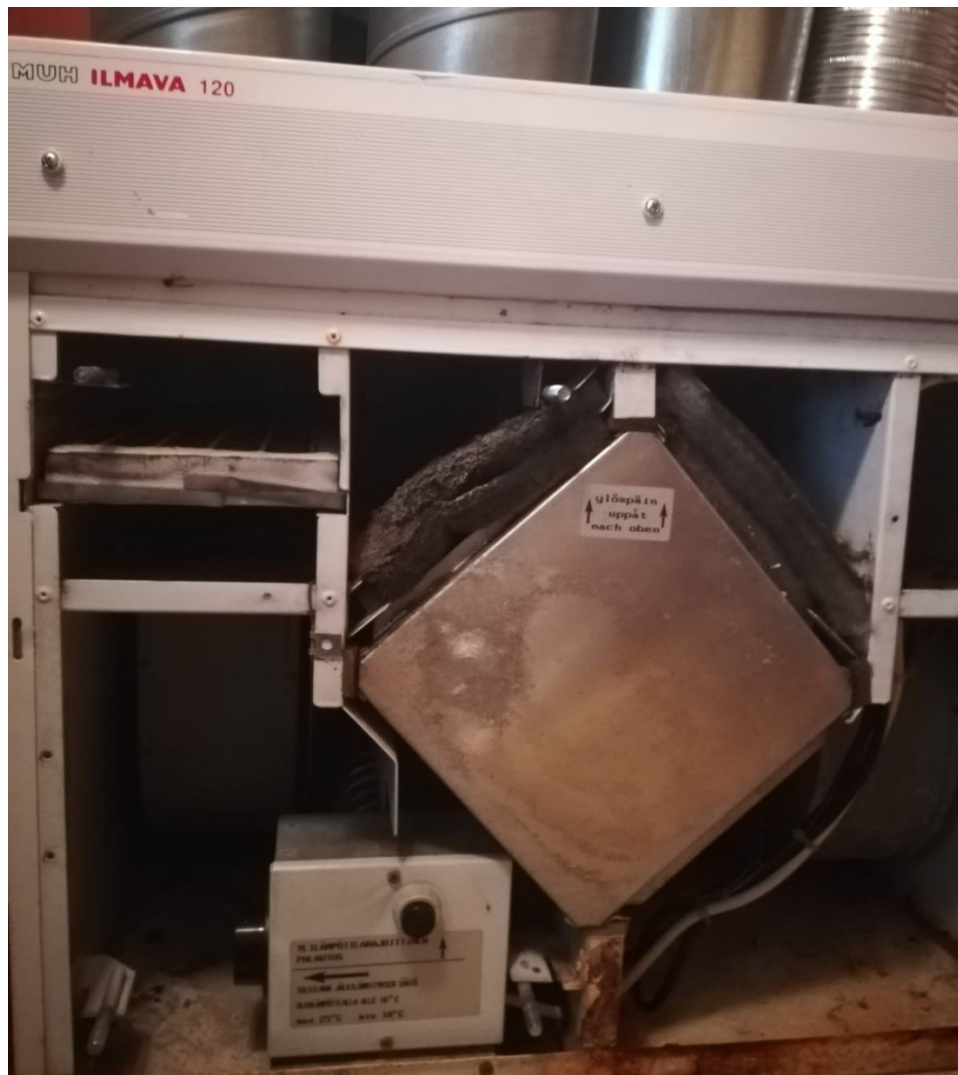




Kuva 3. Kiinteistön öljykattila ja -poltin.

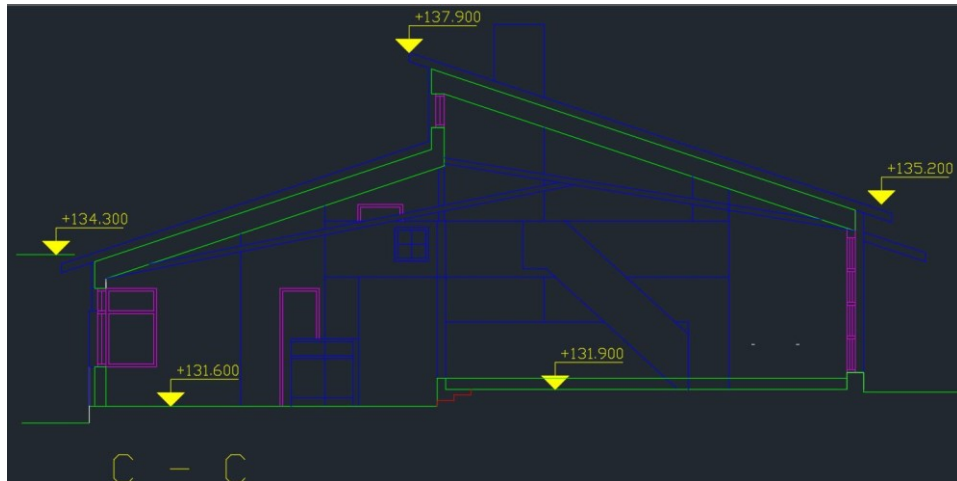
### 2.3 Ilmanvaihtokone

Ilmanvaihtokone on malliltaan Muh ilmava 120, joka nähdään kuvassa 4. Koneessa on sisäänrakennettuna 170 W tulo- ja poistoilmapuhallin, sekä 1000 W jälkilämmityspatteri. Kone pystyy vaihtamaan ilmaa enimmillään 105 m<sup>3</sup>/h. (Vallox, 2018) Kyseinen laite oli aikansa myydyimpiä ilmanvaihtolaitteita. Valloxin mallistosta löytyy ilmanvaihtokone Vallox 121 SE, joka on suunniteltu korvaamaan Muh ilmava 120 kone ja tämän vuoksi koneiden putkiliitännät on suunniteltu samalaisiksi. (Vallox, n.d.a) Kiinteistön keittiössä on ilmanvaihtojärjestelmästä erillinen liesituuletin, joka toimii huippuimurin avulla.



Kuva 4. Kiinteistön ilmanvaihtokone.

Vaikka kiinteistön koneistetun ilmanvaihdon pinta-ala on 219 m<sup>2</sup>, esimerkiksi kiinteistön kattokorkeus on normaalia korkeampi ja on korkeimmillaan lähes 6 metriä, joten kiinteistön koneellisen ilmanvaihdon alueen kokonaistilavuus on noin 1000 m<sup>3</sup>. Koneistetun ilmanvaihdon ulkopuolelle kiinteistössä jää autotalli, joka on kuitenkin lämmitysjärjestelmän alaisuudessa. Kuvassa 5 nähdään läpileikkaus, joka antaa hyvän kuvan keskimääräisestä kattokorkeudesta kiinteistössä. Kuvaan merkatuista korkeuksista näkee helposti, kuinka katto on matalammillaankin noin 2,5 m korkea.



Kuva 5. Kiinteistön läpileikkauskuva.

Ympäristöministeriön uusimmassa asetuksessa ilmanvaihtoa koskien määritellään asuinkiinteistön, että ilmanvaihtomäärän tulee olla vähintään  $0,35 \text{ (dm}^3/\text{s)}/\text{m}^2$ . Asetus vaatii myös  $6 \text{ dm}^3/\text{s}$  lisäyksen, jos kiinteistössä on sauna. Tätä arvoa käyttäen saadaan tarvittavaksi ilmavaihtomääräksi  $275 \text{ m}^3/\text{h}$ . Lisäksi ministeriön asetuksen mukaan ilmanvaihtoa on pystytävä lisäämään hetkellisesti tarvittaessa  $30 \%$ , joten tämän hetkinen ilmanvaihtokone on alimitoitettu ja ei pysty toimimaan tasolla, jota ministeriön asetus vaatii. Asetuksessa on myös määritelty kuinka paljon suuremmaksi sisäilman hiilidioksidipitoisuus saa nousta ulkoilmaan verrattuna. (Asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017 § 9)

Kiinteistössä asuu tällä hetkellä kaksi ihmistä ja aistein havaittavia ongelmia ilmanvaihdon suhteen ei ole toistaiseksi ilmennyt. Osakseen tilanteeseen vaikuttaa kiinteistön suuri tilavuus, joka hidastaa ilmanlaadun huononemista ja täten hankaloittaa aistiperäistä havainnointia ilmanlaadun muutoksista.

Uutta ilmanvaihtokonetta valittaessa on tärkeää ottaa huomioon uuden laitteen kyky ottaa vastaan viestejä antureilta tai automaatiojärjestelmältä ja laitteen kyky muuttaa toimintaansa anturitiedon tai automaation viestien perusteella. Oikeanlaisella koneen valinnalla kiinteistön asumismukavuus kasvaa ja energiaa säästyy ilman asukkaan tarvetta tehdä säätöjä ilmanvaihtoon manuaalisesti.

### 3 ENERGIAN KOKONAISKÄYTÖN VÄHENTÄMINEN

Energiankulutusta tarkasteltaessa on hyvä ottaa huomioon myös muut asiat. Yksi helpompia osioita vähentää energian kulutusta kiinteistössä on valaistus. Nykyajan LED -valaisimet käyttävät usein huomattavasti

vähemmän energiaa suhteutettuna valomäärään, kun näitä verrataan esimerkiksi loisteputkiin. Kiinteistössä on noin 80 halogeenilamppua ja 3 loisteputkea.

The Guardianin -lehden artikkeli liittyen halogeenien vaihdosta ledeihin kertoo, että brittien valaistuskäytöllä sähkökustannukset laskevat valaisinta kohden 11 punnasta 2 puntaan vaihtamalla valaisintyyppiä. (Collinson, 2018)

Tekniikan maailma -lehti kertoo artikkelissaan led loisteputkista, kuinka on tärkeää tietää, minkä tyyppiseen valaisimeen led loisteputki vaihdetaan, sillä huolimattomuus valaisintyyppiä vaihdetta voi johtaa turvallisuusriskeihin. (Aaltonen, 2017)

Kun verrataan perinteisiä valaisin vaihtoehtoja Led -lamppuihin esimerkiksi valaisinvalmista Philips mainostaa LED -lamppujensa käyttävän jopa 80% vähemmän energiaa, sekä kestävän käytössä moninkertaisen ajan. (Philips, n.d.)

Kiinteistöjen sisälämpötila vaikuttaa voimakkaasti energiankulutukseen. Laskemalla sisätilojen lämmitystä yhdellä asteella energiankulutus lämmitykseen laskee noin 5 prosenttia. Sähkölämmitteisessä kiinteistössä tämän näkee helposti sähkölaskusta, mutta muita lämmitysmuotoja käytettäessä ero on vaikeampi huomata. (Voimatori yhtiöt, n.d.a)

Tämän lisäksi pienimuotoista optimointia on mahdollista tehdä ohjaamalla valittuja valaisinryhmiä liiketunnistimilla. Suoran sähkönkäytön ulkopuolisista kohteista helpoin vaihtoehto on tarkistaa ja tarvittaessa vaihtaa ikkunoiden ja ulko-ovien tiivisteet.

Tämän lisäksi on tapoja säästää energiakustannuksissa, jotka vaativat asukkaan tai yleisiin rakennuksiin sovellettuna käyttäjän aktiivista toimintaa energiankulutuksen vähentämiseksi. Tietokoneen ja television sammuttaminen, kun laitteet eivät ole käytössä laskee kulutusta suuresti. (Voimatori yhtiöt, n.d.b) Valaistuksen sammuttaminen, jos valaistusta ei tarvita, on myös yksinkertainen tapa pienentää energiankulutusta (Voimatori yhtiöt, n.d.c).

