

Riku Luoma

Matalaenergiatalon sähkösuunnitelma

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

17.11.2015

Tekijä(t) Otsikko	Riku Luoma Matalaenergiatalon sähkösuunnitelma
Sivumäärä Aika	25 sivua + 2 liitettä 7.11.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Jarno Nurmio
<p>Insinöörityössä tehtiin yksityiselle rakennuttajalle kokonaisvaltainen sähkösuunnitelma energiaomavaraiseen pientaloon. Suunnitteluun haasteita toi tavoite, ettei kiinteistöä liitetä valtakunnan verkkoon vaan kiinteistön energia oli päätetty tuottaa tuuli- ja aurinkoenergialla. Sähkösuunnitelma tehtiin yhdessä sähkövoimatekniikan insinööriopiskelija Teemu Sepäsen kanssa. Tässä työssä kerrotaan suunnitteluprosessin vaiheista ja siihen liittyvistä haasteista.</p> <p>Työssä käydään läpi yleisellä tasolla rakennusteknisiä ratkaisuja, joita matalaenergialuokitukseen pääseminen vaati sekä perehdytään matalaenergiarakentamismääräyksiin ja rakennuksen energiatehokkuuteen Suomen Rakennusinsinöörien Liitto Ry:n rakentamisohjeen, RIL249-2009 pohjalta. Työssä myös perehdytään pientalon mahdollisiin energiantuotantomuotoihin ja esitellään niiden erilaisia kiinteistön energiatehokkuutta parantavia sovelluksia. Sähkösuunnitelmaa tehtäessä arvioitiin rakennuksen teknisiä ratkaisuja kulutuslaitteiden valinnasta kiinteistön sähköjakeluun.</p> <p>Työssä esitellään suunnittelun kohteena olleen pientalon rakennusteknisiä sekä sähkötekniisiä ratkaisuja. Työ tehtiin tukemaan energiaomavaraisen pientalon suunnitteluprosessia.</p>	
Avainsanat	sähkösuunnitelma, energiantuotanto, matalaenergiatalo, energiatehokkuus

Author(s) Title	Riku Luoma Electrical Plan of Low-Energy House
Number of Pages Date	25 pages + 2 appendices 7 November 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	Jarno Nurmio, Senior lecturer
<p>This thesis concerns an overall electrical plan of energy self-sufficient detached house. The challenge in the planning process was the aim not to connect premises to the national electric grid but produce own electricity with wind turbine and solar panels. The plan was made by the assignment of a private builder and in cooperation with electrical power engineering student Teemu Seppänen. The thesis narrates planning processes phases and challenges.</p> <p>This thesis consists of civil engineering solutions which make low-energy building possible, low-energy building regulations and energy efficiency based on RIL249-2009. The thesis also focuses on the possibilities of energy production in a detached house and energy production applications which improve houses' energy efficiency. Electrical engineering solutions from electrical devices to houses electricity supply were assessed in the planning process.</p> <p>The thesis narrates civil- and electrical engineering solutions of the detached house in question. Thesis supports planning process of an energy self-sufficient detached house.</p>	
Keywords	Electrical plan, energy production, low-energy building, energy efficiency

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rakentaminen ja energiatehokkuus	1
2.1	Matalaenergiatalo	3
2.2	Passiivitalo	6
2.3	Nollaenergiatalo ja plusenergiatalo	6
3	Energiantuotanto pientalossa	7
3.1	Aurinkoenergia	8
3.1.1	Aurinkosähkö	8
3.1.2	Aurinkolämpö	10
3.2	Tuulivoima	12
3.3	Maa- ja ilmalämpö	13
4	Kuputalon sähkösuunnitelma	16
4.1	Energiantarve	17
4.2	Tekniset ratkaisut	18
4.2.1	Kiinteistön sähköverkko ja valaistustekniset ratkaisut	18
4.2.2	Kulutuslaitteiden valinta	20
4.2.3	Antenni ja yleiskaapelointi	21
4.2.4	Palovaroittimet	22
5	Loppusanat	23
	Lähteet	24

Liitteet

Liite 1. Taulukko kulutuslaitteiden arvioidusta tehonkulutuksesta

Liite 2. Jännite- ja tehohäviöt MMJ-kaapelissa 12V- sekä 24V-verkossa

Lyhenteet

A	Ampeeri, sähkövirran SI-järjestelmän mukainen yksikkö
ac	vaihtovirta
dc	tasavirta
E-luku	Energiatehokkuusluku
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> , kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
kwh	Kilowattitunti, energiankulutuksen yksikkö
m ²	Neliometri, pinta-alan SI-järjestelmän mukainen johdannaisyksikkö
RIL	Rakennusinsinöörien liitto
V	Voltti, jännitteen SI-järjestelmän mukainen yksikkö
W	Watti, tehon SI-järjestelmän mukainen yksikkö
°C	Celsiusaste, lämpötilan SI-järjestelmän mukainen johdannaisyksikkö
Ω	ohmi, vastuksen SI-järjestelmän mukainen yksikkö

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä perehdytään yleisesti pientalon energiatehokkaaseen rakentamiseen ja energiatehokkaiden talotekniikkaratkaisuihin. Lisäksi työssä syvennyttään yksittäisen pientalon, Kuputalon, sähkötekniisiin ratkaisuihin. Kuputalon sähkösuunnitelma tehtiin insinööriyönä yksityisen rakennuttajan toimeksiannosta.

Kuputalon sähkösuunnitelma tehtiin yhteistyössä sähkövoimatekniikan insinöörin Teemu Seppäsen kanssa. Teemu Seppäsen insinööriyö, *Energiaomavaraisen asuinkiinteistön sähkösuunnitteluopas*, valmistui kesäkuussa 2013. Työssä perehdyttiin sähkösuunnitelmaa koskeviin määräyksiin, sähkösuunnitelman etenemiseen, sähkösuunnitelman tekniseen sisältöön sekä pientalon energiantuotantoon ja jakeluun. Kuputalon sähkösuunnitelmaa tehtäessä Teemu Seppänen toimi pääsuunnittelijana ja tuotti suurimman osan varsinaisen suunnitelman sisällöstä. Itse toimin suunnitteluvaiheessa teknisenä asiantuntijana ja autoin Teemu Seppästä teknisten ratkaisuiden suunnittelussa ja niiden toteutukseen liittyvien ratkaisuiden löytämisessä. Tein myös karkeat laskelmat Kuputalon kulutuksesta, joiden pohjalta arvioitiin Kuputalon energiantuotannon riittävyttä. Kuputalon suunnitelman perustana oli tehdä täysin energiaomavarainen asuintalo.

2 Rakentaminen ja energiatehokkuus

Ilmastonmuutos ja lisääntynyt energiankulutus on kasvattanut paineita ja vaatimuksia rakennusten energiatehokkuuteen. Rakennusten energiatehokkuutta pyritään parantamaan erilaisilla rakenteellisilla ja rakennusteknisillä ratkaisuilla. Energiatehokkaassa rakentamisessa lähtökohtana on kokonaisvaltainen rakentaminen, jossa arkkitehtoniset, rakenteelliset ja talotekniset ratkaisut tukevat toisiaan siten, että rakennuksen käytön aikainen energiankulutus olisi mahdollisimman pientä. Energiatehokkaassa rakentamisessa otetaan huomioon rakennusaikaiset kustannukset, kuten materiaalit ja työvoima sekä rakennusaikainen energiankulutus. Yleensä nämä kustannukset vastaavat vain noin kymmenesosaa verrattuna viidenkymmenen vuoden käyttökustannuksiin, joten pääsääntöisesti hieman kalliimmat energiatehokkaat ratkaisut maksavat itsensä melko pian takaisin. Energiatehokas rakentaminen on luokiteltu kolmeen pääluokkaan, jotka ovat normitalo, matalaenergiatalo ja passiivitalo. Matalaenergiatalo ja passiivitalo

on jaoteltu vielä alaluokkiin, jotka kertovat vielä tarkemmin rakennuksen energiatehokkuudesta. [1.]

Energiansäästämislle ja hiilidioksidipäästöjen pienentämislle on asetettu paljon kansallisia ja kansainvälisiä tavoitteita. Näistä rakentamiseen suoraan liittyvät kansalliset rakennusnormit, joiden mukaan jo vuonna 2012 kaikkien asuinrakennusten olisi tullut olla luokitukseltaan matalaenergiarakennuksia. Myös EU:n energiansäästön toimenpideohjelma määrittelee vaatimuksia rakennuksille. Toimenpideohjelman vaatimus asuintaloille on energiankäytön vähentäminen 27 % vuoden 2008 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Toimistorakennuksille vaatimus energiankäytön vähentämiseen on 30 %. Kaikki vaatimukset eivät kohdistu rakentamiseen, vaan ne kohdistuvat myös energiantuotantoon ja sen muotoihin (kuva 1). [1.]

Kansalliset rakennusten energianormit	30–40 %:n tiukennus vuonna 2010 20–30 %:n tiukennus edelliseen noin vuonna 2012 (matalaenergiataso)
Kioton sopimus	Hiilidioksidipäästöt 2010 vuoden 1990 tasolle
EU:n energiansäästön toimenpideohjelma	Hiilidioksidipäästöjen 20 %:n pienentämistavoite vuoden 1990 tasosta vuonna 2020 Hiilidioksidipäästöjen 80–95 %:n pienentämistavoite vuoden 1990 tasosta vuonna 2050 Rakennuskannan energiankäytön vähennystavoite v. 2020 asuinrakennuksissa 27 % ja toimistorakennuksissa 30 % vuoden 2008 tasosta
Energiapalveludirektiivi	9 %:n (17,8 terawattituntia) säästötavoite vuonna 2016 (tasosta 2001–2005) toimijakohtaisin energiatehokkuus-sopimuksin, joita tukevat: – hankintojen energiatehokkuusohjeet – energiatehokkuuden huomioon ottava suunnittelun ohjaus – energiakatselmukset ja niistä johtuvat toimet – uusien säästötakuu- ja rahoitusmenettelyjen käyttö – kulutusseuranta ja energiatehokkuutta kuvaavat tunnusluvut – uudet toimintamallit – koulutus- ja tiedotustoiminta – uusiutuvien energialähteiden käyttöönotto
Uusiutuvat primäärienergiat	Lisättävä EU-sopimuksen mukaisesti EU:ssa 20 %:iin, Suomessa 38 %:iin vuonna 2020
Suomen energiapoliittiset linjaukset v. 2009 – Energiatehokkuuden kokonaissuunnitelma (TEM) – Kestävät hankinnat-toimintaohjelma (YM) – Hallituksen energiastrategia 2008	Suomalaisen energiatehokkuuden parantaminen julkisella sektorilla seuraavilla toimenpiteillä: – kokonaissuunnitelmat energian käytön vähentämiseksi – neuvonnan ja opastuksen lisääminen – korjausrakentamisen valtionavustuksen kasvattaminen – takuustotariffi valtakunnanverkkoon tuuli- ja biosähkölle – tuulienergian teho rakennetaan tasolle 2000 MW vuoteen 2020 mennessä – bioenergian tuotanto lisätään tasolle 40 % koko energian tuotannosta vuoteen 2020 mennessä – mahdollisista uusista ydinvoimaloiden luvista (1–3 kpl) päätetään vuoteen 2010 mennessä erikseen

Kuva 1. Kansainväliset ja kansalliset strategiset tavoitteet ja sitoumukset vuonna 2008 [1.]

