



Paikallista energiaa asuinalueella

Esimerkkinä Helsingin Vartiola

Satu Paiho | Ha Hoang | Mari Hukkalainen |
Robin Westerberg



Paikallista energiaa asuinalueella

Esimerkkinä Helsingin Vartiosaari

Satu Paiho, Ha Hoang, Mari Hukkalainen & Robin
Westerberg



ISBN 978-951-38-8355-3 (URL: <http://www.vtt.fi/julkaisut>)

VTT Technology 234

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8355-3>

Copyright © VTT 2015

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

02044 VTT

Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

Teknologiska forskningscentralen VTT Ab

PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)

FI-02044 VTT

Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd

P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Alkusanat

Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia tähtää Suomen kasvihuonekaasupäästöjen merkittävään vähentämiseen ja energiankäytön huomattavaan tehostamiseen (VVNS 2/2013 vp). Lisäksi vuoden 2020 loppuun mennessä kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia. Lähes nollaenergiarakennukset kuluttavat hyvin vähän energiaa, joka tulisi tuottaa mahdollisimman pitkälle uusiutuvalla energialla. On tulkinnanvaraista, missä tämä uusiutuva energia pitäisi ja kannattaisi tuottaa. Jos se tuotetaan aluetasolla, voidaan saavuttaa monia etuja eikä yksittäisille rakennuksille aseteta kohtuuttomia vaatimuksia.

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARAn tavoitteena on etsiä ja luoda asumista ja asuntorakentamista hyödyttäviä uusia näkökulmia, joita voidaan ottaa käyttöön eri puolilla Suomea. Yksi tämän hetken haasteita on uusiutuvan energian käyttömahdollisuudet ja energiatehokkuuden lisääminen uudisrakentamisessa ja asuntokannassa. Nämä kuuluvat myös Helsingin kaupungin keinovalikoimaan päästöjen vähentämiseksi. Helsingin kaupunki tavoittelee kasvihuonekaasupäästöjen alentamista 30 prosenttia vuoteen 2020 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasoon ja täyttä hiilineutraaliutta vuonna 2050.

Vartiosaari on noin 82 hehtaarin suuruinen saari itäisessä Helsingissä. Kaupunkisuunnittelulautakunta hyväksyi osayleiskaavan luonnoksen toukokuussa 2015. Luonnoksessa Vartiosaaresta esitetään tiiviisti rakennettua saaristokaupunginosaa, johon tulisi asumisen lisäksi kaikkia helsinkiläisiä palvelevia virkistystoimintoja. Uuden kaupunginosan suunnittelun tavoitteena on sekä energiatehokas kaupunkirakenne että ekologisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestävä rakentaminen. Tämä raportti on osa Vartiosaaren osayleiskaavan taustamateriaalia, ja sen tarkoituksena oli selvittää, miten aluekehityksessä voitaisiin hyödyntää rakennusten energiatehokkuuden lisäämistä ja paikallisen uusiutuvan energian käyttöä.

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA), Helsingin kaupunki ja Suomen arkkitehtiliitto SAFA järjestävät "Vartiosaari – Asumista kaikille!" -kilpailun, jossa haetaan ratkaisuja asuntorakentamisen ajankohtaisiin haasteisiin. Tämä raportti on kilpailun tausta-aineistoa. Selvityksen rahoittivat Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA), Helen Oy ja Helsingin kaupungin kaupunkisuunnitteluvirasto (KSV). Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat: Vesa Ijäs (ARA), Marianne Matinlassi (ARA), Jouni Kivirinne (Helen Oy), Maria Isotupa (Helsingin KSV), Ritva Luoto

(Helsingin KSV), Anne Kangasniemi-Kuikka (Helsingin KSV), Jouni Kilpinen (Helsingin KSV) ja Alpo Tani (Helsingin KSV).

Espoossa lokakuussa 2015

Tekijät

Sisällysluettelo

Alkusanat	3
Käsitteet	7
1. Johdanto	9
1.1 Helsingin kaupungin ilmastotavoitteita	13
1.2 Vartiosaaren osayleiskaava	15
1.3 Vartiosaaren suunnittelukilpailu	17
1.4 Alueellisen energiatarjontatarkastelun tavoitteet	18
2. Alueellisia energiantuotannon vaihtoehtoja	19
2.1 Maalämpö	19
2.2 Vesistölämpö.....	20
2.3 Aurinkolämpö ja -sähkö.....	21
2.4 Tuulisähkö.....	22
2.5 Biopolttoaineet.....	22
2.6 Kaukolämpö	23
2.7 Kaukojäähdytys	23
2.8 Yhdistetty kaukolämmitys ja -jäähdytys.....	23
2.8.1 SunZED-konsepti.....	25
3. Energiatarjontatarkastelut	28
3.1 Lähtötiedot – case Vartiosaari	29
3.2 Alueen energiatarpeet ja -virrat	29
3.2.1 Rakennustyyppien vertailu	29
3.2.2 SunZED- ja 2012-alueiden energiankulutuksen vertailu.....	33
3.2.3 Alueellinen aurinkolämmön ja -sähkön tuotantopotentiaali	37
3.3 Porakaivokenttä energiavarastona ja maalämmön lähteenä	37
3.3.1 Aurinkolämmön ja porakaivokentän vaikutus alueen energiaomavaraisuuteen	38
3.3.2 Porakaivokenttäjärjestelmän päästöt.....	40
3.4 Säiliövarasto osana alueellista aurinkolämpö- ja kaukolämpöjärjestelmää 44	
3.4.1 Aurinkolämmön ja säiliövaraston vaikutus alueen energiaomavaraisuuteen	44

3.4.2 Säiliövaraston vaikutukset päästöihin.....	47
3.5 Aurinkosähkön lisäämisen vaikutus rakennusten sähköenergian omavaraisuuteen ja sähkönkäytöstä syntyviin päästöihin	52
4. Tulosten soveltaminen.....	56
4.1 Alue toteutettuna sekatyypisesti	56
4.2 Alue yhdellä ratkaisulla toteutettuna	59
5. Yhteenveto ja johtopäätökset	62
5.1 Yleisiä hyvän energiasuunnittelun periaatteita.....	62
5.2 Vartiosaaren energiatarkeastelun yhteenveto	65
Lähteet.....	68

Liitteet

Liite A: Alue-energasuunnittelun yleisperiaatteita

Tiivistelmä

Käsitteet

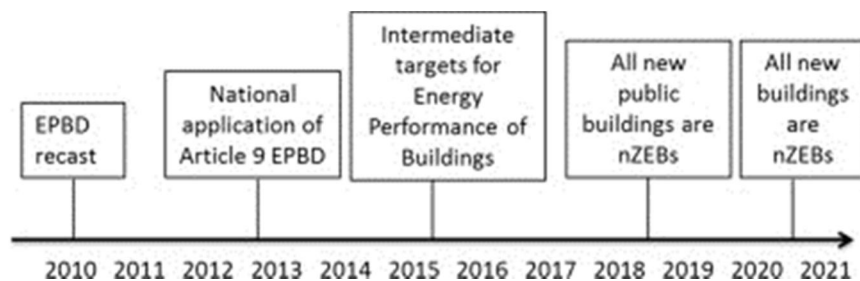
Energia	Tässä raportissa tarkastellaan rakennusten vaikutusta alueelliseen energiankulutukseen. Rakennuksissa energiaa kulutetaan lämmitykseen, jäähdytykseen ja sähkölaitteisiin.
Energiatase	Energiatase kuvaa käytettyjen energialähteiden muuntamista loppukulutukseksi. Taseessa erotellaan käyetyt energialähteet, energian siirto, varastomuutokset ja energian loppukulutus.
Energiatehokkuus	Energian hyödyntäminen mahdollisimman tehokkaasti
Energiavirta	Energiansiirto ja muuntaminen eri lähteistä loppukulutukseen
Kohtuuhintainen	Asuntolainsäädäntö edellyttää, että tuettavat asunnot ovat asuttavuudeltaan tarkoituksenmukaisia ja asuinympäristöltään toimivia. Niiden on myös oltava uudisrakentamis-, hankinta- tai perusparantamiskustannuksiltaan samoin kuin ylläpito- ja asumiskustannuksiltaan kohtuullisia, ja uudisrakentamisen ja perusparantamisen on perustuttava kilpailumenettelyyn, jollei ARA erityisestä syystä myönnä siitä poikkeusta. (ARA, 2013.)
LKV	Lämmin käyttövesi
LVI	Lämmitys-, vesi- ja ilmanvaihtojärjestelmät
Omavaraisuusaste	Osuus alueen lämmön- tai sähkönkulutuksesta, joka voidaan kattaa paikallisella energiantuotannolla.
Ominaisenergiankulutus	Energiankulutus kerrosalaa kohden (kWh/m ²)
Sosiaalinen asuntotuetanto	Valtion varoista voidaan maksaa korkotukea luottolaitoksen, vakuutusyhtiön, eläkelaitoksen tai kunnan (lainanmyöntäjä) myöntämistä lainoista vuokra-asuntojen ja asumisoikeusasunnoista annetun lain tarkoitettujen

	<p>asumisoikeustalojen uudisrakentamista, hankintaa ja perusparantamista varten. Korkotuki on suunnattava eri alueilla ja eri kunnissa esiintyvän asunnontarpeen mukaan. Asuntolaina hyväksytään korkotukilainaksi sosiaalisen tarkoituksenmukaisuuden ja taloudellisen tarpeen perusteella. (Finlex, 2001.)</p>
SunZEB	<p>Alueelliseen energijärjestelmään yhdistetty aurinkoenergiaa hyödyntävä lähes nollaenergiarakennus (Sun = aurinko, ZEB = zero energy building) (Shemeikka et al., 2015).</p>
SunZED	<p>Energiavirtojen kierrätyksen mahdollistava yhdistetty kaukolämpö- ja jäähdytysjärjestelmä (Sun = aurinko, ZED = Zero Energy District) (Shemeikka et al., 2015).</p>
Taseraja	<p>Kokonaisuus, jonka sisäpuolella tuotettavaa ja kulutettavaa sekä sinne siirrettävää ja sieltä siirtyvää energiaa tarkastellaan.</p>
Teho	<p>Energian määrä aikayksikössä. Energijärjestelmien mitoitusperuste.</p>
Uusiutuva energia	<p>Uusiutuvaa energiaa ovat aurinko-, tuuli-, vesi- ja bioenergia, maalämpö sekä aalloista ja vuoroveden liikkeistä saatava energia (Motiva, 2015f).</p>

1. Johdanto

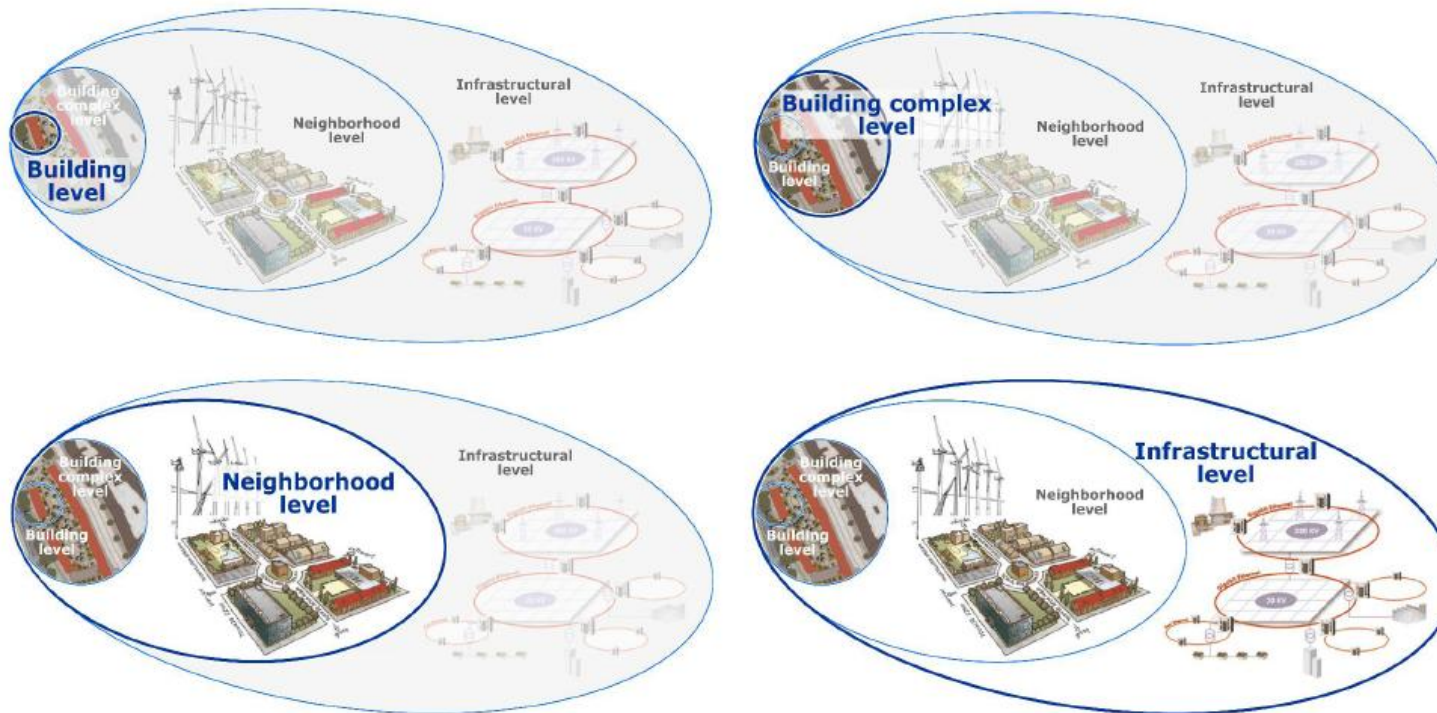
EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivissä (Energy Performance of Building Directive – EPBD) ”lähes nollaenergiarakennuksella” tarkoitetaan rakennusta, jolla on erittäin korkea energiatehokkuus (Euroopan unionin virallinen lehti, 2010). Tarvittava lähes olematon tai erittäin vähäinen energian määrä olisi hyvin laajalti katettava uusiutuvista lähteistä peräisin olevalla energialla, mukaan lukien paikan päällä tai rakennuksen lähellä tuotettava uusiutuvista lähteistä peräisin oleva energia. Suomessa rakennusala on tehnyt oman ehdotuksensa määritelmästä FInZEB-hankkeessa (Reinikainen et al., 2015).

Kuva 1 esittää aikataulua rakennusten energiatehokkuusdirektiivin osalta. Vuoden 2018 jälkeen viranomaisten käytössä ja omistuksessa olevien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia, ja vuoden 2020 loppuun mennessä kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia.



Kuva 1. Aikajana nollaenergiarakennuksille (D'Agostino, 2015).

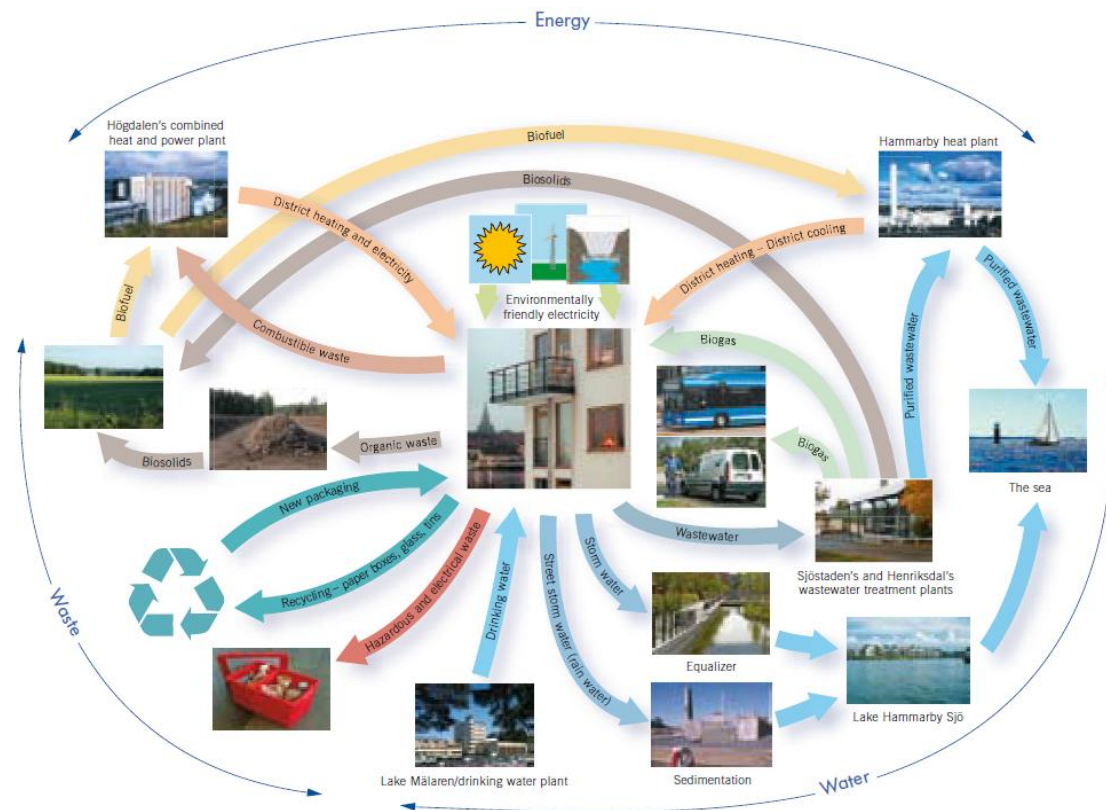
Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi on tulkinnanvarainen sille, mikä on paikan päällä tai rakennuksen lähellä tuotettavaa, uusiutuvista lähteistä peräisin olevaa energiaa. Vaihtoehtoja voivat olla ainakin (Kuva 2) rakennus-, rakennusryhmä-, alue- tai infrastruktuurien taso. FInZEB-hankkeen ehdotus suomalaiseksi tulkinnaksi on (Reinikainen et al., 2015), että lähellä tuotettu uusiutuva energia voitaisiin ottaa ostoenergiaa vähentävänä huomioon, mikäli se on kytketty energiamittarin ”sisäpuolelle”. Tämä tarkoittaisi, että tontilla tai sen ulkopuolella sijaitseva tuotantolaitteisto olisi suoraan kytketty rakennukseen siten, että ko. energiamäärä olisi erikseen mitattavissa rakennuksessa. Lähituotanto ei siis kulkisi yleisen energia-verkon kautta.



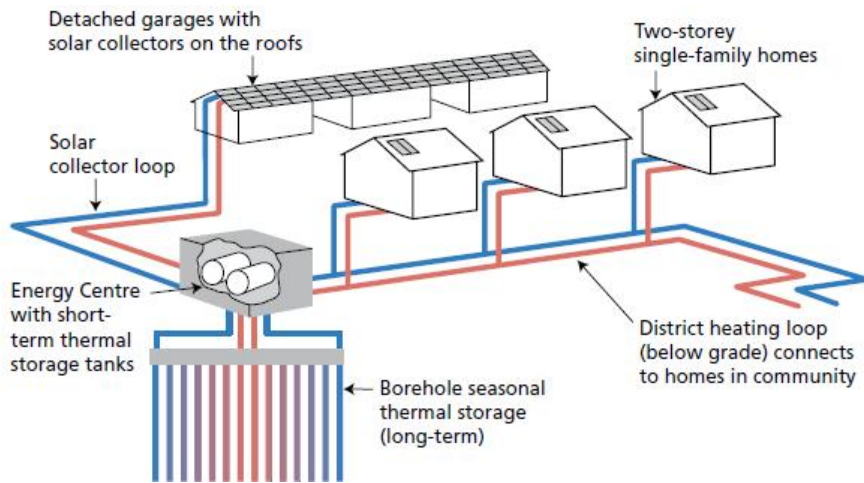
Kuva 2. Energiatarkastelujen taserajavaihtoehtoja (ADENE, 2013).

Uusiutuvan energian tuotannon lisäksi energiatarkeasteluja voidaan yleisestikin tehdä erilaisilla taserajoilla (Kuva 2). Rakennustasolla tarkastellaan vain yksittäisen rakennuksen energiakuormia, häviöitä ja energiantarpeita sekä suunnitellaan talotekniikkajärjestelmät näiden perusteella. Rakennusryhmätasolla tarkasteluissa on mukana joitakin jollakin tavalla kiinteässä yhteydessä olevia rakennuksia. Tyypillisesti rakennusryhmä voi olla esimerkiksi suuri asunto-osakeyhtiö, johon kuuluu erillisiä rakennuksia, joilla on jollakin tapaa yhteinen energijärjestelmä. Aluetaso voi olla esimerkiksi asuinalue tai kaupunginosa. On syytä huomata, että aluetasolla on rakennusten lisäksi liikenne- ja muita palveluita, jotka lisäävät alueen kokonaisenergiatarvetta. Infrastruktuurien tasolla energijärjestelmillä tarkoitetaan keskitettyjä energiantuotantolaitoksia ja niihin kytkettyjä verkostoja.

FInZEB-projekti tarkasteli rakennusten energiatehokkuutta yksittäisten rakennusten näkökulmasta (Reinikainen et al., 2015). Kansainvälisesti suuntaus on kuitenkin kohti alueellisia ja moniulotteisempia tarkasteluja. Esimerkiksi ruotsalaisessa Hammarby-mallissa aluesuunnittelu sisälsi alueen kaikki energia-, vesi- ja jätevirrat (Kuva 3). Hammarby-malli tavoitteli energia- ja materiaalivirtojen alueellista kierrätystä (Pandis Iverot & Brandt, 2011). Esimerkiksi palavasta jätteestä tehdään kaukolämpöä ja jätevedenkäsittelylaitos tuottaa biokaasua autojen polttoaineeksi. Kanadalaisessa Draken aurinkoyhdyskunnassa (Drake Landing Solar Community – DLSC) toteutettiin kansainvälisesti palkittu alueellinen aurinkolämmitysjärjestelmä yhdistettynä lämmön kausivarastointiin (Government of Canada). Drakenin alueellisessa energijärjestelmässä (Kuva 4) sijoitettiin esimerkiksi aurinkolämpökeräimiä autotalliin katoille.



Kuva 3. Hammarby-malli aluesuunnittelussa (GlashusEtt, 2007).



Kuva 4. Draken alueellinen aurinkoenergiajärjestelmä (Government of Canada).

1.1 Helsingin kaupungin ilmastotavoitteita

Helsinki tuottaa noin 5 % Suomen ilmastomuutosta aiheuttavista kasvihuonekaasupäästöistä (Helsingin kaupungin tietokeskus, 2015). Helsingissä merkittävimmät kasvihuonepäästöjen aiheuttajat ovat (Taulukko 1) kaukolämmitys, liikenne ja kulutussähkö.

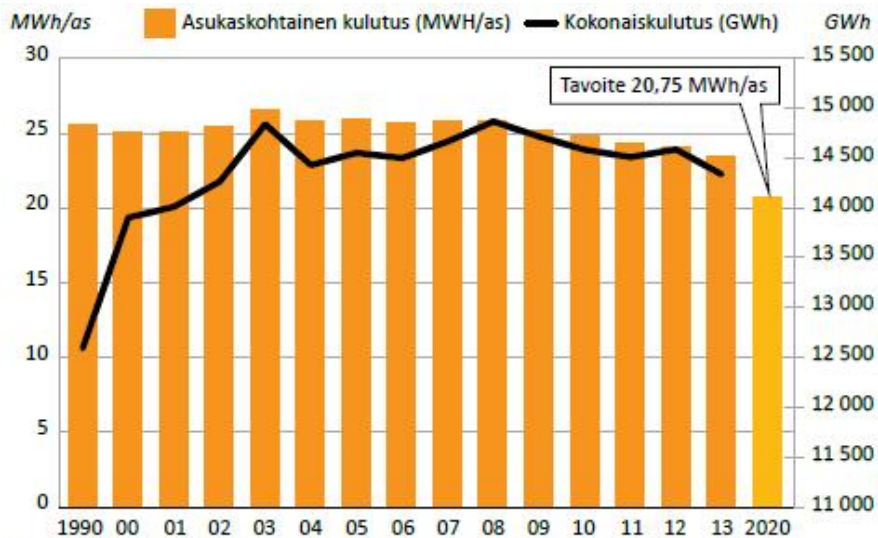
Taulukko 1. Helsingin kulutusta vastaavat kasvihuonekaasupäästöt 1990–2013 (Helsingin kaupungin tietokeskus, 2014).