Kotitalouksien on myös hyvä huomioida veden lämmittämiseen tarvittavan energian määrä. Tämän vuoksi vettä käyttäviä kodinkoneita käyttäessä on hyvä käyttää laitteen koko kapasiteettia energian kulutuksen vähentämiseksi. (Voimatori yhtiöt, n.d.d)

## 4 ENERGIATARPEEN SELVITTÄMINEN

Mikäli tilaaja haluaa tiettyjen laitteiden toiminnan jatkuvan Sähkökatkoksen aikana, energian tarve määritetään haluttujen toimintojen mukaan. Minimivaatimuksena on lämmityksen ja ilmanvaihdon toiminnan jatkuminen sähkökatkoksen aikana. Tämän lisäksi näitä laitteistoja hallinnoivan automaatiojärjestelmän on myös pysyttävä toimintakykyisenä. Energialaitoksen arvio kiinteistön vuosittaisesta sähkökulutuksesta on noin 8000 kWh ja Energiankäyttö sähköverkosta oli helmikuu 2019 aikana noin 750 kWh. Helmikuu on keskimäärin yksi kylmimmistä kuukausista, joten on luonnollista, että kulutus on keskimäärin korkeampi tähän aikaan. Päiväkohtainen energiankulutus helmikuussa on keskimäärin hieman alle 27 kWh.

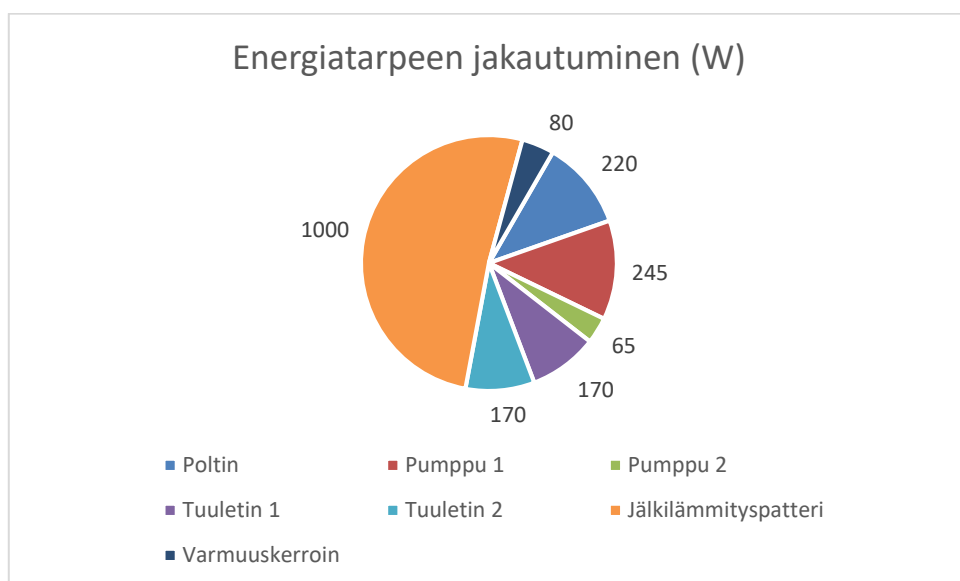
Lämmityksen toiminnan varmistamiseksi energiaa tarvitsee öljypoltin, sekä lattialämmityksen vesipumppu. Öljypoltin lämmittää myös lämpimän käyttöveden, joten myös lämpimän veden saatavuus on helppo pitää mahdollisena. Tämä saadaan mahdolliseksi lisäämällä laskelmiin myös lämmin-vesipumppu.

Ilmanvaihtokoneen energiantarve määrittyy lopulta laitteiston perusteella. Uutta ilmanvaihtokonetta valittaessa on hyvä ottaa huomioon energiatehokkuus ja erityisen tärkeää on, että laitetta on mahdollista ohjata keskitetyn automaatiojärjestelmän avulla. Nykyisen ilmanvaihtokoneen suurin hetkellinen energian kulutus syntyy jälkilämmityspatterin toiminnasta ja mahdollisen uuden ilmanvaihtokoneen energian kulutus jakaantuu samansuuntaisesti.

Näiden pakollisten laitteiden ja järjestelmien jälkeen on mahdollista halutessaan lisätä esimerkiksi jääkaappi tai pistorasia matkapuhelimen latausta varten, mutta tämä lisää akustolle asetettuja vaatimuksia ja täten lisää kustannuksia. Jääkaapin kokonaiskulutus on alhainen. Vattefall -sähköyhtiön sivustojen mukaan jääkaappipakastin yhdistelmän päiväkulutus on 1 kWh vaihdellen mallin mukaan. Tuntia kohden tämä on keskimäärin noin 42 Wh, mutta hetkellinen tehontarve on korkeampi. (Adato Energia Oy, 2013, s. 48) Matkapuhelin latauksen hetkellinen tehon käyttö ei vaikuta suuresti kokonaisuuteen.

Edellä mainittujen pakolliseksi koettujen laitteiden vaatima hetkellinen kokonaisteho on 1870 W, mutta ilmanvaihtokoneen vaihto todennäköisesti nostaa ilmanvaihtojärjestelmän hetkellistä tehonkulutusta hieman, mikäli uuden ilmanvaihtokoneen kapasiteetti kasvaa merkittävästi. Lisäksi jos varavirtalähteenä käytetään jotakin monimutkaisempaa kuin polttoainegeneraattoria on taloon suositeltavaa lisätä jonkinlainen automaatiojärjestelmä, joka hallinnoi kerättyä anturidataa ja mahdollistaa kommunikoinnin ja optimoinnin eri laitteiden välillä.

Aikaisemmin Ilmoitettu Teho kertoo laitteiden hetkellisesti käyttämän yhteistehon, jos kaikki laitteet ovat käynnissä yhdenaikaisesti. Hetkellisen tehonkulutuksen selvittäminen on tärkeää, kun valitaan vaihtoehtoja energian lähdettä. Polttoainegeneraattorin valinnassa tämä säästää ostamiskustannuksissa ja voi helpottaa sijoitusta laitteen koon vuoksi. Akuston valinnan kannalta tämä on tärkeämpää, sillä vaikka akustot kykenevät luovuttamaan energiaa enemmän kuin valmistajat ilmoittavat, tämä laskee akun elinikää pahimmassa tapauksessa kolmannekseen. (Battery University Group, 2017) Kun pakollisten laitteiden hetkellisen tehon tarpeen päälle lisätään 80 W, voidaan näin varmistaa akuston oikeanlainen käyttö ja kokonaisuuteen voidaan myös turvallisesti lisätä esimerkiksi Jääkaappipakastin myös jälkikäteen Ilman muutostarpeita. Energiantarpeen jakautuminen nähdään kuvassa 6.



Kuva 6. Laitteiden hetkellinen yhteisteho.

Kahden vuorokauden pituista sähkökatkosta varten (48h) 54 kWh on riittävä määrä ylläpitämään koko asunnon käyttökelpoisena 48 tunnin ajan. Akuston tarkka mitoitus on riippuvainen akuston jännitteestä. Akustosta hyödynnettävän energian määrään wattitunneissa vaikuttaa suuresti akuston jännite. Määrä on laskettu käyttäen viitearvona myös aikaisemmin mainittua helmikuun päivittäistä kesikulutusta 27 kWh päivässä. Akustoa mitoittaessa on kuitenkin tärkeää ottaa huomioon, että useiden akkujen elinikä lyhenee, kun akku tyhjennetään lähes tyhjäksi. Akuston kokoa lasiessa on myös hyvä huomioida erilaiset muunnoksista ja muista häviöistä syntyvät energian menetykset.

Ilmanvaihtolaitteiston jälkilämmityspatterin toimintaa voi arvioida teoreettisesti ilmatieteenlaitoksen lämpötilamittaustilastojen avulla. Näiden tilastojen avulla on mahdollista karkeasti rajata pois aikoja, jolloin jälkilämmityspatteri ei ole käytössä. Ilmatieteenlaitos on kerännyt vuosikymmeniä tilastoja Tampereen lämpötiloista. Nykyisen Ilmanvaihtokoneen

jälkilämmityspatteri on säädetty käynnistymään ilman lämpötilan laskiessa alle 10 C ja lämmittämään ilmaa samaan lämpötilaan. Hyödyntäen ilmatieteenlaitoksen tilastoja Tampereen keskimääräisistä lämpötiloista on mahdollista rajata varmasti vuodesta 32 % ajaksi, jona aikana jälkilämmityspatteri ei ole toiminnassa. Jäljelle jäävän 68 % osuudelta patterin toimintaa on hankalampaa arvioida, koska lämmön talteenottojärjestelmän toiminnan tehokkuuden selvittäminen vaatisi pidempiaikaisia mittauksia käyttäen vanhaa ilmanvaihtokonetta. (Pirinen, Simola, Aalto, Kaukoranta, Karlsson, Ruuhela, 2012, s. 29)

Edellä rajattujen laitteiden todellista energiankäyttöä on mahdotonta arvioida tarkasti ilman pidempiaikaisia mittauksia energian käytöstä laitekohtaisesti. Yleisesti voidaan kuitenkin olettaa, että laitteistot käyttävät enemmän energiaa talvella matalampien lämpötilojen vuoksi. Laitteiden yhteistä energiantarpeen piikkiä tutkittaessa on selkeää, että ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatterin tehotarve kattaa noin puolet hetkellisen energiantarpeen ollessa korkeimmillaan. Mahdollisen aurinkopaneelihan-kinnan kannalta on hyvä huomioida, että paneelit tuottavat eniten kesäi-kaan ja energian kulutus on suurin talvella.

## 5 VARAVIRTAVAIHTOEHDOT

Vaihtoehtoisia energiansäilytystapoja ja sähköntuotantotapoja on monia. Erilaisiin energian varastoimistapoihin sisältyy energian sitominen potentiaalienergiaan pumppaamalla vettä takaisin patoaltaisiin. Muita vaihtoehtoja energian keräämiseen on varastoida energiaa painetta, liike-energiaa tai lämpöä hyödyntäen. Pienikokoisen kiinteistön kohdalla useat vaihtoehtoista osoittautuvat epäkäytännöllisiksi erinäisistä syistä. Kaupunkialueella useat vaihtoehtoista eivät ole kannattavia johtuen vaihtoehtojen suuresta kokovaatimuksesta niiden ollakseen kannattavia. Yksityishenkilölle halvin ja kustannustehokkain tapa on sijoittaa akustoon. (Smith, 2016)

Energian pientuotannossa on samansuuntaisia ongelmia. Sähköntuotantoon on monia tapoja, mutta useat vaihtoehtoista vaativat kokoluokaltaan niin suurta sijoitusta, että ne eivät ole realistisia vaihtoehtoja pientuotantoon. Suomen kaupunkien taajama-alueiden tilannetta huomioon ottaen on myös helppo rajata suuri osa pientuotantovaihtoehtoista pois käytännöllisyyden vuoksi. Useimmilla kaupungeilla on olemassa jonkinlainen asemakaava, joka määrittää erilaisia ehtoja asuinalueelle rakennuksiin liittyen. Esimerkiksi pienimuotoinen vesivoimala on usein rakennuksen sijainnin takia mahdoton.

Paikallisten asemakaavojen tulee liittyä asemakaavassa mainittujen alueiden käytön ja rakentamisen ohjaajana. Mikäli asemakaavan osiolla on jokin muu peruste, ei asemakaavaa ole pakollista seurata. Asemakaava ei voi

määrätä esimerkiksi kiinteistön lämmitysmuodosta. (Ympäristöministeriö, 2003, s. 20)

Tampereen kaupungin mukaan julkisivumuutos on luvanvarainen, kun se muuttaa olennaisesti julkisivua tai kaupunkikuvaa. Tämän lisäksi erinäisen arvorakennusten julkisivumuutokset ovat luvanvaraisia. Tuulivoimalat Tampereen kaupungilla edellyttävät kaupungin hyväksynnän suunnitelmalle, sekä toimenpideluvan. Muita energianvarastointitapoja ajatellessa tilanne on sama. Lainsäädännön ja asetusten pohjalta koottu Tampereen kaupungin ohjeistus poistaa useimmat varastointitavoista mahdollisuuksista, koska yleinen ohjeistus on: ”Julkisivumuutos on yleensä luvanvarainen, jos se olennaisesti muuttaa rakennuksen julkisivua tai kaupunkikuvaa”. (Tampereen kaupunki, n.d.) Hakemuksen hyväksynnälle on toki mahdollisuus, mutta hyväksyntä esimerkiksi pienikokoiselle tuulivoimalalle on epätodennäköinen. (Eklund, 2011, s. 16)

Aurinkopaneelien sijoittamiseen ei tarvita erillistä lupaa, jos asennus noudattaa asemakaavaa. Suojeltuja rakennuksia koskee eri säännökset. Paneelien asennusvaiheessa hankkija vastaa mahdollisista terveys ja turvallisuusongelmista. Järjestelmä on kuitenkin suunniteltava kaupunkikuvaan sopivaksi ja paneelit tulisi ensisijaisesti sijoittaa siten, että paneelit eivät näy kadulle. Paneelit eivät myös saa aiheuttaa mahdollisia heijastushäiriöitä lähialueelle. (Tampereen Kaupunki, 2016)

Energian varastointiin paras vaihtoehto pienissä mittakaavoissa taajama-alueella on akku. Sähkön tuotannon kannalta pienessä mittakaavassa realistiset vaihtoehdot ovat polttoainegeneraattori ja aurinkoenergia. Erilaisia varavirtalähteitä vertaillen on hyvä ottaa huomioon hetkellisten kulujen lisäksi myös muita näkökulmia, kuten ympäristövaikutukset ja varavirtalähteen hyödyllisyys normaaleina aikoina. Lopullisen valinnan tekee lopulta tilaaja.