Rakennusten energiatehokkuutta pystytään parantamaan taloteknisillä ratkaisulla ja kiinteistön omalla energiantuotannolla. Energiatehokkuutta parantavia taloteknisiä ratkaisuita ovat oikean lämmitysmuodon valitseminen, lämmityksen oikeanlainen säätö ja koneellisten ilmanvaihtolaitteiden lämmön talteenottojärjestelmät. Koska rakennusten energiatehokkuus lasketaan ostetun käyttöenergian ja nettoenergian suhteen mukaan eikä suoraan käytetyn energian mukaan, parantaa oma energiantuotanto rakennuksen energialuokitusta. Energiantuotantomuotoina rakennuksissa ovat yleistyneet melko paljon aurinkoenergia, tuulivoimalat, aurinkokeräimet ja eri sovelluksiin tarkoitetut lämpöpumput. Näistä pientaloissa voimakkaimmin yleistyneitä ovat maalämpö- ja ilmalämpöpumput. Aurinkopaneelien kehittymisen ja hinnan laskemisen myötä ovat myös aurinkosähköjärjestelmät hitaasti yleistymässä asuinrakennuksissa. [1.]

2.1 Matalaenergiatalo

Matalaenergiatalo on rakennus, joka täyttää tietyt energiatehokkaan rakentamisen kriteerit. Matalaenergiarakentaminen käynnistyy tarkasta hankesuunnitelmasta, jossa määritellään ratkaisut, joilla täytetään matalaenergiataloluokituksen täyttävä energiatehokkuustaso. Hankesuunnitelmassa tulee myös olla energiantarvetavoitteet kaikille energiaa tarvitseville osa-alueille. Näitä osa-alueita ovat tilojen lämpötilanhallinta, kiinteistösähkö, kotitaloussähkö ja käyttöveden lämmitys. Lämpötilanhallinnalla tarkoitetaan suhdelukua, joka muodostuu tilojen lämmitysenergian ja sen tuottamiseen tarvittavan ostoenergian suhteesta. Hankkeessa tulee olla myös erittäin hyvin yhteen sovitettu arkkitehti-, rakenne- ja lvis-suunnittelu. Kun kohteen suunnitelmat ovat hyvin yhteen sovitettuja, tehdään kohteeseen tarkka toteutus suunnitelma. Hankeen edetessä, kohteen rakennusaikaisen laadunvalvonnan tulee olla tehokasta. Hankkeessa on syytä välttää materiaaleja ja laitteita, joissa tiedetään olevan ongelmia laatuvaatimuksien kanssa ja käyttää mahdollisuuksien mukaan luotettavia toimittajia. Laadunvalvonta ei koske pelkästään käytettyjä materiaaleja ja laitteita, vaan tärkeä osa rakentamisen laadunvalvontaa ovat ammattitaitoiset urakoitsijat ja niiden työntekijät. Tärkeä laadunvarmistukseen liittyvä toimenpide on energiatehokkuuden kannalta kriittisten vaiheiden järjestelmällinen tarkastaminen. [1.]

Esimerkkeinä tarkastuksista ovat

- rakennuksen ilmatiiveyden mittaaminen (ilmanvuotoluku)
- rakennuksen lämpökamerakuvaus mahdollisten kylmäsiltojen löytämiseksi
- koneellisen ilmanvaihdon mittaaminen ja säätäminen.

Ainakin nämä toimenpiteet on tilaajan hyvä vaatia jo sopimusvaiheessa urakoitsijoilta suoritettavaksi. [1.]

Matalaenergiataloluokituksen saamiseksi talolle on asetettu raja-arvoja rakennuksen nettoenergiantarpeelle lämmitystä ja jäähdytystä tarkkailtaessa. Tällä tarkoitetaan rakennuksen laskennallista lämmitykseen ja lämpimänveden tuottamiseen kuluvaa energiaa. Laskennassa otetaan huomioon lisäävänä lämmitystarpeena rakennuksen lämpöhäviöenergiat. Näitä ovat johtumislämpöhäviöt, vuotolämpöhäviöt ja ilmanvaihdon lämpöhäviöt. Huomioon myös otetaan, mutta vähentävästi, lämpökuorma. Lämpökuormana laskelmassa otetaan huomioon ikkunoista tuleva auringonsäteily, ihmisten luovuttama lämpöenergia ja sähkölaitteiden, kuten valaisimien, aiheuttama lämpöenergia. Matalaenergiatalossa nettoenergiantarpeen raja on 26–50kWh/(m²a). Yksikkö kWh/(m²a) on vuosittainen asuinneliötä kohden käytetty lämmitysenergia. [1.]

Toinen luokitukseen vaikuttava tekijä on ostoenergian tarpeen määrä. Tähän lasketaan kiinteistön ylläpitämiseen eli lämmitykseen, valaistukseen ja ilmanvaihtoon menevä ostettu energia. Raja-arvo ostoenergialle on sama kuin nettoenergiantarpeelle eli 26–50kWh/(m²a). Ostoenergiaksi lasketaan kaukolämpö ja kaukojäähdytys, valtakunnanverkosta tuleva sähkö sekä rakennuksen lämmitysjärjestelmiin tarkoitetut öljyt, pelletit ja vastaavat. [1.]

Näitä kahta laskennallista arvoa verrataan toisiinsa ja niistä saadaan suhdeluku siten, että jos ostoenergiantarve ja nettoenergiantarve ovat samat, niin suhdeluku on 1. Tällainen tilanne on tapauksissa, joissa ei ole omaa energiantuotantoa ja kiinteistötekniikan yhteenlaskettu hyötysuhde on 1. Nettoenergian raja-arvoa voidaan säätää, mutta ostoenergian määriteltä raja-arvoa ei saa ylittää, jotta haluttu energialuokka saavutetaan. Nettoenergiantarpeen raja-arvoa saadaan nostaa, jos kiinteistötekniikan hyötysuhde on yli 1 tai jos kiinteistöllä on omaa energiantuotantoa. Vaikka nettoenergian raja-arvoa voidaan nostaa, niin tulee rakennuksen kuitenkin olla energiatehokkaasti

rakennettu. Vastaavasti, jos kiinteistötekniikan hyötysuhde on alle 1, niin nettoenergiantarpeen raja-arvoa tulee laskea. [1.]

Matalaenergiataloluokituksen alaluokat määräytyvät pääasiallisesti ostoenergiantarpeen mukaan. Alaluokkia ovat:

- M50, jossa M tarkoittaa matalaenergiarakennusta ja sen ostoenergiantarve on alle 50kWh/(m²a).
- M45, jossa M tarkoittaa matalaenergiarakennusta ja sen ostoenergiantarve on alle 45kWh/(m²a).
- M40, jossa M tarkoittaa matalaenergiarakennusta ja sen ostoenergiantarve on alle 40kWh/(m²a).
- M35, jossa M tarkoittaa matalaenergiarakennusta ja sen ostoenergiantarve on alle 35kWh/(m²a).
- M30, jossa M tarkoittaa matalaenergiarakennusta ja sen ostoenergiantarve on alle 30kWh/(m²a).

Kaikki matalaenergiatalon luokat ovat energiatodistusoppaan energiatehokkuusluokittelun (kuva 2) eli E-luvun mukaan luokkaa A+. E-luvussa huomioidaan myös taloussähkö, toisin kuin energiatehokkaan rakentamisen luokissa. E-lukua laskettaessa on myös ostoenergian tuotantomuodolla merkitystä. [1.; 2.]

$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$

Energiatehokkuusluokka	Kokonaisenergiankulutus, E-luku (kWh _E /m ² vuosi)
A	E-luku ≤ 94
B	95 ≤ E-luku ≤ 164
C	165 ≤ E-luku ≤ 204
D	205 ≤ E-luku ≤ 284
E	285 ≤ E-luku ≤ 414
F	415 ≤ E-luku ≤ 484
G	485 ≤ E-luku

Kuva 2. Erillisen pientalon energiatehokkuusluokittelu. [2.]

2.2 Passiivitalo

Passiivitaloluokittelun määritelmä ei varsinaisesti eroa matalaenergiataloluokittelusta muuten kuin asetettujen raja-arvojen kohdalta. Passiivitaloluokalle raja-arvot ovat huomattavasti tiukemmat. Raja-arvot ovat ostoenergiantarpeelle ja nettoenergiantarpeelle alle 25kWh/(m²a). Passiivitaloille on myös omat alaluokkansa ja niiden periaate on sama kuin matalaenergiatalon alaluokilla. Passiivitalon alaluokat ovat P25, P20 ja P15. Passiivitalot kuuluvat energiatehokkuusoppaan energiatehokkuusluokittelussa luokkaan A++.[1.]