	Kokonaispäästöt, 1 000 t CO ₂ -ekv. = Totalutsläpp, 1 000 t CO ₂ -ekv.						1990–2013 muutos-% förändr.-%
	1990	2000	2005	2010	2012	2013	
Yhteensä = Totalt	3 615,5	3 294,5	3 446,4	3 222,9	2 967,1	2 848,7	-21,2
Kaukolämpö = Fjärrvärme	1 808,9	1 350,9	1 384,0	1 352,5	1 356,4	1 300,4	-28,1
Sähkölämmitys = Eluppvärmning	84,9	109,1	122,1	133,4	134,9	134,9	58,9
Erillislämmitys = Säruppvärmning	126,2	121,8	110,6	106,0	99,6	98,5	-21,9
Kulutussähkö = Konsumtionsel	516,4	701,4	921,1	851,8	618,7	578,2	12,0
Liikenne = Trafik	649,8	704,5	748,0	693,9	666,6	650,8	0,2
Teollisuus ja työkoneet							
• Industri och arbetsmaskiner	180,7	113,2	91,5	41,7	44,0	37,8	-79,1
Jätteen ja jäteveden käsittely							
• Behandling av avfall och avfallsvatten	246,5	192,3	67,5	42,4	45,8	46,8	-81,0
Maatalous = Lantbruk	2,0	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2	-40,0

	Asukaskohtaiset päästöt, tonnia CO ₂ -ekv./asukas = Utsläpp per invånare, ton CO ₂ -ekv./inv.						1990–2013 muutos-% förändr.-%
	1990	2000	2005	2010	2012	2013	
Yhteensä = Totalt	7,3	5,9	6,1	5,5	4,9	4,7	-35,6
Kaukolämpö = Fjärrvärme	3,7	2,4	2,5	2,3	2,2	2,1	-43,2
Sähkölämmitys = Eluppvärmning	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0
Erillislämmitys = Säruppvärmning	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-33,3
Kulutussähkö = Konsumtionsel	1,0	1,3	1,6	1,4	1,0	0,9	-10,0
Liikenne = Trafik	1,3	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	-15,4
Teollisuus ja työkoneet							
• Industri och arbetsmaskiner	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	-75,0
Jätteen ja jäteveden käsittely							
• Behandling av avfall och avfallsvatten	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	-80,0
Maatalous = Lantbruk	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Lähde: Helsingin kaupungin ympäristökeskus.
Källa: Helsingfors stads miljöcentralen.

Helsingin kaupungin strategiaohjelman mukaan (Helsingin kaupunki, 2013) Helsingin tavoitteena on alentaa koko kaupunkialueen päästöjä 30 % vuoteen 2020 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasoon. Asuminen aiheuttaa noin 40 % Helsingin päästöistä. Asumisen päästöistä 85 % tulee lämmityksestä ja lämpimästä käyttövedestä ja loput 15 % sähkön käytöstä. Kokonaan hiilineutraali Helsingistä tulee vuoteen 2050 mennessä. Keinoina mainitaan mm. energiatehokkaat rakennukset ja paikallisen uusiutuvan energian käyttö. Energiankulutus on laskenut jo usean vuoden ajan (Kuva 5). Vuonna 2013 koko Helsingin alueen sähkönkulutus oli 4 540 GWh ja kaukolämmön kokonaiskulutus oli 6 470 GWh (Helsingin kaupungin energiansäästöneuvottelukunta, 2014).



Lähde: Helsingin ympäristötietokeskus.

Kuva 5. Kokonais- ja asukaskohtainen energiankulutus pääkaupunkiseudulla 1990–2013 (Helsingin kaupungin tietokeskus, 2015).

1.2 Vartiosaaren osayleiskaava

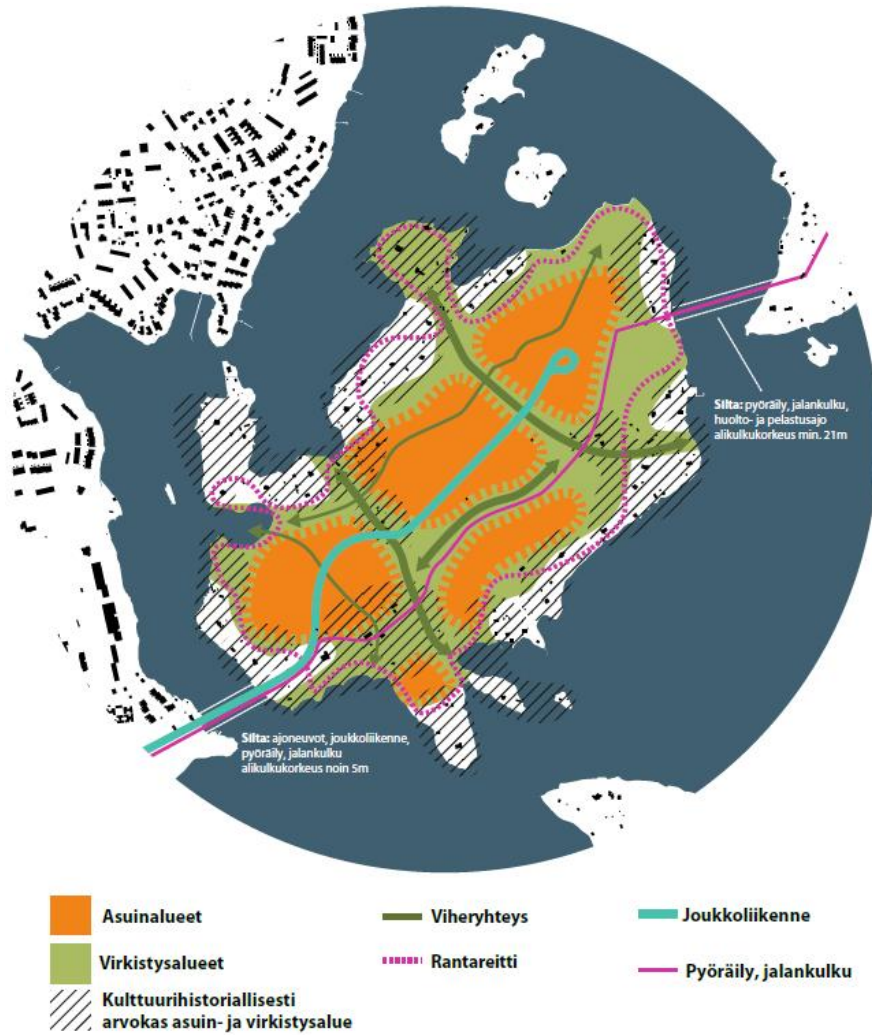
Vartiosaari sijaitsee itäisessä Helsingissä, Laajasalon ja Vuosaaren välissä, noin 7 km linnuntietä Helsingin keskustasta. Vartiosaaren uusi merellinen kaupunginosa tukeutuu keskustasta Laajasalon kautta kulkevaan raitiotieyhteyteen (Kuva 6). Vartiosaari suunnitellaan 5000–7000 asukkaalle, kerrosalataavoite on 300 000–350 000 k-m². (Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston asemakaavaosasto, 2015.)

Uusi tiiviisti rakennettu moderni asuinalue sijoittuu saaren keskiosiin sen halki kulkevan pääkadun ja raitiotien varrelle. Asuinalue jakaantuu luontevasti saaren topografiaa seuraten kolmeen omaleimaiseen raitiotiepysäkin ympärille rakentuvaan kylään, joiden väleihin jäävät saaren poikki ulottuvat rannoille johtavat vihervyöhykkeet. Vihreä rantavyöhyke muodostaa laajan ja monipuolisen virkistys- ja asuinalueen, jossa kulttuurihistoriallisesti arvokasta puutarhamaista huvila-aluetta täydennysrakennetaan maltillisesti ja uuden rantareitin varteen rakennetaan monipuolisia virkistyspalveluja. (Ks. Kuva 7 Osayleiskaavaaluonnoksen havainnekuva.)

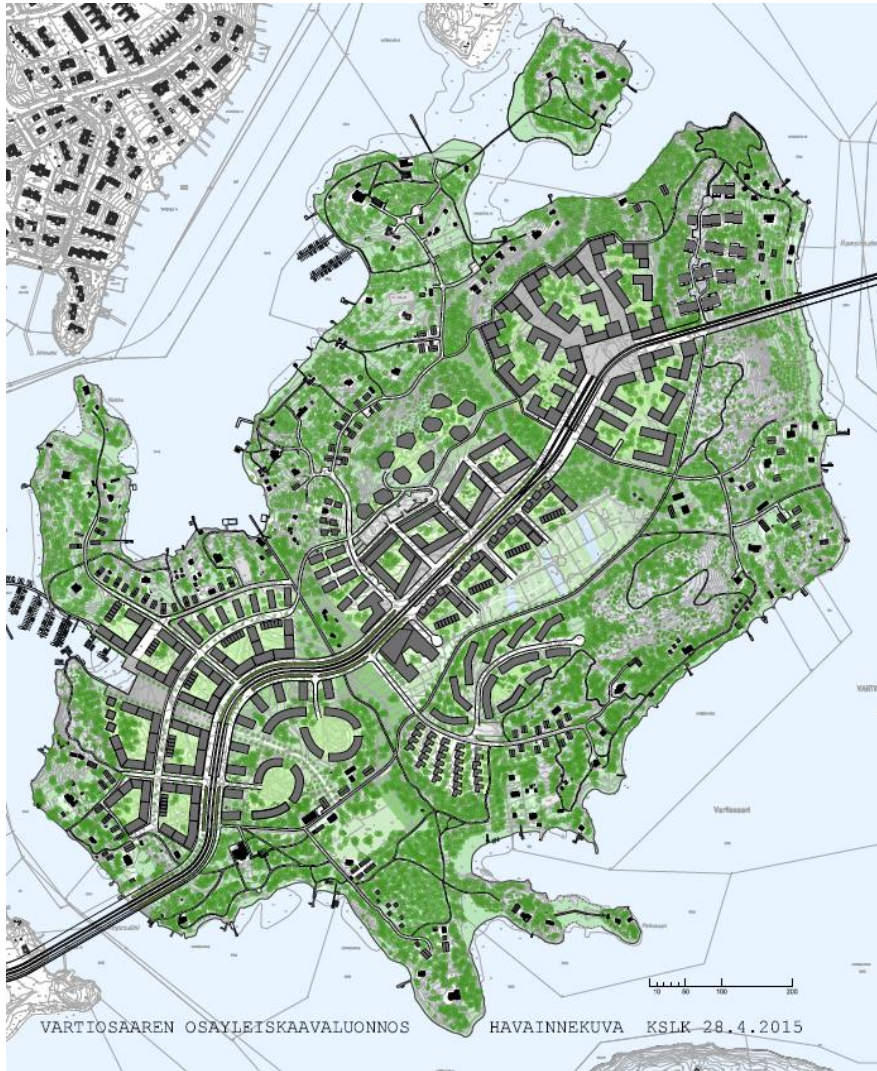
Vartiosaaren osayleiskaavan tärkeä tavoite on mahdollistaa ilmastonkestävän kaupunginosan rakentaminen. Ilmastonkestävä ("climate proof") Vartiosaari on ilmastotavoitteisiin pyrkivän Helsingin tapa tehdä uusi kaupunginosa. Uuden kaupunginosan suunnittelun tavoitteena on energiatehokas kaupunkirakenne ja rakentaminen.

Energianäkökulma on yhtenä merkittävänä osana mukana Vartiosaaren ekologisesti kestävä asuinalueen suunnittelussa. Vaihtoehtoisia uusiutuvia energiamuotoja, kuten aurinkoenergian käyttöä, edistetään kiinteistökohtaisin ratkaisuin.

Aurinkoenergian käyttöä mahdollistetaan sähkötuotannossa sekä kehitetään aurinkolämmön kausivarastointiratkaisuja.



Kuva 6. Vartiosaaren osayleiskaavan suunnitteluperiaatteet (Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston asemakaavaosasto, 2015).



Kuva 7. Vartiosaaren osayleiskaavaluonnos (Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston asemakaavaosasto, 2015).

1.3 Vartiosaaren suunnittelukilpailu

"Vartiosaari – asumista kaikille!" -ARA-suunnittelukilpailun (ARA, SAFA & Helsingin kaupunki, 2015) kautta halutaan löytää uusia ja innovatiivisia lähestymistapoja kohtuuhintaisen, kestäväen ja kaikille sopivan asuinalueen suunnittelun haasteisiin. Ratkaisujen toivotaan olevan yleispäteviä ja mallinnettavia, jolloin niitä voidaan monistaa ja skaalata laajemminkin asuinaluesuunnittelussa ja -rakentamisessa.

Kilpailun järjestäjät – ARA, SAFA ja Helsingin kaupunki – toivovat, että ehdotuksista saatavia asuntosuunnittelun innovaatioita voidaan hyödyntää etenkin osana ARA:n rahoittaman sosiaalisen asuntotuotannon kehittämistä. Ehdotusten toivotaan tuovan myös uusia ja luovia näkemyksiä, ratkaisuja ja keinoja kestävän alue-suunnittelun käyttöön ja eteenpäin viemiseksi.

Alueen energiahuoltoa ei ole osayleiskaavavaiheessa määritetty. Aluesuunnittelussa on otettava huomioon uudet haasteet rakentamiselle ja asumisviihtyvyydelle: rakennusten lämmitystarve vähenee ja samalla jäähdytystarve kasvaa. Silti asumismukavuus vuoden jokaisena päivänä säilyy jatkossakin tärkeimpänä rakentamisen laatuominaisuutena. (ARA, SAFA & Helsingin kaupunki, 2015.)

1.4 Alueellisen energiatarkastelun tavoitteet

Tämä selvitys on osa Vartiosaaren osayleiskaavan ja "Vartiosaari – Asumista kaikille!" -suunnittelukilpailun tausta-aineistoa. Selvityksen tavoitteena on

- tuottaa energiatarkastelu Vartiosaaren aluetason energiavirroista ja niiden hyödyntämisestä painottuen lämmitys-, jäähdytys- ja sähkökäytön profiileihin
- arvioida alueellisen uusiutuvan energian hyödyntämispotentiaali
- arvioida aluejärjestelmään kytketyn alueellisen energian kausivaraston koko ja sijoitus
- määrittää eri järjestelmien vaatimat tilantarpeet ja sijainnit (tuotanto, jakeluverkostot)
- analysoida vaihtoehtoisten energiantuotantovaihtoehtojen vaikutusta päästöihin ilmakehään
- ottaa kantaa rakennusten massoitteeluun ja suuntauksiin eri energiaratkaisuvaihtoehdoilla
- tuoda informaatiota Vartiosaaren asemakaavoitusvaiheeseen.

2. Alueellisia energiantuotannon vaihtoehtoja

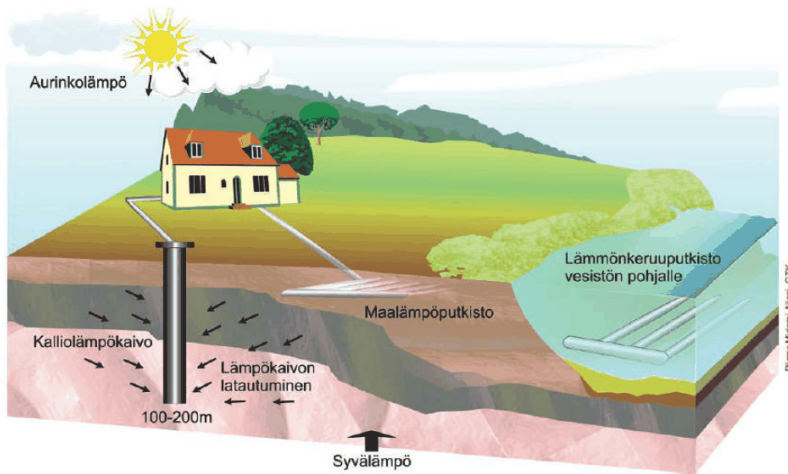
Energiantuotanto voidaan toteuttaa joko alue-, rakennusryhmä- tai rakennuskoh-
taisilla ratkaisulla. Tyypillisesti sähkö ostetaan sähköverkosta ja rakennuksen
lämmitys ja jäähdytys voidaan toteuttaa joko rakennuskohtaisella tai rakennus-
ryhmäkohtaisella energiantuotannolla (esim. maalämpö) tai alueelle voidaan tuoda
kaukolämpöä ja -jäähdytystä tai rakentaa alueelle oma lämpökeskus, josta lämpö
jaetaan lämmönsiirtoverkon kautta.

Alueellinen energiantuotanto voi hyödyntää monia erilaisia energialähteitä
ja -tuotantotekniikoita. Seuraavissa kappaleissa on lyhyesti kuvattu yleisimmät
käytetyt uusiutuvan energiantuotannon vaihtoehdot. Esimerkiksi Nystedt et al.
(2012) esittävät tarkempia kuvauksia ja suunnitteluohjeita. Lisäksi luvussa on
esitelty kaukolämmön ja -jäähdytyksen ja yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon
ylesperiaatteet sekä aluetason SunZED- ja rakennustason SunZEB-konseptit.

2.1 Maalämpö

Maalämpö (Kuva 8) on maaperään ja pohjavesiin kerääntynyttä energiaa, joka on
suurimmaksi osaksi peräisin auringosta. Maalämpöä voi hyödyntää maalämpö-
pumpun avulla vuodenajasta riippumatta. Pumppu kerää lämpöä tyypillisesti noin
200 metriä syvästä, poratusta lämpökaivosta (syvempiäkin kaivoja porataan, jopa
300 metriin) tai vaakatasoon noin metrin syvyyteen asennettavasta lämmönkeruu-
kentästä. Lämmönkeruukentän asennukseen vaaditaan tosin suuria maa-alueita,
mikä rajoittaa käyttömahdollisuuksia suuremmilla asuinalueilla. (Suomen lämpö-
pumppuyhdistys, 2015.)

Lämpöpumppu kuluttaa prosessissa sähköä, ja sen tuottama lämpöenergian
määrä on tyypillisesti noin kolminkertainen sen kuluttamaan sähköenergiaan ver-
rattuna. Maalämpöpumpulla voi lämmittää asuntoja ja käyttövetä. Pumppu voi
lämmittää tiloja joko veden tai ilman välityksellä, samaan tapaan kuin öljy- ja kau-
kolämpölämmitysjärjestelmät. Pohjavesialueet saattavat tuoda rajoituksia lämpö-
kaivojen käyttöön, sillä joissakin kaupungeissa maalämpökaivojen poraus pohja-
vesialueella on kielletty tai tarkasti säädeltyä. (Suomen lämpöpumppuyhdistys,
2015.)



Kuva 8. Vasemmalta: maalämpö lämpökaivolla, maalämpöputkisto, vesistölämpö (kuva: Saimaa Gardens Services, 2015).

2.2 Vesistölämpö

Vesistölämpö (Kuva 8) vastaa maalämpöä muuten, mutta tässä tapauksessa auringosta tullut lämpöenergia on sitoutunut vesistöihin. Vesistölämpöä hyödynnetään hyvin pitkälti samalla lämpöpumpputekniologialla. Vesilämpöpumpuilla on myös vastaavat hyötysuhteet kuin maalämmöllä, eli ne pystyvät suurin piirtein kolminkertaistamaan syötetyn sähköenergian lämpöenergiaksi. Meriveden lämpöä voidaan hyödyntää kierrättämällä putkistossa jäätymätöntä liuosta, jolloin meriveden lämpötila ei aseta reunaehtoja hyödyntämiselle. Lämmönkeruuputket sijoitetaan vesistön pohjalle, oli kyseessä sitten järvi tai meri. Lämmönkeruuputket voidaan myös porata vesistön pohjan alle sedimenttiin, kuten esimerkiksi Vaasan asuntomessualueella on tehty. Meriveden lämpöä voidaan hyödyntää myös suoraan kierrättämällä vettä lämmönsiirtimen läpi. Tällöin talvella, kun meriveden lämpötila on alle 4 °C, lämpötilaero meriveden jäätymispisteeseen on hyvin pieni. Tämä rajoittaa tehoa.

Suomessa jäät tuovat haasteita vesistölämmön hyödyntämiseen. Putket tulee johtaa vesistöön kahden metrin syvyyteen asti eristettynä, etteivät jäät pääse vaurioittamaan keruuputkistoa. Toinen huomioon otettava asia on pitkän keruuputken huolellinen ankkurointipaino, jotta putki ei lähde nousemaan pohjasta. Keruuputkisto tarvitsee noin 5 kg ankkurointipainon jokaista putkimetriä kohden. Veden pohjassa menevän yhden keruuputkilenkin maksimipituus on yleensä noin 400 metriä, ja mitoittaessa putkea tarvitaan noin 50 % enemmän verrattuna porattuun maalämpökaivoon. Toisin sanoen jos maalämpökaivo on 200 m syvä, siinä on $2 \times 200 \text{ m} = 400 \text{ m}$ lämmönkeruuputkea porakaivossa, ja vastaavan lämpö määrän saaminen vedestä vaatii noin 600 metriä keruuputkistoa. (Senera, 2015.)

2.3 Aurinkolämpö ja -sähkö

Aurinkoenergiaa voi myös kerätä suoraan aurinkokeräimillä. Aurinkokeräimille on erilaisia ratkaisuja, sillä lämpö voidaan kerätä ilmaan, veteen tai johonkin muuhun nesteeseen. **Aurinkolämpö** riittää harvoin kattamaan kiinteistöjen koko lämmitystarvetta. Aurinkokeräimen teho on huipussaan kesällä auringon paistaessa pitkään, mutta toisaalta kesällä lämpöä ei tarvitse juurikaan muuhun kuin käyttöveeteen. Mikäli aurinkokeräimistä kuitenkin haluaa kerätä lämpöä koko vuoden ympäri, se on teknisesti mahdollista, mutta tämä vaatii hyvin tehotonta mitoitusta, jolloin kustannustehokkuuskin kärsii huomattavasti. Näistä syistä aurinkokeräimiä käytetään usein lisänä lämmitysjärjestelmään, lähinnä käyttöveden lämmitykseen. (Boyle, 2004.)

Passiivinen aurinkolämmitys on laitteeton vaihtoehto aurinkolämmön hyödyntämiseen. Siinä on kyse energiatehokkaista suunnittelu- ja rakennusvaiheen ratkaisuista, joilla pyritään lisäämään auringon rakennukseen tuomaa lämpöä. Lämpöä lisätään muun muassa suurilla ikkunoilla etelään (kaakko-lounas) ja pienemmillä pohjoisen suuntaan. Rakennuksesta poistuvaa lämpöä pyritään myös pienentämään hyvillä eristysratkaisuilla (Boyle, 2004). Toisaalta on tärkeää huomioida rakennuksen hyvät sisäilmaolosuhteet ja erityisesti kesäaikainen yllilämpeneminen, mihin voidaan vaikuttaa rakennuksen suunnitteluvaiheessa joko aurinkolämpöä hyödyntävällä aktiivisella jäähdytysratkaisulla (Shemeikka et al., 2015) tai passiivisilla jäähdytysratkaisuilla.

Aurinkosähköä puolestaan tuotetaan PV-paneelilla (photovoltaic), joka muuntaa energian auringonsäteistä sähköenergiaksi. Aurinkopaneelin oikein sijoittaminen vaikuttaa oleellisesti sen tehokkuuteen. Yleisiä asennuspaikkoja ovat etelään (tai kaakko-lounas-välille) suunnatut katot tai julkisivut, sillä näin tilaa käytetään tehokkaasti, samalla kun paneeleista saadaan irti mahdollisimman korkea teho. Aurinkosähköä hyödynnetään kustannustehokkaimmin käyttämällä sitä itse auringon paistaessa ja minimoimalla sähkön kulutusta muina aikoina. Ylimääräistä aurinkosähköä on joissain tapauksissa mahdollista syöttää tai myydä sähköverkkoon, mutta usein hyvin alhaiseen hintaan. Sähkön varastoiminen ei ole vielä taloudellisesti kannattavaa akkujen korkeiden hintojen takia. (Motiva, 2015a.)

Ilmatieteenlaitoksen testien mukaan Etelä-Suomessa auringon kokonaissäteilyenergian määrä vaakasuoralle pinnalle on noin 980 kWh/m². Optimoimalla paneelin asennuskulma vaakatasosta noin 45 asteeseen etelän suuntaan säteilyenergian määrää kasvaa 20–30 %. Paneelin hyötysuhteet ovat noin 10–20 %, eli noin 1 000 kWh/m² vuosittaisesta auringon säteilyenergiasta 100–200 kWh/m² pystytään muuntamaan sähköksi. (Motiva, 2015a.)

Heimonen (2012) opastaa yksityiskohtaiseen aurinkoenergiאלaskentaan. Motiva (2014) esittelee yleistä lisätietoa aurinkoenergiasta. Finsolar-hanke puolestaan on selvittänyt aurinkolämpöjärjestelmien hintatasoa ja kannattavuutta Suomessa (Finsolar, 2015).

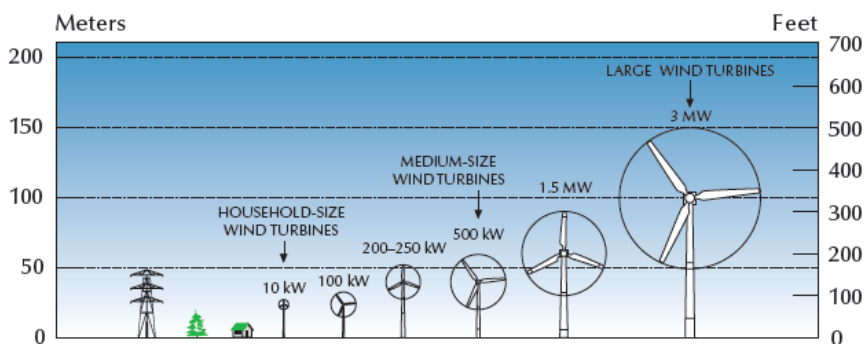
2.4 Tuulisähkö

Tuulisähköä kerätään erilaisilla ja erikokoisilla turbiineilla, jotka muuntavat tuulen liike-energian pyörimisliikkeeksi ja edelleen generaattorin välityksellä sähköenergiaksi. Suurten tuulivoimaloiden tornien korkeus vaihtelee 50–140 metrin välillä ja roottorin halkaisijat 40–140 metrin välillä. Suurimmat voimalaitokset pystyvät tuottamaan nimellisesti noin 5 MW. (Motiva, 2015b.)