## 5.1 Polttoainegeneraattori

Polttoainegeneraattori on helppo ratkaisu varavirtavaihtoehtona öljylämmitteisessä kiinteistössä lämmitysjärjestelmän vähäisen sähkönkulutuksen vuoksi. Lisäksi laite vaatii vain alkusijoituksen, pieniä muutoksia sähkökeskukseen sekä ajoittaisen polttoaineen lisäämisen. Negatiivista Polttoainegeneraattorin käytössä on pääasiassa ilmansaasteet ja mahdollinen häiritsevä ääni laitteen käytöstä. Taloudellisesta näkökulmasta polttoainegeneraattori on myös houkutteleva vaihtoehto pienen alkusijoitushinnan vuoksi, esimerkiksi 5500 W generaattorin hinta on alle 1000 €. (Motonet, n.d.) Aurinkopaneelijärjestelmään sijoittaminen vaatii enemmän alkupääomaa ja muutostöitä asennusvaiheessa. Kuvassa 7 on tyypillinen polttoainegeneraattori.





Kuva 7. Tyypillinen polttoainegeneraattori (Profil, n.d.).

Polttoainegeneraattori on selkeästi hinnaltaan halvin vaihtoehto, jos tavoitteena on vain vaihtoehtoinen virranlähde. Kiinteistön sijainnin vuoksi on kuitenkin jopa mahdollista, että generaattoria ei käytetä. Kun valinnassa otetaan hinnan lisäksi huomioon myös muita osioita, kuten ekologisuus sekä hyödyllisyys normaaliaikana, generaattori vaihtoehtona menettää arvoaan. Lisäksi generaattorin käyttö vaatii lähiasukkaiden luvan ja generaattorin käyttö taajama-alueella todennäköisesti häiritsee naapurustoa.

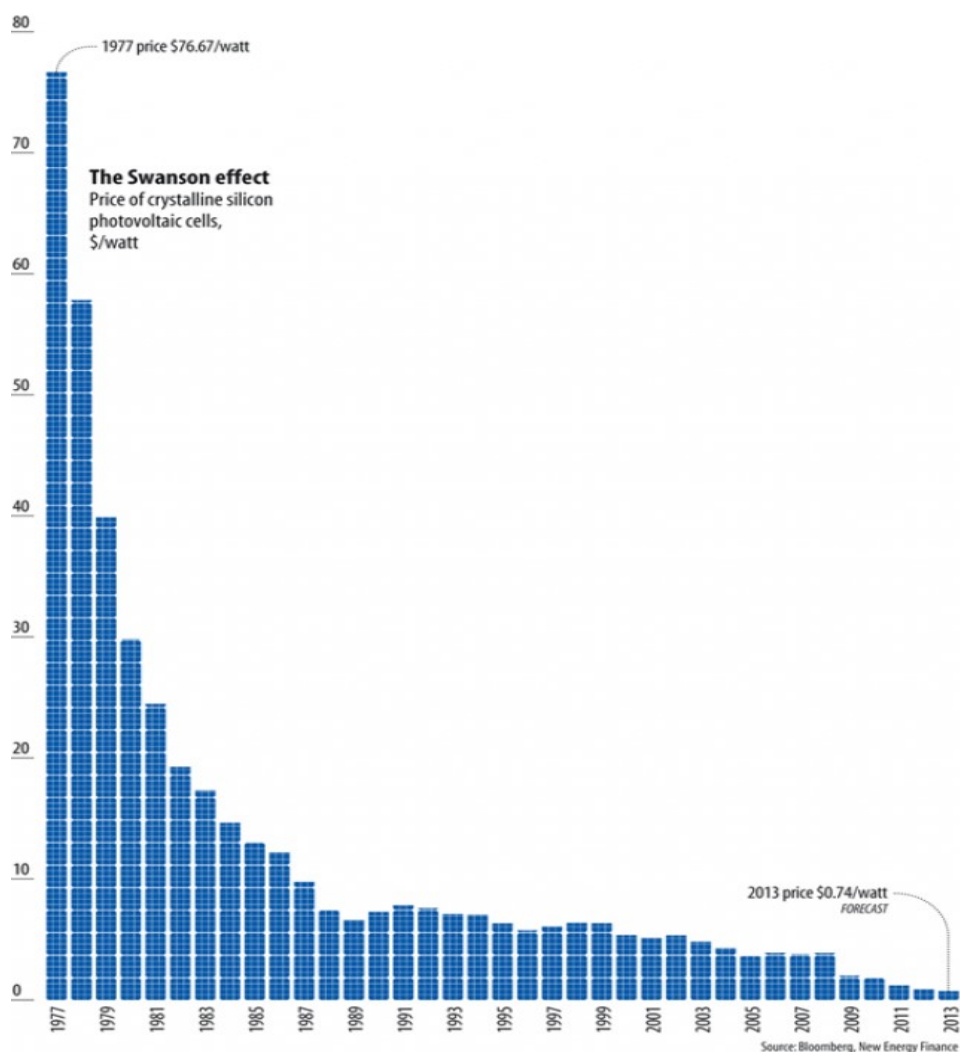
## 5.2 Aurinkoenergia

Sähkön tuotanto aurinkoa hyödyntäen on ollut kasvussa suomessa viime vuosina. Tuotanto on noin tuplaantunut joka vuotena vuodesta 2016 lähtien. Kasvutahdin jatkuessa samana, suomi tuottaa prosentin verran sähkökäytöstään aurinkoenergiana lähivuosina. (LUT yliopisto, 2019) Tuotanto on kuitenkin vielä vähäistä pienessä mittakaavassa, vuonna 2015 energiaviraston teettämässä kyselyssä alle 5 kW yksiköitä oli asennettuna verkkoon alle 2000 kappaletta. (Energiavirasto, 2015, s. 6)

Vuositasolla Suomen säteily määrä on noin sama kuin keski-Euroopan mailla, mutta esimerkiksi Saksassa aurinkosähkön tuotanto on 300 kertainen asukasta kohden Suomeen verrattuna. Yksi suuri tekijä eroon on valtioiden erilainen tapa tukea aurinkosähköjärjestelmiä. (LUT yliopisto, 2019)

Suuret vuodenaikojen vaihtelut myös vaikuttavat aurinkosähkön hyödyn-  
tämismahdollisuuksiin. Lappeenrannan teknillisen yliopiston tekemien las-  
kelmien mukaan vain noin puolet aurinkoenergialla tuotetusta sähköstä on  
hyödynnettävissä Suomen olosuhteissa. Talvella aurinkosähkön tuotto on  
pienimmillään ja tarve suurimmillaan, kun taas kesällä kaikkea tuotettua  
sähköenergiaa on vaikea saada käytettyä. Vielä ainakin toistaiseksi aurin-  
kosähkön liittäminen ja myyminen kansalliseen sähköjakeluverkkoon on  
hankalaa ja kuluttajalle maksettu summa on matala. (Auvinen, Jalas, Aalto  
-yliopisto, 2017)

Aurinkopaneelien valmistushinnan aleneminen helpottaa kuluttajan mah-  
dollisuutta sijoittaa paneeleihin. Aurinkopaneelien valmistushinta Wattia  
kohden on tippunut rajusti. Vuonna 1977 hinta wattia kohden oli 76 dolla-  
ria ja vuonna 2015 hinta oli vain 0,30 dollaria. Kuvassa 8 on nähtävissä pa-  
neelien valmistuksen hinnankehitys. Paneelien hintojen lasku jatkuu to-  
dennäköisesti myös tulevaisuudessa ja tämä helpottaa yksityishenkilöiden  
mahdollisuutta sijoittaa omaan aurinkosähköjärjestelmään. (Shahan,  
2018)



Kuva 8. Aurinkopaneelien valmistuksen hinnankehitys 1977-2013 (The Economist, 2012).

Suurin osa nykyisistä kuluttajamarkkinoilla myydyistä ohutfilmi aurinkopaneeleista ovat niin kutsuttuja CdTe-paneeleita. Paneelien tärkein osa on valmistettu Kadmiumista ja Telluurista, joiden mukaan paneelityyppi on saanut nimensä CdTe. Kadmium on myrkyllinen raskasmetalli, jota tuotetaan pääasiassa sivutuotteena sinkkiä valmistettaessa. (Luonnonvarakeskus, 2013) Kadmiumin myrkyllisyyden vuoksi on tärkeää, että paneelien elinkaaren päättyessä paneelit poistetaan käytöstä oikeaoppisesti ja toimitetaan oikeaan paikkaan asiallista hävitystä varten.

CdTe-paneelit ovat valmistuskustannuksiltaan hieman matalammat kuin Perinteisten pii -pohjaisten paneelien. Laboratorio-oloissa CdTe-paneelit ovat suurimmillaan saavuttaneet 22 % hyötysuhteen kennotehokkuudessa. (US National Renewable Energy Laboratory, n.d.) CdTe-paneelit ovat noin samanhintaisia kuin muun tyyppiset paneelit. on myös perinteisiä paneeleita hieman pienempi takaisinmaksuaika valmistukseen käytetyn energian ja päästöjen kannalta (Dricus, 2012)

Pii-pohjaiset paneelit ovat ensimmäiset kuluttajamarkkinoille tulleet aurinkopaneelit. Laboratorio-oloissa piipaneelit ovat saavuttaneet korkeamman hyötysuhteen kuin CdTe-paneelit. pii -paneeleihin verrattuna CdTe-paneelit sopivat kuitenkin paremmin suomen olosuhteisiin koska CdTe-paneelit pystyvät hyödyntämään epäsuoraa auringonvaloa tehokkaammin. (First Solar Inc., 2011, s. 2)

### 5.2.1 Tampereen kaupungin määräykset aurinkopaneeliasennuksista

Tampereen kaupunki on julkaissut diplomityöhön pohjautuvan aurinkosähköoppaan. Opas on osa ekotehokas Tampere 2020 -projektia. Opas käsittelee järjestelmiä, joihin ei kuulu akkuja ja ylimääräinen sähkö myydään verkkoon. (Tampereen kaupunki, n.d., s. 2)

Yleisen ohjeen mukaan Aurinkopaneelien asennus ei tarvitse toimenpide-lupaa, jos paneelien kokonaispinta-ala on alle 10 m<sup>2</sup> ja ne asennetaan katon tai seinän suuntaisesti. Laitteita ja komponentteja ulkomailta tilatessa opas ohjeistaa tarkistuttamaan laitteet verkkoyhtiöllä. (Tampereen kaupunki, n.d., s. 6)