Passiivitalon ja matalaenergiatalon rakennusprosessissa suurin ero on se, että passiivitalon energiatehokkuus perustuu suurimmilta osin arkkitehtonisiin ja rakenteellisiin ratkaisuihin. Yleensä passiivitalossa eristekerrokset ovat paksumpia ja rakennuksen ilmatiiviyys on erittäin hyvä. Arkkitehtonisilla ratkaisuilla pyritään lisäämään lämpökuormaa siten, että auringonsäteilystä saadaan mahdollisimman paljon lämmitysenergiaa. Koska rakenteelliset ja arkkitehtoniset ratkaisut ovat pääosassa passiivitaloissa, voidaan niissä käyttää huomattavasti kevyempiä lämmitysjärjestelmiä. Passiivitaloa rakennettaessa pitää ilmanvaihtoon kiinnittää enemmän huomiota, koska rakenteissa ei ole ilma-voitoja. Ilmanvaihdon tulee olla riittävä, että rakenteet pysyvät kuivana ja ettei niissä ala ilmenemään kosteuden aiheuttamia vaurioita, kuten hometta. Ilmanvaihto ei kuitenkaan tule olla liian tehokasta, koska tämä lisää lämmityksen nettoenergiatarvetta. [1.]

2.3 Nollaenergiatalo ja plusenergiatalo

Nolla- ja plusenergiatalot ovat aina rakennuksia, joissa on omaa energiantuotantoa. Rakennusteknisesti ja energialuokittelultaan rakennus voi olla joko matalaenergiatalo tai passiivitalo. Vaatimus rakennukselle on ainoastaan se, että se on rakennettu energiatehokkaaksi ja täyttää vähintään matalaenergiataloluokan vaatimukset. Nollaenergiatalolla tarkoitetaan rakennusta, jonka vuotuinen energiantuotanto vastaa rakennuksen kuluttamaa ostoenergiaa. Plusenergiatalo taas tuottaa enemmän energiaa kuin kuluttaa.

Koska Suomen sääolosuhteissa rakennuksen kulutus ei ole kuukausitasolla tasaista, tarkoittaa se sitä, että joinain kuukausina energian tarve voi ylittää oman tuotannon määrän. Tällaisia kuukausia Suomessa ovat yleisesti kylmät ja pimeät talvikuukaudet,

jolloin lämmityksen tarve on suurimmillaan ja yleensä oma energiantuotanto, kuten esimerkiksi aurinkosähkö, on pienimmillään. Tällöin voidaan joutua turvautumaan os-toenergiaan. Tämä ei kuitenkaan vielä tarkoita sitä, etteikö rakennus voisi olla nolla- tai plusenergiatalo, koska energiankulutusta ja -tuotantoa tarkastellaan rakennuksessa vuositasolla. Eli kun rakennuksen omaenergiantuotanto on yli oman tarpeen, luovuttaa se energian valtakunnanverkkoon, ja kun energiantuotanto on riittämätöntä, ostaa rakennus energiaa valtakunnanverkosta. Rakennuksen omaa energiantuotantoa ei kuitenkaan tarvitse, eikä kannata, mitoittaa suurimman kulutuksen mukaan, vaan arvioidun vuoden keskikulutuksen mukaan. Jos rakennusta ei liitetä valtakunnalliseen sähköverkkoon, ei rakennus voi olla plusenergiatalo. Näissä tapauksissa kannattaa oma energiantuotanto mitoittaa runsaasti kulutuksen keskiarvoa suuremmaksi. Kannattaa myös miettiä, miten energian ylituotanto saadaan talteen ja käytettäväksi silloin kun energiantuotanto on riittämätöntä. Myös siis energiavaraston, kuten akuston, mitoittaminen on erittäin tärkeää. Täysin omavaraista rakennusta suunniteltaessa kannattaa oma energiantuotanto hajauttaa eri lähteisiin. Tämä siitä syystä, että aurinkopaneelisto ei välttämättä talvella tuota riittävästi energiaa, kun taas tuulivoimalat tuottavat energiaa talvellakin suhteellisen hyvin. Omaa energiantuotantoa suunnitellessa tulee rakennuksen sijainti ottaa myös hyvin huomioon, koska maastonmuodot ja maaperä vaikuttavat paljon energiantuotantomuodon valintaan. [1.]

3 Energiantuotanto pientalossa

Aivan kuten rakennustekniikassa, on vihreämpi ajattelu asettanut odotuksia ja mahdollisuuksia uusiutuvien energianlähteiden käyttöön kotitalouksissa. Nykyään kuluttaja voi valita, millä tavalla tuotettua sähköä hän energiayhtiöltä ostaa. Tämä ei tarkoita sitä, että sähkö, jota kuluttajalle toimitetaan, olisi tuotettu uusiutuvilla energianlähteillä, vaan se velvoittaa energiayhtiön tuottamaan kuluttajille myymänsä määrän energiaa uusiutuvilla energianlähteillä.

Tämän lisäksi kuluttajilla on pienenergiantuotantoteknologian kehittymisen myötä vaihtoehtona myös tuottaa itse omaa energiaansa. Kerrostaloissa vaihtoehtoja ei juuri ole, mutta pientaloja rakennettaessa vaihtoehtojen määrä on jo melko suuri. Vaihtoehtoja löytyy myös paljon jälkikäteen asennettavaksi, mutta joissain ratkaisuisa kustannukset voivat nousta huomattavasti. Parhaimmat ja kustannustehokkaimmat ratkaisut riippuvat pääosin rakennuksen geologisesta sijainnista.

Jo kauan käytössä olleen, ja lähes jokaisessa pientalossa olevan, tulisijan rinnalle on tullut muutama suosittu energiantuotantomuoto. Näistä tuotantomuodoista yleisin on lämpöpumppu, joka voi olla maalämpöä tai ilmalämpöä hyödyntävä. Myös aurinkoenergian hyödyntäminen pientaloissa on yleistynyt tekniikoiden kehittymisen ja halpenemisen myötä. Nämä järjestelmät pientalossa vaativat kuitenkin usein myös liittymisen valtakunnan verkkoon, mutta niillä voidaan melko helpoilla teknisillä ratkaisuilla pienentää ostoenergian määrää. Lokakuussa 2015 tehdyn Energiaviraston kyselyn mukaan verkkoon liitettyjä aurinkosähkön mikrotuotantolaitoksia on Suomessa 2 157 kWp:n edestä. Tämä luku käsittää yritysten ja kotitalouksien oma tuotannon. [3.]

Uusiutuvista energianlähteistä tuuli, on vielä suhteellisen harvinainen energiantuotannonmuoto pientaloissa, mutta sitäkin on alettu hyödyntää turbiinitekniikan kehittyessä. Tuuliturbiinien yleistymistä pientaloissa vaikeuttaa hieman siihen liittyvät lupa-asiat ja mielikuvat. Onneksi asenne tuulivoimaloita kohtaan on jo hieman alkanut muuttua ja tuulivoiman käyttö onkin yleistynyt suhteellisen paljon suurempien energiantuotantolaitosten toimesta.

3.1 Aurinkoenergia

Aurinko on erittäin suuri uusiutuvan energian lähde, mutta vaikka sitä on hyödynnetty jo erittäin kauan, ei sen potentiaalista energianlähteenä ole saatu valjastettua kuin erittäin pieni osa. Teknologian kehittymisen myötä on vaihtoehtoja tullut lisää, ja niiden ansiosta aurinkoenergiaa on alettu hyödyntää hieman tehokkaammin. Tehokkaimmat ja suosituimmat aurinkoenergian hyödyntämiseen käytetyt tekniikat ovat aurinkolämpö ja aurinkosähkö. Valitettavasti järjestelmien hinnat ovat vielä suhteellisen korkeat, eivätkä ne täten ole pienenergian tuotannossa vielä taloudellisesti ajateltuna kannattavia.

3.1.1 Aurinkosähkö

Aurinkosähkö perustuu puolijohdetekniikkaan, jossa käytetään yleensä piitä. Tekniikka on alun perin kehitetty avaruuteen, satelliittien ja muiden sähköä tarvitsevien laitteiden käyttöä varten. Puolijohdetekniikalla valmistetuissa aurinkokennoissa on kaksi piikerosta, joiden välille auringonsäteily muodostaa sähkövarauksen. Sähkö hyödynnetään joko siirtämällä se akustoon tai suoraan käyttölaitteelle. Aurinkopaneeli koostuu yleensä useasta erillisestä aurinkokennosta, ja paneelin nimellisteho vaihtelee usein 20 wa-

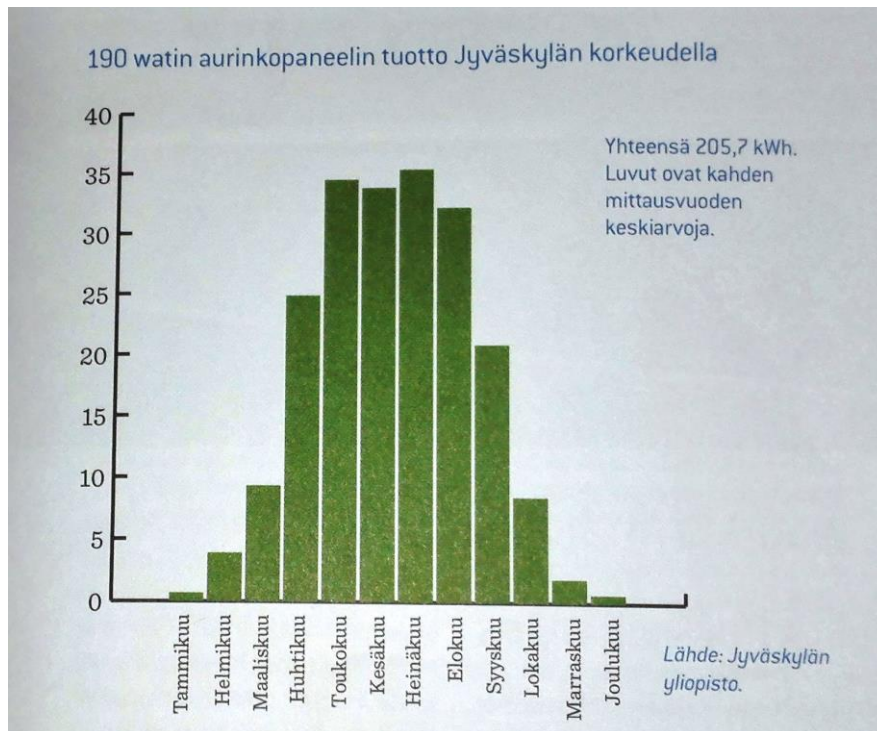
tista 200 wattiin, paneelin koosta riippuen. Aurinkosähköjärjestelmissä hyvää on se, ettei tekniikassa ole liikkuvia eikä kuluvia mekaanisia osia. Tästä syystä järjestelmille annetaan usein pitkä, jopa 25 vuoden takuu ja ne ovat melko huoltovapaita. Lisäksi järjestelmä on helposti laajennettavissa käyttötarpeen lisääntyessä, koska paneeleita voidaan kytkeä useita rinnan samaan järjestelmään ilman sen muuttamista. [4.]