Tuulivoimalaitos vaatii minimissään 3,5 m/s tuulen voimakkuuden. Tuulen noustessa yli 15 m/s:iin turbiinia joudutaan jarruttamaan passiivisella sakkaussäädöllä tai aktiivisella lapojen säädöllä. Yli 25 m/s tuulessa turbiinit pysäytetään täysin. Turbiinin liian kova vauhti saattaa vaurioittaa laitetta. (Motiva, 2015b.)

Tuulivoimaloita on myös pienemmässä mittakaavassa. Sellaisia käytetään esimerkiksi maatalouksissa, kotitalouksissa, vapaa-ajan asunnoissa ja akkujen lataamiseen. Näiden tuulivoimaloiden tehot vaihtelevat muutamasta sadasta watista muutamaan kilowattiin ja lapojen pituudet vaihtelevat parista metrillä kymmeneen metriin. Tuulivoimaloiden optimikorkeus riippuu tietenkin paikallisista tuulo-olosuhteista, mutta tyypillisesti ne asennetaan 5–30 metrin korkeuteen (Kuva 9). (Motiva, 2015c.)

Tuulivoimaloiden rajoitteista eniten keskustelua herättävät kovat taustääänet. Asutuksen välittömään läheisyyteen ei voi asentaa suuria tuulivoimaloita. Toinen rajoittava tekijä on tuulen epäsäännöllisyys. Tuulivoima ei voi toimia ainoana energian lähteenä sähköjärjestelmässä, koska tuulienergiaa saadaan ajoittain eikä sen tuotantoa voida ohjata kulutuksen mukaan. Sähköenergian varastointi on edelleen kallista ja useimmiten taloudellisesti kannattamatonta, joten järjestelmässä tulee olla muita säädettäviä sähköenergian lähteitä, jotka täyttävät sähköntarpeen tuulivoiman tuotannon heikentyessä. (Motiva, 2015b.)



Kuva 9. Tuuliturbiinien kokojen vertailu (Electrical Engineering Portal, 2015).

2.5 Biopolttoaineet

Biopolttoaineet ovat biomassoja, joista tuotetaan energiaa polttamalla. Tähän ryhmään kuuluvat esimerkiksi puu, peltokasvit ja bioperäinen jäte. Biopolttoaine on

uusiuutuva energiavara, jota pidetään hiilidioksidineutraalina. Hiilidioksidineutraaliudella tarkoitetaan sitä, että se ei lisää hiilidioksidipäästöjä. Poltossa vapautuva hiili sitoutuu takaisin kasvavaan biomassaan, ja sama määrä hiilidioksidia vapautuisi joka tapauksessa biomassasta sen luonnollisessa hajoamisessa. (Motiva, 2015d.)

Suomessa biopolttoaineita käytetään erittäin paljon laajan puuteollisuuden ja siitä syntyvien sivutuotteiden ansiosta. Teollisuudessa lämmitykseen käytetään paljon suoraan puuta sekä prosesseissa syntyviä sivutuotteita, kuten puuhaketta ja purua. Näistä sivutuotteista voidaan edelleen jalostaa parempia polttoaineita, kuten pellettiä. Pellettiä ja muita biopolttoaineita poltetaan lämpökattiloissa. Lämpökattiloista saadulla energialla lämmitetään tiloja tai käyttövesiä. (Motiva, 2015d.)

2.6 Kaukolämpö

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto (Energiateollisuus ry, 2015d). Kaukolämpöverkot kattavat useimmat suuremmat taajama-alueet. Kaukolämpöverkosto koostuu voimalaitoksista ja rakennuksien lämpökeskuksiin menevistä putkistoista. Lämpökeskuksiin tulevasta lämpimästä vedestä siirretään lämpöä rakennuksien omiin lämmitysjärjestelmiin. Lämpökeskuksesta takaisin voimalaitoksille lähtevä vesi on huomattavasti viileämpää lämmön siirrettyä rakennuksiin.

Kaukolämpö tuotetaan energiatehokkaimmin niin sanotuissa vastapainevoimalaitoksissa (sähkön ja lämmön yhteistuotanto, englanniksi Combined Heat and Power, CHP), joissa tuotetaan sähköä ja sivutuotteena syntyy lämpöä, joka syötetään kaukolämpöverkkoon. Kaukolämmössä voidaan myös hyödyntää poltettavia jätteitä ja teollisuuden hukkalämpöä. (Energiateollisuus ry, 2015a.)

2.7 Kaukojäähdytys

Kaukojäähdytys toimii nimensä mukaisesti samalla periaatteella kun kaukolämpö, mutta lämpimän veden sijasta verkko välittää kylmää vettä, josta saadaan kylmää rakennusten jäähdytysjärjestelmiin. Kaukojäähdytystä tuotetaan enimmäkseen lämpöpumpuilla, mutta myös absorptiolla ja kompressoreilla. (Energiateollisuus ry, 2015b.)

Helsingissä kaukojäähdytystä on alettu tuottaa vuonna 1998 Helsingin energian toimesta. Vuonna 2014 kaukojäähdytystä myytiin noin 400 asiakkaalle, noin 200 000 MWh edestä. Noin 70 % asiakkaista ja energiasta käytetään Helsingissä. Kaukojäähdytysverkoston pituus oli vuonna 2014 noin 100 km, josta noin 65 km on Helsingissä. (Energiateollisuus ry, 2015b, c.)

2.8 Yhdistetty kaukolämmitys ja -jäähdytys

Kehittyneissä tulevaisuuden energijärjestelmissä keskitytään eri sektoreiden (sähkö, lämmitys, jäähdytys, liikenne) yhdistämiseen hyödyntäen energiantarpeiden vaihteluita ja joustavuutta sekä lyhyt- ja pitkäaikaista varastointia eri energia-

sektoreiden välillä (Lund et al., 2014). Yhdistetty kaukolämmitys ja -jäähdytys (Combined Heating and Cooling – CHC) on yksi versio tällaisesta järjestelmästä.

Seuraavissa kuvissa on esimerkki Helen Oy:n vuodesta 2006 kaupallisessa toiminnassa olevasta kaukolämmitys- ja kaukojäähdytysjärjestelmästä. Kesällä tiloihin tuodaan jäähdytystä ja talvella lämmitystä. Lisäksi tarjotaan aurinkolämmön talteenottoa ja lämmintä käyttövetä.



Kuva 10. Yhdistetty kaukolämmitys (lämmin käyttövesi rakennuksiin) ja kaukojäähdytys kesätilanteessa, mukana aurinkolämmön talteenotto (Helen Oy, 2015).



Kuva 11. Yhdistetty kaukolämmitys ja -jäähdytys talvitalanteessa, mukana aurinkolämmön talteenotto rakennuksista. Helenillä on tutkimushanke käynnistymässä, ja tavoitteena on tuottaa tällainen tyyppirakennus v. 2018–2022. (Helen Oy, 2015.)

2.8.1 SunZED-konsepti

Selvityksen vertailujärjestelmänä käytettiin tiiviissä kaupunkirakenteessa toimivaa yhdistettyä kaukolämpö- ja jäähdytysjärjestelmää – alueellista SunZED-konseptia, joka mahdollistaa energiavirtojen kierrätyksen. Konseptin nimi tulee sanoista Sun = Aurinko ja ZED = Zero Energy District eli nollaenergia-alue.

SunZED-konseptissa/filosofiassa rakennuskannan sisäilman jäähdyttäminen ei ole vain lisäarvon tuottoa rakennuskannan käyttäjille, vaan yksi keino lisätä uusiutuvaa energiaa yhdyskunnan käyttöön. Kesäajan jäähdytystarpeesta valtaosa muodostuu auringon lämmöstä. SunZED-konseptilla rakennuksiin kerääntynyt lämpö ohjataan rakennuksen ja alueellisen jäähdytysjärjestelmän avulla alueelliselle lämpöpumppulaitokselle, josta pääosin auringon lämmöstä peräisin oleva energia palautuu rakennuksille lämpimän käyttöveden valmistukseen.

SunZED-konseptissa järjestelmän pääkomponentit ovat alueelliset lämmitys- ja jäähdytysverkot, lämpöpumppulaitos ja tärkeimpänä itse rakennukset ja niiden normaalia hieman edistyskellisemmät talotekniset järjestelmät. SunZED-konsepti toimii ilman lämmön varastointia niin kauan, kuin lämmölle on kysyntää lämpimän käyttöveden valmistukseen saman kaukolämpöjärjestelmän piirissä olevalla rakennuskannalla. SunZED-lämmöntuotanto on suurimmillaan päiväaikaan. Kun lämmön tarjonta ylittää kysynnän, on järjestettävä mahdollisuus lämmön ”yön yli” kestävään varastointiin. Jäähdytyskauden ulkopuolella SunZED-alue parhaimmillaan tukeutuu olemassa olevaan kaukolämpöjärjestelmään, jossa yhteistuotanto-lämpö tyydyttää alueen lämmitystarpeen.

Aurinkosähkö on kiinteä pari SunZED-alueen kanssa. Auringonsäteily ja jäähdytystarve ilmenevät suurimmaksi osaksi samanaikaisesti. Tällöin aurinkosähköntuotannolla on mahdollista tuottaa valtaosa lämpöpumppujen tarvitsemasta sähköstä. Toisaalta maankäytön suunnittelussa aurinkolämpökeraimilta vapautuu tilaa aurinkosähkötuotannolle, koska aurinkokeräimet ovat tarpeettomia.

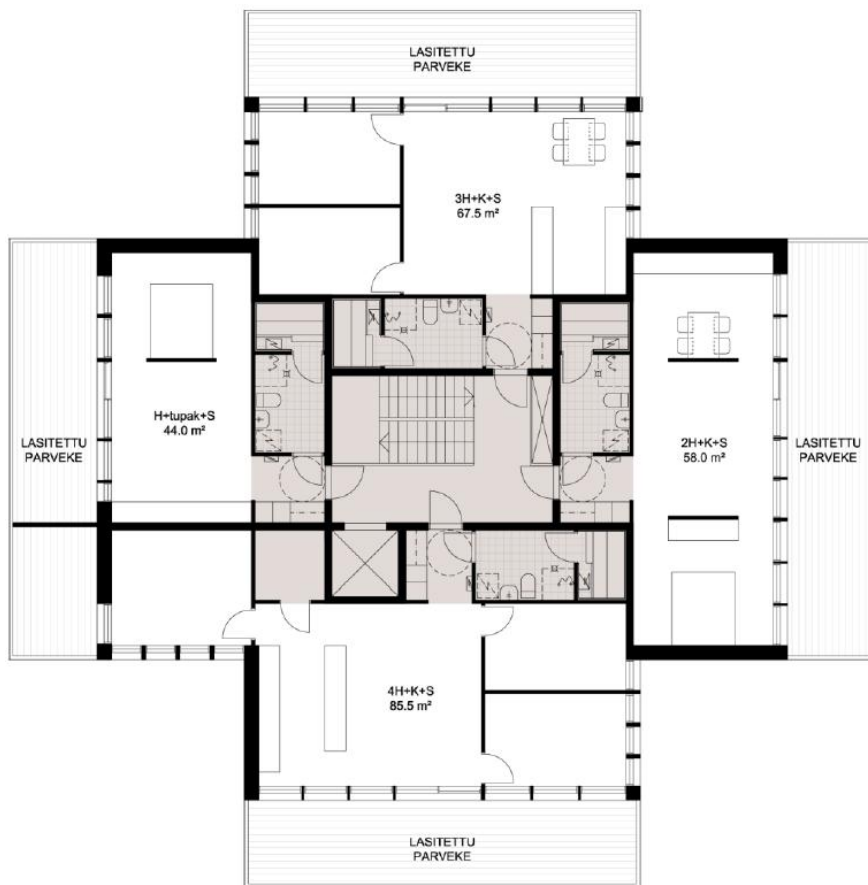
2.8.1.1 SunZEB-asuinkerrostalo

Tarkasteluissa hyödynnettiin alueelliseen energiaratkaisuun liitettävissä olevia tyyppitalomalleja, ns. SunZEB-tyyppirakennuksia (Shemeikka et al., 2015). SunZEB-arkkitehtuurin suunnittelun lähtökohtana ovat rakennuspaikan huolellinen analysointi sekä lämpökuormien hallinnan ottaminen huomioon systemaattisesti suunnitteluratkaisuissa. Auringonsäteilyn hyödyntäminen perustuu neljään suunnitteluperiaatteeseen (Shemeikka et al., 2015):

1. Rakennukseen suunnitellaan riittävän laaja ikkunapinta-ala viihtyisien ja valoisien sisäolosuhteiden luomiseksi.
2. Auringon lämpökuormahuiput leikataan oikein mitoitetuilla julkisivurakenteilla.
3. Yliämpeneminen estetään kaukojäähdytykseen perustuvalla jäähdytysjärjestelmällä, jonka avulla auringon lämpöenergia voidaan käyttää hyödyksi toisaalla.

4. Sisätiloissa häikäisyltä ja yllilämpenemiseltä suojaudutaan lisäksi käytäjäkohtaisesti säädettävillä varusteilla, kuten kaihtimilla tai verhoilla.

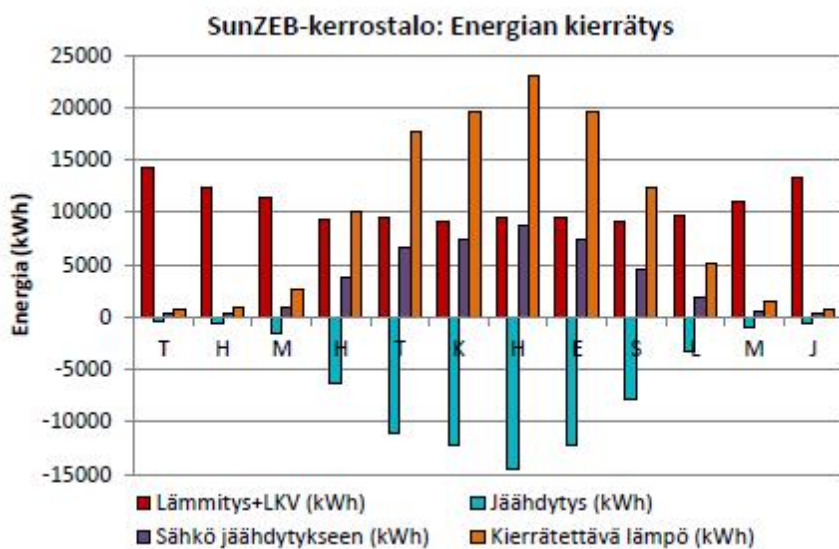
Seuraavissa kuvissa on esitetty esimerkki SunZEB-konseptiin soveltuvasta asuinkerrostalosta (Shemeikka et al., 2015). Ratkaisu on pistetalo, jossa huoneistot suuntautuvat eri ilmansuuntiin. Eteläjulkisivussa parvekkeen rakenteet estävät yllilämpenemisen, vaikka ikkunapinta-ala on verrattain suuri. Muista ilmansuunnista auringonsäteily tulee hyvin matalassa kulmassa. Lämpökuorman hallitsemiseksi itä- ja länsijulkisivuilla voidaan joko käyttää ikkunaratkaisua, jolla on matala g-arvo, tai varustaa parvekelasituksen sisäpuoli sälekaihtimilla. Kuva 14 esittää SunZEB-konseptin mukaisen asuinkerrostalon kierrätetyn energian osuuden eri kuukausina (Shemeikka et al., 2015).



Kuva 12. Esimerkkipistetalon pohjaratkaisu (Shemeikka et al., 2015).



Kuva 13. Esimerkki SunZEB-pistetalosta. Lasitetut parvekkeet ja varjostava säileikkö ikkunoiden yläpuolella estävät sisätilojen liiallisen yllämpenemisen. (Shemeikka et al., 2015.)

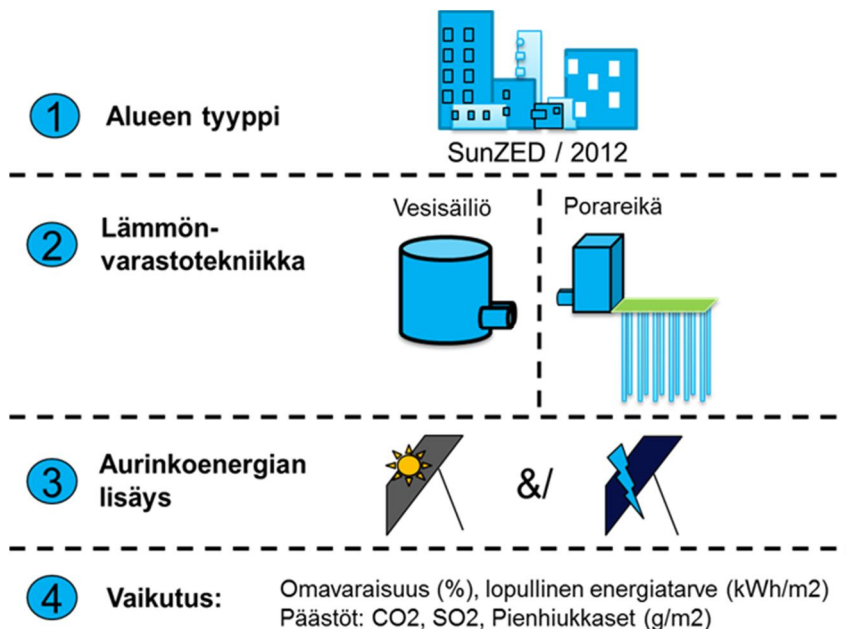


Kuva 14. Kierrätetty energia SunZEB-asuinkerrostalossa (Shemeikka et al., 2015).

3. Energiatarkastelut

Tässä luvussa tarkastellaan Kuva 15 mukaisesti

- 1) alueen tyyppiä: vertailu rakennusten energian- ja tehon tarpeesta a) vuoden 2012 rakennusmääräysten mukaisesti toteutetun ja b) SunZED-alueen välillä
- 2) kahta eri lämmönvarastointitekniikkaa: a) lämpöeristettyä vesisäiliötä ja b) porakaivoreikien hyödyntämistä lämmön varastointiin maaperään lämpöpumpun avulla
- 3) aurinkolämmön ja/tai -sähköntuotannon hyödyntämistä
- 4) näiden eri energiaratkaisujen vaikutusta alueen energiaomavaraisuuteen ja päästöihin.



Kuva 15. Energiatarkastelun osiot ja vaiheet.

3.1 Lähtötiedot – case Vartiosaari

Vartiosaareen suunnitellaan rakennettavan uusia rakennuksia yhteensä 300 000–350 000 kerros-m², joista asuntorakentamista olisi 270 000–320 000 k-m², palvelu- ja toimitilakerrosalaa noin 30 000 k-m² ja huvila-alueen lisärakentamista 5 000 k-m². Laskelmissa oletettiin, että asuinkerrosalaa on 310 375 (95,5 %) k-m² ja toimistokerrosalaa 14 625 (4,5 %) k-m² eli yhteensä 325 000 m².

Vuonna 2013 asuinpinta-ala henkilöä kohden oli Helsingissä keskimäärin 34,1 m² (Helsingin kaupungin tietokeskus, 2014). Vartiosaareessa kerrosalakohtaisena suunnitteluperiaatteena käytetään yhtä asukasta 50 k-m² kohden, jolloin tavoite sisältää siis muutakin kuin asuinpinta-alaa.

Tyyppirakennuksina käytettiin SunZEB-rakennuksia ja niille laskettuja ominaisenergiankulutuksia (Shemeikka et al., 2015) ja vertailurakennuksina vuoden 2012 rakennusmääräysten mukaisia rakennuksia.

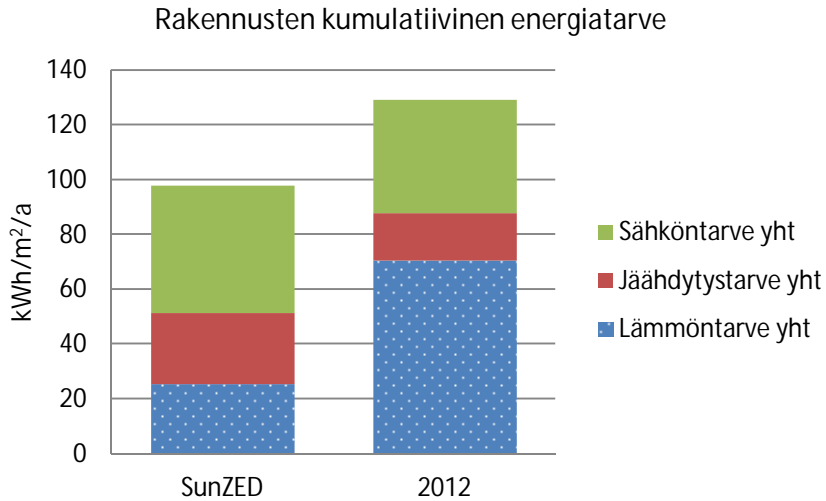
3.2 Alueen energiatarpeet ja -virrat

3.2.1 Rakennustyyppien vertailu

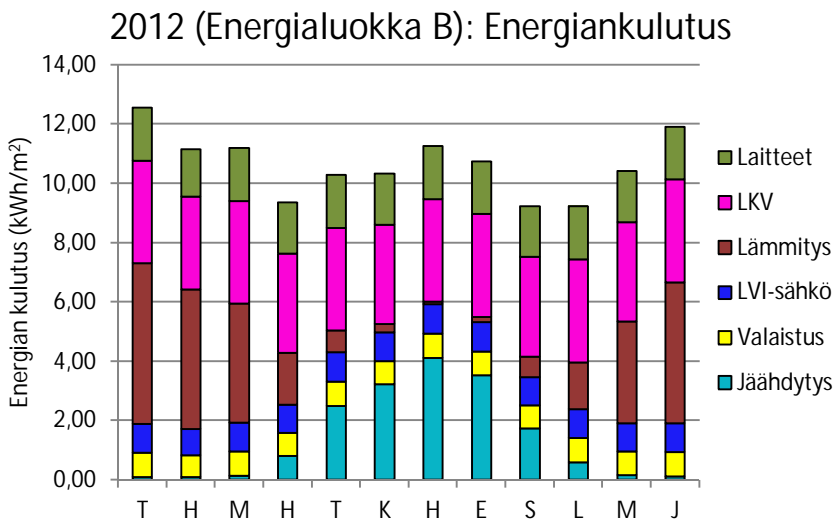
Energiatarkastelu pohjautuu vuoden 2012 määräysten mukaisiin vertailurakennuksen ja SunZEB-rakennuksen mallien ominaisenergiankulutuksiin (Taulukko 2). Vastaavat rakennuskohtaiset kumulatiiviset energiantarpeet on esitetty Kuvassa 16. Vuoden 2012 vertailurakennuksen energialuokka on B, eli siinä on hyvin matala energiantarve. Lämpöenergiantarve on huomattavasti pienempi SunZEB-rakennuksessa kuin tyypillisessä 2012-tasoisessa rakennuksessa, samoin sähköntarve on hieman pienempi SunZEBissä. Toisaalta jäähdytyksen merkitys on SunZEBissä suurempi, koska auringon valo ja lämpö päästetään rakennuksiin sisään ja otetaan lämpöpumpulla hyötykäyttöön kaukolämpöön. SunZEB-rakennus toimii tavallaan suurena aurinkokerääjänä. Silti SunZEB-rakennuksia kuvaavat erittäin hyvä sisäilma ja vakaa lämpötilataso. Lämpimän käyttöveden (LKV) energiankäyttö on yhtä suuri molemmille rakennuksille. Myös kuukausitason energiankulutuksista voidaan havaita, että 2012-tason rakennus (Kuva 17) kuluttaa enemmän energiaa lämmitykseen kuin SunZEB-rakennus (Kuva 18).

Taulukko 2. SunZEB- ja 2012-rakennusmallien keskimääräiset ominaisenergiankulutukset.

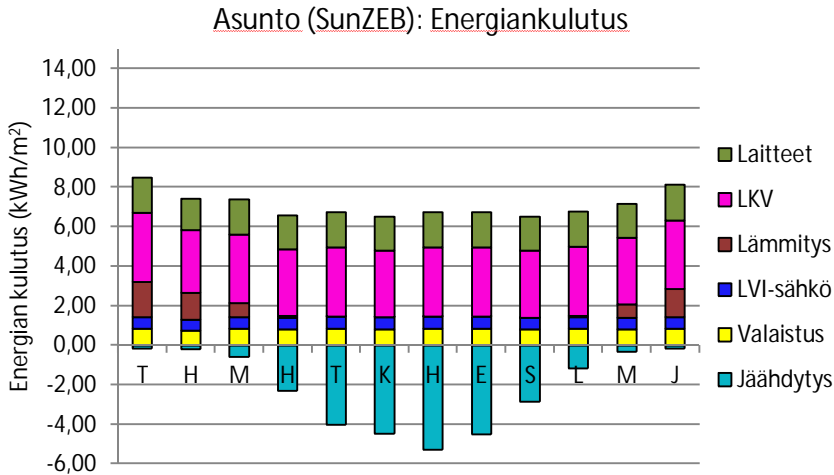
Rakennusten keskimääräinen ominaiskulutus, kWh/m ² /a			
	SunZEB	2012	Suhde (SunZEB/2012)
Lämpö (kWh/m ² /a)	47,0	67,4	0,7
Viilennys (kWh/m ² /a)	25,9	17,2	1,5
Sähkö (kWh/m ² /a)	37,6	41,5	0,9



Kuva 16. Rakennusten kumulatiiviset vuosittaiset ominaisenergiatarpeet.