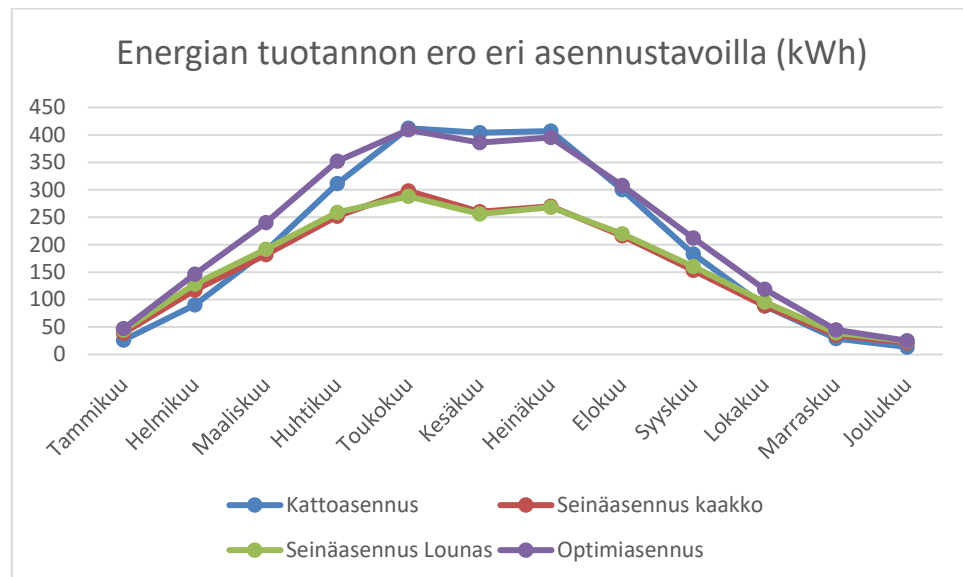
Kaupunki asettaa yksivaiheisille järjestelmille tehorajaksi noin 3 kW ja etusulakkeen koko ei saa ylittää 16 A. Kolmivaiheisille järjestelmille tehoraja on noin 11 kW. Opas suosittelee tekemään yksivaihe kytkennän siirtämällä kiinteistön pohjakuomaa yhdelle vaiheelle, mutta huomauttaa, että vaiheiden kuorma ei saa erota liian paljon. (Tampereen kaupunki, n.d., s. 8)

Järjestelmää ei saa kytkeä verkkoon ilman sähköverkon omistajan lupaa. Lupahakemukseen liittyvät asiakirjat löytyvät Tampereella sähköverkon omistajan sivuilta. Järjestelmän saa kytkeä verkkoon vasta luvan jälkeen.



jakaantuminen kuukausittain. Seinäasennus tuottaa arvioilta 260 kWh heinäkuussa ja joulukuussa 21,7 kWh. Mikäli paneeli asennettaisiin lounaaseen suuntaavalle seinälle kokonaistuotantoarvio nousisi vuositasona 1970 kWh. Sijoituspaikkana lounas seinä on myös parempi, koska kiinteistön tekninen tila on lähempänä. (Liite 2,3)

Vertailun vuoksi mainittakoon, että laskurin mukaan optimi asennus ilman aurinkoa seuraavia toimintoja on etelän suuntaan 41 asteen kulmassa. Vuosituotanto olisi tällöin 2670 kWh. (Liite 4) Kuvassa 10 nähdään eri asennustapojen tuottama sähkö eri kuukausina.



Kuva 10. Arvioitu sähköntuotanto eri asennustavoilla.

### 5.3 Akusto

Akusto on pakollinen osa aurinkosähköjärjestelmää, jos järjestelmän hankkija haluaa laitteistojen toimivan sähkökatkosten aikana. Akuston mitoituksessa ja varauksen ylläpitoa suunniteltaessa ongelmat syntyvät suurilta osin kesä ja talviaikojen erosta auringonvalon määrässä. Paneelit tuottavat sähköä eniten kesäaikaan, jolloin energiankulutus on alhaisinta. Talvella tuotto on huomattavasti pienempää, mutta energiankäyttö on korkeampaa. Oman tuotannon hyödyntäminen mahdollisimman hyvin vaatii kattavampia suunnitelmia kuin ylimääräisen sähkön myyminen verkkoon. Akuston asentaminen ilman aurinkopaneeleita on varteenotettava vaihtoehto, kun haetaan energiakustannusten laskemista ja tiettyjen laitteiden toiminnan varmistamista.

Viisi yleisintä kuluttajakäytössä olevaa akkutyyppeä ovat: Nikkelikadmiumakku, nikkelimetallihydridiakku, litiumioniakku, litiumpolymeeriakku ja lyijyakku. Näiden lisäksi kuudenneksi voidaan laskea myös uudelleen käytettävät alkaliparistot, mutta ne eivät ole realistinen vaihtoehto lyhyen

käyttöikänsä vuoksi. Alkaliparistoja käytetään kaukosäätimissä ja erilaisissa kannettavissa laitteissa. (Battery University Group, 2017)

### 5.3.1 Akkutyypit

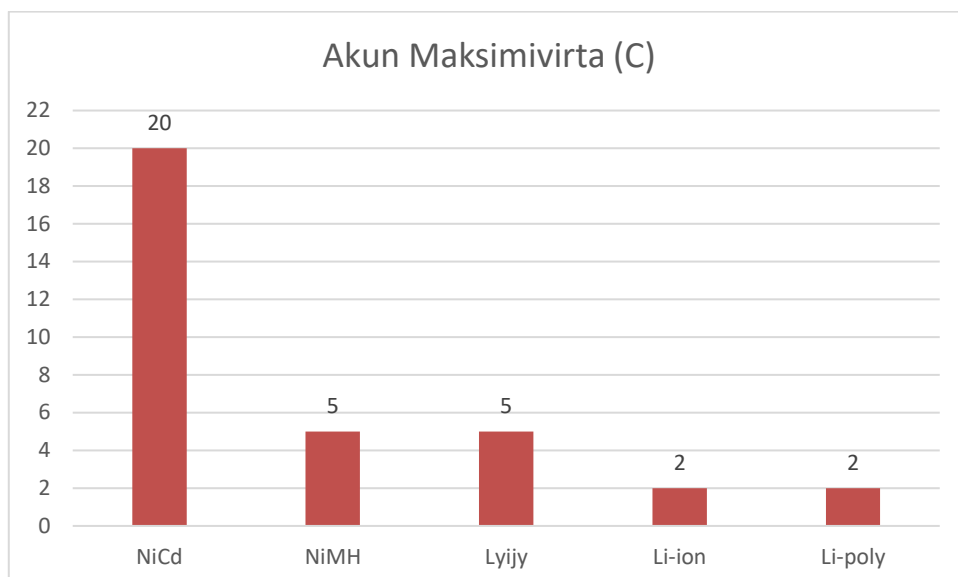
Akkutyypin huoltotarpeet ja asennustilojen vaatimuksen optimikäyttöä varten vaihtelevat suuresti. Keskiverto kuluttajalla ei ole tietotaitoa suorittaa huoltotoimenpiteitä akulle. Molemmat nikkelipohjaiset akut tarvitsevat huoltotoimenpiteitä säännöllisesti saavuttaakseen valmistajansa ilmoittaman elinkaaren. (Battery University Group, 2017) Säännöllistä huoltoa tarvitseva akku ei sovi useimmille kuluttajille ja ammattilaisen palkkaaminen säännöllisiä huoltotöitä varten pienikokoiselle järjestelmälle voi nostaa kustannuksia suuresti. Tämän vuoksi nikkelipohjaiset akut eivät ole suositeltava vaihtoehto keskivertokuluttajalle.

Lyijyakut voidaan jakaa muutamaaan alaryhmään, mutta teoreettisesti ne kaikki toimivat samalla tavalla. Lyijyakun itsepurkautuminen on pientä verrattuna muihin akkutyyppeihin. Lyijyakkua ei ole suositeltavaa purkaa tyhjäksi, sillä tämä vähentää akun käyttöikää. Uusimpien lyijyakkujen suositeltu käyttölämpötila on 25 celsiusastetta ja nousu 35 celsiusasteeseen puolittaa käyttöiän. Lyijyakku on myös halvin valmistaa. Lyijyakut sisältävät ympäristölle haitallisia aineita. Lyijyakkua säilittäessä akkuja ei saa varastoida tyhjinä, sillä tämä tekee akusta useimmiten käyttökelvottoman. (Battery University Group, 2017)

Litiumioniakun vahvoja puolia on pieni koko ja huoltovapaus. Akkutyyppi on kalliimpi kuin lyijyakku. Litiumioniakun suurimpia huonoja puolia on akun ikääntyminen, vaikka akku ei olisi käytössä. Ilman tarvittavia turvallisuustoimenpiteitä akku on vaarallinen ja tämän vuoksi jokaiseen tuotteen asennetaan suojaus turvallisuuden varmistamiseksi. Tämä Suojapiiri kuitenkin lisää hukkaan menevän energian määrää. Litiumioniakkujen yleisin käyttökohde on kännykät ja kannettavat tietokoneet. (Battery University Group, 2017)

Litiumpolymeeriakku on turvallisempi vaihtoehto Litium pohjaisista akuista. Puhtaat polymeeriakut eivät kuitenkaan sovellu käytettäväksi nykyaikaisissa kommunikointilaitteissa ominaisuuksiensa vuoksi ja tämän takia käytössä olevat versiot ovat hybridejä, joihin on lisätty neste tai geeli elektrolyytti. (Battery University Group, 2017)

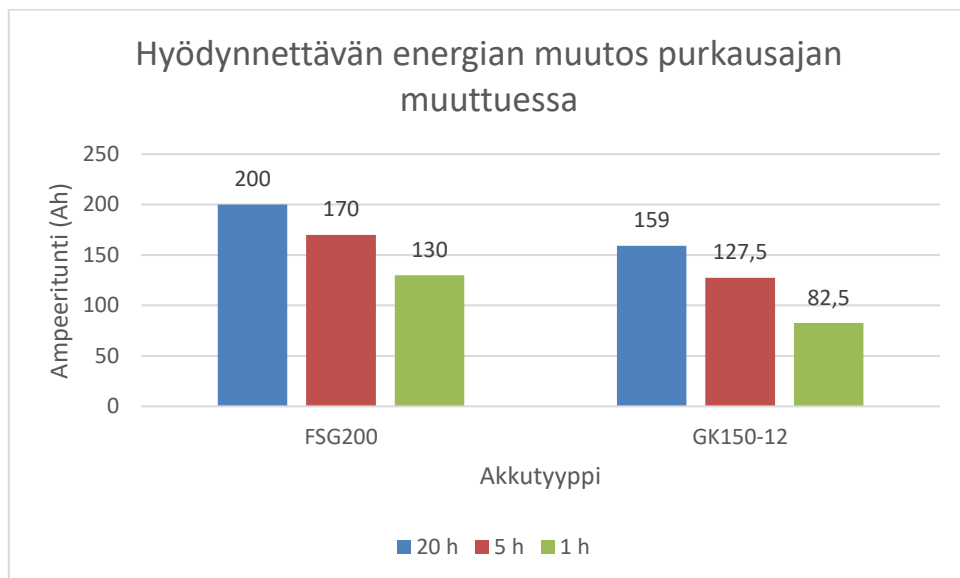
Akkujen välillä on suuria vaihteluita eri tyyppien mahdollistamissa maksimi purkuvirroissa. Akkujen purkuvirta määritellään akun maksimikokoon suhteutettuna. Mikäli akku pystyy purkamaan itsensä kokonaan tunnin aikana, merkitään maksimi virran olevan 1 C. Tätä merkintää käytetään erilaisten akkujen vertailun helpottamiseksi. Kuvasta 11 on nähtävissä, että Nikkelikadiumakku kykenee korkeaan purkausvirtaan verrattuna uudempiin yleisiin akkuteknologioihin. Eri akkutyypin optimivirtaus on kuitenkin 0,1-1 C välissä. (Battery University Group, 2017)



Kuva 11. Eri akkutyypin mahdollinen purkausnopeus

Akun mitoituksen voi kuvailla lyhyesti ”enemmän on parempi”. Valmistajat ilmoittavat akun kapasiteetin Ampeeritunneissa (Ah). Lopullisen hyödyllisen tehon saa selville  $V \times Ah = kWh$ . Akkukapasiteettia kuitenkin ilmoitetaan eri tavoilla. Akun purkausaika Ah voidaan ilmoittaa eri aikaväleiltä. Jos akun akkukapasiteetti on ilmoitettu purkausajalle 100 tuntia, kapasiteetti on 20 tunnin purkausajalla pienempi. (Renewable Energy Production Solutions, 2012) Eli varastoidusta energiasta menee enemmän hukkaan, kun Akun purkausvirta nousee.