Vaikka tekniikka on periaatteessa suhteellisen yksinkertainen ja pii hyvin yleinen alkuaine maankuoressa, on aurinkosähkön tuotannossa huono puoli sen hinta. Hinnan suuruus johtuu suurimmaksi osaksi siitä, että pii on usein sitoutunut muihin alkuaineisiin ja sen puhdistaminen niistä on melko kallista. Tästä syystä aurinkosähköä mietittäessä, se ei ole juuri koskaan taloudellisesti kannattava ratkaisu. Aurinkosähkö on kuitenkin hyvä tuotantomuoto ja soveltuu hyvin esimerkiksi kesämökeille, joissa ei ole sähköliittymää. Pientaloissa (kuva 3) ja mökeillä, joissa on sähköliittymä, on aurinkosähkö energianlähteenä energiantuotannon ekologisuudesta välittävän ratkaisu, jolloin tuotettavan energian hinta ei merkitse niin paljoa kuin sen ekologisuus. Aurinkosähköjärjestelmien hintaan vaikuttaa myös paljon se, ettei Suomessa valtio, toisin kuin moni muu Euroopan valtio, tue aurinkosähköjärjestelmien asennusta millään tavoin. Myös sähköntuotannon vaihtelu kesä- ja talvikuukausien välillä aiheuttaa ongelmia. Kesällä tuotannon ollessa suurimmillaan ylimääräisen energian varastoiminen tai myyminen ei ole taloudellisesti kannattavaa, koska suuret akustot vievät tilaa ja maksavat erittäin paljon eivätkä jakeluverkkoyhtiöt maksa myydystä sähköstä lähellekään markkinahintaa. Nykyään kuitenkin osa verkkoyhtiöistä ottaa ylimääräisen energian vastaan ja antaa vastaanotetun määrän energiaa takaisin sitä tarvittaessa eli ne toimivat niin sanottuna energiapankkina. [4.]



Kuva 3. Aurinkopaneelisto asennettuna pientalon katolle

Vaikka aurinkopaneeleille luvataan nimellisteho, ei siihen kannata täysin luottaa, koska kyseessä on paneelin teoreettinen maksimituotto optimioloissa. Jyväskylän yliopiston tekemän tutkimuksen perusteella voidaan karkeana sääntönä pitää, että aurinkopaneeli tuottaa sähköenergiaa vuodessa keskimäärin nimellistehonsa verran kilowattitunteja. Tutkimuksessa seurattiin aurinkopaneelien sähköntuottoa kahden vuoden ajan. Kyseisessä tutkimuksessa todettiin myös tuotannon suuri vaihtelu vuodenajasta riippuen (kuva 4). [4.]



Kuva 4. 190 watin aurinkopaneelin tuotto kuukausitasolla Jyväskylän korkeudella. [4.]

3.1.2 Aurinkolämpö

Aurinkolämmön idea on yksinkertainen. Siinä otetaan auringon säteilystä lämpö talteen ja se hyödynnetään siirtimien avulla lämmitysjärjestelmissä. Yleensä aurinkolämpöjärjestelmä liitetään vedenlämmitysjärjestelmään, jolla joko lämmitetään huoneistoa ja käyttövettä tai pelkkää käyttövettä. Aurinkokeräimissä on käytössä kahta erilaista tyyppiä, tyhjiöputkikeräin ja tasokeräin. Molemmissa tyypeissä tekniikka on periaatteessa sama, eli keräimen putkissa pyörii yleensä glykolipohjainen neste. Keräimet asennetaan talon katolle mahdollisuuksien mukaan eteläpuolelle. Molemmat järjestelmät sisältävät keräimen lisäksi siirtimen ja säätimen. [4.]

Suurin ero tekniikoissa on keräimissä. Tyhjiöputkikeräin koostuu erillisistä tyhjiöputkista, jotka eivät ole tekemisissä toistensa kanssa, vaan kytkeytyvät kaikki suoraan siirtimeen. Tasokeräimessä kulkee yksi kupariputki tumman lasi- tai muovilaatikon sisällä. Laatikon tarkoitus on pitää auringon antama lämpö laatikon sisällä, jolloin kupariputkessa oleva neste lämpenee ja vapauttaa lämpöenergiansa järjestelmän siirtimeen. Tyhjiöputkikeräimessä ei ole laatikkoa putkien ympärillä, vaan siinä kerääntyneen lämmön haihtuminen nesteestä estetään putkessa uloimpana olevalla tyhjiöllä. Keräimessä on siis kaksi putkea sisäkkäin, joista sisemmässä kiertää neste. Sisemmän ja uloimman putken välissä on tyhjiö, joka toimii erittäin tehokkaana eristeenä. Näistä kahdesta keräintyyppistä tyhjiökeräin on huomattavasti energiatehokkaampi (kuva 5). [4.]



Kuva 5. Tyhjiöputkikeräimen rakennekuva [5.]

Aurinkokeräimet toimivat parhaiten keväällä ja syksyllä, koska silloin on lämmitystarvetta ja riittävästi keräimen toiminnan mahdollistavaa auringonsäteilyä. Aurinkokeräimien tehoista ei ole vielä riittävän luotettavaa tutkimustietoa, mutta ne ovat erittäin hyvä tuotantomuoto täydentämään mitä tahansa lämmitysmuotoa, koska ne ovat melko pienillä toimenpiteillä liitettävissä lämminvesivaraajaan. [4.]

3.2 Tuulivoima

Tuulivoima on uusiutuvien energianlähteiden käytössä yleistynyt ja prosentuaalisesti eniten kasvavia uusiutuvia energianlähteitä. Vaikka tuulivoimaloiden käyttö energiantuotannossa on yleistynyt, ei yleistymisen ole niin voimakasta kotitalouksien pientuotannossa. Tämä johtuu melko paljon tuulivoimaloihin kohdistuneista ennakkoluuloista ja niihin kohdistuneista teknisistä ja ympäristövaatimuksista. Yleisimpiä ennakkoluuloja, jotka tuulivoimaloihin kohdistuvat, on niiden vaikutus ympäristöön ja niiden aiheuttama melu. Tuulivoimalatekniikan kehityksen, lähinnä siipien suunnittelun, myötä on tuulivoimaloista saatu karsittua paljon niiden aiheuttamaa ääntä. Nykyisillä siipirakenteilla ei melua juurikaan synny alle 8m/s tuulilla. Yli 8m/s tuulilla alkaa ääntä muodostua, mutta silloinkin melu on sen verran pientä, että tuulen aiheuttama muu ympäristön ääni peittää tuulivoimalasta syntyvän melun. [6.]

Tuulivoimalat voidaan toimintaperiaatteensa mukaan jakaa kahteen eri tyyppiin, vaaka- ja pysty-akseliseen voimalaan (kuva 6). Vaaka-akseliset ovat perinteisiä potkurivoimaloita, joiden voimansiirto perustuu ainoastaan potkuriin kohdistuvaan aerodynaamiseen voimaan. Pystyakselisissa hyödynnetään joko aerodynaamista voimaa, tuulen työntövoimaa tai näiden yhdistelmää. Pystyakselisilla tuulivoimaloilla hyötysuhde on huomattavasti pienempi kuin vaaka-akselisilla, mutta ne toimivat paremmin pienemmillä ja pyörivillä tuulilla kuin vaaka-akseliset, eivätkä ne tarvitse erillistä tuulen suuntausta. Tunnetuimpia pystyakselisia voimalatyypppejä ovat Darrieus ja Savonius. [6.]

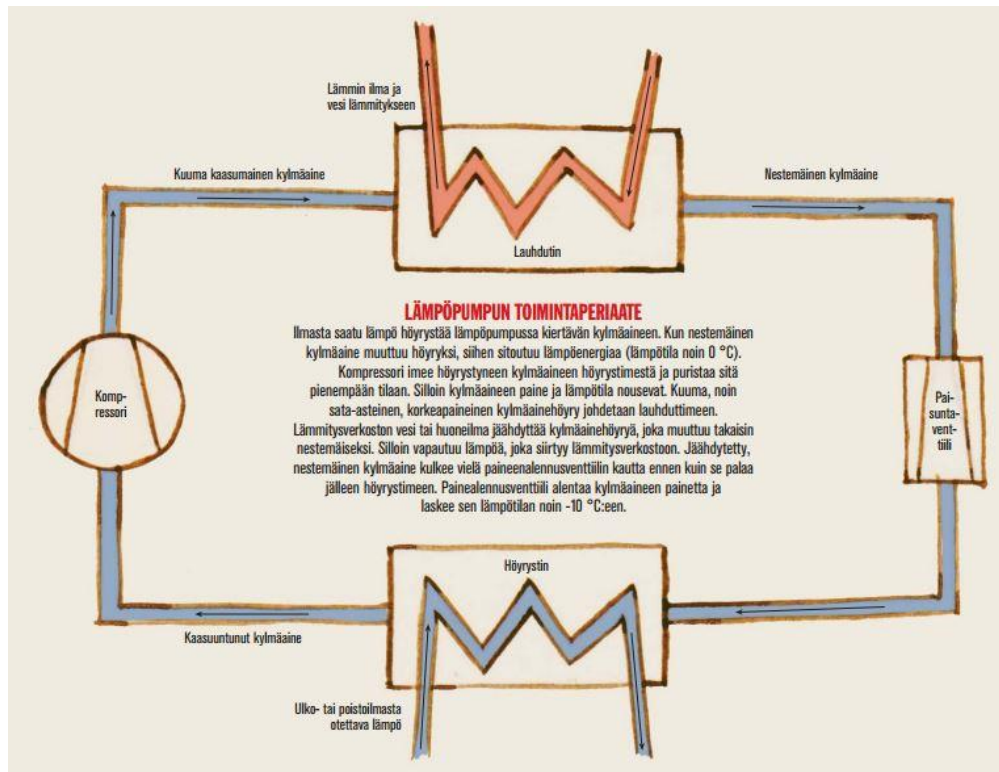


Kuva 6. Kuvassa vaaka-akselinen ja pystyakselinen tuulivoimala. [6.]