Kuva 17. Vuoden 2012 määräysten mukaisen asuinrakennuksen kuukausittainen energiankulutus.



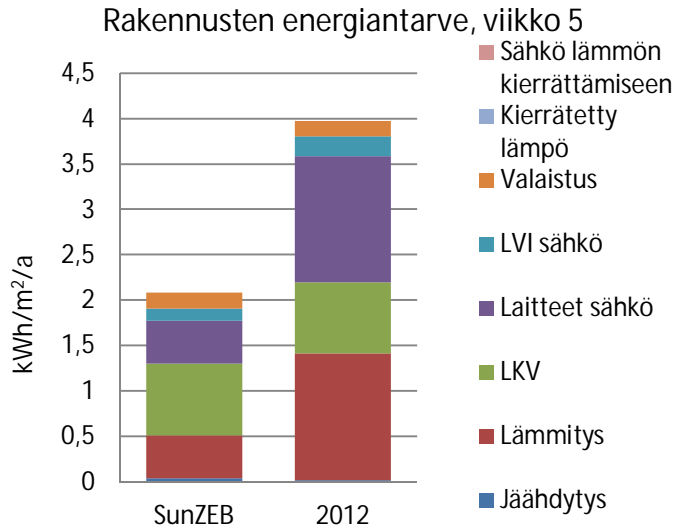
Kuva 18. SunZEB-kerrostalon kuukausittainen energiankulutus.

Taulukko 3 esittää tarkastelualueen rakennusten energiakulutuksen rakennuskuutioiden mukaan ja vertailulukuja uudehkoilta asuinalueilta Helsingistä. Luvuista voidaan havaita, että lämmityksen kulutus sekä SunZEB-rakennuksissa että vuoden 2012 rakennusmääräysten mukaisella toteutuksella on huomattavasti alhaisempi kuin uudehkoilla alueilla toteutuneet luvut. Taustalla on se, että uudet kohteet on käytännössä vielä toteutettu vuoden 2007 rakennusmääräysten mukaisesti.

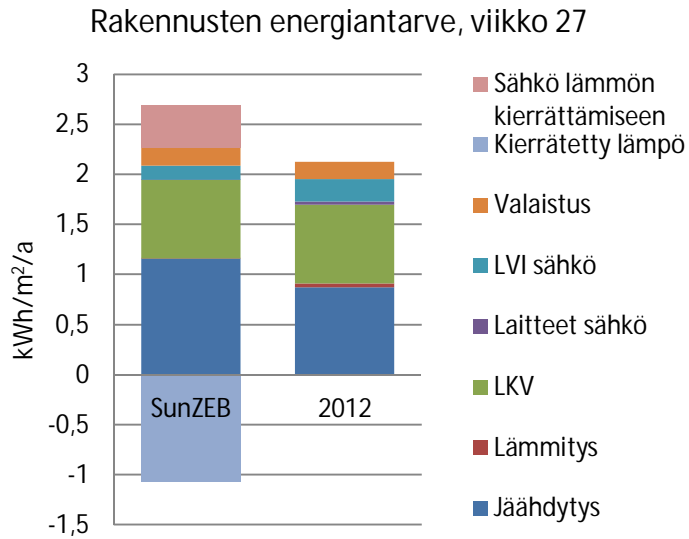
Taulukko 3. Rakennusten energiankulutuksen vertailu tilavuuden mukaan, lämmön vertailussa on myös vertailulukuja uusilta alueilta Helsingistä.

Rakennusten energiankulutus rakennustilavuuden mukaan, kWh/m ³ /a					
	SunZEB	2012	Arabianranta	Latokartano	Falpakka
Lämpö	18,9	27,1	31,7	36,5	41
Viilennys	10,4	6,9	-	-	-
Sähkö	15,1	16,7	-	-	-

Vuodenajan vaikutus ominaisenergiakulutukseen eri ratkaisulla on merkittävä. Talviviikolla (Kuva 19) SunZEB-ratkaisun energiankulutus on huomattavasti pienempi kuin vuoden 2012 ratkaisulla. Kesäviikolla taas vuoden 2012 mukainen ratkaisu (Kuva 20) kuluttaa huomattavasti vähemmän energiaa, mutta on energiataseeltaan huonompi kuin SunZEB-ratkaisu, jossa jäähdytysenergia muuttuu alueella käytettäväksi lämmöksi (kuvan kierrätettävä lämpö).



Kuva 19. Talviviikon energiankulutus.



Kuva 20. Kesäviikon energiankulutus.

3.2.2 SunZED- ja 2012-alueiden energiankulutuksen vertailu

Koko alueen energiantarpeen laskennassa otettiin mukaan myös kaukolämpöjärjestelmän siirtohäviöt. Kaukolämmön siirtohäviöiden osuus oli keskimäärin 6 % Helsingissä vuonna 2013 (Energiateollisuus ry, 2013). Vartiosaaren tarkastelussa on kuitenkin oletettu, että lämpöhäviöt lämpöverkossa olisivat 5 %, koska on kyse matalalämpökaukolämpöverkosta. Vartiosaaren rakennusten kokonaistehontarve¹ on esitetty Taulukossa 4 ja alueen vuositason energiantarpeet on esitetty Taulukossa 5 ja Kuvassa 21.

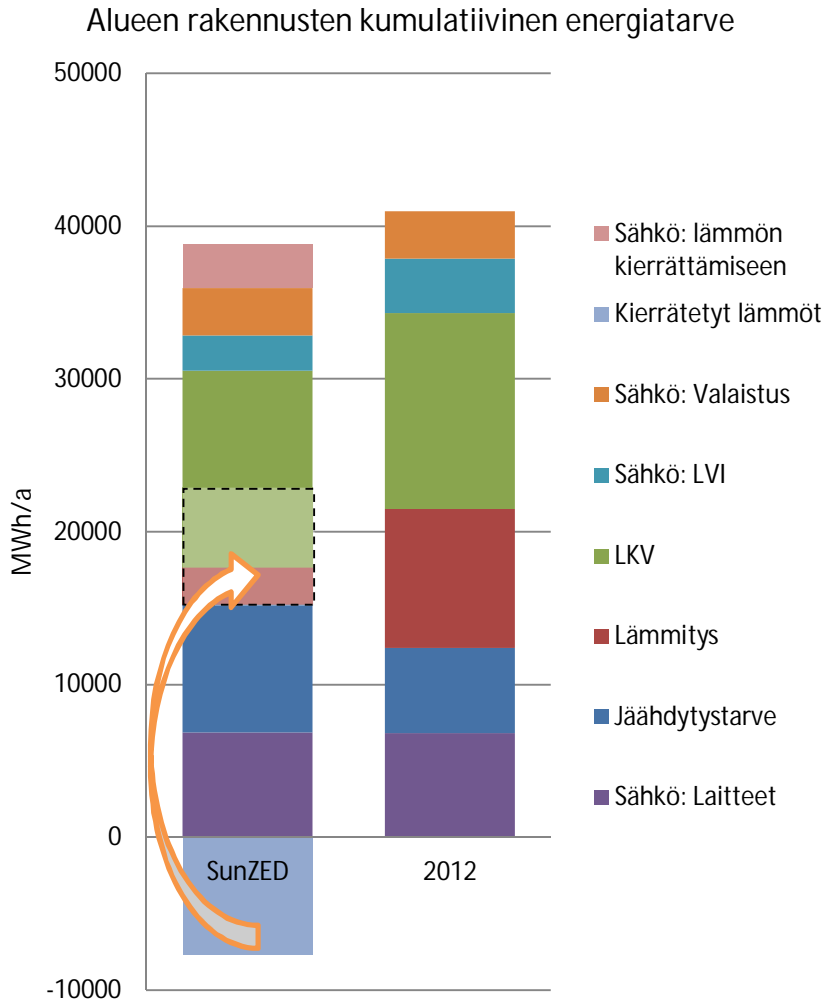
Taulukko 4. Vartiosaaren rakennusten arvioitu tehontarve koko alueella.

Rakennuskannan tehontarve yht., MW		
	SunZED	2012
Lämmitys	9,3	12,3
Lämminkäyttövesi (LKV)	35,9	35,9
Jäähdytys	21,9	21,6

Taulukko 5. Vartiosaaren alueen energiantarve.

Vartiosaaren alueen rakennusten energiatarve [MWh/a]			
	SunZED	2012	Suhde (SunZED/2012)
Lämmöntarve yhteensä	8 342	22 996	0,36
Lämmitys	2 412	9 090	0,27
Lämmin käyttövesi	12 869	12 811	1,00
Siirtohäviöt	764	1 095	0,70
Viilennyksestä saadut lämmöt	-7 703	-	-
Jäähdytystarve yhteensä	8426	5 591	1,51
Jäähdytystarve	8426	5 591	-
Sähkötarve yhteensä	15 079	13 490	1,27
Sähkö: LVI	2 280	3 583	0,64
Sähkö: Laitteet	6 850	6 820	1,00
Sähkö: Valaistus	3 099	3 086	1,00
Sähkö: lämmön kiertämiseen	2 850	-	-
Kokonaisenergian tarve yhteensä	31 847	42 077	0,76

¹ Teho on käytetyn energian määrä aikayksikössä.



Kuva 21. Alueen vuositason energiatarpeet molemmissa vaihtoehdoissa. SunZED-tapauksessa nuoli havainnollistaa, että näistä rakennuksista saadaan vuositasolla kierrätettyä merkittävä osa lämpöä takaisin alueen käyttöön.

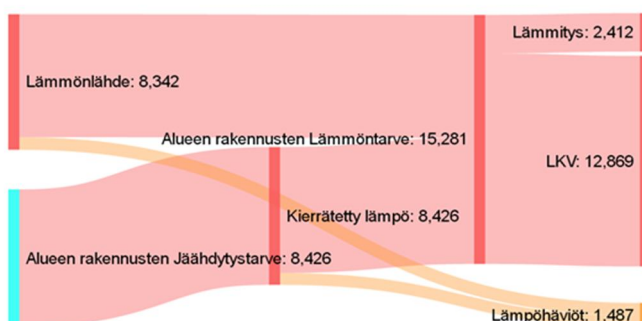
Seuraavaksi laskettiin, kuinka paljon energiaa erityyppisiin rakennuksiin on tuotava sisään, jos alue on toteutettu 2012-tason mukaan tai SunZED-konseptilla. 2012-tason rakennukset on kytketty perinteiseen tapaan kaukolämpöön ja -jäähdytykseen. SunZED-alueella puolestaan rakennuksista otetaan viilennyksen avulla kesäajalla yllämpöä talteen ja kierrätetään se takaisin hyötykäyttöön kaukolämpöverkkoon. SunZED-rakennukset siis toimivat lämmönlähteenä lämpöpumpulle, samaan tapaan kuin esimerkiksi maalämpöpumpulla otetaan lämpöä maaperästä. Lopputuloksena SunZED-alue käyttää vuoden aikana huomattavasti

vähemmän (muista lämmönlähteistä saatua) lämpöenergiaa kuin 2012-tasoinen alue. Toisaalta SunZED-rakennusten jäähdytystarve taas on suurempi kuin 2012-alueella. Tässä kuvatun laskelman mukaiset koko alueen energiatarpeet rakennettavaa brutto-alaa kohden molemmilla rakennustyypeillä on esitetty Taulukossa 6. Tämän saman eron voi visuaalisesti havaita alueiden energiavirtakuvista (Kuva 22 ja Kuva 23).

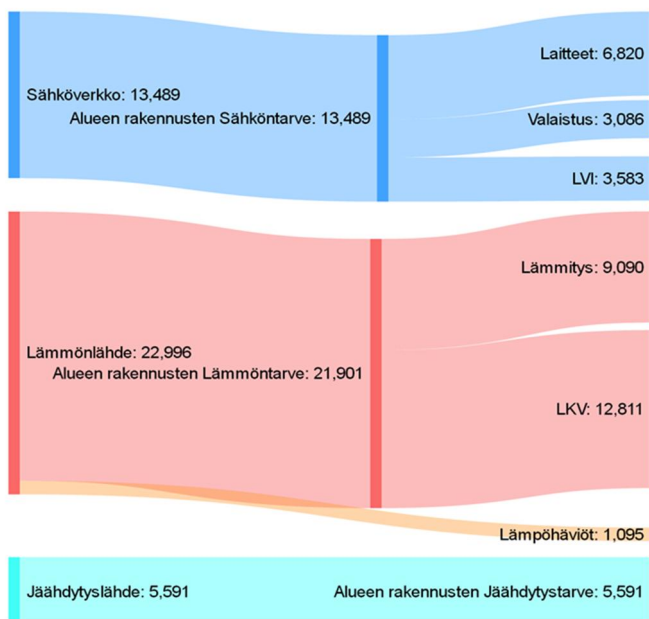
Taulukko 6. Vartiosaaren alueelle tuotavan energian määrä eri rakennuskonsepteilla.

Vartiosaaren alueen energiankulutus per rakennettu brutto-ala [kWh/m²/a]			
	SunZED	2012	Suhde (SunZED/2012)
Lämmöntarve	25,7	67,4	0,4
Jäähdytystarve	25,9	17,2	1,5
Sähköntarve	46,4	41,5	1,3

Kaukolämmön tuotannon tarve yhteensä on vuoden 2012 tasoisella rakentamisella noin 23,0 GWh/a ja SunZED-alueella 15,3 GWh/a. Siirtohäviöihin kuluu vuosittain lämpöä 2012-tason alueella noin 1 100 MWh/a ja SunZED-alueella noin 800 MWh/a. Kaukojäähdytysverkon osalta siirtohäviöitä ei otettu huomioon, koska lämpötilaero maaperän ja kaukojäähdytyksen tuloveden välillä on pieni.



Kuva 22. SunZED-alueen energiavirrat.



Kuva 23. 2012-alueen energiavirrat

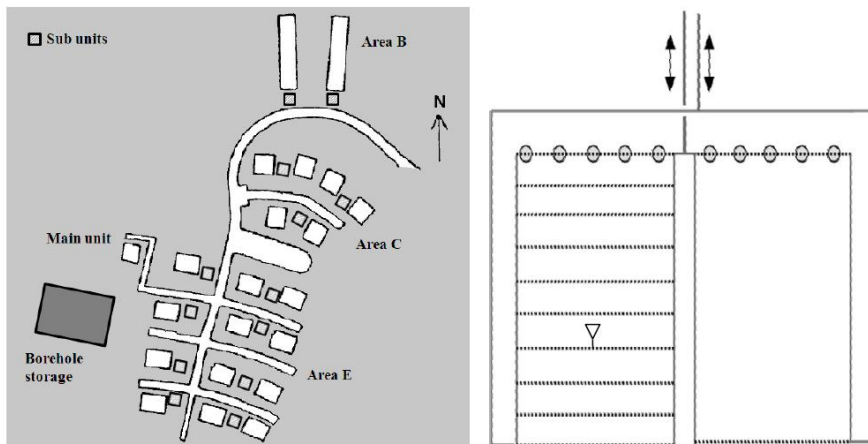
3.2.3 Alueellinen aurinkolämmön ja -sähkön tuotantopotentiaali

Aurinkolämmön ja -sähkön tuotantopotentiaali perustuu tuntitason mittaustietoihin Helsingin alueella. Laskelmissa aurinkolämpökeräimen vuosituotanto on 500 kWh/m^2 (Solpros OY, 2009) ja aurinkosähköpaneelin 120 kWh/m^2 (JRC, 2012).

Aurinkosähkön osalta omavaraisuus on laskettu pelkästään rakennusten sähköntarpeen mukaan. Energiatuotannon sähköntarvetta ei siis otettu huomioon. Näin sähkönkäytöstä syntyvät päästöt ovat samoja molemmille lämmönvarastovaihtoehdoille.

3.3 Porakaivokenttä energiavarastona ja maalämmön lähteenä

Porakaivokenttätarkastelussa on ajatuksena, että maalämmön avulla katetaan Vartiosaaren asuntojen lämmöntarpeet ja sitä voidaan käyttää myös lämpövarastona. Lämmön jako tehdään kaukolämpöverkoston avulla. Vartiosaaren porakaivovaraston mitoittamiseen ja lämpöhäviöiden laskentaan käytettiin vastaavaa mallia ja tuloksia, jotka on saatu Ruotsissa Annebergin asuinalueella (Kuva 24). Annebergin järjestelmässä oli 99 porareikää, 13 lämmönjakokeskusta ja 2400 m^2 aurinkokeräimiä (Heier et al., 2011).



Kuva 24. Esimerkki Annebergin asuinalueen porakaivovarastosta Ruotsissa. Järjestelmään kuuluu 13 lämmönjakokeskusta (Sub units vasemmassa kuvassa) ja 99 porareikää, jotka on ryhmitelty oikean kuvan mukaisesti. (Heier et al., 2011.)

Vartiosaassa maalämpöpumpputyksiköt ja porakaivot voitaisiin sijoittaa joko yhtenä suurena yksikkönä tai muutamana pienempänä porakaivoryhmänä tai -alueena, jotta niillä voidaan varastoida lämpöä maaperään. Jos porakaivot olivat täysin hajautettuna ympäri aluetta (esim. muutama porakaivo jokaiselle

tontille), olivat järjestelmän lämpöhäviöt suuremmat. Porakaivoryhmän aluetta voitaisiin kuitenkin hyödyntää esim. puistona tai muuna virkistysalueena tai pysäköintialueena. Yhtenä mahdollisena vaihtoehtona voisi myös olla energiapaalutekniikka, jossa porareivät tehdään rakennusten alle, ja näin saadaan myös niiden alla oleva maaperä hyötykäyttöön. Tässäkin tapauksessa rakennusten energiapaalut pitää toteuttaa ryhminä vastaavasti kuin porareikävaraston tapauksessa. Jokaiselle porakaivo- tai energiapaaluryhmälle kannattaa olla vain yksi lämpöpumppulaitos ja lämmönjakokeskus, jolloin järjestelmän koordinointi pysyy yksinkertaisempana.

Vartiosaaren lämmöntarpeeseen nähden 2012-skenaariossa on porattava yhteensä 3 130 porakaivoa ja vastaavasti SunZED-skenaariossa 2180 porakaivoa, kun jokaisen porakaivon syvyys on 65 metriä, niiden etäisyys toisistaan 3 metriä ja vuotuinen lämmöntuotto yhdestä kaivosta on 7 MWh/a (vastaten Heierin et al. [2011] tutkimusta). Näin ollen tällaisten maalämpökenttien vaatimat pinta-alat ovat 2012-tyyppisellä alueella 21 900 m² ja SunZED-alueella 15 260 m².

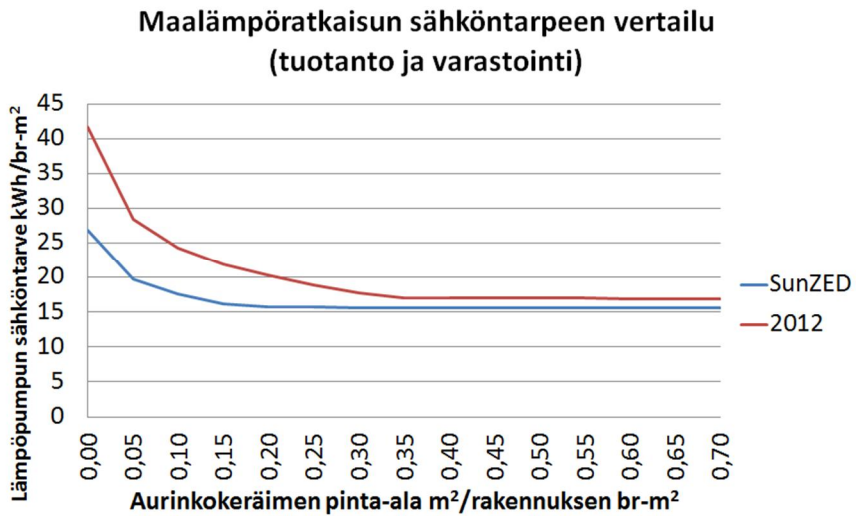
Jos porakaivoja voitaisiin porata syvempään kuin oletettuun 65 metriin, kaivojen lukumäärä vähenisi ja vastaavasti niiden tilantarve pienenesi. Laskelmassa oletettiin, että vuosittainen lämpöhäviö maalämpökentässä vaihtelee 60 ja 65 %:n välillä (riippuen aurinkokeräimien määrästä) ja että varastona toimivan porakaivokentän keskilämpötila olisi vuoden ympäri 25 astetta. Paikallisen maan ominaisuudet on tutkittava, jotta saadaan tarkempaa tietoa järjestelmän toimivuudesta ja porakaivojen määrästä.

Laskelmissa käytettiin lämpöpumppujen lämpökertoimena (COP) 3,5:tä niin kauan kuin maalämpökentässä on varastoituneena lämpöä, ja kun lämpöä ei ole varastoituneena, käytettiin laskelmissa lämpöpumpun lämpökertoimena (COP) 1,7:ää. Kun lämpöpumpuilla tuotettiin viilennystä, lämpökertoimena käytettiin (COP) 6:ta. Tämä siis tarkoittaa, että yksi sähköyksikkö tuottaa COP:tä vastaavan määrän lämpöyksikköä (tai jäähditysyksikköä). Maalämmön kapasiteetti on siis mitoitettu niin, että maalämpö kattaisi koko alueen lämmön ja -jäähditystarpeet.

3.3.1 Aurinkolämmön ja porakaivokentän vaikutus alueen energiaomavaraisuuteen

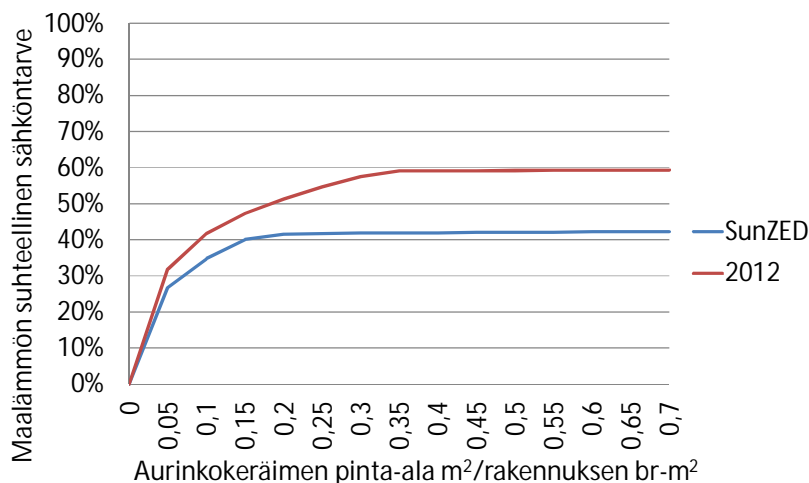
Kuva 25 esittää, miten aurinkolämmön lisäys vaikuttaisi maalämpöjärjestelmän sähkötarpeeseen. Kun alueella ei ole aurinkolämpöä, vaatii maalämpöjärjestelmä sähköä (lämmön ja viilennyksen tuotantoon) noin 28 kW/m²/a SunZED-tapauksessa ja vastaavasti 41 kW/m²/a 2012-tapauksessa. Aurinkolämmön tuotannolla voidaan vähentää maalämpöjärjestelmän sähkötarvetta noin puoleen (2012-alueella 51 %:iin ja SunZED-alueella 47 %:iin), koska tuotettu aurinkolämpö osittain kattaa lämmöntarvetta. Jos aurinkokeräimien suhde asuinalaan on suurempi kuin 0,3, aurinkolämmöllä ei ole enää merkittävä vaikutusta maalämpöjärjestelmän sähkön tarpeeseen. Tähän ovat syinä lämpöhäviöt porausreitistä lähiympäristöön ja lämpöpumppujen tarvitsema sähköenergia oikean menoveden lämpötilan tuottamiseen. Aurinkolämmön lisääminen pienentää myös SunZED- ja 2012-alueiden välisen sähköntarpeen eroa.

Kuva 26 esittää, miten aurinkolämmön lisääminen vaikuttaa lämmön omavaraisuusasteeseen porareikävaraston tapauksessa. Kuvassa kumpaakin aluetta verrataan sen alkuperäiseen lämmöntarpeeseen. Kuvasta nähdään, että SunZED-järjestelmän omavaraisuusaste on enimmillään noin 47 % ja 2012-vertailutapauksen 60 %.



Kuva 25. Aurinkolämmön vaikutus porakaivokentän sähkötarpeeseen.