Kuva 12 kuvaa kahden eri lyijyakun hyödynnettävän energiamäärän muutosta, kun akun purkamisaika muuttuu. FSG200 -mallin akun valmistaja lupaa akullensa 500-1200 täyden lataussyklin käyttöä. Suunniteltu käyttöikä akulle on 8 vuotta. (Future Science and Technology Co., Ltd, n.d.) Vaihtelun aiheuttaa aikaisemminkin mainittu purkausmäärä. GK150-12 -mallin valmistaja ei ilmoita lataussyklimääriä, mutta suunniteltu käyttöikä on 12 vuotta (Shenzhen Power Kingdom Co., Ltd, n.d.).



Kuva 12. Akun luovuttaman energian muutos tyhjennyksen nopeuden kanssa.

Energiatehokkuuden kannalta on siis tärkeää mitoittaa akkukapasiteetti riittävän suureksi, jotta energiaa ei mene hukkaan akuston ylikäytön vuoksi.

Akun kokoa määriteltäessä on otettava huomioon laitteisto, jolle akku luovuttaa virtaa sähkökatkoksen aikana. Jos akun mahdollisuus hetkelliseen tehon purkamiseen on liian pieni, Voi akuston elinikä tippua.

### 5.3.2 Akusto varavirtavaihtoehtona

Yksi Vaihtoehto sähkönkulutuksen laskemiseksi on käyttää akustoa lataamalla akuston täyteen, kun sähkö on halpaa ja käyttämällä akkuja, kun sähkön hinta on korkea. Sähkön hinta voi vaihdella vuorokauden aikana suuresti. Vuorokauden aikana sähkön hinta voi alimmillaan alittaa 4 c/kWh ja toisena aikana hinta on lähes 20 c/kWh. Sähkön pörssihinnat julkaistaan jokaiselle tunnille edellisenä päivänä viimeistään 12:30 CET. Vaihtamalla sähkösopimuksen tyyppiä Pörssihintaa seuraavaksi ja hyödyntäen etukäteen ilmoitettuja hintoja kuluttajan on mahdollista säästää sähkölaskusansa. (Nordic Green Energy, n.d.)

Taloudellista kannattavuutta on kuitenkin hankalaa ennustaa sähkön hinnan vaihtelujen vuoksi, mutta jos akkuteknologian kehitys jatkuu ja akkujen hinnat laskevat, on todennäköisempää, että tämä toimintapa on taloudellisesti kannattavaa.



## 6 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

Automaatiojärjestelmän pääasialliset tehtävät ovat akun varauksen hallinnointi, ilmanvaihtojärjestelmän ohjaus, laitteiden välisen kommunikoinnin mahdollistaminen ja halutun informaation toimittaminen kuluttajalle. Suurimmat ongelmat Automaatiojärjestelmän suunnittelussa on: kuinka automaatiojärjestelmä havaitsee sähkökatkoksen, miten akuston varausta käsitellään ja miten sähkökeskukseen tehdään tarvittavat muutokset, jotta haluttu lopputulos saavutetaan noudattaen nykypäivän standardeja ja määräyksiä.

Automaatiojärjestelmän vertailuun päätyttiin valitsemaan kolme eri järjestelmää. Kaksi näistä ovat hinnaltaan edullisia, mutta eivät sisällä paljon ominaisuuksia ilman lisäosia. Viimeistä vertailtavaa järjestelmää käytetään myös teollisuudessa ja järjestelmää on kehitetty huomattavasti pidempään. Tämän vuoksi käyttöolosuhteet ja yhteensopivuusmahdollisuudet ovat monipuolisemmat.

### 6.1 Arduino

Arduino yhden piirilevyn pientietokoneet ovat vapaanlähdekoodin alaisuudessa. Kehitystyöprojekti alkoi 2003 tavoitteenaan tarjota käyttäjille halpa vaihtoehto automaatioon. Arduinon vapaan lähdekoodin vuoksi laitteiden valmistajia on monia ja myös loppukäyttäjä itse voi koota oman Arduino -pientietokoneen ohjeiden mukaisesti.

Arduino itse jakaa tuotteensa eri ryhmiin kotisivuillansa. Tuotteet on jaettu ryhmiin, jotka perustuvat käyttäjän kokemukseen samantyyppisten laitteiden käytössä. Aloittelijoille suunnattujen tuotteiden mukana tulee myös harjoittelua varten tehtäviä, joiden tarkoitus on perehdyttää käyttäjä arduino-laitteiden käyttöön.

Kuvassa 13 nähdään esimerkki yhdestä Arduinon perusmallin alustasta. Hinta toimituskuluineen noin 30 euroa. Pientietokoneet käyttävät energianlähteenänsä tasavirtaa. Laite tarvitsee tämän vuoksi muuntajalla varustetun sähköliitännän. Jos laitekokonaisuus sisältää useita tasavirtalaitteita, tasavirtamuuntajan hankinta on suositeltavaa. Uno Rew 3 -mallin suositeltu syöttöjännite on 7-12 V, mutta laite on toimintakykyinen 6-20 V syöttöjännitealueella. Kortti sisältää Digitaalista 14 I/O pinniä, sekä 6 analogista input pinniä. Kortin ohjelmointi suoritetaan Arduino Software (IDE) -ohjelmistolla. (Arduino, n.d.d)



Kuva 13. Arduino Uno rew 3 -pientietokone (Arduino, n.d.d).

Arduinon peruskortti kuitenkin sisältää vain ydintoiminnot. Jos käyttäjä haluaa Arduinon esimerkkinä siirtävän dataa laitteen kanssa, joka käyttää tiedonsiirtoon Modbus-protocollaa, hänen on hankittava lisävaruste. Arduino kutsuu näitä nimellä shield ja nämä pinotaan usein kortin päälle. (Programming Electronics Academy, n.d.) Arduinon Modbus-kirjasto mahdollistaa modbus protocollan RS485 -liitännän avulla. Toisena vaihtoehtona on myös tiedonsiirto ethernet-kaapelilla tai wifi:llä käyttäen TPC-protocollaa. (Arduino, n.d.a) Vaikka Uno Rew 3 -malli onkin toimistuskuluneen vain noin 30 €, muut tarvittavat komponentit saattavan nostaa loppusumman moninkertaiseksi. (Arduino, n.d.b)

Arduinon ohjelmointiin voidaan käyttää c++ ohjelmointikieltä tai aloittelijalle helpommin omaksuttavaa niin kutsuttua function block -ohjelmointia. (Arduino, n.d.c)

## 6.2 Raspberry pi

Myös Raspberry Pi on sarja pienetietokoneita, jotka on rakennettu yhdelle piirilevyille. Raspberry Pi sarjan kehitti Raspberry Pi hyväntekeväisyisyhdistys, joka perustettiin edistämään tietotekniikan opiskelua. (Raspberry Pi Foundation n.d.a) Kuvassa 14 esimerkki Raspberryn yhdestä mallista.

Raspberryn käyttöjärjestelmän asennukseen on kehitetty oma asennusohjelmisto NOOBS. Raspberry säätiön tarkoituksen vuoksi Raspberryn käytön aloittaminen on suunniteltu aloittelijalle helpoksi. (Raspberry Pi Foundation, n.d.b)

Verrattuna Arduinon korttiin Raspberry Pi:stä sisältää käyttäjäystävällisemmän aloituskokoonpanon. Model B+ sisältää HDMI liitännän, 4 USB

porttia sekä Micro SD -kortin paikan. (Raspberry Pi Foundation, n.d.e) Raspberry Pi:hin löytyy myös virallisia lisävarusteita, kuten virallinen virtalähde kortille, sekä varmasti yhteensopiva hiiri ja näppäimistö. Raspberry:llä on myös virallinen kamera moduuli, joka on suunniteltu käytettäväksi Raspberry:n korttien kanssa. (Raspberry Pi Foundation, n.d.c)

Arduinon verrattuna Raspberryä voi pitää aloittelijalle ystävällisempänä vaihtoehtona aloittaa, mutta Arduino tarjoaa käyttäjälle enemmän muokaus- ja yksilöintimahdollisuuksia. Hinnaltaan Raspberry Pi on samassa suuruusluokassa Arduinon kanssa ja molempien kokoonpano on samantyylinen vaatien erilaisten lisäosien erillistä ostoa laajentamista varten. (Raspberry Pi Denmark Resaler, n.d.)



Kuva 14. Raspberry Pi 3 Model B+ -pientietokone (Raspberry Pi Foundation, n.d.e).

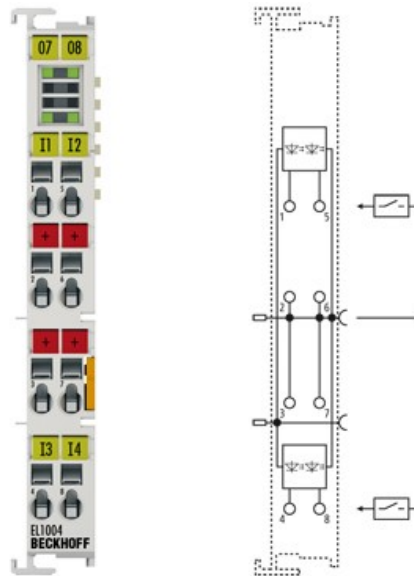
Raspberryn ohjelmointiin voidaan käyttää pythonia, c, c++, Java, Scratch ja uby ohjelmointikieliä. Nämä mahdollisuudet tulevat laitteen mukana. Tämän lisäksi käyttäjän on mahdollista käyttää muitakin koodikieliä, sillä useita koodikieli on tehty yhteensopivaksi Raspberryn kanssa koodikielen luoja tai käyttäjien toimesta. (Raspberry Pi Foundation, n.d.d) (Dikmans, 2015)

### 6.3 Beckhoff

Vuonna 1980 perustettu Beckhoff automation on kansainvälinen PLC valmistaja. Beckhoffin PLC on hinnaltaan huomattavasti kalliimpi vaihtoehto verrattuna Arduinon tai Raspberry pi:hin. Beckhoffin PLC:t ovat laajalti käytössä teollisuudessa.

Ohjelmointi tehdään Twincat ympäristössä, joka on ladattavissa ilmaiseksi Beckhoffin kotisivuilta. TwinCat käyttää koodikielenään structured text -

koodikieltä, joka pohjautuu C -koodikieleen. (Beckhoff Automation, n.d.a) Beckhoffin järjestelmä rakentuu keskuksena toimivasta PLC:tä, johon liitetään erilaisia korttimoduuleita tarpeen mukaan. (Kuva 15) Nämä korttimoduulit voidaan myös sijoittaa eri paikkaan kuin PLC. (Beckhoff Automation, n.d.c) Kommunikoinnissaan järjestelmä käyttää EtherCAT -protokollaa. (Beckhoff Automation, n.d.b) Beckhoff on kuitenkin kehittänyt yli 20 korttimoduulia, jotta järjestelmä pystyy kommunikoimaan myös muita kommunikointiprotokollia käyttävien laitteiden kanssa. (Beckhoff Automation, n.d.d)



Kuva 15. Beckhoff EL 1004 -kortti (Beckhoff Automation, n.d.e).

## 7 ANTURIT

Ilmanvaihdon ja ilmanlaadun kannalta on tärkeää mitata sisäilman hiilidioksidi- ja ilmankosteusmääriä. Ympäristöministeriön asetuksien mukaan hiilidioksidipitoisuuden sisätiloissa ei saa nousta korkeammaksi kuin 1 450 mg/m<sup>3</sup> (800 ppm) ulkoilman pitoisuuteen verrattuna. (Asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017 § 5) Mittaamalla hiilidioksidipitoisuuksia makuuhuoneissa ja oleskelutiloissa on mahdollista vähentää ilmanvaihdon energiankulutusta vaihtamalla ilmaa vain tarvittaessa.