Pientuulivoimalat eivät poikkea teollisista suurtuulivoimaloista kuin lähinnä kokonsa puolesta, ja niitä koskevatkin täsmälleen samat laatu- ja turvallisuusvaatimukset. Pientuulivoimalaksi määritellään, standardin IEC 61400-2 mukaan, voimalat, joiden potkuripinta-ala on alle 250 m². Molemmat, pien- ja suurtuulivoimala, toimivat käytännössä samalla periaatteella. Tuulen liike-energia muutetaan siipien pyörimisliikkeestä muodostuvan mekaanisen energian avulla generaattorilla sähköiseksi energiaksi. Niin sanotussa suoraikäytössä energia voidaan hyödyntää joko lämmitysjärjestelmässä esimerkiksi lämminvesivaraajassa tai sitten se voidaan muuttaa verkkojännitteeksi invertterin avulla ja käyttää kaikissa kotitalouslaitteissa. Vaihtoehtoisesti tuulivoimalalla voidaan toteuttaa saarekeverkko, jossa tuulivoimalan tuottama energia syötetään akustoon, josta syötetään käyttölaitetta. Akuston tarkoitus on tasata tuulivoimalan vaihtelevaa energiantuotantoa. [6.; 7.; 8.]

3.3 Maa- ja ilmalämpö

Maa- ja ilmalämpöpumpuissa toimintaperiaate on yksinkertainen ja lähes samanlainen kuin aurinkokeräimissä. Toiminta siis perustuu ulkoilmasta tai maasta nesteputkiin sitoutuvan lämmön hyötykäyttämiseen lämmitysjärjestelmässä. Kyseiset järjestelmät vaativat kuitenkin aina käyttöjännitteen, eivätkä siis tuota sähköenergiaa, vaan puhtaasti lämpöä. Vaikka lämpöpumppusovellukset eivät periaatteessa ole energiantuotantolaitteita, voidaan ne tulkita sellaisiksi, koska ne luovuttavat enemmän energiaa kuin ottavat. Lämpöpumppujärjestelmissä keskeisiä osia ovat kompressori, paisuntaventtiili ja lämmönvaihtimet, joita ovat höyrystin ja lauhdutin (kuva 7).

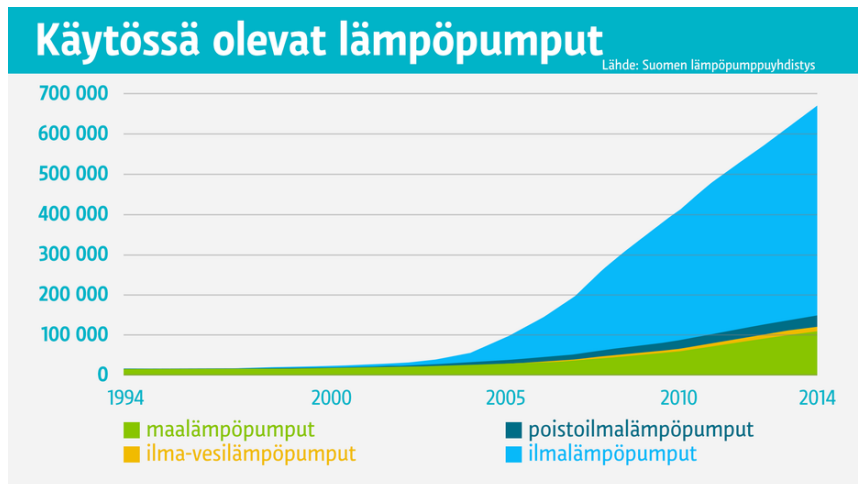


Kuva 7. Lämpöpumpun toimintaperiaate.[9.]

Höyrystin kerää lämmön kylmäaineeseen, ja lauhdutin luovuttaa sen kylmäaineesta lämmitysjärjestelmään. Järjestelmät voidaan kytkeä lämminvesivaraajaan tai ne voidaan sisäpuhaltimen avulla hyödyntää suoraan huoneilman lämmittämiseen. Molempia voidaan käyttää mallista riippuen myös kesäaikana huoneilman viilentämiseen. Järjestelmät ovat helppoja, koska ne ovat melko huoltovapaita ja niillä tuotettu energia on melko halpaa. [9.]

Maalämpöjärjestelmä on vielä tällä hetkellä energiatehokkaampi ratkaisu kuin ilmalämpöjärjestelmä, mutta asennuskustannukset ovat erittäin paljon suuremmat. Tämä johtuu pääosin siitä, että maalämpöä varten joudutaan vaihtoehtoisesti kaivamaan melko suuri noin metrin syvyinen maa-alue tai poraamaan syvä kaivo, johon kylmäaineputket laitetaan. Vaikka toimintaperiaate on kaikissa maalämpöpumpuissa sama, on järjestelmissä suuriakin eroja lähinnä siinä, miten lämmin käyttövesi lämmitetään. Lämpimän käyttöveden tehostuslämmitys on pakollista, koska sillä vältytään legionella-bakteerin muodostumiselta. Legionella-bakteeria ei lämpimään käyttöveteen muodostu, kun järjestelmä lämmittää veden ajoittain yli +55 celsiusasteen lämpöiseksi. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi tulistin piirillä tai käyttövesikierukalla, jolloin järjestelmä automaattisesti lämmittää käyttöveden tietyin väliajoin noin +65 celsiusasteeseen. Maalämpö-

pumppujärjestelmien energiatehokkuuden nyrkkisääntönä voidaan pitää sitä, että se tuottaa lämmitysenergiaa kolme kertaa enemmän kuin mitä se käyttää sähköenergiaa. Maalämpöpumput ovat myös verrannollisesti erittäin pieniä kasvihuonepäästöjen tuottajia. [10.]



Kuva 8. Lämpöpumpusovelluksien määrät vuosina 1994-2014 [11.]

Ilmalämpöpumppujärjestelmät ovat yleistyneet todella voimakkaasti, niiden kehittymisen myötä (kuva 8). Yleistymiseen erittäin suuri syy on myös se, että ne ovat helppoja asentaa lähes kaikkiin vanhoihin lämmitysjärjestelmiin. Ilmalämpöpumppujärjestelmässä on kolme toisistaan poikkeavaa sovellusta. Nämä sovellukset ovat ilma-ilmalämpöpumppu, ilma-vesilämpöpumppu ja poistoilmalämpöpumppu. Nämä sovellukset eroavat toisistaan joko siinä, että ne ottavat lämmön eri lähteestä tai siinä, että ne luovuttavat lämmön eri lähteeseen. Ilma-ilmalämpöpumppu ottaa lämmitysenergiänsä ulkoilmasta ja luovuttaa sen sisäyksikön avulla suoraan huoneilmaan. Ilma-vesilämpöpumppu toimii samoin kuin maalämpöpumppu, mutta ottaa lämpöenergiänsä ilmasta. Eli ilma-vesilämpöpumppu luovuttaa lämpöenergiänsä lämmitysjärjestelmän lämminvesivaraajaan lämmityskierukan avulla. Poistoilmalämpöpumppu ottaa lämpöenergiänsä huoneiston lämpimästä poistoilmasta ja siirtää lämmön takaisin lämmitysjärjestelmään. Tämä järjestelmä kuitenkin vaatii, että huoneistossa on jatkuva ilmavirta. Tästä syystä sovellusta voidaan yleensä käyttää vain kohteissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto. Näistä sovelluksista energiatehokkain on ilma-vesilämpöpumppu, joka tuottaa 40–60% lämmitystarpeesta verrattuna suoraan sähkölämmitykseen. Kaikissa ilmalämpöpumppusovelluksissa voidaan nyrkkisääntönä pitää sitä, että ilmalämpöpumppu tuottaa kaksi kertaa enemmän energiaa kuin kuluttaa (kuva 9). [9.; 10.]



Kuva 9. Periaatteellinen kuva ilmalämpöpumpun energiantuotosta. [9.]

4 Kuputalon sähkösuunnitelma

Kuputalon sähkösuunnitelmaa tehtäessä suurimmaksi haasteeksi muodostui suunnittelun lähtökohtana oleva energiaomavaraisuus. Suunnitelmia ei kuitenkaan haluttu tehdä siten, että tekniset ratkaisut eivät mahdollistaisi jälkikäteen valtakunnanverkkoon liittymistä, jos se jossain vaiheessa koettaisiin tarpeelliseksi. Suunnittelussa päädyttiin tästä syystä käyttämään täysin vaihtojänniteverkkoon soveltuvia laitteita, komponentteja. Kaapeleina suunnittelussa käytettiin jännitekestoisuudeltaan normaaleita asennuskaapeleita. Suunnitteluprosessin aikana mietittiin montaa eri tapaa, miten edellä mainitut tekniset ratkaisut saadaan toteutettua kaikista kustannus- ja energiatehokkaimmin.

Energiantuotantomuodoiksi projektissa oli valittu aurinkosähkö ja tuuliturbiini. Näiden lisäksi kiinteistöön vielä suunniteltiin asennettavaksi aurinkokeräimet. Näiden energiantuotantomuotojen lisäksi oli energiatehokkuutta parannettu erinäisillä rakennusteknisillä ratkaisulla. Suurimmat rakennustekniset ratkaisut olivat kasvihuone asuinrakennuksen ympärille, josta myös talon työnimi Kuputalo sai alkunsa, sekä talon alle suunniteltu suuri vesiallas. Vesialtaan tarkoituksena on toimia suurena lämpöenergiavarastona, joka varaa itseensä lämpöenergiaa lämpimillä ilmoilla ja luovuttaa varaamansa lämpö-

energian viileillä ilmoilla. Vesialtaan toinen tarkoitus on luoda taloa ympäröivään kasvihuoneeseen riittävä ilmankosteus. Altaaseen oli suunniteltu myös mahdollisuus puutakalla lämmittämiseen kiertovesipumppujen avulla. Taloa ympäröivän kasvihuoneen energiateknisenä ideana oli toimia niin sanottuna eristekerroksena. Ajatuksena oli, että altaan luovuttama lämmin ja kostea ilma toimii puskurina kylmän ulkoilman ja asuinrakennuksen painovoimaisen tuloilman välissä.