Aurinkolämmön lisäämisen vaikutus porausreikävaraston lämmöntuotannon sähköntarpeeseen



Kuva 26. Aurinkolämmön lisäämisen vaikutus lämmön omavaraisuuteen porareikävaraston tapauksessa.

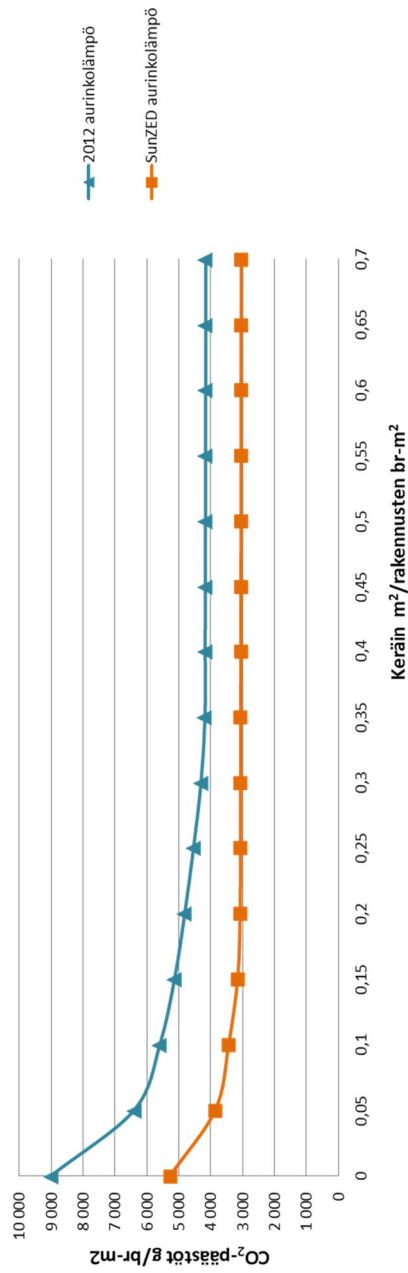
3.3.2 Porakaivokenttäjärjestelmän päästöt

Päästöt on laskettu siten, että lämmityksestä ja viilennyksestä aiheutuneet päästöt on otettu huomioon aurinkolämpökäyrissä, kunnes aurinkosähkökäyrät pitävät sisällään ainoastaan kulutussähkön aiheuttamia päästöjä. Sähkön päästöluvut ovat samat kuin vesisäiliövaraston tapauksessa (Taulukko 8).

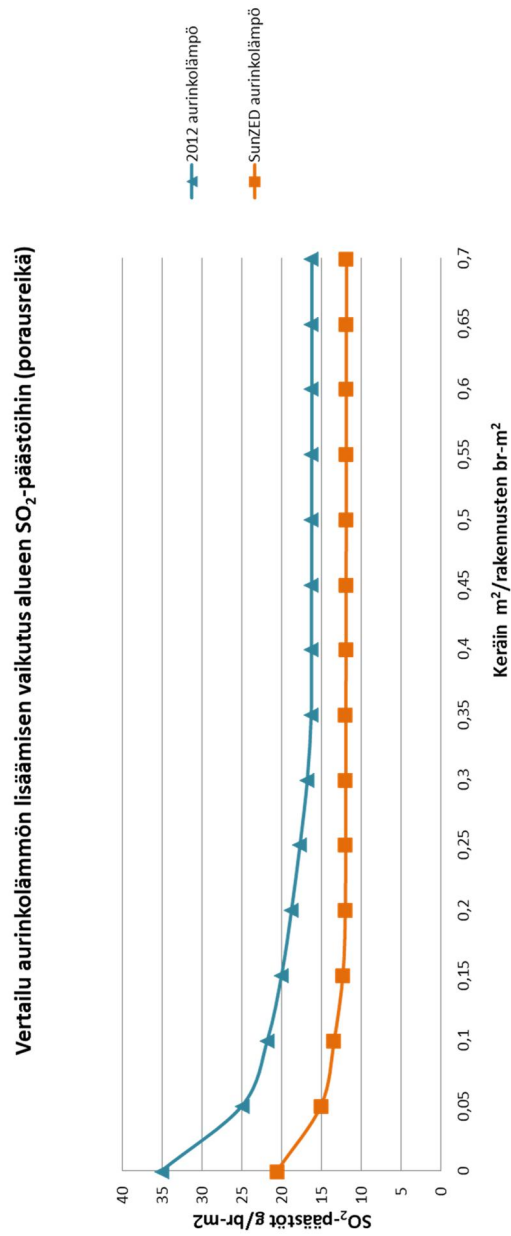
Kuvat 27 – 29 näyttävät, miten aurinkolämmön lisääminen vaikuttaa rakennusten lämmönkäytöstä syntyviin päästöihin, kun alueella on porareikävarasto ja energia tuotetaan aluekohtaisella lämpöpumpulla. SunZED-tapauksessa hiilidioksidipäästöt ovat noin 40 % pienemmät kuin 2012-rakennuskannalla, vaikka järjestelmään ei lisättäisi aurinkokeräimiä (Kuva 27). Lisäämällä aurinkokeräimiä ja porareikävarasto voidaan hiilidioksidipäästöjä pienentää noin 40 % SunZED-tapauksessa ja yli 50 % vuoden 2012 vertailurakennuskannalla. Myös rikkidioksidi (Kuva 28) ja pienhiukkaspäästöt (Kuva 29) ovat SunZED-järjestelmällä pienempiä kuin 2012-rakennuskannalla porareikävaraston tapauksessa. Suhteellisesti suurimmat päästövähennyksen vaikutukset saadaan jo asentamalla aurinkokeräimiä 0,05 % koko rakennuskannan bruttoalasta.

Hiilidioksidipäästöt ovat olennaisia ilmastonmuutoksen kannalta ja vaikuttavat siihen kansainvälisellä tasolla. Rikkidioksidipäästöjen vaikutukset puolestaan kohdistuvat lähinnä kansalliselle tasolle ja naapurimaihin. Pienhiukkaspäästöt taas vaikuttavat ensisijaisesti lähialueen ilmanlaatuun.

Aurinkolämmön vaikutus alueen CO₂-päästöihin (porausreikä)

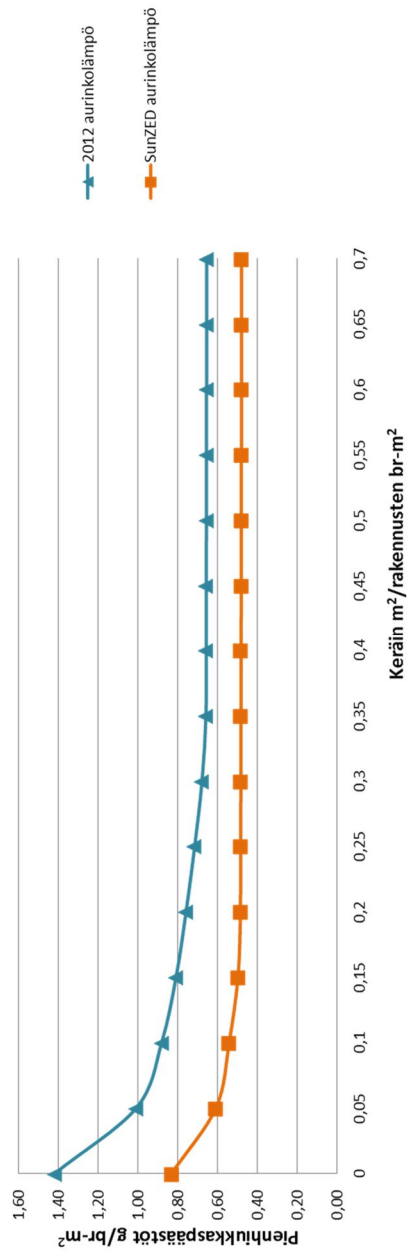


Kuva 27. Aurinkoenergian lisäämisen vaikutus rakennusten lämmityksen aiheuttamiin CO₂-päästöihin porareikävaraston tapauksessa.



Kuva 28. Aurinkoenergian lisäämisen vaikutus rakennusten lämmityksen aiheuttamiin SO₂-päästöihin porareikävaraston tapauksessa.

Aurinkolämmön lisäämisen vaikutus alueen pienhiukkaspäästöihin (porausreikä)

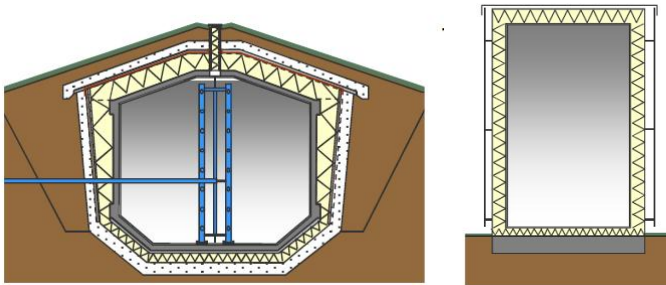


Kuva 29. Aurinkoenergian lisäämisen vaikutus rakennusten lämmityksen aiheuttamiin pienhiukkaspäästöihin porareikävaraston tapauksessa.

3.4 Säiliövarasto osana alueellista aurinkolämpö- ja kaukolämpöjärjestelmää

Energiatarkastelussa tutkittiin myös lämmön kausivarastointitarkaisua yhdistettynä alueen kaukolämpöjärjestelmään. Laskelmissa käytettiin kaukolämpöverkon meno- ja paluuveden lämpötilatasoina 75 ja 30 °C ja kaukojäähdytysverkossa veden lämpötilaa 8–10 °C. Kaukolämmön jakeluverkon lämpöhäviöiksi on arvioitu 5 % lämmöntarpeesta, kun kyseessä on matalalämpötilainen kaukolämpöverkko. Kaukojäähdytyksen siirtohäviöitä ei tässä otettu huomioon.

Yksi vaihtoehto kausivarastolle on lämpöeristetty sylinterimuotoinen vesisäiliö. Tämän voisi rakentaa joko maan alle tai päälle. Tässä tarkastelussa on ajateltu, että se tulee maan päälle ja on tällöin suoraan kosketuksessa ilman kanssa. Varasto toimii niin, että ylimääräistä lämpöä, esimerkiksi aurinkokeräimien tuotannosta kesäajalla, varastoidaan myöhemmin hyödynnettäväksi. Mitä paremmin varasto on eristetty ja mitä pienempi lämpötilaero varaston keskilämpötilan ja sen ympäristön lämpötilan välillä on, sitä pidempään lämpö säilyy varastoituna. Näin ollen maanalainen varasto olisi tehokkaampi, koska maan keskilämpötila on korkeampi kuin ilman. Tällaisen energiavaraston profiili näkyy Kuvassa 30.



Kuva 30. Vesisäiliö lämmön kausivarastona, vasemmalla maanalainen ja oikealla maanpäällinen esimerkkikuva (lähde: SDH, 2012).

3.4.1 Aurinkolämmön ja säiliövaraston vaikutus alueen energiomavaraisuuteen

SunZED-konseptin mukaiset rakennukset saavuttavat noin 50-prosenttisen energian omavaraisuusasteen ilman aurinkolämpökeräimien asentamista. Toisaalta SunZED-konseptin mukaan sähköä menee 40 % enemmän viilennyksestä saadun lämmön kierrättämiseen (jos tämä tehdään lämpöpumpputekniikalla). Konseptin ideana on, että auringon lämpö päästetään sisään rakennukseen ja tarpeeton yllilämpö kierrätetään (lämpöpumpputekniikan avulla) hyötykäyttöön rakennuksen jäähdytysjärjestelmän avulla ja syötetään edelleen matalalämpötilaiseen kaukolämpöverkkoon. Kesäajalla syntynyt yllilämpö voidaan edelleen varastoida lämmön kausivarastoon tai ohjata viereisen Laajasalon asuinalueen käyttöön. Rakennuk-

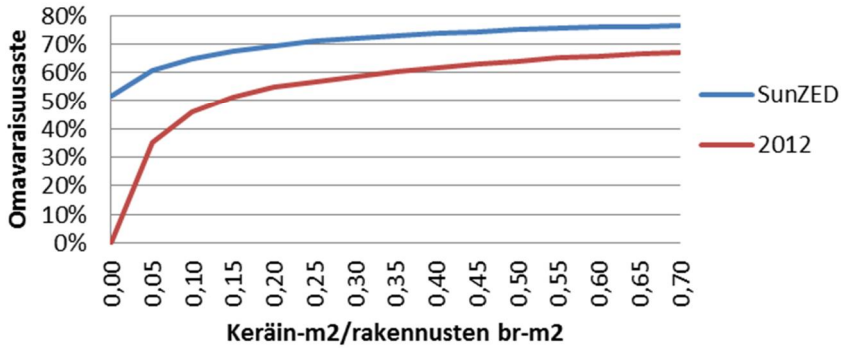
sisäkä käytetty jäähditysenergia on tuotettu lämpöpumpputekniikalla, jossa lämpöpumpun lämpökerroin (COP) on 1,7.

Kuva 31 kertoo alueen omavaraisuusasteen verrattuna 2012-lämmöntarpeeseen eli sen, kuinka suuri osa alueen vuotuisesta lämpöenergian-tarpeesta voidaan kattaa tietyllä määrällä aurinkolämpökeräimiä, kun rakennuksen energiatarve on joko vuoden 2012 määräysten tai SunZED-ratkaisun tasoa. SunZED-alueen lämmöntarve olisi siis jo alkutilanteessa puolet 2012-alueesta, jos alueelle ei ole sijoitettu aurinkokeräimiä. Matalalla lämpötilaverkolla voidaan hyödyntää paremmin varastoitu lämpöä, ja tämän lisäksi syntyy vähemmän lämpöhäviötä. Pelkästään aurinkokeräimiä lisäämällä ja niillä tuotetun aurinkolämmön kausivarastointikapasiteettia kasvattamalla ei saavuteta 100-prosenttista lämmön omavaraisuutta, mikä johtuu kausivaraston lämpöhäviöistä.

Kuva 32 esittää aurinkolämmön lisäämisen vaikutuksen alueen suhteelliseen lämpöenergian omavaraisuuteen, kun vuoden 2012 rakennuskannan omavaraisuus määritellään vuoden 2012 rakennuskannan lämmöntarpeen perusteella ja SunZED-järjestelmän omavaraisuusaste SunZED-ratkaisun mukaisella lämmöntarpeella. Kuvien 31 ja 32 erona on siis se, mihin lämmöntarpeeseen omavaraisuusaste on suhteutettu. Kuva 32 on "oikea" vertailukuva kahden eri rakennuskannan välillä, koska vertailtavana on juuri ko. rakennuskannan lämmitystarve. Kuvasta 32 nähdään, että vuoden 2012 rakennuskannalla omavaraisuusastetta voidaan kasvattaa enemmän kuin SunZED-konseptilla. Tähän on syynä se, että SunZED-konseptilla lämmitystarve on pienempi.

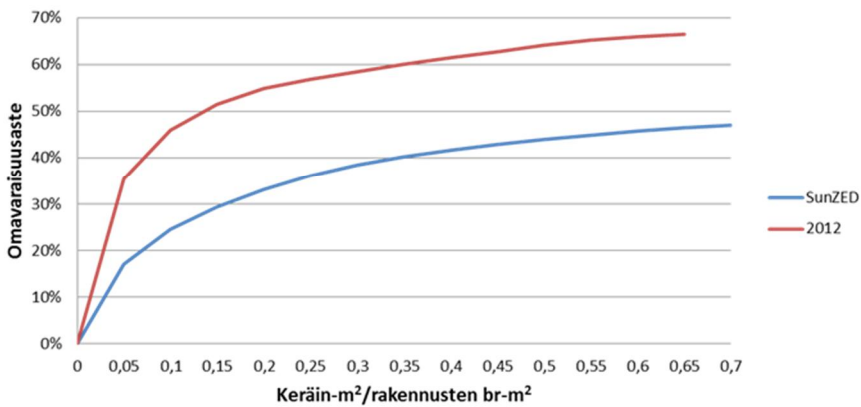
Omavaraisuusasteen laskennassa on käytetty seuraavia lähtötietoja: Lämpövaraston lämmönsiirtokerroinena (λ -arvo) on käytetty 0,034 W/mK ja eristyksen paksuutena 0,57 metriä. On oletettu, että lämpövarasto on sylinterimuotoinen ja sen dimensiot on optimoitu, jotta lämpöhäviöt saadaan mahdollisimman pieniksi (eli varaston pinta-alan ja tilavuuden suhde on minimoitu). Optimaalinen varastotilavuus vaihtelee 0,001–0,040 m³/k-m² riippuen (yhteensä 325–13 000 m³) aurinkolämpökeräimien suhteellisesta määrästä. Tällöin säiliön (eristeet mukaan lasketuna) vaatima maa-ala olisi 230–1060 m² (Taulukko 7). Korkeus olisi tässä tapauksessa sama kuin halkaisija, koska on valittu muoto, jossa tilavuuden suhde pinta-alaan on mahdollisimman iso. Sekä SunZED- että 2012-tapauksissa on oletettu, että loput tarvittavasta lämmöstä tuotetaan jollain muualla tuotantotekniikalla, esim. lämpökattilalla.

Aurinkokeräimien lisääminen vaikutus lämmön omavaraisuusasteeseen



Kuva 31. Aurinkolämpökeräimien lisäämisen vaikutus alueen lämpöenergian omavaraisuuteen verrattuna vuoden 2012 lämmöntarpeeseen.

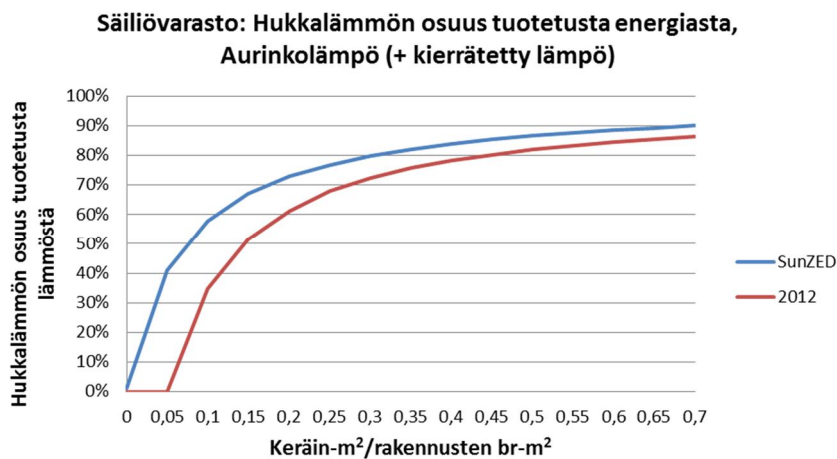
Aurinkokeräimien lisääminen vaikutus alueiden suhteelliseen lämmön omavaraisuusasteeseen



Kuva 32. Aurinkolämpökeräimien lisäämisen vaikutus alueen suhteelliseen lämpöenergian omavaraisuuteen säiliövaraston tapauksessa. Aurinkoenergian lisäämistä verrataan siis kulloinkin tarkasteltavaan kokonaislämmöntarpeeseen.

Kuva 33 esittää hukkalämmön osuutta tuotetusta lämmöstä. Vuoden 2012 rakennusmääräysten mukaisella rakennuskannalla koko aurinkolämpötuotanto voidaan kuluttaa alueella, jos aurinkokeräinten pinta-ala on alle 5 % alueen koko rakennuskannan bruttoalasta. Käytännössä tämä tarkoittaa, että silloin aurinkolämpöä ei

voida varastoida laisinkaan eli varastolle ei ole tarvetta, jos aurinkolämmön osuus on pieni. Sen sijaan SunZED-konseptilla varastoinnista hyödytään myös vähäisillä aurinkolämmön tuotantomäärillä.



Kuva 33. Säiliövaraston häviölämmön osuus tuotetusta lämmöstä.

Taulukko 7. Säiliövaraston maantarve aurinkokeräimien määrän suhteessa.

Säiliövaraston maantarve aurinkolämmön mukaan, m ²		
Aurinkokeräimien osuus Vartiosaaren kerrosalasta, m ² /br-m ²	Aurinkokeräimien pinta-ala, m ²	Säiliövaraston maantarve, m ²
0,05	16250	230
0,1	32500	460
0,15	48750	637
0,2	65000	790
0,25	81250	814
0,3 – 0,45	97500 - 146250	929
> 0,5	162500	1057

3.4.2 Säiliövaraston vaikutukset päästöihin

Aiemmin kuvattujen aurinkolämpö ja -sähköjärjestelmien vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin arvioitiin tapaukselle, jossa lämmön kausivarasto olisi myös osana alueen energiaratkaisua. Tässä on oletettu, että lämmön primäärinä energialähteenä olisi Helen Oy:n kaukolämpö vuonna 2030, jolloin päästöjen referenssilukui-
na on käytetty Helen Oy:ltä saatuja tietoja (Taulukko 8). Sähkön osalta luvut on

saatu Motivan (2015e) ja ympäristöministeriön (2013) esittämistä luvuista olettaen, että nuo luvut pienenevät 10 % vuoteen 2030 mennessä (Hirvonen, 2002).

Taulukko 8. Laskelmissa käytetyt päästöluvut.

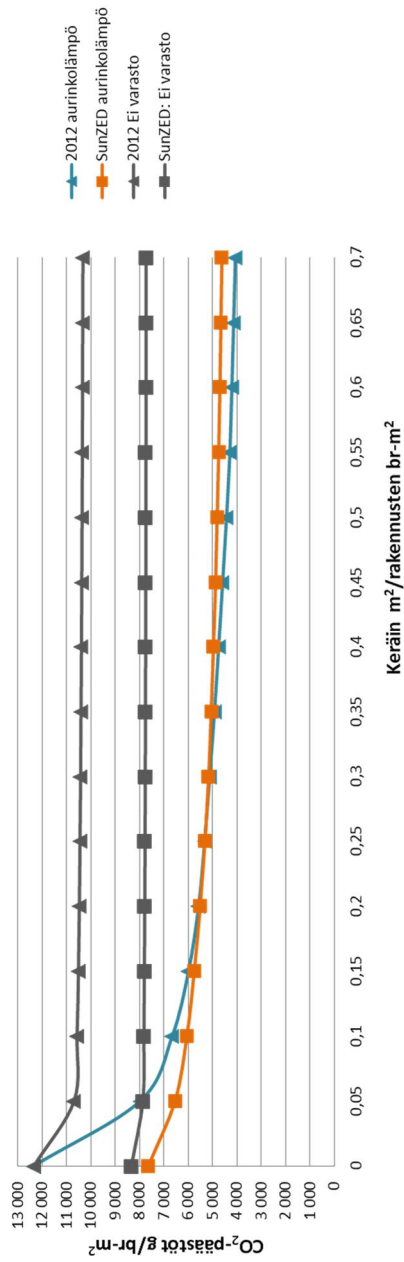
Päästöluvut, g/kWh			
	CO ₂	SO ₂	Pienhiukkaset
Lämpö	198	0,14256	0,00792
Sähkö	220	0,85748	0,034646

Seuraavat kuvat näyttävät, miten aurinkolämmön lisääminen vaikuttaa rakennusten lämmönkäytöstä syntyviin päästöihin, kun alueella on säiliövarasto ja kun sitä ei ole. SunZED-järjestelmän hiilidioksidipäästöt (Kuva 34) ovat kohtuullisen pienet ilman aurinkolämmön lisäämistäkin, mutta niitä voitaisiin pienentää edelleen noin 35 % lisäämällä aurinkokeräimiä ja hyödyntämällä säiliövarastoa. Mikäli SunZED-järjestelmää ei yhdistetä säiliövarastoon, aurinkolämmön lisäämisellä ei ole juurikaan vaikutusta alueen hiilidioksidipäästöihin. Vuoden 2012 määräysten mukaisella rakennuskannalla aurinkolämpöä lisäämällä ja säiliövarastoa hyödyntämällä hiilidioksidipäästöjä voidaan pienentää jopa 65 %. Jos vuoden 2012 rakennusmääräysten mukaisiin rakennuksiin ei yhdistetä säiliövarastoa, aurinkolämpökeräimiä ei hiilidioksidipäästöjen pienentämisen näkökulmasta kannata asentaa enempää kuin 5 % rakennusten bruttoalasta, jolloin hiilidioksidipäästöt pienenevät noin 10 %. Sen jälkeen lisääminen ei enää vähennä hiilidioksidipäästöjä, jos lämpöä ei voida varastoida säiliöön.

Vuoden 2012 määräysten mukaisella rakennuskannalla rikkidioksidipäästöt ovat merkittävästi pienemmät kuin SunZED-järjestelmällä sekä säiliövaraston kanssa että ilman varastoa (Kuva 35). Varaston kanssa 2012-rakennuskannan rikkidioksidipäästöt ovat jopa 70 % pienemmät kuin SunZED-konseptin mukaisen rakennuskannan päästöt. SunZED-järjestelmässä aurinkolämmön lisäämisen vaikutus rikkidioksidipäästöihin on suhteellisen pieni, mutta yhdistettynä säiliövarastoon SunZED-järjestelmän rikkidioksidipäästöjä voidaan pienentää noin 15 %. Ilman säiliövarastoa SunZED-järjestelmään ei rikkidioksidipäästöjen pienentämisen näkökulmasta kannata lisätä aurinkokeräimiä, jos järjestelmään ei liitetä säiliövarastoa. Vuoden 2012 rakennuskannalla aurinkolämpöä lisäämällä ja säiliövarastoa hyödyntämällä rikkidioksidipäästöjä voidaan vähentää jopa 65 %. Ilman säiliövarastoa rikkidioksidipäästöt eivät enää pienene vuoden 2012 rakennuskannalla sen jälkeen, kun aurinkokeräimiä on yli 5 % alueen rakennusten bruttoalasta, jos järjestelmässä ei ole mukana säiliövarastoa.