Sisäilman suhteellisella kosteudella on vaikutusta hengityselinten terveyteen. Matala ilmankosteus aiheuttaa ärtynisyyttä hengityselimissä ja iholla, sekä lisää limakalvojen tulehdusriskiä. Liian korkea ilmankosteus taas toisaalta vaarantaa rakenteet home- ja kosteusvaurioille. Ihmisen tai lemmikkieläimen oleskelu kiinteistössä nostaa hieman ilmankosteutta. (Hengitysliitto, n.d.a)

Nykyaikana anturivalmistajat ovat suunnitelleet asuinkiinteistöihin tarkoitettut anturinsa erikseen. Kuvasta 16 on helppo vertailla eri käyttökohteisiin tarkoitettujen anturien ulkonäköä. Kuvassa vasemmalla oleva Valloxin hiilidioksidi anturi on tarkoitettu käytettäväksi asuinrakennuksissa heidän ilmanvaihtokoneidensa kanssa, kun taas oikealla kuvassa oleva Termo-Techin lämpötila anturi on suunniteltu teollisuuden käyttöön.



Kuva 16. Esimerkkejä anturimalleista (Vallox, n.d.b) (Wexon, n.d.).

### 7.1 Hiilidioksidianturi

Ilmanvaihdon tärkein tehtävä on pitää kiinteistön sisäilma riittävän hyvälaatuisena kiinteistössä oleskelevia henkilöitä varten. Liiallinen hiilidioksidi hengitysilmassa aiheuttaa esimerkiksi väsymystä ja päänsärkyä. Sisäilman hiilidioksidi määrän nousu on pääasiallisesti seurausta ihmisen oleskelusta kiinteistössä. (Hengityслиitto, n.d.c)

Energiankäytön optimoinnin kannalta on tärkeää, että sisäilman laatua mitataan antureilla. Ihmiselle haitallisten kaasujen määrää hengitysilmassa voi yksinkertaisesti vähentää nostamalla ilmanvaihdon toimintaa, mutta kokonaisenergiankäytön kannalta ei ole kannattavaa vaihtaa sisäilmaa liiallisesti. Energiankäytön optimoinnin kannalta on kannattavaa asentaa hiilidioksidianturit makuuhuoneisiin ja yleisiin oleskelutiloihin. Näiden antureiden mittaustulosten avulla voidaan ohjata ilmanvaihdon toimintaa automaattisesti.

### 7.2 Ilmankosteusanturi

Liian alhainen ilmankosteus sisätiloissa altistaa asukkaat erinäisille hengitystieongelmille. Ulkolämpötilan laskiessa erityisen alas sisäilman kosteus laskee erityisen alhaiseksi ulkoilman lämmityksen vuoksi. Ilmanvaihdon säädöllä voidaan vaikuttaa ilmankosteuteen talvella hidastamalla ilmanvaihtoa hieman. Ilmanvaihdon säätelyssä on kuitenkin otettava huomioon ilman hiilidioksidipitoisuus ennen ilmankosteutta. Kesäaikaan sisäilman kosteus on lähellä ulkoilmaa, koska tulevaa ilmaa ei lämmitetä.

(Hengitysliitto, n.d.a) Talviajan ilmankosteusongelmiin kuluttaja voi ostaa ilmankostuttimen kohtuulliseen hintaan (Hengitysliitto, n.d.b).

Ilmankosteusanturin tärkein tarkoitus on mitata ilmakosteutta märkätiloissa. Kun ilmanvaihtoa lisätään automaattisesti anturin antamien tietojen perusteella, vältetään mahdollisilta kosteus- ja homevaurioilta. Sijoittamalla kosteusanturi oleskelutiloihin on mahdollista myös huomioida talvi ajan haitallisen alhainen ilmankosteus ja vaikuttaa tähän. (Hengitysliitto, n.d.d)

### 7.3 Muut anturit

VOC -anturit havaitsevat ilmasta erilaisia yhdisteitä. (Hengitysliitto, n.d.e) VOC -antureiden asentaminen tiettyihin paikkoihin olisi hyödyllistä, mutta kyseisten anturien hinta on kuluttajalle korkea.

Lämpötila antureiden asentaminen sisätiloihin sekä ulos, ja automaatiojärjestelmän kautta tiedon ilmoittaminen näyttöpäätteellä lisää asumismukavuutta. Antureiden asentaminen ei kuitenkaan ole olennaista energiansäästön kannalta. Lisäksi saunaan voi sijoittaa lämpötila anturin, olla mahdollistetaan saunan lämpötilan seuranta myös muualta kiinteistössä.

Kiinteistön öljysäiliön öljymäärän seurantaan ei ole tällä hetkellä olemassa helppokäyttöistä tapaa. Asentamalla pinnankorkeusmittarin öljysäiliöön tai selvittäen öljynkäytön määrän tilavuusvirta anturilla on talviaikaan tapahtuva epämurkava polttoöljyn loppuminen vältettävissä.

Mainitut anturit eivät vähennä lähes lainkaan kiinteistön energiakuluja, mutta ne parantavat asukkaiden asumismukavuutta.

## 8 POHDINTA

Energian säästämässä asuinkiinteistössä asukkaan aktiivinen toiminta on tärkeää. Valaisintyyppien vaihtamisen jälkeen helpoimmat energiansäästöt tulevat hyvinkin yksinkertaisista asioista. Omaa energiankulutustani miettiessäni näin paljon parannettavaa. Esimerkiksi tietokoneeni voi olla useita vuorokausia käynnissä yhtämittaa, vaikka en edes olisi kotona. Energiankulutuksen vähentämiseen suuremmalla tasolla vaaditaan kuitenkin kaikkien valvotuneisuutta valaistuksen ja kodinkoneiden käytöstä.

Anturien hyödyntäminen ilmanvaihdon ohjauksessa laskee energiankäyttöä. Energiansäästön ulkopuolella erilaiset anturit parantavat asumismukavuutta ja automaatiojärjestelmällä on olennainen osa asumismukavuuden nostamisessa. Kiinteistöjen automatisoinnin myöhemmässä laajentamisessa on kuluttajan kannalta hyödyllistä hankkia järjestelmä, jota on

helppo laajentaa pienissä osissa. Tämä jakaa kustannukset pidemmälle aikavälillä.

Energian omatuotannon ja lyhytaikaisen omavaraisuuden toteuttamiseen voi luoda useita eri ratkaisuja. Omatuotantoa ajatellen opinnäytetyön kirjoitushetkellä omatuotanto on kannattavinta mitoittaa kooltaan siten, että mahdollisimman paljon tuotetusta sähköstä käytetään itse. Energiakustannuksissa säästöä etsittäessä aurinkopaneelit muuttuvat yhä paremmaksi vaihtoehdoksi, kun paneelien hinnat jatkavat laskua. Akuston asentaminen ja sähköverkon pörssihintojen hyödyntäminen kustannusten alentamisessa varteenotettava vaihtoehto. Järjestelmää suunnitellessa järjestelmä on suunniteltava erikseen jokaista kiinteistöä varten. Suunnittelussa on tärkeää kysyä tilaajalta mitä hän haluaa järjestelmältä.

Esimerkkinä käytetyn kiinteistön suunnittelu on huomattavasti helpompaa öljylämmityksen takia. Sähkölämmitteisessä asuinkiinteistössä voi olla mahdollista ylläpitää tiettyjen huoneiden lämmitys samaan tapaan, jos lämmitettävät tilat valitaan tarkasti.

Energian omatuotannossa pienessä mittakaavassa ei kaupunkialueilla ole käytännössä muita mahdollisuuksia kuin aurinkosähkö. Asuinrakennusten omistajien näkökulmasta aurinkosähköjärjestelmään sijoittaminen on kuitenkin kertaluontoisena sijoituksena kallis. Sijoituksen houkuttelevuutta laskee myös valtion ja kuntien vähäinen tuki näitä asennuksia kohtaan. Aurinkopaneelien pieneen suosioon vaikuttaa myös alhainen tietämystaso aurinkopaneeleista.

Oikein rakennettu aurinkosähköjärjestelmä on jo nyt kannattava sijoitus. Järjestelmien takaisinmaksuaika lyhenee hintojen laskiessa. Jos paneelien hinnat jatkavat laskua kuten tähän mennessä ja akkuteknologioiden nopean kehityksen huomioon ottaen mielestäni yksityishenkilöiden kannattaa odottaa vielä muutama vuosi ennen hankintaa. Yksityishenkilöiden halukkuutta sijoittaa järjestelmiin on mahdollista nostaa toimenpiteillä valtion tai kunnan puolelta.

Työn aikana mietin myös mahdollisuutta, jossa aurinkosähköjärjestelmä ja akusto eristettäisiin täysin valtakunnan verkosta ja kokonaisuus ylläpitäisi lämmitysjärjestelmän ja ilmanvaihdon. Uskoakseni ratkaisu on mahdollista toteuttaa, mutta se vaatii tarkan mitoituksen.

## LÄHTEET

- Aaltonen, T. (2017). Korvaatko loisteputket ledivalolla? Putkia on kahdenlaisia, katso kumpi sopii sinulle. *Tekniikan maailma*. Haettu 26.4.2019 osoitteesta <https://tekniikanmaailma.fi/korvaatko-loisteputket-ledivalolla-putkia-kahdenlaisia-katso-kumpi-sopii/>
- Adato Energia Oy. (2013). *Kotitalouksien sähkönkäyttö*. Työ- ja Elinkeinoministeriö, Sähköturvallisuuden edistämiskeskus ja Energiateollisuus ry. Haettu 3.5.2019 osoitteesta [https://www.vattenfall.fi/4a8af8/globalassets/energianeuvonta/kodin-sahkonkulutus/kotitalouksien\\_sahkonkaytto\\_2011\\_tutkimusraportti.pdf](https://www.vattenfall.fi/4a8af8/globalassets/energianeuvonta/kodin-sahkonkulutus/kotitalouksien_sahkonkaytto_2011_tutkimusraportti.pdf)
- Arduino. (n.d.a). *Arduino Modbus Library guide*. Haettu 8.4.2019 osoitteesta <https://www.arduino.cc/en/ArduinoModbus/ArduinoModbus>
- Arduino. (n.d.b). *Arduino store*. Haettu 8.4.2019 osoitteesta <https://store.arduino.cc>
- Arduino. (n.d.c). *Arduino FAQ*. Haettu 8.4.2019 osoitteesta <https://www.arduino.cc/en/Main/FAQ>
- Arduino. (n.d.d). Tech Specs. *Arduino Uno rev3*. Haettu 8.4.2019 osoitteesta <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
- Asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. Haettu 4.4.2019 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>
- Battery University Group. (2017). *What's the Best Battery?* Haettu 2.5.2019 osoitteesta [https://batteryuniversity.com/learn/archive/whats\\_the\\_best\\_battery](https://batteryuniversity.com/learn/archive/whats_the_best_battery)
- Beckhoff Automation. (n.d.a). *TwinCAT 3 / eXtended Automation*. Haettu 16.4.2019 osoitteesta <https://www.beckhoff.com/twincat/>
- Beckhoff Automation. (n.d.b). *Beckhoff ethercat*. Haettu 18.4.2019 osoitteesta [https://www.beckhoff.com/english.asp?highlights/ethercat/default.htm?id=3557204338120?pk\\_campaign=AdWords-AdWordsSearch-EtherCatEN&pk\\_kwd=ethercat&gclid=CjwKCAjw8qjnBRA-EiwAaNvhwK84nu0AO7BHM7M\\_vITd3lh-IFnv\\_WHs2N\\_AXF\\_MC3zFnZoPh2YoPxoCJS0QAvD\\_BwE](https://www.beckhoff.com/english.asp?highlights/ethercat/default.htm?id=3557204338120?pk_campaign=AdWords-AdWordsSearch-EtherCatEN&pk_kwd=ethercat&gclid=CjwKCAjw8qjnBRA-EiwAaNvhwK84nu0AO7BHM7M_vITd3lh-IFnv_WHs2N_AXF_MC3zFnZoPh2YoPxoCJS0QAvD_BwE)
- Beckhoff Automation. (n.d.c). *EtherCAT Terminals - Ultra high-speed communication*. Haettu 17.4.2019 osoitteesta