4.1 Energiantarve

Koska suunnitelmien lähtökohtana oli energiaomavaraisuus, oli energiantarvetta ja kulutusta tutkittava päivittäisen energiantarpeen kautta. Kodin kulutuslaitteiden tehon tarpeesta ja päivittäisistä käyttöajoista tehtiin taulukko (liite 1), jonka avulla laskettiin päivittäinen kulutus vattitunteina, jotka muutettiin ampeeritunneiksi. Ampeeritunneiksi muuttaminen tehtiin, koska siten akuston kapasiteetin ja päivittäisen energiantarpeen vertaileminen olisi helpompaa. Taulukossa 1 on esitetty laskelma sähkönkulutuksesta normaaleiden käyttötilanteiden yhteydessä ja jokaisen prioriteetin energiankulutuksen (liite 1) pohjalta arvioidun sähkön riittävyys.

Taulukko 1. Laskelma kulutuksesta ja sähkön riittävydestä eri käyttötilanteissa

Prioriteetti	Huipputeho (W)	Käytön mukainen keskikulutus (wh/pv)	Ampeeritunnit (Ah/pv)	2000Ah Akuston riittävyys pv
1	225	1115,0	46,5	43
2	2908	2436,6	101,5	20
3	16952	3015,2	125,6	16
1 ja 2	3133	3551,6	148,0	14
1, 2 ja 3	20085	6566,8	273,6	7

Liitteessä olevassa taulukossa (liite 1) määriteltiin jokaiselle kulutuslaitteelle prioriteettien perusteella, kuinka välttämätöntä laitteen toiminta on asumisen kannalta. Prioriteettiluokkia määriteltiin kolme. Prioriteettiin 1 kuuluivat asunnon yleisvalaistus ja välttämättömät kiinteistötekniiset laitteet, kuten ilmanvaihtopuhallin ja kiertovesipumput. Prioriteettiin 2 kuuluivat sisustusvalaistus, pistorasiat ja kodinkoneet, joille ei ole korvaavaa vaihtoehtoa. Prioriteettiin 3 kuuluivat laitteet ja käyttöpisteet, jotka eivät ole välttämättömiä, tai niille on vaihtoehtoinen käyttölaite. Tällaisista laitteista hyvä esimerkki

on sähköliesi, jonka käytön voi korvata puuliedellä, jolloin huoneistossa hoidetaan myös lämmitystä. Toinen hyvä esimerkkilaitte on astianpesukone, koska tiskit voi pestä myös käsin.

4.2 Tekniset ratkaisut

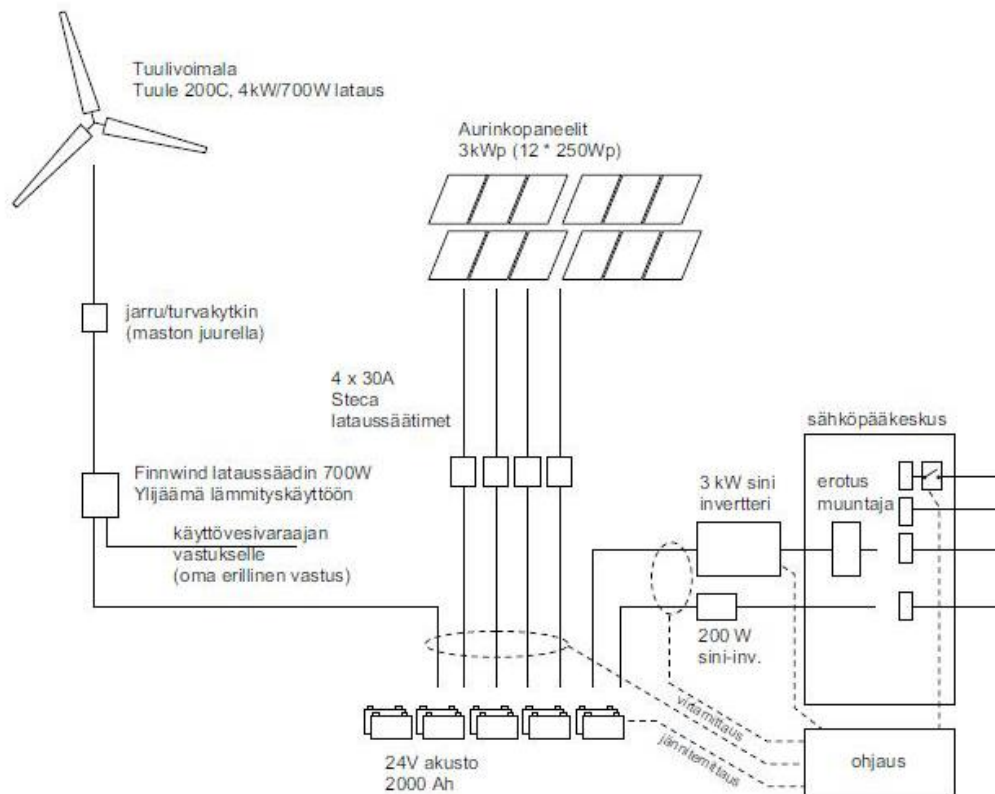
Sähkösuunnittelun pohjana ja mitoittavana tekijänä suunnitelmia tehdessä käytettiin energiantuotantojärjestelmää, jossa on 4000 w:n tuuliturbiini ja 3000 w:n aurinkopaneelilisto. Energiantuotannon vaihtelevuutta tasoittamaan järjestelmään lisättiin 2000 Ah:n akusto. Tuuliturbiinijärjestelmässä akuston lataukseen oli suunniteltu 700 w:n lataussäädin, joka lataa akustoa. Tuuliturbiinin tuottaessa enemmän kuin 700 w ylimääräinen energia käytetään suoraan lämminvesivaraajan lämmittämiseen. Kun akuston varaus on täysi, menee koko turbiinin sähköntuotanto lämminvesivaraajaan. Aurinkopaneelien sähköntuotanto ohjataan kaikki akustoon. Akuston maksimilatausteho suunnitelmien mukaan on siis 3700 w. Kaikille kulutuslaitteille, lukuun ottamatta lämminvesivaraajaa, sähkönsyöttö suunniteltiin syötettävän akustosta.

4.2.1 Kiinteistön sähköverkko ja valaistustekniset ratkaisut

Suunnitelmavaiheessa harkittiin monia eri vaihtoehtoja sähköverkon tekniseen toteutukseen. Pitkään oli tarkoitus tehdä kaksi erillistä sähköverkkoa, tasa- ja vaihtosähköverkko. Tässä oli ajatuksena tehdä valaistus 24 voltin tasajänniteverkkona suoraan akustosta. Tämän ajateltiin helpottavan ja lisäävän mahdollisuuksia käyttöpisteiden priorisointia mietittäessä, koska tällä ratkaisulla aina tarvittavat valaisimet olisivat olleet suoraan kytkettynä akustoon ilman että välissä olisi invertteri. Tämä ratkaisu olisi helpottanut myös led-valaisimien liitäntälaitteiden tuomaa ongelmaa. Koska talon runkomateriaali on hirsi ja alakattoa ei oltu suunniteltu mihinkään asuinhuoneisiin, niin liitäntälaitteelle ei ollut paikkaa, jossa se ei olisi näkyvillä. Suoraan akustosta otettu 24 voltin tasajänniteverkko valaistusta varten kuitenkin päätettiin hylätä pääosin siitä syytä, että liitettävyyden valtakunnan verkkoon olisi kyseisellä ratkaisulla ollut tarvittaessa työläämpi toteuttaa.

Suunnitelmissa päädyttiin käyttämään, priorisoinnin helpottamiseksi, kahta erillistä invertteriä (kuva 10). Pienempi invertteri suunniteltiin syöttämään prioriteetin 1 käyttöpisteitä ja suurempi invertteri prioriteettien 2 ja 3 käyttöpisteitä. Led-valaistuksen aiheut-

tama liitälaitteiden sijoitteluongelma ajateltiin ratkaista yhdellä suurella rautasydänmuuntajalla, joka syöttäisi led-valaisimia. Koska tavoitteemme suunnitelmia tehtäessä, oli tehdä mahdollisimman energiatehokkaita ratkaisuja, laskimme rautasydänmuuntajalla toteutetun verkon kaapeleissa tapahtuvan jännitehäviön. Jännitehäviöt laskettiin sekä 12 voltin ja 24 voltin järjestelmälle (Liite 2). Laskelmaa tehtäessä käytettiin valaistuskormana 40 w laskennallista kuormaa. Laskelmat osoittivat, että 24 voltin verkossa jännitteen alenemat eivät olleet merkittäviä, mutta 12 voltin verkossa alkoi jännitteen alenema olla jo suhteellisen suuri. Laskelmissa ei vertailtu rautasydänmuuntajan ja liitälaitteiden aiheuttamaa tehohäviötä. Suuremmaksi ongelmaksi aiheutui $12V_{dc}$ - ja $24V_{dc}$ -verkkoihin tarkoitettujen valaisimien valikoima. Valikoima oli erittäin suppea, eikä siitä löytynyt miellyttäviä valaisimia. Tästä syystä lopulta päädyttiin tekemään valaistuksen $230V_{ac}$:n jännitetasolla. Liitälaitteiden sijoitteluun liittyvä ongelma ratkaistiin siten, että kaikkiin huoneisiin, joissa valaisimet asennettiin poikkihirsisiin ja joihin ei alakattoa tullut, suunniteltiin valaisimet, joissa liitälaitte on integroitu valaisimeen itseensä. Tätä ratkaisua tuki myös suunnitelmien yhtenä lähtökohtana ollut kriteeri liittymisestä valtakunnanverkkoon tarpeen vaatiessa mahdollisimman pienin toimenpitein.