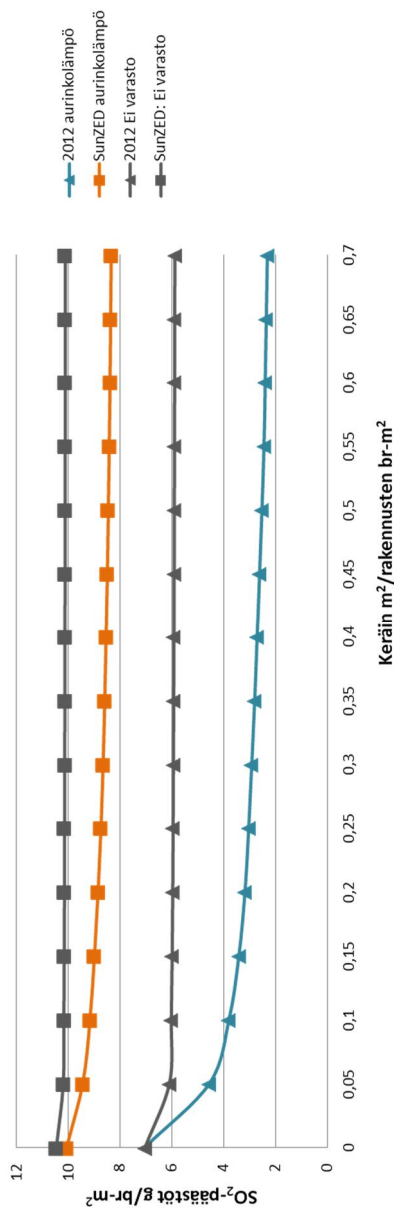
SunZED-järjestelmällä pienhiukkaspäästöt pienenevät merkittävästi aurinkolämmön lisäämisellä (Kuva 36). Jos aurinkokeräimiä on 5 % alueen rakennusten bruttoalasta ja hyödynnetään säiliövarastoa, SunZED-konseptin mukaisen alueen pienhiukkaspäästöt pienenevät noin 70 %. Ilman varastoa vähennys on hieman pienempi mutta samansuuntainen. Vuoden 2012 rakennuskannassa aurinkolämmön lisääminen varastoa hyödyntämällä pienentää pienhiukkaspäästöjä jopa yli 60 %, mutta ilman varastoa pienhiukkaspäästöjä voidaan pienentää vain vähän.

Aurinkolämmön lisäämisen vaikutus alueen CO₂-päästöihin (vesisäiliö)



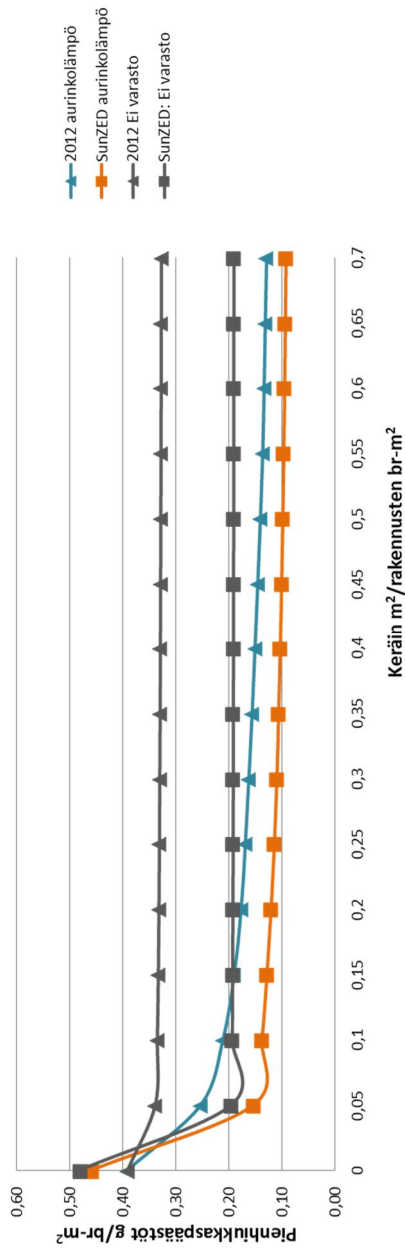
Kuva 34. Aurinkoenergian lisäämisen vaikutus rakennusten lämmityksen aiheuttamiin CO₂-päästöihin vesisäiliövaraston kanssa ja ilman varastoa.

Aurinkolämmön lisäämisen vaikutus alueen SO₂-päästöihin (vesisäiliö)



Kuva 35. Aurinkoenergian lisäämisen vaikutus rakennusten lämmityksen aiheuttamiin SO₂-päästöihin vesisäiliövaraston tapauksessa ja ilman varastoa.

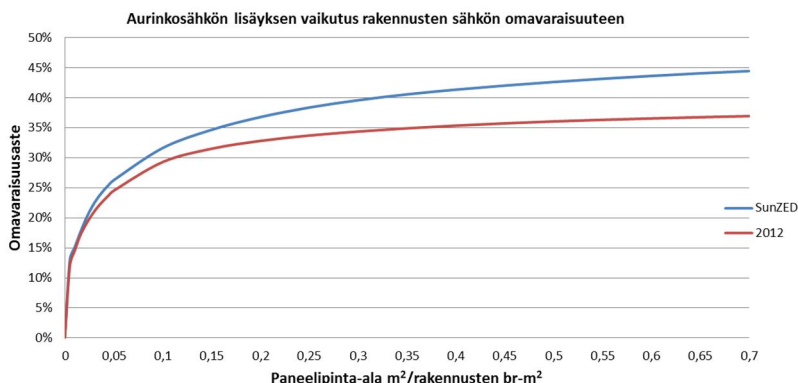
Aurinkolämmön lisäämisen vaikutus alueen pienhiukkaspäästöihin (vesisäiliö)



Kuva 36. Aurinkoenergian lisäämisen vaikutus rakennusten lämmityksen aiheuttamiin pienhiukkaspäästöihin vesisäiliövaraston tapauksessa ja ilman varastoa.

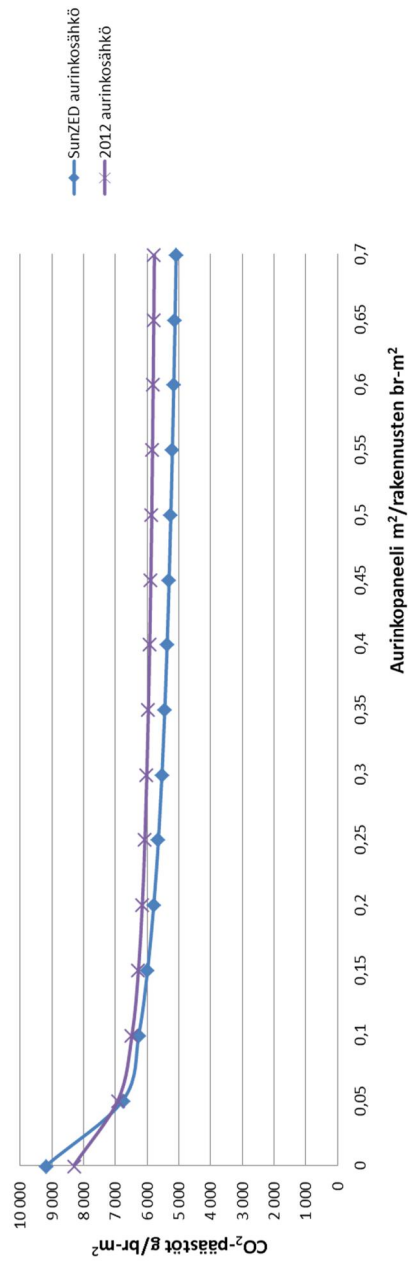
3.5 Aurinkosähkön lisäämisen vaikutus rakennusten sähköenergian omavaraisuuteen ja sähkökäytöstä syntyviin päästöihin

Aurinkosähkön omavaraisuus on laskettu siten, että tuntitasolla sähkön kulutuksesta on vähennetty aurinkosähkön tuotanto. On oletettu, että kaikki ylituotettu sähkö syötetään sähköverkkoon. SunZED-tapauksessa voidaan aurinkosähköllä parhaimmillaan päästä lähelle 50 %:a sähkön omavaraisuudessa, mutta 2012-tapauksessa vastaava luku on 40 % (Kuva 37). Osittain syynä tähän on ero rakennusten sähköntarpeessa, mutta SunZED-rakennukset myös kuluttavat merkittävän osan sähköntarpeestaan lämmön kierrättämiseen silloin, kun aurinko paistaa (jäähdytystarvetta) eli silloin kun aurinkoenergia on saatavilla (kulutus ja tarve kohtaavat toisiaan). Rakennukset eivät kuitenkaan saavuta 100 %:n omavaraisuusastetta, koska kulutus ja tuotanto eivät aina kohta toisiaan (pimeinä vuodenaikoina). Seuraavat kuvat (Kuva 38 – Kuva 40) näyttävät, miten aurinkosähkön lisääminen vaikuttaa rakennusten sähkökäytöstä syntyviin päästöihin. Ilman aurinkosähköä rakennusten sähkökäytöstä syntyvät päästöt ovat SunZED-konseptilla suurempia kuin vuoden 2012 rakennuskannalla. Aurinkosähköä lisäämällä voidaan alueen rakennusten sähkökäytöstä aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä vähentää SunZED-konseptissa noin 45 % ja vuoden 2012 vertailurakennuksilla noin 30 % (Kuva 38). Vastaavasti rikkidioksidipäästöjä voidaan aurinkosähköä lisäämällä vähentää SunZED-konseptissa noin 45 % ja vuoden 2012 vertailurakennuksilla noin 28 % (Kuva 39) sekä pienhiukkaspäästöjä SunZED-konseptissa noin 45 % ja vuoden 2012 vertailurakennuksilla noin 30 % (Kuva 40).



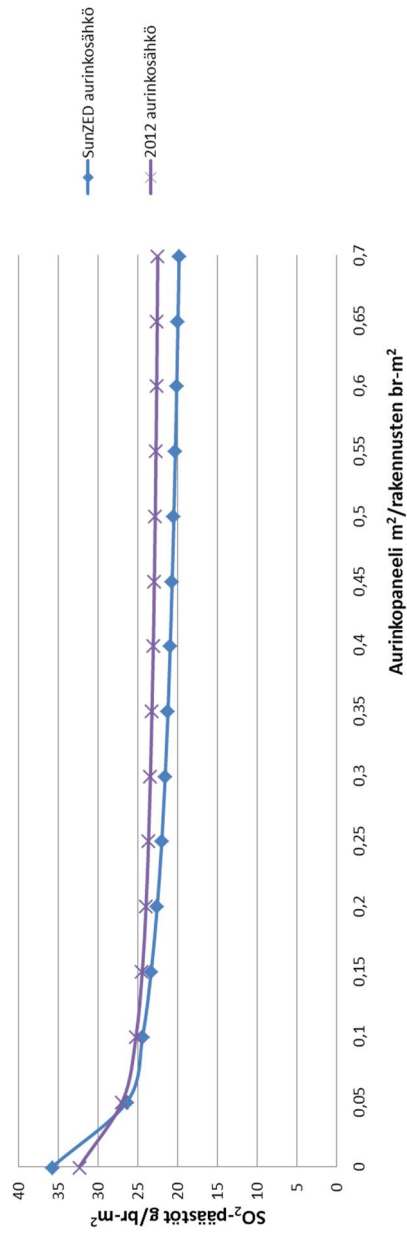
Kuva 37. Aurinkosähkön lisäyksen vaikutus rakennusten sähkön omavaraisuuteen.

Aurinkosähkön vaikutus rakennusten sähkökäytöstä syntyviin CO₂-päästöihin



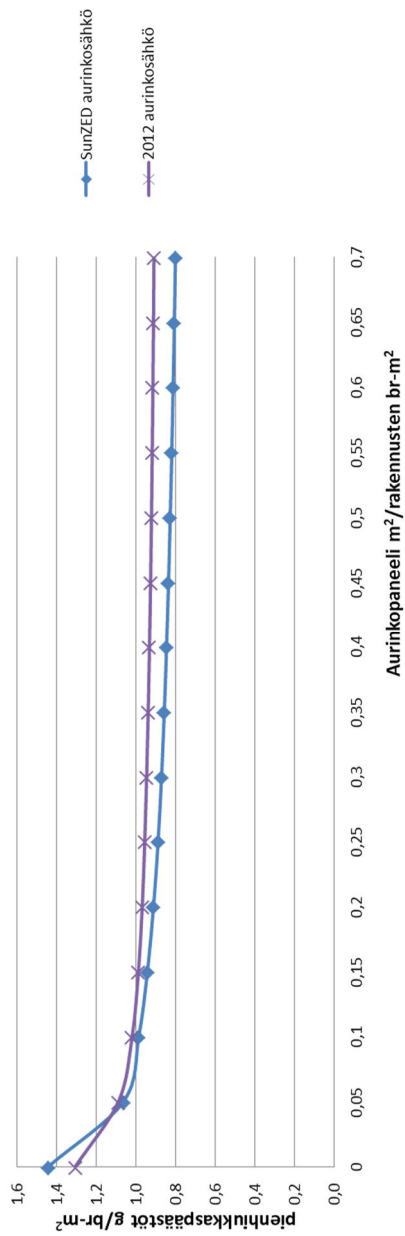
Kuva 38. Aurinkosähkön vaikutus rakennusten sähkökäytöstä syntyviin hiilidioksidi (CO₂) -päästöihin.

Aurinkosähkön vaikutus rakennusten sähkökäytöstä syntyviin SO₂-päästöihin



Kuva 39. Aurinkosähkön vaikutus rakennusten sähkökäytöstä syntyviin rikkidioksidi (SO₂) -päästöihin.

Aurinkosähkön vaikutus rakennusten sähkönkäytöstä syntyviin pienhiukkaspäästöihin



Kuva 40. Aurinkosähkön vaikutus rakennusten sähkönkäytöstä syntyviin pienhiukkaspäästöihin.

4. Tulosten soveltaminen

Vartiosaassa mahdollisia energiaratkaisuja ovat tyypillisen kaukolämmön ja -jäähdytyksen lisäksi muun muassa paikallinen ja uusiutuva energiantuotanto, kuten aurinkosähkö ja -lämpö. Energiaratkaisussa voi olla mukana energiavarastoja esim. lyhyt- tai pitkäaikaiseen energianvarastointiin. Tässä raportissa käsitellään erityisesti lämpöenergian kausivarastointia, jolla voidaan varastoida esimerkiksi kesäajalla tuotettua aurinkolämpöä talvea varten.

Tässä luvussa esitellään, miten edellä esitettyjä energialaskentatuloksia voidaan hyödyntää alueen suunnittelussa. Tämän voi siis tehdä samanaikaisesti, kun suunnitelmaa työstetään, jotta se tukisi päätöksentekoa (rakennustyyppi, aurinkotuotannon määrä, varastojen maantarde jne.) suunnitteluprosessin aikana. Lisätietoja ja yleisiä ideoita alueen energiasuunnitteluun on kuvattu myös Liitteessä A.

4.1 Alue toteutettuna sekatyypisesti

Tässä esimerkissä alueen rakennuksista 80 % on SunZEB-rakennuksia ja 20 % vuoden 2012 määräysten mukaisia rakennuksia. Alue on sekatyypinen myös sillä tavalla, että siellä hyödynnetään molempia esitettyjä varastointiratkaisuja. Taulukko 9 esittää laskelman vaihe vaiheelta. Taulukon jälkeen on kerrottu lisätietoja laskelmien tekemisestä viitaten taulukon rivinumeroihin.

Taulukko 9. Esimerkkisuunnitelma raportin tulosten avulla.

Esimerkkisuunnittelu raportin tulosten avulla			
Rivinro		SunZED	2012
1	Rakennusten määrä koko alueesta, %	80 %	20 %
2	Alueen rakennusten brutto-ala, m ²	260 000	65 000
3	Lämmöntarve, kWh	6 682 000	4 381 000
4	Sähköntarve, kWh	12 064 000	2 697 500
5	Aurinkolämmön määrä, aurinkokeräimen pinta-ala m ² /rakennus br-m ²	0,05	0,2

6	Lämpövaraston valinta	Porareikä	Säiliö	Porareikä	Säiliö
7	Rakennusten määrä liitettynä tiettyyn lämpövarastoon, %	70 %	30 %	50 %	50 %
8	Varastotekniikan maatarve, m ²	8554	55,2	2 177,5	81,4
9	Jäljelle jäävä (= muulla tekniikalla toteutettava) lämmöntarve, kWh/a	3 180 632	801 840	15 600	1 007 630
10 Rakennusten lämmönkäytöstä syntyvät päästöt					
11	CO ₂ , g/a	700 700 000	507 000 000	15 600 000	195 000 000
12	SO ₂ , g/a	2 438 800	741 000	607 750	123 500
13	Pienhiukkaset, g/a	109 200	11 700	7 962,5	24 375
14 Rakennusten sähkökäytöstä syntyvät päästöt					
15	Aurinkosähkön määrä, paneeli-m ² /rakennus br-m ²	0,2		0,05	
16	Jäljelle jäävä (= muulla tekniikalla toteutettava) sähköntarve, kWh/a	7 600 320		2 050 100	
17	CO ₂ , g/a	1 599 000 000		487 500 000	
18	SO ₂ , g/a	1 456 000		403 000	
19	Pienhiukkaset, g/a	78 000		22 750	
20 Aluelukuja					
21	Lämmöntarve, kWh/br-m ² /a	15,4			
22	Lämmön omavaraisuus %	54,8 %			
23	Sähköntarve, kWh/br-m ² /a	29,7			
24	Sähkön omavaraisuus %	34,6 %			
25	CO ₂ , t/a	11 216			
26	SO ₂ , t/a	17,8			
27	Pienhiukkaset, t/a	0,8			
28	Lämpövaraston maa-alan tarve, m ²	10 866			

Rivit 1–2: Ensin määritetään, miten paljon mitäkin rakennustyyppiä on sijoitettu alueelle. Esimerkissä rakennusten yhteinen bruttopinta-ala on 325 000 m², josta 80 % on SunZED-tyyppisiä rakennuksia ja loput 2012-tyyppisiä. Tässä voi myös käyttää muita rakennustyyppisiä, jos niiden ominaiskulutukset ovat tiedossa, soveltaen esimerkiksi 2012-tyypisen rakennuksen tuloksia.

Riveillä 3 ja 4 lasketaan rakennusten alkuperäinen lämmön- ja sähköntarve kertomalla näiden ominaiskulutus (Taulukko 6) vastaavasti bruttopinta-alojen kanssa. Esimerkkinä rivi 3/SunZED:

$$47 \text{ kWh/m}^2/\text{a} \times 2600000 \text{ m}^2 = 122200000 \text{ kWh/a}$$

Rivillä 5 pitää määrittää, kuinka monta neliometriä aurinkolämpökeräimiä lisätään per neliometri bruttopinta-ala. Tämä siis määrittää näiden rakennusten lämmönomavaraisuuteen ja lopullisesti lämmönkäytöstä syntyvien päästöjen määrän. Esimerkissä on valittu 0,05 keräin-m²/rakennus br-m² SunZED-rakennuksille ja 2012-rakennuksille vastaavaksi määräksi 0,2.

Rivi 7: Tässä valitaan, kuinka iso osuus mitäkin rakennustyyppiä on kytketty mihinkin lämpövarastotekniikkaan. Esimerkissä puolet 2012-rakennusten bruttopinta-alasta on kytketty porareikävarastoon ja toiset jonkinlaiseen säiliövarastoon.

Rivi 8: Seuraavaksi lasketaan lämpövarastojen vaativa maa-ala. Säiliövaraston tapauksessa voidaan myös käyttää avuksi Taulukkoa 7. Porareikävaraston maa-alan tarve tapauksessa voisi olla (ks. kpl 3.3, $15260/325000=$) 0,047 m²/br-m² SunZED-rakennuksille ja 0,067 2012-rakennuksille. Esimerkkinä 2012-porareikä-tapauksessa on laskettu:

$$650000 \times 0,5 \times 0,067 = 2178 \text{ (rivi 2} \times \text{rivi 7} \times \text{kerroin 2012)}$$

Ja vastaavasti 2012-säiliövaraston osalta:

$$0,2 \times 0,5 \times 814 = 81,4 \text{ (rivi 1} \times \text{rivi 7} \times \text{Taulukko 7 (2012, aurinko:0,2))}$$

Rivi 9 tarkoittaa rakennustyyppien jäljelle jäävää lämmöntarvetta sen jälkeen, kun aurinkolämmöntuotanto ja vastaava varastotekniikka on yhdistetty. Tämä laskeaan käyttämällä apuna Kuvaa 32. Esimerkiksi kun halutaan laskea luku SunZED-bruttopinta-aloille, jotka on yhdistetty porareikävarastoon:

$$6682000 \times 0,7 \times (1 - 0,32) = 5816720 \text{ (rivi 3} \times \text{rivi 7} \times (1 - \text{Kuva 32 (SunZED, aurinko:0,05))}$$

Rivit 11, 12 ja 13 on laskettu niin, että kerrotaan bruttopinta-alamäärä vastaavan varastotekniikka-aurinkolämpöfunktiosta saadun arvon kanssa (Kuva 27 – Kuva 29 ja Kuva 34 – Kuva 36). Esimerkiksi CO₂-määrä, joka syntyy 2012-porareikä-rakennusten lämmönkäytöstä, on laskettu:

$$65000 \times 0,5 \times 48000 = 156000000 \text{ (rivi 2} \times \text{rivi 7} \times \text{Kuva 27 (aurinko:0,2))}$$

Riveillä 16–19 lasketaan sähkölle vastaavia arvoja kuin lämmölle rivillä 15 määritetyn aurinkosähkön määrän mukaan. Tässä tapauksessa ei tarvitse ottaa huomioon enää lämmönvarastotekniikkaa, vaan voi käyttää suoraan arvoja kuvista 37 - 40. Esimerkki, miten rivit 16 ja 17 on laskettu SunZED-osuudelta:

$$12064000 \times (1 - 0,37) = 7600320 \text{ (rivi 4} \times (1 - \text{Kuva 37 (SunZED, aurinko:0,2))}$$

$260000 \times 6150 = 1599000000$ (rivi 2x(1-Kuva 38(SunZED, aurinko:0,2))

Lopuksi lasketaan alueen keskiarvot, jotta eri aluesuunnitteluita voitaisiin helpommin verrata keskenään:

Rivi 21 on laskettu niin, että rivin 9 summa (kaikki lämmöntarpeet) jaetaan rivin 2 summan (kaikki bruttopinta-ala alueella) kanssa:

$$5005702 \div 325000 = 15,4 \text{ (rivi 9 summa)} \div \text{(rivi 2 summa)}$$

Rivi 22 on laskettu niin, että jaetaan rivin 9 summa rivin 3 summan kanssa:

$$5005702 \div 11063000 = 0,55 \text{ (rivi 9 summa)} \div \text{(rivi 3 summa)}$$

Rivi 23 on laskettu niin, että rivin 16 summa jaettu rivin 2 summan kanssa:

$$9650420 \div 325000 = 29,7 \text{ (rivi 16 summa)} \div \text{(rivi 2 summa)}$$

Rivi 24 on rivin 16 summa jaettuna rivin 4 summan kanssa:

$$9650420 \div 14761500 = 34,6 \text{ (rivi 16 summa)} \div \text{(rivi 4 summa)}$$

Rivit 25–27 on laskettu niin, että summataan kaikki yksittäiset päästöt ja jaetaan saatu summa koko alueen bruttopinta-alan kanssa:

$$(159000000 + 487500000) \div 325000 = 11216 \text{ (CO}_2\text{)} \text{ (rivi 11 summa + rivi 17 summa)} \div \text{(rivi 2 summa)}$$

4.2 Alue yhdellä ratkaisulla toteutettuna

Tässä esimerkissä kaikki Vartiosaaren rakennukset ovat SunZEB-tyyppisiä (Taulukko 10). Koko alueen ($325\,000 \text{ m}^2$) lämmöntarve on siis $8\,352\,500 \text{ kWh}$ ja sähköntarve $15\,080\,000 \text{ kWh}$, ja nämä arvot saadaan kertomalla brutto-ala taulukossa (Taulukko 6) esitettyjen lukujen kanssa.