[https://www.beckhoff.com/english.asp?fieldbus\\_components/default.htm](https://www.beckhoff.com/english.asp?fieldbus_components/default.htm)

Beckhoff Automation. (n.d.d). *Fieldbus systems overview*. Haettu 17.4.2019 osoitteesta [https://www.beckhoff.com/english.asp?fieldbus\\_components/system\\_overview.htm](https://www.beckhoff.com/english.asp?fieldbus_components/system_overview.htm)

Beckhoff Automation. (n.d.e). *EL1004 | 4-channel digital input terminal 24 V DC, 3 ms*. Haettu 7.5.2019 osoitteesta <https://www.beckhoff.com/english.asp?ethercat/el1004.htm>

Collinson, P. (2018). Switch on to LED lightbulbs before September's halogen ban. *The Guardian*. Haettu 23.4.2019 osoitteesta <https://www.theguardian.com/money/2018/aug/11/switch-led-light-bulbs-halogen-ban>

Dikmans, L. (2015). *Programming Languages for Raspberry Pi*. Haettu 14.4.2014 osoitteesta <https://www.eproseed.com/programming-languages-for-raspberry-pi/>

Dricus. (2012). *Solar cell guide, part 2 - Thin Film (CdTe, CIGS) solar cells*. Sino Voltaics. Haettu 7.4.2019 osoitteesta <https://sinovoltaics.com/solar-cells/solar-cell-guide-part-2-thin-film-cdte-cigs-solar-cells/>

Eklund, E. (2011). *Tampereella tuulee - Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön*. Tampereen kaupunki. Haettu 12.5.2019 osoitteesta [https://www.tampere.fi/liitteet/t/6F70l1Uui/Jokamiehen\\_opas.doc](https://www.tampere.fi/liitteet/t/6F70l1Uui/Jokamiehen_opas.doc)

Energiavirasto. (2015). *Sähkönpientuotanto 2015 - energiaviraston kysely*. Haettu 7.4.2019 osoitteesta <https://www.slideshare.net/FinSolar/shkn-pientuotanto-2015-energiaviraston-kysely?ref=http://www.finsolar.net/aurinkoenergia/aurinkoenergian-tilastot/>

Euroopan komissio. (n.d.). *Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps*. Haettu 2.4.2019 osoitteesta <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

First Solar Inc. (2011). *PV Energy Comparison*. Haettu 12.4.2019 osoitteesta [http://www.dmp Photonics.com/Solar\\_technologies/Technology\\_Comparison\\_PV\\_NA.pdf](http://www.dmp Photonics.com/Solar_technologies/Technology_Comparison_PV_NA.pdf)

Future Science and Technology Co., Ltd. (n.d.). *PW200-12 Datasheet*. Haettu 23.4.2019 osoitteesta [https://cdn.enfsolar.com/Product/pdf/storage\\_system/5a9e0879167b1.pdf](https://cdn.enfsolar.com/Product/pdf/storage_system/5a9e0879167b1.pdf)

Grunfos. (n.d.). *Grunfors data booklet UP, UPS, UPSD Circulator pumps*.

Hengitysliitto. (n.d.a). *Sisäilman kosteus ja lämpötila*. Haettu 4.5.2019 osoitteesta <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat-sisailmaongelmat/sisailman-kosteus-ja-lampotila>

Hengitysliitto. (n.d.b). *Ilmankostutin info*. Haettu 4.5.2019 osoitteesta <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmankostutin>

Hengitysliitto. (n.d.c). *Hiilidioksidi info*. Haettu 4.5.2019 osoitteesta <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat-sisailmaongelmat/kaasumaiset-epapuhautaudet/hiilidioksidi>

Hengitysliitto. (n.d.d). *Näin homevaurio syntyy*. Haettu 4.5.2015 osoitteesta <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/kosteus-ja-homevauriot/nain-homevaurio-syntyy>

Hengitysliitto. (n.d.e). *VOC -yhdisteet*. Haettu 4.5.2019 osoitteesta <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat-sisailmaongelmat/kaasumaiset-epapuhautaudet/voc-yhdisteet>

Hytönen, K. (1999). *Suomen mineraalit*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. Haettu 27.4.2019 osoitteesta [http://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/ej\\_031.pdf](http://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/ej_031.pdf)

Auvinen, K., Jalas, M., Aalto -yliopisto,. (2017). *Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus*. Haettu 20.4.2019 osoitteesta <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>

Lahtinen, H. (2002). *Eetta 17 S/Si asennus- ja käyttöohje*.

Luonnonvarakeskus. (2013). *Raskasmetalli- ja typpilaskeuma Suomessa*. Haettu 2.4.2019 osoitteesta <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/kartta-kadmium.htm>

LUT yliopisto. (2019). *Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa*. Haettu 16.4.2019 osoitteesta [https://www.lut.fi/uutiset/-/asset\\_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa](https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa)

Motonet. (n.d.). *Aggregaatit ja generaattorit*. Haettu 3.4.2019 osoitteesta <https://m.motonet.fi/fi/kategoria/461/635770/Aggregaatit-ja-generaattorit>

Nordic Green Energy. (n.d.). *Suomen alueen pörssisähkön hinta*. Haettu 11.5.2019 osoitteesta <https://www.nordicgreen.fi/asiakaspalvelu/energiatietoa/spot-hinta/>

Oilon. (n.d.). *Junior Pro käyttöohje*.

Philips. (n.d.). Tutustu energiaa säästäviin LED-valoihin. Haettu 29.4.2019 osoitteesta <https://www.lighting.philips.fi/consumer/led-lamput/ymparistoystavallinen-led-valaistus>

Pirinen, P., Simola, H., Aalto, J., Kaukoranta, J., Karlsson, P., Ruuhela, R., (2012). *Tilastoja Suomesta*. Ilmatieteen laitos. Haettu 4.5.2019 osoitteesta [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/35880/Tilastoja\\_Suomen\\_ilmastosta\\_1981\\_2010.pdf?sequence=4](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/35880/Tilastoja_Suomen_ilmastosta_1981_2010.pdf?sequence=4)

Profil. (n.d.). *Kipor Generaattori 2500E bensa - sähköstartti*. Haettu 24.4.2019 osoitteesta [http://profil.fi/index.php?main\\_page=popup\\_image&pID=1404](http://profil.fi/index.php?main_page=popup_image&pID=1404)

Programming Electronics Academy. (n.d.). *WHAT IS AN ARDUINO SHIELD?* Haettu 8.4.2019 osoitteesta <https://programmingelectronics.com/what-is-an-arduino-shield/>

Raspberry Pi Denmark Resaler. (n.d.). *Raspberry Pi 3 model B+*. Haettu 14.4.2019 osoitteesta <https://raspberrypi.dk/en/product/raspberry-pi-3-model-b-plus-2/?src=raspberrypi>

Raspberry Pi Foundation. (n.d.a). *About us*. Haettu 13.4.2019 osoitteesta <https://www.raspberrypi.org/about/>

Raspberry Pi Foundation. (n.d.b). *Setting up your Raspberry Pi*. Haettu 12.4.2019 osoitteesta <https://projects.raspberrypi.org/en/projects/raspberry-pi-setting-up>

Raspberry Pi Foundation. (n.d.c). *Raspberry Pi Accessories*. Haettu 13.4.2019 osoitteesta <https://www.raspberrypi.org/products/>

Raspberry Pi Foundation. (n.d.d). *FAQ*. Haettu 14.4.2019 osoitteesta <https://www.raspberrypi.org/documentation/faqs/#softwareLanguages>

Raspberry Pi Foundation. (n.d.e). Specification. *Raspberry Pi 3 Model B+*. Haettu 13.4.2019 osoitteesta <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>

Renewable Energy Production Solutions. (2012). *Lyijyakkujen ostajan ABC*. Haettu 19.4.2019 osoitteesta

<http://www.reps.fi/datasheetsandmanuals/REPS-lyijyakkujen-ABC-22-4-2012.pdf>

Shahan, Z. (2018). *Solar Panel Prices Continue Falling Quicker Than Expected*. Haettu 27.3.2019 osoitteesta <https://cleantechnica.com/2018/02/11/solar-panel-prices-continue-falling-quicker-expected-cleantechnica-exclusive/>

Shenzhen Power Kingdom Co., Ltd. (n.d.). *GK150-12 Datasheet*. Haettu 23.4.2019 osoitteesta [https://cdn.enfsolar.com/Product/pdf/storage\\_system/5a45f64099abe.pdf](https://cdn.enfsolar.com/Product/pdf/storage_system/5a45f64099abe.pdf)

Smith, B. (2016). Ten Energy Storage Methods. Haettu 23.4.2019

Tampereen Kaupunki. (2016). Rakennustapaohjeet. *Julkisivumuutokset*. Tampere. Haettu 28.4.2019 osoitteesta <https://www.tampere.fi/asuminen-ja-ymparisto/rakentaminen/rakennusvalvonta/lait-ja-ohjeet/julkisivumuutokset.html>

Tampereen kaupunki. (n.d.). *Aurinkosähköopas tamperelaisille*. Tampere. Haettu 15.5.2019 osoitteesta [https://www.tampere.fi/liitteet/a/6Gkg9C2MG/Aurinkosahkoopas\\_36660\\_vedos.pdf](https://www.tampere.fi/liitteet/a/6Gkg9C2MG/Aurinkosahkoopas_36660_vedos.pdf)

The Economist. (2012). *Alternative energy will no longer be alternative*. Haettu 3.5.2019 osoitteesta <https://www.economist.com/news/2012/11/21/sunny-uplands>

US National Renewable Energy Laboratory. (n.d.). *Cadmium Telluride Solar Cells*. Haettu 18.4.2019 osoitteesta <https://www.nrel.gov/pv/cadmium-telluride-solar-cells.html>

Vallox. (2018). *Muh Ilmava huolto ja käyttöohje*.

Vallox. (n.d.a). Haettu 5.4.2019 osoitteesta Vallox 121 SE tuotesivu: [https://www.vallox.com/tuotteet/vallox\\_ilmanvaihtokoneet/vallox\\_121\\_se.html](https://www.vallox.com/tuotteet/vallox_ilmanvaihtokoneet/vallox_121_se.html)

Vallox. (n.d.b). *MyVallox -hiilidioksidianturi*. Haettu 07.05.2017 osoitteesta [https://www.vallox.com/tuotteet/vallox\\_lisalaitteet\\_ja\\_varusteet/myvallox-hiilidioksidianturi.html](https://www.vallox.com/tuotteet/vallox_lisalaitteet_ja_varusteet/myvallox-hiilidioksidianturi.html)

Wexon. (n.d.). *PT100 DIN-B koteloidut anturit*. Haettu 7.5.2019 osoitteesta PT100 DIN-B koteloidut anturit

Voimatori yhtiöt. (n.d.a). *Energian säästö kotitaloudessa*. Haettu 5.5.2019 osoitteesta lämmitys:  
[http://www.voimatori.fi/energiatietoa/Energiansaasto\\_kotitaloudessa/fi\\_FI/Lammitys/](http://www.voimatori.fi/energiatietoa/Energiansaasto_kotitaloudessa/fi_FI/Lammitys/)

Voimatori yhtiöt. (n.d.b). *Energiansäästö kotitaloudessa*. Haettu 5.5.2019 osoitteesta Kodin elektroniikka:  
[http://www.voimatori.fi/energiatietoa/Energiansaasto\\_kotitaloudessa/fi\\_FI/Kodin\\_elekroniikka/](http://www.voimatori.fi/energiatietoa/Energiansaasto_kotitaloudessa/fi_FI/Kodin_elekroniikka/)