Kuva 10. Kuputalon sähköntuotantojärjestelmän periaatepiirustus

Kiinteistön sähköverkko toteutettiin kahdella kolmivaiheisella TN-S-järjestelmän ryhmäkeskuksella, joista ryhmäkeskus RK-1 sijoitettiin asuinrakennuksen läheisyydessä olevaan autokatokseen ja toinen RK-2 asuinrakennuksen sisään. Energiantuotantjärjestelmästä tuotettu sähkö syötettiin RK-2:een, josta RK-1:tä syötettiin MCMK 4x16+16-kaapelilla. Vaikka molemmat keskuksot olivat kolmivaiheisia, ei kumpaakaan keskusta syötetty kolmella erillisellä vaiheella. Autotallia palvelevassa RK-1:ssä kaikki vaiheet sillattiin keskuksella yhteen ja keskusta syötettiin yksivaiheisena suuremmalla invertterillä. RK-2 syötettiin molemmilta inverttereiltä siten, että pienempi invertteri syötti keskuksen vaihetta 1 ja suurempi vaiheita 2 ja 3. RK-2 vaiheet vastasivat käyttöpisteiden prioriteetteja. RK-2 vaihekiskon 3 syöttöön suunniteltiin 0/1/A-kytkin. Kytkimen 1 asennolla pystytään pakkosyöttämään vaiheen 3 käyttöpisteitä, asennolla 0 käyttöpisteet pystytään tekemään jännitteettömiksi. A asennolla valinta, onko käyttöpisteissä jännite vai ei, tapahtuu automaattisesti suuremman invertterin ohjauksella. Invertterin ohjauskomento RK-2 riippuu käytettävän sähköenergian määrästä. Jos energianmäärä ei ylitä asetteluarvoa, pudottaa invertterin ohjauskäsky jännitteen vaiheen 3 käyttöpisteiltä, muuten vaiheessa kolme on automaattiasennossa normaalisti jännite.

Pistorasioina ja kytkiminä suunnitelmissa käytettiin määräykset ja standardit täyttäviä komponentteja. Pistorasiaryhmät suunniteltiin vikavirtasuojallisiksi maadoitetuiksi pistorasioiksi. Kaikki pistorasia- ja kytkinpisteet pyrittiin suunnittelemaan uppoasenteisiksi. Käyttöpisteiden korkeudet määriteltiin suunnitelmiin rakennuttajan toiveiden ja st-kortin 51.22 mukaisesti. St-kortti 51.22 on Sähkötieto ry:n ohjeistus koskien kytkimien ja pistorasioiden asentamista ja sijoittelua. Rakennuttajan toiveet toteutettiin kuitenkin siten, että ne täyttivät käyttöpisteisiin kohdistuvat standardin SFS6000 määräykset.

4.2.2 Kulutuslaitteiden valinta

Energiaomavaraisuus ja kiinteistön sähköverkko asettivat kulutuslaitteiden valintaan tietyt vaatimukset. Kaikkien laitteiden tuli olla energiatehokkuudeltaan erittäin hyviä. Tästä syystä kiinteistön kaikki valaistus toteutettiin led-valaisimilla. Myös laitteiden, kuten jääkaapin, pakastimen ja pesukoneiden, energiankulutuksen tuli olla mahdollisimman pientä. Toinen vaatimus kulutuslaitteille oli se, etteivät ne voineet olla kolmivaiheisia, koska kiinteistön sähköverkkoon ei vaiheistusta suunniteltu. Vaiheistuksen puuttuminen ei niinkään rajoittanut kulutuslaitteiden valintaan, koska vaikka jotkin kulutuslaitteet, kuten kiuas ja liesi, ovat kolmivaiheisia, niin ne eivät kuitenkaan tarvitse vaiheistusta. Liesi suunniteltiin yksivaiheiseksi ja sähkökiuasta ei Kuputaloon tullut. Kiin-

teistötekniikkaa valittaessa asia piti ottaa tarkemmin huomioon. Tämä johtuu siitä, että pumput, ilmastointilaitteet ja puhaltimet ovat usein kolmivaiheisia ja tarvitsevat vaiheistuksen pyöriäkseen. Tosin nykyään markkinoilta löytyy jonkin verran yksivaiheisiakin laitteita, mutta valtaosa markkinoilla olevista laitteista on edelleen kolmivaiheisia.

4.2.3 Antenni ja yleiskaapelointi

Suunniteltaessa yleiskaapelointijärjestelmää, oli rakennuttaja jo etukäteen selvitelty palveluntarjoajien liittymien hintoja. Koska kiinteistö on melko kaukana valmiista tietoliikenneverkosta, olisi liittymän toimittaminen kiinteistöön vaatinut suuret kaivannot, jolloin hinta liittymälle olisi muodostunut erittäin suureksi. Rakennuttaja päätti, että suunnitelma avoimesta yleiskaapelointijärjestelmästä tehdään paikallisella järjestelmällä mobiililaajakaistaa hyväksikäyttäen. Rakennuksen sisäinen kaapelointi suunniteltiin kuitenkin voimassa olevien standardien SFS-EN50173, Iso/IEC 11801 ja ANSI/EIA/TIA 568A mukaisesti. Kaapelina suunnitelmissa käytettiin kategorian 6A suojattua parikaapelia cat6a U/FTP. Suunnitelmissa ei käytetty yhdistelmäkeskusta, jossa heikkovirtakaapelointi ja vahvavirtakaapelointi olisivat olleet samassa keskuksessa. Heikkovirtakaapeleille, antenni- ja yleiskaapeloinnille, suunniteltiin oma keskus vahvavirtakeskuksen läheisyyteen. Keskukseen suunniteltiin kolmiosainen vikavirtasuojaton europistorasia mahdollisia toimilaitteita varten. Kaikki yleiskaapelointipisteet toteutettiin mahdollisuuksien mukaan uppoasennuksina.

Antennijärjestelmä jätettiin kiinteistöstä kokonaan pois rakennusteknisten syiden takia ja se korvattiin Schneiderin LexCom Home -yleiskaapelointijärjestelmällä. Katolle asennettava harava-antenni ei välttämättä olisi ollut luotettava kasvihuoneen sisällä, eikä kasvihuoneen lasikattoon haluttu tehdä turhia lävistyksiä. Vaihtoehtona olisi ollut sijoittaa antenni kokonaan kasvihuoneen ulkopuolelle, mutta antennimaston olisi tullut olla erittäin korkea toiminnan takaamiseksi. Korkean antennimaston sijoittelu kallioiselle ja tuuliselle tontille olisi ollut haastavaa, eikä rakennuttaja halunnut tuuliturbiinin lisäksi tontille enempää korkeita mastoja. Tämän lisäksi LexCom Home -järjestelmästä oli se hyöty, että käyttöpisteitä eli erillisiä antennirasioita ei asuinhuoneisiin tullut. Tällä vältettiin turhaa hirsien rei'ittämistä.

4.2.4 Palovaroittimet

Ympäristöministeriö allekirjoitti 30.6.2008 asetuksen, jonka mukaan 18.12.2002 määrättyä paloturvallisuutta koskevaa asetusta muutetaan annetun asetuksen mukaiseksi. Muutettu asetusta astui voimaan 1.2.2009 jälkeen rakennuslupaa hakeneissa kiinteistöissä. Ympäristöministeriön asetusten pohjalta kirjoitettu Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 päivitetään ja tällä kumottiin E1 2002 ja kaikki sen jälkeen annetut rakennusten paloturvallisuutta koskevat ympäristöministeriön muutosasetukset. RMK E1/2011 astui voimaan 15.4.2011, mutta vanhoja määräyksiä sai joiltain osin käyttää vielä 15.4.2012 ennen lupaa hakeneissa rakennuksissa. [12.]

Asuinkiinteistöihin määräysten muuttaminen vaikutti siten, että kaikkien sähköverkkoon liitettyjen kiinteistöjen palovaroittimet tulee olla kytketty sähköverkkoon. Palovaroittimien sähkösyöttö tuli myös varmistaa varavoimalla eli akulla tai patterilla. Tämän määräyksen tarkoitus oli varmistaa palovaroittimen toiminta ja täten estää turhat henkilövahingot. Määräyksestä oli myös se hyöty, ettei katossa olevaan laitteeseen tarvinnut enää vaihtaa niin usein patteria. Tämän ajateltiin vähentävän patterijätettä sekä tikkailta putoamisesta aiheutuvia loukkaantumisia. Tämä asetusta astui voimaan kaikissa 1.2.2009 rakennuslupaa hakeneissa asuinkiinteistöissä. Asetuksissa määriteltiin myös muita palovaroittimien teknisiä ominaisuuksia koskevia vaatimuksia. Vaatimukset olivat lähinnä merkintää ja laatua koskevia, kuten että laitteessa tulee olla CE-merkintä, suositeltu vaihtopäivämäärä ja hävittämistä koskeva ohjeistus. Laitteessa tulee olla myös varoitus, mikäli laite sisältää säteileviä aineita. Sisäministeriön asetuksella 239/2009, jokaiseen asuntoon tulee sijoittaa yksi palovaroitin jokaista alkavaa 60 m² kohden, siten että jokaisessa asuinkerroksessa on kuitenkin vähintään yksi palovaroitin. Myös palovaroittimen sijainnille on määriteltä rajoitteita. Palovaroitinta ei saa sijoittaa liian lähelle seinää tai raitisilmaventtiiliä. [12.; 13.]

Koska määräykset ja asetukset määrittelevät asennuksille vain minimitason, on eri viranomaistahoilta tehty palovaroittimia koskevia suosituksia. Tukesin, SPEKIn avustuksella, syyskuussa 2009 tekemään verkkoartikkeliin ”Palovaroitinsäädökset ja niiden tulkintoja” on kerätty määräysten ja suositusten keskeinen sisältö, joka auttaa sähkösuunnittelijaa palovaroittimien suunnittelussa.