Tämän jälkeen määritetään, että alueelle tulee sijoittaa aurinkokeräimiä 5 % rakennusten kokonaisbruttoalasta (rivi 5). Samalla valitaan, että kaikki rakennukset on kytketty säiliövarastotekniikkaan (rivi 7). Näin saadaan, että alueen jäljelle jäävä lämmöntarve (rivi 10) olisi alkuperäinen lämmöntarve (rivi 3), josta on vähennetty aurinkokeräimien aiheuttama lisäys lämmönomavaraisuuteen (Kuva 32) eli:

$$8352500 \times (1 - 0,17) \times 1$$

$$= 6932575 \text{ (rivi 3} \times (1 - \text{suht. lämmönomav.}) \times \text{rivi 7}_{\text{säiliö}})$$

Päästöt saadaan kertomalla brutto-ala päästökertoimien kanssa. Tässä tapauksessa käytetään vesisäiliön kertoimia, koska tämä oli valittu koko alueelle. Esimerkiksi CO₂-päästöjen laskenta (rivi 11):

$$325\,000 \times 6547 \times 1 = 2\,127\,750\,000 \text{ (rivi 2} \times CO_{2\text{säiliö}0,05} \times \text{rivi 7}_{\text{säiliö}})$$

Tämän jälkeen valitaan, että alueelle tulee sijoittaa aurinkosähköpaneeleja 10 % rakennusten brutto-alasta (rivi 15). Tällöin alue tuottaa itse noin 31 % rakennusten tarvittavasta sähköstä (Kuva 37). Näin voidaan laskea, että lopullinen sähköntarve olisi:

$$1\,508\,000 \times (1 - 0,31) = 1\,031\,472 \text{ (rivi 4} \times (1 - \text{suht. sähkönomav.}))$$

Vastaavasti kuin rakennusten lämmönkäytöksestä syntyvät päästöt, voidaan sähkönkäytön aiheuttamat päästöt laskea käyttämällä kuvia 35–37. SO₂-päästöjen arvot oli laskettu seuraavasti (rivi 18):

$$325\,000 \times 24,8 = 8\,060\,000 \text{ (rivi 2} \times SO_{2\text{sähkö}0,1})$$

Lopuksi summataan yhteen päästöluvut lämmön- ja sähkönkäytöstä. Näin saatavia lukuja voidaan käyttää eri alueiden vertailussa. Samaa menetelmää voi soveltaa myös, jos alueelle tulee erilaisia rakennustyyppisiä ja varastotekniikkaa. Silloin pitää laskea päästöt eri rakennustyyppien brutto-alojen suhteessa koko alueen brutto-alan mukaan. Esimerkiksi jos alueelle tulee 40 % SunZEB-rakennuksia, 50 % vuoden 2012 rakennuksia ja 10 % muita rakennuksia, tulee näiden kaikkien päästöt laskea niiden osuuksien mukaisesti. Muiden rakennusten osalta voisi käyttää 2012-rakennusten päästölujuja kerrottuna energiatarpeiden suhteella ($\frac{\text{Lämmöntarve}_{2012}}{\text{lämmöntarve}_{\text{muu}}} \times \text{Päästö}_{2012}$). Tämä vaatisi siis, että muiden rakennusten energiatarpeet ovat tiedossa.

Taulukko 10. Yksinkertainen esimerkkilaskelma raportin tulosten perusteella.

Esimerkkisuunnitelma raportin tulosten avulla			
Rivi-nro		SunZED	
1	Rakennusten määrä koko alueesta, %	100 %	
2	Alueen rakennusten brutto-ala, m ²	325 000	
3	Lämmöntarve, kWh	8352500	
4	Sähköntarve, kWh	15080000	
5	Aurinkolämmön määrä, keräin-m ² /rakennusten br-m ²	0,05	
6	Lämpövaraston valinta	Porareikä	Säiliö
7	Rakennusten määrä liitettynä tiettyyn lämpövarastoon, %	0 %	100 %
8	Varastotekniikan maatarve, m ²	0	230

9 Rakennusten lämmönkäytöstä syntyvät päästöt			
10	Jäljelle jäävä (= muulla tekniikalla toteutettava) lämmöntarve, kWh/a	0	6932575
11	CO ₂ , g/a	0	2127775000
12	SO ₂ , g/a	0	3071250
13	Pienhiukkaset, g/a	0	321750
14 Rakennusten sähkönkäytöstä syntyvät päästöt			
15	Aurinkosähkön määrä, paneeli-m ² /rakennusten br-m ²	0,1	
16	Jäljelle jäävä (= muulla tekniikalla toteutettava) sähköntarve, kWh/a	10314720	
17	CO ₂ , g/a	2028325000	
18	SO ₂ , g/a	8060000	
19	Pienhiukkaset, g/a	97500	
Vuositteiset päästöt yhteensä, t/a			
	CO ₂ , t/a	4156,1	
	SO ₂ , t/a	11,1	
	Pienhiukkaset, t/a	0,4	

5. Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämä selvitys on Vartiosaaren osayleiskaavan ja ”Vartiosaari – Asumista kaikille!” -suunnittelukilpailun tausta-aineistoa. Raportti käsittelee alueellisia energijärjestelmiä kuvaten ensin energiantuotantovaihtoehtoja yleisesti ja keskittyen sitten Helsingin Vartiosaaren alueellisiin energiatarkasteluihin. Esitetyt tyyppiratkaisut ja tarkasteluperiaatteet ovat kuitenkin sovellettavissa muuallekin.

Vuoden 2020 loppuun mennessä kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennukset kuluttavat hyvin vähän energiaa. Lisäksi tämä pieni energiantarve tulisi mahdollisimman pitkälle tuottaa uusiutuvalla energialla. On tulkinnanvaraista, missä tämä uusiutuva energia pitäisi ja missä sitä olisi järkevä tuottaa. Jos tämä energia tuotetaan aluetasolla esim. kokonaisten asuinalueiden tarpeisiin, voidaan saavuttaa monia etuja eikä yksittäisille rakennuksille aseteta kohtuuttomia vaatimuksia. Toisaalta on kuitenkin kaikkien etu, jos rakennukset suunniteltaisiin toimimaan tehokkaasti osana alueellista energijärjestelmää.

5.1 Yleisiä hyvän energiasuunnittelun periaatteita

Hyvän aluetason energiasuunnittelun lähtökohtana on

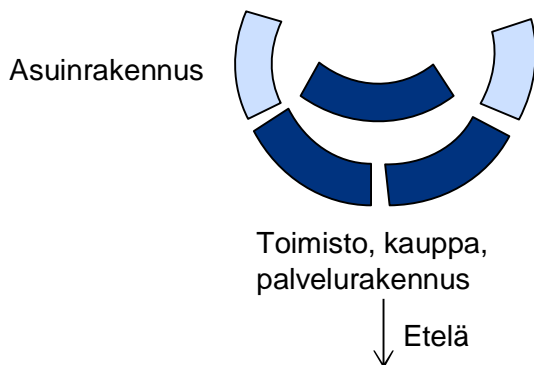
1. minimoida energiantarve, perustuen energiatehokkaaseen rakentamiseen ja kaupunki-infrastruktuuriin, mutta viihtyisyydestä tinkimättä
2. tehokas energiantuotanto, perustuen esimerkiksi kaukolämpöön ja -jäähdytykseen ja/tai uusiutuviin paikallisiin energialähteisiin.

Kaukolämpö ja -jäähdytys ovat yleisesti luotettavia ja kohtuuhintaisia ratkaisuja. Uusiutuvan energian osuutta, alueen energiaomavaraisuutta ja aiheutuneiden päästöjen pienentämistä voidaan tukea valitsemalla uusiutuvia, paikallisia energialähteitä, kuten aurinkolämpöä ja -sähköä, tuulienergiaa ja maa- ja vesilämpöpumpuja. Niillä on kuitenkin omat rajoitteensa aluesuunnittelulle. Esimerkiksi aurinkoenergian tuotantoa tukisi, jos rakennukset voitaisiin sijoittaa suotuisasti. Rakennusten katto- ja julkisivupintoja voitaisiin käyttää aurinkopaneelien tai -keräinten asennuspintoina, jos ne suuntautuisivat etelään (tai kaakko-lounas-suuntaan) eikä niiden edessä olisi suuria varjostavia kohteita. Aurinkoenergian tuotannon kannalta optimaalisinta olisi, jos nämä pinnat olisivat noin 40–50° kulmassa vaakatasosta.

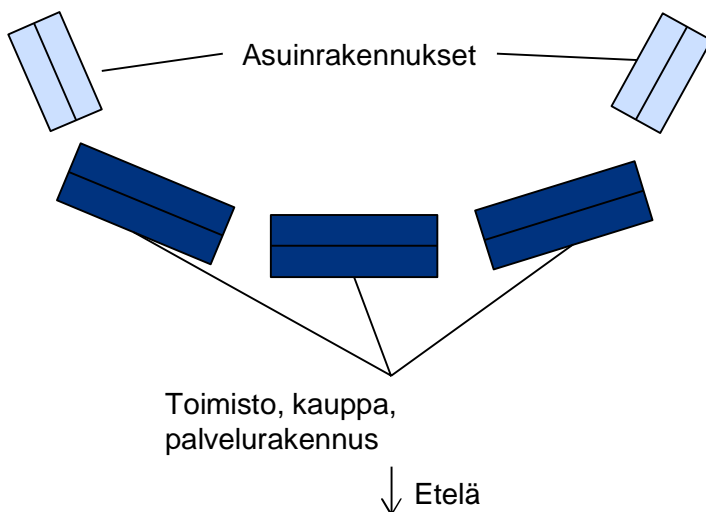
Selvityksen yhtenä tavoitteena oli ottaa kantaa rakennusten massoitteeluun ja suuntauksiin eri energiaratkaisuvaihtoehdoilla. Tavoiteltaessa vähäpäästöisempää aluetta seuraavat yleisperiaatteet tukevat energiatehokasta aluesuunnittelua:

1. Rakennusryhmien aurinkoenergian tuotantoon sopivien kattojen ja julkisivujen suuntaus etelän suuntaan (kaakko–lounas-välillä) siten, että se mahdollistaa aurinkoenergian hyödyntämisen parhaiten eri aikoihin erityyppisissä rakennuksissa silloin, kun niiden energiantarvekin on suurin. Esimerkiksi toimistorakennukset, kaupat ja palvelurakennukset kannattaisi suunnata suoraan etelään, jolloin ne saavat parhaiten aurinkoenergiaa keskipäivällä, jolloin ne myös käyttävät energiaa alueella. Asuinrakennukset puolestaan kannattaisi suunnata lounaaseen ja kaakkoon, jolloin ne hyödyntäisivät eniten aamu- ja ilta-auringosta saatua energiaa ja se kohtaisi paremmin asuinrakennukset niiden energiankäytön aikoihin. Näin suunnitellusta rakennusten suuntauksesta on esimerkit, ks. Kuva 41 ja Kuva 42.

Jos rakennusten katot suunnataan aurinkoenergian tuotannon kannalta optimaalisesti, on tärkeää ottaa huomioon passiiviset jäähdytysratkaisut etenkin nykytason 2012-tyyppisten rakennusten suunnittelussa ja toteuttamisessa. Näin voidaan välttää kesäajan ylitämpöongelmat.

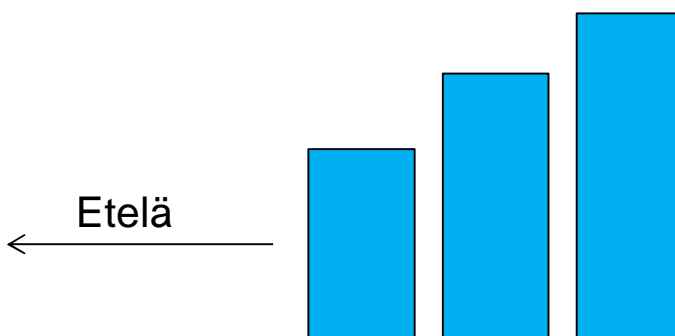


Kuva 41. Esimerkkikuva erityyppisten rakennusten suuntaamisesta, jolla aurinkoenergian tuotanto saadaan samaan aikaan energiantarpeen kanssa.



Kuva 42. Toinen esimerkki rakennusten suuntaamisesta, joka tukee aurinkoenergiatuotantoa oikeaan aikaan.

2. Rakennusten korkeus etelästä pohjoiseen nousevalla profiililla, jolloin niiden katoille asetetut aurinkokeräimet tai -paneelit eivät varjosta pohjoisempaa olevia kattopintoja.



Kuva 43. Esimerkkikuva rakennusten korkeuden suunnittelusta.

3. Rakennukset kannattaa sijoittaa niin, että kaukolämpöverkkojen rakentaminen ja huoltaminen sekä lämmönjakelukeskuksien sijoitus olisivat mahdollisimman kustannustehokkaita. Esimerkiksi mahdollisimman montaa rakennusta pystyttäisiin lämmittämään ja jäähdyttämään samasta lämmönjakelukeskuksesta. Lämmönjakokeskuksen ja rakennusten väliset lämmönsiirtoputket kannattaa sijoittaa niin, ettei niiden huolto häiritse liikennettä tai ihmisten liikkumista.

4. Tonttien rajojen määrittäminen siten, että sähkön siirto erityyppisten rakennusten välillä ei vaatisi erillistä siirtomaksua paikalliselta energiaverkon omistajalta. Tämä helpottaisi aurinkosähkön siirtoa (ja sen myyntiä) lähemmäksi olevien erityyppisten rakennusten välissä ja parantaisi siten aurinkosähköinvestointien kannattavuutta. Idea pohjautuu siihen, että aurinkosähkö kannattaisi hyödyntää lähellä tuotantopistettä. Jos esimerkiksi asuinrakennuksen katolla on aurinkosähköpaneeleita ja ne on suunnattu suoraan etelään, niiden paras sähköntuottoaika on keskipäivällä, jolloin asuinrakennuksissa on tyypillisesti vähemmän kulutusta kuin aamulla tai illalla. Siksi voisikin olla kokonaisenergiatarkastelun ja investoinnin kannalta edullista, jos lähellä olisi erityyppinen rakennus (esim. toimisto), jossa olisi enemmän energiantarvetta päivällä.

5.2 Vartiosaaren energiatarvinnan yhteenveto

Vartiosaaren energiatarvinnan tutkimuksessa tutkittiin aluetason energiavirtoja ja niiden hyödyntämistä rakennuksissa painottuen lämmitys-, jäähdytys- ja sähkökäytön profiileihin. Erityisenä painopisteenä olivat aurinkolämmön kausivarastointiratkaisut osana alueellista energiasuunnittelua. Lämmön jako tapahtui tarkasteluissa kaukolämpöverkon kautta lämmön tuotantotavasta riippumatta. Tarkasteluihin valittiin energialähteet, jotka olisivat todennäköisimmät Vartiosaarelle. Tähän vaikuttaa se, mitä energialähteitä löytyy lähiympäristöstä.

Vartiosaaren alueen energiatarvinnan ja -virrat analysoitiin kahdella eri rakennuskannalla: SunZEB-rakennuksilla ja vuoden 2012 määräysten mukaisilla rakennuksilla. SunZEB-rakennukset kuluttavat 2012-rakennuksiin verrattuna vähemmän lämpöä. SunZEB-aluekonseptin mukaiset rakennukset tarvitsevat vähemmän lämpöä, koska rakennuksiin kerääntynyt lämpö otetaan takaisin käyttöön viilenyksen avulla. Tämä tosin edellyttää, että rakennukset on liitetty myös kaukojäähdytykseen. Vartiosaaren alueen lämmöntarpeita vertailtiin myös uudehkojen helisinkiläisten alueiden mitattuihin lämmönkulutuksiin. SunZED-rakennusten lämmöntarve on noin puolet näiden vertailualueiden lämmöntarpeesta. Vertailualueet on käytännössä pääosin toteutettu vuoden 2007 rakennusmääräysten mukaisiksi.

Energiatarvinnan tutkimuksessa arvioitiin alueellisen uusiutuvan energian hyödyntämispotentiaali sekä järjestelmien tilantarpeet. Ensiksi tutkittiin, miten aurinkolämmön lisääminen vaikuttaisi Vartiosaaren lämpöenergian omavaraisuusasteeseen, kun ylimääräinen aurinkolämpö kausivarastoitaisiin porareikävarastoon tai säiliövarastoon. Näiden aurinkolämpökeräinten suhteellisten osuuksien tuloskuvia voidaan tulkita siten, että valitaan omavaraisuusasteen näkökulmasta käyrän jyrkintä taiteipistettä vastaava kohta, josta nähdään vastaavasti tarvittava aurinkolämpökeräinten määrä ja lämmön omavaraisuusaste. Sekä porareikävaraston että säiliövaraston tapauksissa aurinkokeräinten optimaalinen pinta-ala koko alueelle olisi 5 % alueen rakennusten kokonaiskerrosalasta, ja silloin alueen energiaomavaraisuus nousisi lämpöenergian osalta jo yli 30 prosenttiin.

Jos koko Vartiosaaren lämmöntarve tuotettaisiin maalämpöpumppujärjestelmällä, joka toimisi myös optimaalisesti mitoitettun (keräinpinta-alaa 5 % bruttoalasta) aurinkolämmön kausivarastona, porareikäkentän tilantarve olisi noin 20 000 m². Porareikäkenttä voitaisiin sijoittaa Vartiosaareen esimerkiksi yhtenä isona alueena tai muutamana porareikäryhmänä, esim. 20 ryhmänä, joiden jokaisen ryhmän tilantarve olisi 1 000 m². Näitä porakaivokenttien alueita voitaisiin samanaikaisesti hyödyntää esimerkiksi puistoalueena tai pysäköintialueena (ja/tai mahdollisesti asentaa ne rakennusten perustukseen energiapaaluna). Jos sama määrä aurinkokeräimiä puolestaan yhdistettäisiin vesisäiliövarastoon (ja loput energiantarpeesta tulisi kaukolämmöstä), vesisäiliön tilantarve olisi noin 230 m² ja sen korkeus olisi noin 8 metriä. Yhden suuren vesisäiliön sijaan sama varastotilavuus voitaisiin jakaa useisiin pienempiin vesisäiliöihin esimerkiksi rakennuksiin sijoitettuna.

Selvityksen yhtenä tavoitteena oli arvioida eri energiaratkaisujen päästövaikutukset. Päästölaskennassa mukana tarkastelussa olivat hiilidioksidi- ja rikkidioksidipäästöt, joiden ympäristövaikutukset vaikuttavat kansallisella tasolla, sekä pienhiukkaspäästöt (vaikuttavat paikalliseen ilmanlaatuun). Käyttämällä lämpövarastoratkaisuja alueen rakennusten lämmityksen aiheuttamia päästöjä voidaan vähentää merkittävästi. Esimerkiksi jos aurinkolämpöä varastoitaisiin porareikävarastoon, hiilidioksidipäästöjä voitaisiin vähentää 2012-määräysten mukaisesti rakennetulla alueella alkutasosta 9 kg_{CO2} noin 4 kg_{CO2}:aan rakennuksen bruttoalaa (m²) kohden, eli vähennys olisi yli 50 % (Kuva 27). SunZED-tyyppisellä alueella puolestaan vastaava mahdollinen vähennys olisi alkutilanteen reilusta 5 kg_{CO2}:sta noin 3 kg_{CO2}:aan rakennuksen bruttoalaa (m²) kohden eli yhteensä noin 40 %. Näistä alkutilanteen luvuista nähdään myös 2012-tyyppisen ja SunZED-alueen välinen päästöero alkutilanteessa, ennen kuin otetaan lämpövarastointia käyttöön. SunZED-alueen päästöt ovat ilman energiavarastojen käyttöä noin 40 % pienemmät kuin 2012-alueella.

Kun lämpö kausivarastoidaan porareikäkenttään SunZED-alueella, järjestelmän kaikki päästöt (hiilidioksidi, rikkidioksidi ja pienhiukkaspäästöt) ovat pienempiä kuin vuoden 2012 määräyksillä rakennetulla alueella. Vesisäiliövaraston tapauksessa SunZED-järjestelmän hiilidioksidi- ja pienhiukkaspäästöt ovat pienempiä kuin 2012-vertailutapauksen, mutta sen rikkidioksidipäästöt ovat suurempia, koska järjestelmä käyttää enemmän sähköä. Vesisäiliövaraston tapauksessa hiilidioksidin päästövähennys on noin 50 % 2012-tyyppisellä alueella (lähtötilanteen 12 kg_{CO2} verrattuna 6 kg_{CO2}:aan tilanteessa, jossa aurinkolämpökeräinpinta-ala olisi yhtä iso kuin 10 % rakennusten bruttoalasta). SunZED-alueella vastaava päästövähennys olisi lähtötilanteen 7,6 kg_{CO2}:sta noin 6 kg_{CO2}:aan, eli hiilidioksidipäästöt vähenisivät 21 %. Vesisäiliövaraston tapauksessa 2012-rakennusmääräysten mukaisen alueen lämmönkäytöstä syntyneet CO₂-päästöt olisivat pienemmät kuin SunZED-konseptin mukaisella alueella, kun aurinkolämpökeräinten pinta-ala on suurempi kuin 35 % rakennusten bruttoalasta (Kuva 34). Tämä johtuu siitä, että alkutilanteessa SunZED-alueella hiilidioksidipäästöt ovat pienemmät (7,6 kg_{CO2} rakennuksen bruttoalaa kohden) kuin 2012-alueella (12,2 kg_{CO2}). Kun näille alueille aletaan lisätä aurinkolämmön tuotantoa, hiilidioksidipäästöt lähtevät alenemaan kummassakin tapauksessa. SunZED-alueella väheneminen on hitaampaa, sillä

konseptissa rakennusten yllämpö otetaan talteen viilennyksen yhteydessä lämpöpumpun avulla, mikä lisää sähköntarvetta ja vaikuttaa näin ollen päästöihin.

Varastointitarkastelussa keskityttiin pelkästään lämmön varastointiin. Yleisesti ottaen tuotettu lämpö kannattaa ensisijaisesti käyttää heti hyödyksi, jos lämpö voidaan siirtää kaukolämpöverkkoon ja jollain muulla kaukolämpöön yhdistetyllä alueella on samanaikaisesti lämmöntarvetta. Näin voidaan välttää lämmön kausivarastoinnin investointikustannukset. Jos kesäajan lämmöntuotanto esimerkiksi aurinkolämmöstä on suurempaa kuin lämmöntarve eikä lämmölle ole samanaikaista kysyntää lähialueella, lämmönvarastointi voisi olla mahdollinen ratkaisu.

Aurinkosähkön tuotantoa Vartiosaassa tarkasteltiin rakennuksen sähkönkäytön omavaraisuuden näkökulmasta. Oletettiin, ettei alueellista sähkövarastoa ole käytössä. Aurinkosähköä, jota ei tarvita rakennuksissa heti, voitaisiin käyttää esimerkiksi sähköautojen tai sähköpolkupyörien lataamiseen alueella tai se voidaan syöttää sähköverkkoon.

Rakennusten sähkön omavaraisuusastetta tarkasteltiin suhteessa aurinkopaneelin määrään. Aurinkosähkön lisäämisen kannalta tehokkainta olisi valita tuloskäyrien taitekohtaa vastaavat arvot. Tällöin optimaalisin aurinkosähkön lisäyksen määrä on, kun aurinkopaneelin pinta-ala olisi noin 5 % rakennusten koko brutto-alasta, mikä nostaisi rakennusten sähkön omavaraisuusasteen noin 25 %:iin (Kuva 37). Aurinkosähköä lisäämällä päästöjä voitaisiin vähentää 2012-tasoisella alueella noin 45 % (alkutason 9,2 kg_{CO2}a optimaaliseen tilanteeseen 6,8 kg_{CO2} bruttoalaa kohden) ja SunZED-alueella noin 17 % (alkutason 8,3 kg_{CO2}a optimaaliseen tilanteeseen 6,9 kg_{CO2}) (Kuva 38).

Porakaivovarastotekniikan toimivuuteen ja tehokkuuteen liittyy monia tekijöitä kuten se, onko alue pohjavesialueella, mitkä ovat maaperän ominaisuudet, mikä on sopiva porausvyvyys jne. Tästä voi siis seurata, että alue ei sovellu johonkin tiettyyn ratkaisuun tai että jollain vaihtoehdolla pystytään kattamaan vain osa alueen lämmön ja jäähdytyksen tarpeesta.

Tässä tutkimuksessa aurinkoenergian lisäämistä Vartiosaaren alueelle tarkasteltiin omavaraisuusasteen ja päästövaikutusten näkökulmista. Käytännössä tähän vaikuttavat oleellisesti myös ratkaisujen kustannukset, joita selvitys ei käsitellyt. Toisaalta aurinkopaneelien ja -keräinten hinnat ovat laskeneet viime vuosina.

Kustannuksilla on myös merkittävä rooli varastointiratkaisujen toteuttamisessa. Esimerkiksi porareikävaraston tapauksessa ratkaisuun kuuluvan maalämpöpumpun tehomitoitus vaikuttaa pumpun investointikustannuksiin. Tässä tarkastelussa lämpöpumppu mitoitettiin kattamaan alueen koko lämpötehon tarve, mutta voisi olla kustannustehokkaampaa toteuttaa porakaivovaraston lämpöpumpun mitoitus osateholla ja tuottaa jäljelle jäävä lämpötarve esimerkiksi kaukolämmöllä. Myös osamitoituksessa on tärkeää tehdä suunnitteluvaihtoehdot koko energijärjestelmän huomioiden, jotta ei päädytä energijärjestelmän osa-optimointiin.