Voimatori yhtiöt. (n.d.c). *Energiansäästö kotitaloudessa*. Haettu 5.5.2019 osoitteesta Valaistus:  
[http://www.voimatori.fi/energiatietoa/Energiansaasto\\_kotitaloudessa/fi\\_FI/Valaistus/](http://www.voimatori.fi/energiatietoa/Energiansaasto_kotitaloudessa/fi_FI/Valaistus/)

Voimatori yhtiöt. (n.d.d). *Energiansäästö kotitaloudessa*. Haettu 5.5.2019 osoitteesta Pyykinpesu:  
[http://www.voimatori.fi/energiatietoa/Energiansaasto\\_kotitaloudessa/fi\\_FI/Pyykinpesu/](http://www.voimatori.fi/energiatietoa/Energiansaasto_kotitaloudessa/fi_FI/Pyykinpesu/)

Ympäristöministeriö. (2003). Asemakaavamerkinnot ja -määräykset. Helsinki. Haettu 12.3.2019 osoitteesta [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Maankaytto\\_ja\\_rakennuslaki\\_2000\\_sarja/Opas\\_12\\_Asemakaavamerkinnot\\_ja\\_määräykset\(4437\)](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Maankaytto_ja_rakennuslaki_2000_sarja/Opas_12_Asemakaavamerkinnot_ja_määräykset(4437))

# PVGIS estimates of solar electricity generation -roof assembly (sivu 1/2)



## Photovoltaic Geographical Information System

European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy

### Performance of Grid-connected PV

#### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 61°29'26" North, 23°55'43" East, Elevation: 127 m a.s.l.,  
Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 3.0 kW (CdTe)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: -0.3% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 4.1%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 17.3%

Fixed system: inclination=18 deg., orientation=-49 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	0.85	26.4	0.33	10.1
Feb	3.22	90.3	1.24	34.7
Mar	6.10	189	2.35	72.8
Apr	10.40	311	4.10	123
May	13.30	412	5.42	168
Jun	13.50	404	5.57	167
Jul	13.10	407	5.46	169
Aug	9.68	300	3.93	122
Sep	6.11	183	2.40	72.1
Oct	2.86	88.6	1.10	34.1
Nov	0.97	29.1	0.37	11.2
Dec	0.44	13.6	0.17	5.29
Year	6.73	205	2.71	82.5
Total for year		2450		989

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)

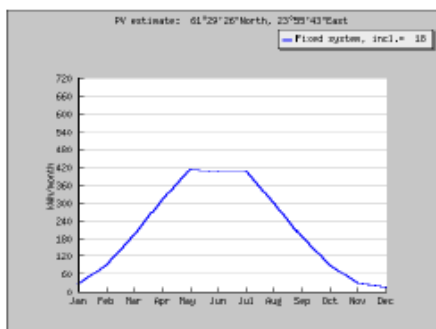
Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)

# PVGIS estimates of solar electricity generation -roof assembly (sivu 2/2)

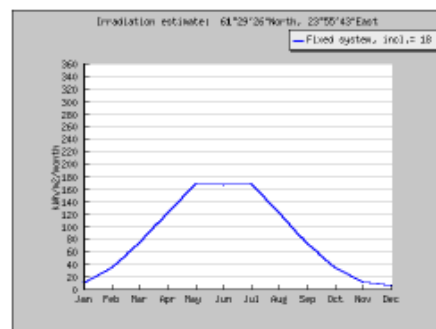


## Photovoltaic Geographical Information System

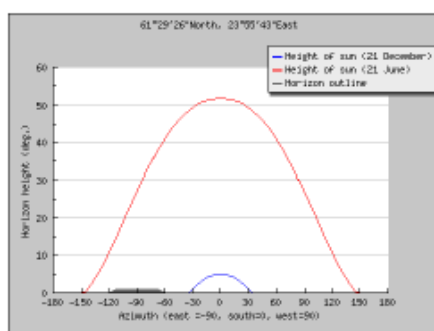
European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy



Monthly energy output from fixed-angle PV system



Monthly in-plane irradiation for fixed angle



Outline of horizon with sun path for winter and summer solstice

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

### Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

### This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

# PVGIS estimates of solar electricity generation – south-east wall assembly (sivu 1/2)



## Photovoltaic Geographical Information System

European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy

### Performance of Grid-connected PV

#### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 61°29'26" North, 23°55'43" East, Elevation: 127 m a.s.l.,  
Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 3.0 kW (CdTe)  
Estimated losses due to temperature and low irradiance: -0.5% (using local ambient temperature)  
Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.7%  
Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%  
Combined PV system losses: 16.8%

Fixed system: inclination=90 deg., orientation=-49 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	1.28	39.2	0.47	14.5
Feb	4.16	117	1.60	44.9
Mar	5.87	182	2.30	71.3
Apr	8.40	252	3.34	100
May	9.34	289	3.78	117
Jun	8.66	260	3.53	106
Jul	8.72	270	3.59	111
Aug	6.97	216	2.84	88.1
Sep	5.10	153	2.04	61.2
Oct	2.85	88.3	1.11	34.3
Nov	1.18	35.3	0.45	13.4
Dec	0.70	21.7	0.26	8.12
Year	5.27	160	2.11	64.2
Total for year		1620		770

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)

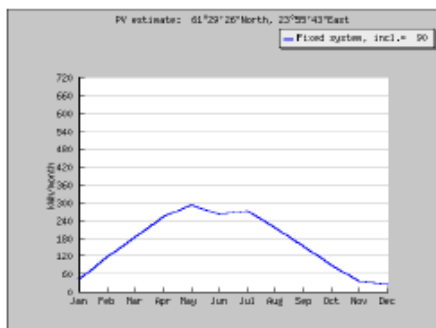


# PVGIS estimates of solar electricity generation – south-east wall assembly (sivu 2/2)

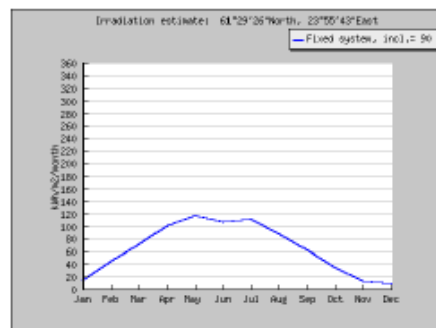


## Photovoltaic Geographical Information System

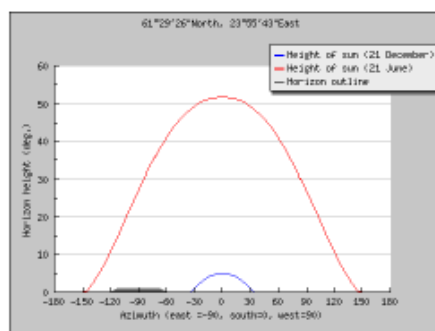
European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy



Monthly energy output from fixed-angle PV system



Monthly in-plane irradiation for fixed angle



Outline of horizon with sun path for winter and summer solstice

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

### Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

### This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

# PVGIS estimates of solar electricity generation – south-west wall assembly (sivu 1/2)



## Photovoltaic Geographical Information System

European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy

### Performance of Grid-connected PV

#### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 61°29'26" North, 23°55'43" East, Elevation: 127 m a.s.l.,  
Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 3.0 kW (CdTe)  
Estimated losses due to temperature and low irradiance: -0.6% (using local ambient temperature)  
Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.7%  
Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%  
Combined PV system losses: 16.7%

Fixed system: inclination=90 deg., orientation=41 deg.					
Month	Ed	Em	Hd	Hm	
Jan	1.42	44.0	0.52	16.2	
Feb	4.56	128	1.77	49.4	
Mar	6.19	192	2.43	75.4	
Apr	8.62	259	3.43	103	
May	9.28	288	3.75	116	
Jun	8.53	256	3.47	104	
Jul	8.64	268	3.55	110	
Aug	7.09	220	2.89	89.6	
Sep	5.32	160	2.13	63.9	
Oct	3.08	95.5	1.20	37.3	
Nov	1.32	39.7	0.50	15.0	
Dec	0.79	24.4	0.29	9.08	
Year	5.40	164	2.16	65.8	
Total for year		1970		789	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

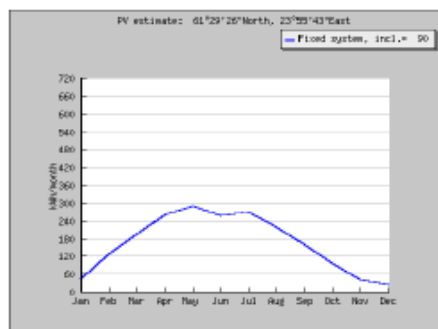
Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

## PVGIS estimates of solar electricity generation – south-west wall assembly (sivu 2/2)

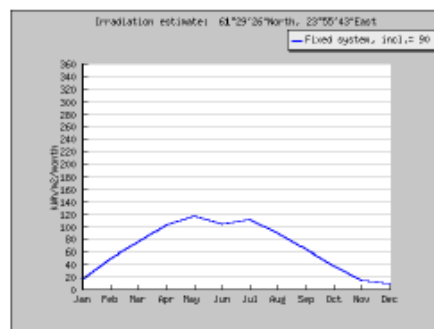


### Photovoltaic Geographical Information System

European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy



Monthly energy output from fixed-angle PV system



Monthly in-plane irradiation for fixed angle

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

#### Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

#### This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

---

 PVGIS estimates of solar electricity generation – optimal assembly (sivu 1/2)
 

---


**Photovoltaic Geographical Information System**

 European Commission  
 Joint Research Centre  
 Ispra, Italy

**Performance of Grid-connected PV**
**PVGIS estimates of solar electricity generation**

 Location: 61°29'26" North, 23°55'43" East, Elevation: 127 m a.s.l.,  
 Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 3.0 kW (CdTe)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 2.6% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.1%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 18.8%

Fixed system: inclination=41 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	1.52	47.0	0.56	17.3
Feb	5.21	146	2.00	56.0
Mar	7.75	240	3.06	94.9
Apr	11.40	342	4.65	140
May	13.20	409	5.55	172
Jun	12.90	386	5.44	163
Jul	12.80	385	5.45	169
Aug	9.95	308	4.17	129
Sep	7.05	212	2.86	85.7
Oct	3.83	119	1.49	46.0
Nov	1.50	45.1	0.56	16.9
Dec	0.82	25.4	0.30	9.41
Year	7.33	223	3.01	91.6
Total for year		2670		1100

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

 Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

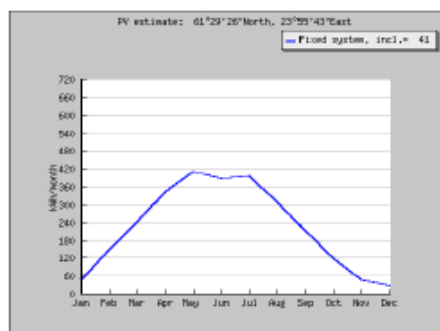
 Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

## PVGIS estimates of solar electricity generation – optimal assembly (sivu 2/2)

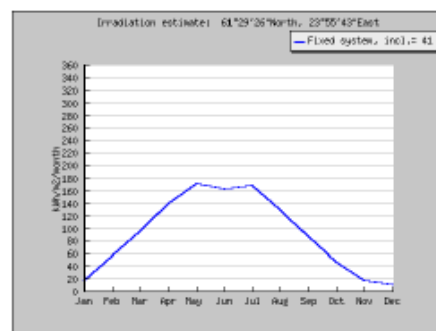


### Photovoltaic Geographical Information System

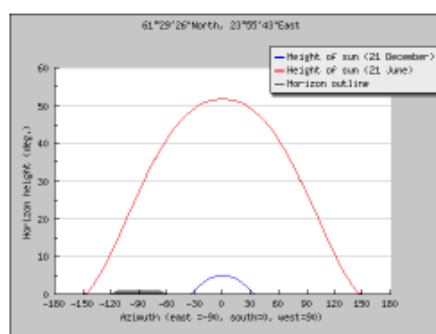
European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy



Monthly energy output from fixed-angle PV system



Monthly in-plane irradiation for fixed angle



Outline of horizon with sun path for winter and summer solstice

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.