Kuputalon sähkösuunnitelmassa haluttiin, osittain rakennusmateriaalin takia sekä rakennuttajan pyynnöstä, ottaa huomioon myös suositukset palovaroittimia suunnitelles-

sa. Palovaroittimet suunniteltiin kaikki verkkojännitteisinä patterivarmennettuina palovaroittimina. Palovaroittimia suunniteltiin seitsemän kappaletta pakollisen kahden sijaan ja niitä sijoitettiin jokaiseen asuinhuoneeseen. Palovaroittimet kytkettiin oman sulakkeen taakse eikä niitä sekoitettu esimerkiksi huoneen valaistusryhmää. Tämä mahdollistaa palovaroittimen varmennuspariston vaihtamisen varoittimen ollessa jännitteetön, siten että huoneen valot ovat kuitenkin toiminnassa. Lisäksi palovaroittimet suunniteltiin siten, että kaikki palovaroittimet hälyttävät, jos yksi varoittimista havaitsee savua. Suunnittelussa käytettiin optisia palovaroittimia. [13.]

5 Loppusanat

Projektina Kuputalon sähkösuunnitelma oli erittäin mielenkiintoinen ja opettavainen. Projektin aikana oppi paljon pientalon suunnitteluprosessista, jossa vuorovaikutus tilaajan kanssa oli erittäin tiivistä. Aktiivisesta vuorovaikutuksesta suunnitteluprosessissa on se hyöty, että suunnitelmat saadaan tehtyä heti tilaajan toivomusten mukaisiksi, joten urakka-aikaisten suunnitelmamuutosten pitäisi olla melko vähäisiä. Projektista hyvin mielenkiintoisen tekivät erittäin innovatiiviset rakennustekniset ratkaisut, rakennuksen energiaomavaraisuus ja erilaiset energian pientuotantomuodot. Projektin edetessä sai tutustua moniin erilaisiin matalaenergiarakentamisen ratkaisuihin. Tämä oli erittäin hyödyllistä, koska energiatehokkuusvaatimusten tiukentumisen myötä matalaenergiarakentaminen on yleistynyt ja tulee yleistymään erittäin paljon.

Haluan kiittää yhteistyöstä sähkösuunnitelman ja insinööriyön ohjaajaa Jarno Nurmioita, sähkösuunnitelman pääsuunnittelijaa Teemu Seppästä sekä Kuputalon rakennuttajaa. Yhteistyö projektissa oli mielestäni hyvää. Kiitos teille kaikille siitä, että sain osallistua näin mahtavan ja edistyksellisen kohteen suunnitteluprosessiin.

Lähteet

- 1 RIL 249-2009, Matalaenergiarakentaminen asuinrakennukset. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL Ry. 2009.
- 2 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 27.2.2013/176, liite 2
- 3 Kotien aurinkosähkö nyt kovassa kasvussa – Uudellamaalla jo yli 260 voimalaa. 2015. Verkkodokumentti. Yle. < <http://yle.fi/aihe/artikkeli/2015/11/03/kotien-aurinkosahko-nyt-kovassa-kasvussa-udellamaalla-jo-yli-260-voimalaa>>. Luettu 3.11.2015.
- 4 Laitinen, Jussi. 2010. Pieni suuri energiakirja – opas energiatehokkaaseen asumiseen. Tallinna: Into Kustannus Oy.
- 5 Tyhjiöputkikeräimen rakenne. Verkkodokumentti. Finunit <<http://finunit.fi/aurinkolampojorjestelma-500l.html>>. Luettu 10.10.2015.
- 6 Eklund, Esa. 2011. Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön. Tampere: Sitra.
- 7 Pientuulivoima. Verkkodokumentti. < www.tuulivoimayhdistys.fi/pientuulivoima>. Luettu 14.11.2013.
- 8 Tietoja ostajalle. Verkkodokumentti. <www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoja_ostajalle>. Luettu 14.11.2013.
- 9 Lämpöä ilmassa. 2012. Verkkodokumentti. Motiva. <http://www.motiva.fi/files/7964/Lampoa_ilmassa_Ilmalampopumput.pdf>. Luettu 15.3.2014.
- 10 Lämpöä omasta maasta. 2012. Verkkodokumentti. Motiva. <http://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf>. Luettu 15.3.2014.
- 11 Ilmastoniksi: Kansalaiset tekevät energiavallankumousta – lämpöpumput säästävät ydinvoimalan verran. 2015. Verkkodokumentti. Yle. <http://yle.fi/uutiset/ilmastoniksi_kansalaiset_tekevat_energiavallankumousta_lampopumput_saastavat_ydinvoimalan_verran/8402700>. Luettu 25.10.2015.
- 12 Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet. 2011. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E1. Ympäristöministeriö: Rakennetun ympäristön osasto.

- 13 Palovaroitinsäädökset ja tulkintoja. 2009. Verkkodokumentti.
<www.tukes.fi/Tiedostot/.../Palovaroitinsaadokset_ja_tulkintoja.pdf>. Luettu
15.09.2015.

Taulukko kulutuslaitteiden arvioidusta tehonkulutuksesta

Huone	Laite	Määrä	Käyttö (h) vuorokaudessa	Maksimiteho (W)	Huipputeho (W)	Maksimi virta (A) (230AC)	Keskiteho käytettäessä (% täydestä tehosta)	Päivittäinen energian kulutus (Wh)	Vuosikulutus (kWh)	Tärkeysluokka
Keittiö	Sähköliesi ja -uuni	1	0,7	11000	11000	47,83	15 %	1155,00	421,9	3
Kotiteatteri	Kannettava tietokone	1	6	150	150	0,65	100 %	900,00	328,7	2
Kodinhoitohuone	Ilmanvaihtokone	1	24	100	100	0,43	30 %	720,00	263,0	1
Keittiö	Pakastin	1	16	200	200	0,87	20 %	640,00	233,8	2
Keittiö	Astianpesukone	1	1,5	1000	1000	4,35	40 %	600,00	219,2	3
Keittiö	Jääkaappipakasti	1	24	100	100	0,43	20 %	480,00	175,3	2
Kotiteatteri	Projektori	1	2	500	500	2,17	40 %	400,00	146,1	3
Tekninen kellari	Keskuspölynimuri	1	0,2	1500	1500	6,52	100 %	300,00	109,6	3
Keittiö	Pyykinpesukone	1	1	1000	1000	4,35	20 %	200,00	73,1	2
Olohuone	TV	1	2	100	100	0,43	100 %	200,00	73,1	3
Autotalli	Lohkolämmitin	1	0,3	600	600	2,61	100 %	180,00	65,7	3
Keittiö	Mikroaaltouuni	1	0,2	1000	1000	4,35	80 %	160,00	58,4	2
Keittiö	Vedenkeitin	1	0,1	1000	1000	4,35	100 %	100,00	36,5	3
Eri huoneet	Spottivalo katossa	60	4	1	60	0,26	100 %	240,00	87,7	1
Kylpyhuone	Hammasharja ja partakone	2	0,2	100	200	0,87	100 %	40,00	14,6	3
Ylhäällä	Huippuimuri alipaine	1	24	10	10	0,04	50 %	120,00	43,8	1
Makuuhuoneet	Yö- ja herätyslamppu	5	1	10	50	0,22	50 %	25,00	9,1	1
Olohuone	Ruokapöydän kattolamppu	1	2	10	10	0,04	100 %	20,00	7,3	2

Huone	Laite	Määrä	Käyttö (h) vuorokaudessa	Maksimiteho (W)	Huipputeho (W)	Maksimi virta (A) (230AC)	Keskiteho käytettäessä (% täydestä tehosta)	Päivittäinen energian kulutus (Wh)	Vuosikulutus (kWh)	Tärkeysluokka
Välitila	Vesialtaiden pumppu	1	1	20	20	0,09	100 %	20,00	7,3	2
Keittiö	Leivänpaahdin	1	0,03	500	500	2,17	100 %	15,00	5,5	3
Keittiö	Keittiön lamput	1	2	5	5	0,02	100 %	10,00	3,7	2
Keittiö	Puhelimien lataus	1	2	5	5	0,02	100 %	10,00	3,7	1
Keittiö	Kahvinkeitin	1	0,02	500	500	2,17	100 %	10,00	3,7	3
Olohuone	Stereot	1	0,3	30	30	0,13	100 %	9,00	3,3	3
Olohuone	DVD	1	0,3	20	20	0,09	100 %	6,00	2,2	3
Keittiö	Sauvasekoitin	1	0,01	200	200	0,87	100 %	2,00	0,7	2
Keittiö	Sähkövatkain	1	0,01	200	200	0,87	100 %	2,00	0,7	2
Autotalli	Valaisimet	3	0,1	2	6	0,03	100 %	0,60	0,2	2
Autotalli	Numeron valaisin	1	0,1	2	2	0,01	100 %	0,20	0,1	3
Maakellari	Valaisimet	2	0,03	2	4	0,02	100 %	0,12	0,0	2
Tekninen kellari	Valaisimet	2	0,03	2	4	0,02	100 %	0,12	0,0	2
Ulkona eri suuntiin	Ulkovalot liiketunnistin	8	0,2	0,5	4	0,02	100 %	0,80	0,3	2
Ulkoportaat	Liiketunnistinvalot	1	0,2	5	5	0,02	100 %	1,00	0,4	2
					20085,0	87,3		6566,84	2398,5	

Jännite- ja tehohäviöt MMJ-kaapelissa 12V- sekä 24V-verkossa

Johdin	johtimen ohm/km	Johtimen pituus (m)	Jännite (V)	Kuorma (W)	Kuorman mi- toitusvirta (A)	Jännitehäviö johtimessa (V)	Tehohäviö johtimessa (W)	Laskennallinen teho (%) piirin viimeisen valaisimen nimellis- tehosta
MMJ 1,5x3	12,1	50	24	40	1,67	0,97	1,61	95,97 %
MMJ 1,5x3	12,1	100	24	40	1,67	1,86	3,10	92,25 %
MMJ 1,5x3	12,1	200	24	40	1,67	3,45	5,76	85,61 %
MMJ 1,5x3	12,1	50	12	40	3,33	1,73	5,76	85,61 %
MMJ 1,5x3	12,1	100	12	40	3,33	3,02	10,06	74,84 %
MMJ 1,5x3	12,1	200	12	40	3,33	4,82	16,08	59,80 %