Lähteet

- ADENE. 2013. Implementing the Energy Performance of the Buildings Directive (EPBD). Featuring country reports 2012. Electronic version 2013. 368 p. ISBN 978-972-8646-28-8. Saatavilla: <http://www.epbd-ca.org/Medias/Pdf/CA3-BOOK-2012-ebook-201310.pdf> (viitattu 16.6.2015)
- ARA. 2013. Rakennuttamisohje. 2013. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA. Saatavilla: http://www.ara.fi/download/Rakennuttamisohje_2013/05ef5ca7-2e13-4762-9948-1e31a9fc372f/22843 (viitattu 7.10.2015)
- ARA, SAFA & Helsingin kaupunki. 2015. Vartiosaari – asumista kaikille! ARA-suunnittelukilpailu. Kilpailuohjelma. 25 s. Saatavilla: <http://www.ara.fi/download/noname/%7BB0AC8DF9-122E-4B12-830A-7C0CD9D3ED12%7D/109870> (viitattu 22.6.2015)
- Boyle, G. (ed.) 2004. *Renewable Energy, Power for a Sustainable Future*. Second edition. Cambridge: Oxford.
- D'Agostino, D. 2015. Assessment of the progress towards the establishment of definitions of Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs) in European Member States. *Journal of Building Engineering* 1 (2015) 20–32. doi:10.1016/j.jobe.2015.01.002
- Electrical Engineering Portal. 2015. Ready for wind power? It's time. Saatavilla: <http://electrical-engineering-portal.com/ready-for-wind-power-its-time> (viitattu: 17.8.2015)
- Energiateollisuus ry. 2013. Kaukolämpötilasto 2013. Saatavilla: http://energia.fi/sites/default/files/kaukolampotilasto_2013_web.pdf (viitattu 12.8.2015)
- Energiateollisuus ry. 2015a. Miten kaukolämpö toimii? Saatavilla: <http://www.kaukolampo.fi/miten-kaukolampo-toimii/> (viitattu: 6.8.2015)
- Energiateollisuus ry. 2015b. Kaukojäähdytys. Saatavilla: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/kaukojaahdytys> (viitattu: 6.8.2015)
- Energiateollisuus ry. 2015c. Kaukojäähdytys v. 2014. Tilastotietoja vuodelta 2014, Excel-taulukko. Saatavilla: <http://energia.fi/tilastot-ja-julkaisut/kaukolampotilastot/kaukojaahdytys> (viitattu: 6.8.2015)
- Energiateollisuus ry. 2015d. Kaukolämmitys. Saatavilla: <http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys> (viitattu 27.8.2015)

- Euroopan unionin virallinen lehti. 18.6.2010. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU, annettu 19 päivänä toukokuuta 2010, rakennusten energiatehokkuudesta (uudelleenlaadittu). Saatavilla: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN> (viitattu 17.6.2015)
- Finlex. 2011. Laki vuokra-asuntolainojen ja asumisoikeustalolainojen korkotuesta.
- Finsolar. 2015. Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus Suomessa. Saatavilla: http://www.finsolar.net/?page_id=1398 (viitattu 25.8.2015)
- GlashusEtt. 2007. Hammarby Sjöstad – a unique environmental project in Stockholm. 40 s. Saatavilla: <http://bygg.stockholm.se/Alla-projekt/hammarby-sjostad/> (viitattu 18.6.2015)
- Government of Canada. Drake Landing Solar Community. Esite. Saatavilla: http://www.dlsc.ca/DLSC_Brochure_e.pdf (viitattu 18.6.2015)
- Heier, J., Bales, C., Sotnikov, A. & Ponomarova, G. 2011. Evaluation of a high temperature solar thermal seasonal borehole storage. ISES Solar World Congress, Kassel, 2011.
- Heimonen, I. 2012. Aurinko-opas 2012 – Aurinkolämmön ja -sähkön energiantuoton laskennan opas. 23.8.2011. 34 s. Saatavilla: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BF4F73E83-56AF-4112-AD7B-0E1F1804D38B%7D/30750> (viitattu 25.8.2015)
- Helen. 2015. Yhdistetyn kaukolämmön ja -jäähdytyksen yleiskuvat. Helen Oy. Kuvat saatu Jouni Kivirinteeltä 5.10.2015.
- Helsingin kaupungin energiansäästöneuvottelukunta. 2014. Energiansäästötoiminta ja energiankäytön kehittyminen Helsingin kaupungissa 2013. 77 s. + liitt. Saatavilla: <http://www.energiatehokashelsinki.fi/tiedostot/esnk-n-raportit/esnk-raportti-2013.pdf> (viitattu 22.6.2015)
- Helsingin kaupungin tietokeskus. 2014. Helsingin tilastollinen vuosikirja 2014. 312 s. ISSN 1799-5264. Saatavilla: http://www.hel.fi/hel2/tietokeskus/julkaisut/pdf/14_11_25_Tilastollinen_vuosikirja_2014.pdf (viitattu 22.6.2015)
- Helsingin kaupungin tietokeskus. 2015. Helsingin tila ja kehitys 2015. 108 s. ISBN 978-952-272-840-1. Saatavilla: <http://www.hel.fi/static/helsinki/kaupunginvaltuusto/Helsingin-tila-ja-kehitys-2015.pdf> (viitattu 18.6.2015)
- Helsingin kaupunki. 2013. Strategiaohjelma 2013–2016. Liite 1. Strategiaohjelman 2013–2016 perustelumuuisto. 25.3.2013. Saatavilla: http://www.hel.fi/static/taske/julkaisut/2013/Strategiaohjelma_2013-2016_Kh_250313.pdf (viitattu 29.9.2015)

- Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston asemakaavaosasto. 2015. Vartiosaaren osayleiskaavaaluonnos. Osayleiskaavaaluonnoksen selostus 28.4.2015. 77 s. + liitt. Saatavilla: http://www.hel.fi/static/public/hela/Kaupunki-suunnittelulautakunta/Suomi/Esitys/2015/Ksv_2015-04-28_Kslk_10_EI/8E08FE2F-DAA1-4D93-A282-758417CB4F48/Liite.pdf (viitattu 22.6.2015)
- Hirvonen, R. (toim.) 2002. Suomen energiavisio 2030. Suomenkielinen tiivistelmä. Espoo, 30 s. Saatavilla: http://www.vtt.fi/files/projects/energy_book_series/ev_2030_tivistelma.pdf (viitattu 17.9.2015)
- JRC. European Commission, Joint Research Centre, Institute of Energy and Transport (JRC). 2012. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), 10.2.2012. Online application available at: <http://re.jrc.ec.europa.eu> (viitattu 3.3.2012)
- Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J.E., Hvelplund, F. & Vad Mathiesen, B. 2014. 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. Energy, Vol. 68, 15 April 2014, pp. 1–11. ISSN 0360-5442. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089>
- Motiva. 2014. Auringosta lämpöä ja sähköä. 16 s. Saatavilla: http://www.motiva.fi/files/9698/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa2014.pdf (viitattu 25.8.2015)
- Motiva. 2015a. Aurinkosähkön perusteet. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet (viitattu 6.8.2015)
- Motiva. 2015b. Tuulivoimateknologia. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoimateknologia (viitattu 6.8.2015)
- Motiva. 2015c. Pientuulivoima. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/tuulivoima/pientuulivoima (viitattu 6.8.2015)
- Motiva. 2015d. Bioenergian käyttö. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_kaytto (viitattu 6.8.2015)
- Motiva. 2015e. CO₂-päästökertoimet. Saatavilla: http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet (viitattu 17.9.2015)

- Motiva. 2015f. Uusiutuva energia. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia (viitattu 5.10.2015)
- Nystedt, Å., Sepponen, M. & Virtanen, M. 2012. Ekotaajaman suunnitteluperiaatteet. VTT Technology 24. 50 s. + liitt. 2 s. Espoo: VTT. Saatavilla: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T24.pdf> (viitattu 25.8.2015)
- Pandis Iverot, S. & Brandt, N. 2011. The development of a sustainable urban district in Hammarby Sjöstad, Stockholm, Sweden? Environ Dev Sustain (2011) 13:1043–1064. DOI 10.1007/s10668-011-9304-x
- Reinikainen, E., Loisa, L. & Tyni, A. 2015. FInZEB. Lähes nollaenergiarakennuksen käsitteet, tavoitteet ja suuntaviivat kansallisella tasolla. Loppuraportti. 26 s. Saatavilla: http://finzeb.fi/wp-content/uploads/2015/04/FInZEB_loppuraportti.pdf (viitattu 18.6.2015)
- Saimaa Gardens Services. 2015. Maalämpö. Saatavilla: <http://www.saimaagardens.one1.fi/index.php?mid=43> (viitattu 15.8.2015)
- SDH (Solar district heating). 2012. Solar district heating guidelines. www.solar-district-heating.eu
- Senera. 2015. Vesistölämpö. Saatavilla: <http://www.senera.fi/Maalampo/Vesistolampo/#4> (viitattu 6.8.2015)
- Shemeikka, J., Lylykangas, K., Ketomäki, J., Heimonen, I., Pulakka, S. & Pylsy, P. 2015. SunZEB – Plusenergiaa kaupungissa. Uusiutuvaa energiaa asumiseen ja toimistoon. VTT Technology 219. 86 s. + liitt. 10 s. Espoo: VTT. Saatavilla: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2015/T219.pdf> (viitattu 22.6.2015)
- Solpros OY. 2009. Aurinkoenergian käyttö Suomessa vuonna 2008. Online document. (viitattu 12.2.2012)
- Suomen lämpöpumppuyhdistys. 2015. Maalämpöpumput (MLP). Saatavilla: <http://www.sulpu.fi/maalampopumppu> (viitattu: 6.8.2015)
- VVNS 2/2013 vp. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 20. päivänä maaliskuuta 2013. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia ja ilmasto 8/2013. Saatavilla: https://www.tem.fi/files/36730/Energia-ja_ilmastostrategia_2013_SUOMENKIELINEN.pdf (viitattu 7.10.2015)
- Ympäristöministeriö. 2013. Suomen sähkönhankinnan päästöt elinkaarilaskelmassa. Saatavilla: http://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus_ja_tuotanto/

[Resurssitehokkuus/Elinkaariajattelu/Sahkonhankinnan_paastot](#) (viitattu
17.9.2015)

Liite A: Alue-energiasuunnittelun yleisperiaatteita

Hyvän aluetason energiasuunnittelun lähtökohtana on

1. minimoida energiantarve, perustuen energiatehokkaaseen rakentamiseen ja kaupunki-infrastruktuuriin, mutta viihtyisyydestä tinkimättä
2. tehokas energiantuotanto, perustuen esimerkiksi kaukolämpöön ja -jäähdytykseen ja/tai uusiutuviin paikallisiin energialähteisiin.

Alue-energiasuunnittelussa voidaan edetä esimerkiksi seuraavasti:

1. Suunnitelman perustiedot: kerrosalat, asukasmäärät.

2. Valitaan rakennusten energiankulutuksen tavoitetaso. Määritetään rakennusmallien ominaisenergiantarve.

3. Alueen energiantarve: Kerro energian ominaiskulutus asuinkerrosalalla, tuloksena saat vuoden energiantarpeen:

$$\underline{\text{Ominaiskulutus [kWh/m}^2\text{,a]}} * \underline{\text{asuinkerrosala [m}^2\text{]}} = \underline{\text{Alueen energiantarve [kWh/a]}}$$

Jos luku on suuri, muuta yksikkö kilowattitunnista [kWh/a] megawattitunniksi [MWh/a] jakamalla tuhannella.

4. Alueen energiahuolto: mahdolliset energianlähteet selvitetään ja näistä valitaan kiinnostavimmat.

Yleensä kaukolämpö ja -jäähdytys ovat luotettavia ja kohtuuhintaisia ratkaisuja. Uusiutuvan energian osuutta, alueen energiaomavaraisuutta ja aiheutuneiden päästöjen pienentämistä voidaan tukea valitsemalla uusiutuvia, paikallisia energialähteitä, kuten aurinkolämpöä ja -sähköä, tuulienergiaa ja maa- ja vesilämpöpumppuja. Niillä on kuitenkin omat rajoitteensa aluesuunnittelulle, kuten:

- *Aurinkoenergian tuotanto tarvitsee etelän (kaakko-lounas) suuntaan avautuvia asennuspintoja esim. rakennusten katoilla. Mieluiten noin 40–50° kulmassa vaakatasosta. Varjostuksia näille pinnoille on vältettävä (esim. ei korkeita puita aurinkopaneelien eteen).*
- *Lämpöpumput: pohjavesialueilla voi olla rajoituksia kalliioon porattavissa lämpökaivoissa; vesilämpö puolestaan vaatii tarpeeksi sopivaa lämmönkeräysaluetta vesistön pohjasta (vähintään 2 metrin syvyydessä), ja on huomioitava esim. laivojen ja veneiden ankkurointi ja satama-alueet (ris ki lämmönkeruuputkiston vaurioitumisesta).*
- *Tuulienergian tuotantoon vaikuttavat paikalliset tuuliolosuhteet.*

5. Alueen energianlähteiden käyttö ja energiaomavaraisuuden arviointi

Alueelle voidaan lisätä sähköverkosta ostetun sähkön lisäksi esimerkiksi aurinkosähkön tuotantoa. Osana hyvää energiasuunnittelua tulisi tarkistaa, että suunni-

teltu energiaratkaisu, esim. aurinkopaneelit, on mahdollista sijoittaa luontevasti suunnittelualueelle.

a) *Aurinkosähkön tuotantoon käytettävä kattopinta-ala: Tässä esimerkissä oletetaan, että rakennukset voidaan kaavassa sijoitella aurinkoenergian tuotannon kannalta suotuisasti (eli kattopintoja avautuen kaakko-lounas-suuntaan) eikä niiden edessä ole suuria varjostavia kohteita. Tällöin voidaan arvioida, että n. puolet kattopinta-alasta sopii aurinkosähkön tuotantoon. Tätä voidaan verrata koko alueen sähköntarpeeseen, jolloin saadaan arvio sähkön omavaraisuusasteesta alueella.*

b) *Aurinkosähkön tuotantotavoitteen kautta: Tässä tarkastelutavassa voidaan ottaa tavoitteeksi tuottaa esimerkiksi tietty prosentiosuus sähköntarpeesta aurinkopaneeleilla.*

Energiaratkaisujen mahdollisia merkintöjä suunnitelmakartassa

Energiaratkaisujen esittelyä voi helpottaa, jos ne pystytään havainnollistamaan suunnitelmakartassa. Uusiutuvan energian merkintätavoiksi voitaisiin käyttää esimerkiksi seuraavia ehdotuksia:

Aurinkoenergia:

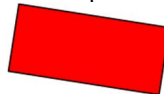
Esim. maalattut laatikot katoille. Käytä eri värejä. Jos aurinkoenergiaa tulossa muille pinnoille, piirrä yksityiskohtaisempi kuva malliksi.

Aurinkoenergia: muista suuntaus sinne mistä aurinko paistaa, eli etelään (koillinen-kaakko), ja mieluiten 40-50 ° kulmassa vaakatasosta!

Aurinkosähköpaneelit



Aurinkolämpökeräimet



Maalämpökaivo/porareikä:

Ympyrän säde mittasuhteessa noin 15 metriä, koska sen verran välimatkaa tarvitaan kahden maalämmön porakaivon väliin.

Lämmön keruu- ja siirtoputket:

Piirrä putkilinjat, käytä eri värejä. Vesistölämpö, kaukolämpö, kaukojäähdytys jne.



Vartiosaaren osayleiskaavassa on nyt yleismääräys: "Uusiutuvien energiamuotojen käyttöä tulee edistää." Tämä riittää määräykseksi osayleiskaavavaiheessa. Osayleiskaava myös mahdollistaa laitteiden ym. sijoituksen eri maankäyttömuotojen (pois lukien luonnonsuojelualue) alueille. Asemakaavavaiheessa voidaan harkita kortteli-, rakennusala- tai käyttötarkoitukskohtaisia määräyksiä tai yleismääräyksiä, jotka voivat sisältää tarkempia määreitä.

Alueen energiaratkaisun mahdollinen esitystapa

Energiaratkaisun voi havainnollistaa erillisellä suunnitelmakartalla, jonka voi liittää kaava-aineiston liitemateriaaliksi. Erillisessä suunnitelmakartassa voi olla havainnekuva yksinkertaistettuna, ja siinä voisi käyttää esimerkiksi edellisessä kohdassa esitettyjä symboleita.

Suunnittelualueen energiaratkaisun voi esittää monella eri tavalla. Yksi mahdollinen, lyhyt ja visuaalinen tapa on koota ehdotettu energiaratkaisu "planssiksi" eli julisteeksi (Kuva A-1). Siihen voidaan merkitä suunnitellut energialähteet ja niiden käyttö kaavassa, kertoa lyhyt yleiskuvaus ja esittää energialaskelmien tarkastelun yhteenvedo esim. taulukkomuodossa.

Kaavakartassa esitys (1:2000), miten energiaratkaisu sijoitetaan alueelle. Mukana esim:

- paikalliset energialähteet
- energiavarastot

Tarvittaessa lähikuvia, miten esim. sijoitetaan aurinkosähkö-paneelit julkisivuihin

Yleiskuvaus energiahuollosta – ratkaisuihin peruspilarit:
esim. SunZED mallilla rakennukset ja aurinkosähköä 32 % eli yhteensä 10 000 m² aurinkosähköpaneelija.

SunZEB rakennukset	Alueen energian tarve MWh/a	Mahdollisia (vaihtoehtoisia) energialähteitä	Energioamavaraisuus
Lämpö	4 700	<ul style="list-style-type: none"> • kaukolämpö • rakennuksesta talteenotettu lämpö 	SunZEB-rakennusten talteenotetun lämmön omavaraisuus n. 50 %
Viihennys	2 590	<ul style="list-style-type: none"> • kaukojäähdytys 	0 %
Sähkö	3 760	<ul style="list-style-type: none"> • sähköverkosta normaalisti • aurinkosähköpaneelit 	Aurinkosähköä 50 % kattopinta-alasta tuottaa 1 200 MWh/a eli 32 % sähkön tarpeesta (vaihtoehtoja).

Kuva A-1. Esimerkki energiasuunnitteluplanssista.

Nimeke	Paikallista energiaa asuinalueella Esimerkkinä Helsingin Vartiosaari
Tekijä(t)	Satu Paiho, Ha Hoang, Mari Hukkalainen & Robin Westerberg
Tiivistelmä	<p>Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia tähtää Suomen kasvihuonekaasupäästöjen merkittävään vähentämiseen ja energiankäytön huomattavaan tehostamiseen. Asumisen rahoitus- ja kehittämisskeskus ARA:n tavoitteena on etsiä ja luoda asumista ja asuntorakentamista hyödyttäviä uusia näkökulmia, joita voidaan ottaa käyttöön eri puolilla Suomea. Yksi tämän hetken haasteita on uusiutuvan energian käyttömahdollisuudet ja energiatehokkuuden lisääminen uudisrakentamisessa ja asutokannassa. Nämä kuuluvat myös Helsingin kaupungin keinovalikoimaan päästöjen vähentämiseksi. Helsingin kaupunki tavoittelee kasvihuonekaasupäästöjen alentamista 30 % vuoteen 2020 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasoon ja täyttä hiilineutraaliutta vuonna 2050. Näitä keinoja tarkasteltiin sekä yleisellä tasolla että tarkemmin esimerkkialueella Vartiosaarella. Esitetyt alueellisen energijärjestelmän tyyppiratkaisut ja tarkasteluperiaatteet ovat sovellettavissa muuallekin.</p> <p>Vartiosaari on noin 82 hehtaarin suuruinen saari itäisessä Helsingissä. Vartiosaaresta suunnitellaan tiiviisti rakennettua saaristokaupunginosaa 5000–7000 asukkaalle. Suunniteltu kerrosala on noin 300 000–350 000 k-m². Energianäkökulma on yhtenä merkittävänä osana mukana Vartiosaaren ekologisesti kestävä asuinalueen suunnittelussa.</p> <p>Vartiosaaren energiantarpeita ja -tuotantoa tarkasteltiin alueella kokonaisvaltaisesti. Vartiosaaren alueen energiatarpeet ja -virrat analysoitiin kahdella eri rakennuskannalla: vertailun vuoden 2012 rakentamismääräysten mukaisia rakennuksia ja energiatehokasta SunZEB-rakennusmallia. SunZEB-rakennusmalli on yksi mahdollinen konsepti tulevaisuuden energiatehokkaalle rakentamiselle. Sen lämmöntarve on vain noin 50 % uudehkojen helsinkiläisten asuinalueiden lämmönkulutuksesta. Konseptin erityispiirteinä on, että rakennuksista otetaan viilennyksen avulla kesäajan yllämpö talteen ja kierrätetään se takaisin hyötykäyttöön kaukolämpöverkkoon. Näin ollen SunZEB-rakennusten jäähdytysenergiatarve lisääntyy verrattuna vuoden 2012 tasoiseen rakentamiseen.</p> <p>Tässä tutkimuksessa aurinkoenergian lisäämistä Vartiosaaren alueelle tarkasteltiin energian omavaraisuusasteen ja päästövaikutusten näkökulmista. Energiatarkastelun painopiste oli aurinkolämmön kausivarastointiratkaisuissa osana alueellista energijärjestelmää. Tarkastelussa selvitettiin, miten aurinkolämmön lisääminen vaikuttaisi Vartiosaaren lämpöenergian omavaraisuusasteeseen, jos kesäajalla tuotettu ylimääräinen aurinkolämpö varastoitaisiin porareikävarastoon tai säiliövarastoon talvikaudella käytettäväksi. Molemmissa varastoratkaisuissa koko alueen kannalta aurinkolämpökeräinten optimaalisin pinta-ala oli 5 % koko alueen rakennusten kokonaiskerrosalasta. Lämpövarastoratkaisuja käytettäessä alueen rakennusten lämmityksen aiheuttamia päästöjä voidaan vähentää merkittävästi. Esimerkiksi käytettäessä porareikävarastoa voidaan hiilidioksidipäästöjä vähentää 2012-määräysten mukaisesti rakennetulla alueella yli 50 % ja SunZED-tyyppisellä alueella noin 40 %. Rakennusten sähkön omavaraisuusastetta puolestaan tarkasteltiin suhteessa aurinkosähköpaneelin määrään. Aurinkosähkön lisäämisen kannalta tehokkainta olisi tuottaa 25 % sähköntarpeesta aurinkopaneelilla. Tämä vähentäisi päästöjä noin 30 % 2012-tasoisella alueella ja 45 % SunZED-alueella.</p> <p>ARA, Helsingin kaupunki ja Suomen arkkitehtiiliitto SAFA järjestävät "Vartiosaari – Asumista kaikille!" -kilpailun, jossa haetaan ratkaisuja asuntorakentamisen ajankohtaisiin haasteisiin. Tämä raportti on osa kilpailun tausta-aineistoa.</p>
ISBN, ISSN, URN	ISBN 978-951-38-8355-3 (URL: http://www.vtt.fi/julkaisu) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu) http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8355-3
Julkaisuaika	Lokakuu 2015
Kieli	Suomi
Sivumäärä	72 s. + liitt. 3 s.
Projektin nimi	
Rahoittajat	Asumisen rahoitus- ja kehittämisskeskus (ARA), Helen Oy & Helsingin kaupungin kaupunkisuunnitteluvirasto
Avainsanat	energijärjestelmät, alueratkaisu, uusiutuva energia, asutokanta
Julkaisija	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111

Paikallista energiaa asuinalueella Esimerkkinä Helsingin Vartiosaari

Uusiutuvan energian käyttömahdollisuudet ja energiatehokkuuden lisääminen ovat keskeisiä keinoja rakennuskannan aiheuttamien kasvihuonekaasujen vähentämisessä ja energiankäytön tehostamisessa. Jos energia tuotetaan aluetasolla, voidaan saavuttaa monia etuja eikä yksittäisille rakennuksille aiheuteta kohtuuttomia vaatimuksia. Tässä tutkimuksessa esitetään alueellisen energijärjestelmän tyyppiratkaisuja ja tarkasteluperiaatteita käyttäen esimerkkialueena Helsingin Vartiosaarta, jonne suunnitellaan uutta asuinalueita.

Aurinkoenergian lisäämistä Vartiosaaren alueelle tarkasteltiin energian omavaraisuusasteen ja päästövaikutusten näkökulmista. Energiatarkastelun painopiste oli aurinkolämmön kausivarastointiratkaisuihin osana alueellista energijärjestelmää. Rakennusten sähkön omavaraisuusastetta puolestaan tarkasteltiin suhteessa aurinkosähköpaneelien määrään.

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA), Helsingin kaupunki ja Suomen arkkitehtiiliitto SAFA järjestävät "Vartiosaari – Asumista kaikille!" -kilpailun, jossa haetaan ratkaisuja asuntorakentamisen ajankohtaisiin haasteisiin. Tämä raportti on osa kilpailun tausta-aineistoa.

ISBN 978-951-38-8355-3 (URL: <http://www.vtt.fi/julkaisut>)
ISSN-L 2242-1211
ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8355-3>