

*Hiilineutraali Helsinki 2035 -
toimenpideohjelman vaikuttavuusarviointi
rakentamisen osa-alueella*

**Selvitys laskentatavoista sekä laskennassa käytetyistä
oletuksista ja lähtötiedoista**

23.5.2018

*Juha Vanhanen, Tuukka Rautiainen, Katariina Simola
Gaia Consulting Oy*

SISÄLLYSLUETTELO

1	Yleiset oletukset	2
1.1	Energian hinnat.....	2
1.2	Päästökertoimet	3
1.3	Asukkaat ja työpaikat	3
1.4	Helsingin kaupungin osuudet	4
2	Toimenpidekohtaiset laskentatavat ja oletukset	5
2.1	Lämmön kokonaiskulutuksen vähentäminen	5
2.2	Paikallisesti tuotetun sähkön osuuden lisääminen.....	5
2.3	Kulutussähkön määrän vähentäminen	6
2.4	Paikallisesti tuotetun lämmön osuuden lisääminen.....	7
2.5	Lämmön kysyntäjouaston lisääminen	9
2.6	Sähkön kysyntäjouaston lisääminen.....	10
2.7	Ulko- ja julkisen valaistuksen energiankulutuksen vähentäminen	11
2.8	Öljyn osuuden vähentäminen erillislämmityksestä.....	12
2.9	Hyödyntämättömän hukkalämmön talteenotto	12

1 Yleiset oletukset

1.1 Energian hinnat

Laskennassa käytettiin energian osalta seuraavia oletuksia. Vuoden 2015 hintatiedot kerättiin Tilastokeskuksen eri lähteistä (listattu alla). Vuodelle 2030 ja 2035 hintoihin tehtiin 2% vuotuinen inflaatiokorotus vuoden 2015 hinnoista.

	2015	2030	2035
Kaukolämpö, kotitaloudet (€/MWh, alv 0 %)	62,1	83,6	92,3
Kaukolämpö, muut käyttäjät (€/MWh, alv 0 %)	57,9	77,9	86,0
Kaukolämpö, keskiarvo (€/MWh, alv 0%)	60,0	80,8	89,2
Sähkö, kulutussähkö, kotitaloudet (€/MWh, alv 0 %)	132,1	177,7	196,2
Sähkö, lämmityssähkö, kotitaloudet (€/MWh, alv 0 %)	94,2	126,8	140,0
Sähkö, muut käyttäjät (€/MWh, alv 0 %)	76,9	103,5	114,3
Sähkö, keskiarvo (€/MWh, alv 0%)	101,1	136,0	150,2
Sähkö, markkinahinta (€/MWh, alv 0 %)	29,7	39,9	44,1

Tilastokeskuksen lähteet:

- Lämmitysenergian kuluttajahintoja syyskuussa 2015. Saatavilla: http://www.tilastokeskus.fi/til/ehi/2015/03/ehi_2015_03_2015-12-14_tau_003_fi.html
- Kaukolämmön hinta kuluttajatyypeittäin 2015. Saatavilla: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehi/stat-fin_ehi_pxt_007_fi.px/table/tableViewLayout2/?rxid=ad8fo3d2-d680-4701-9d40-9aa6cc37cd17
- Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin 2015. Saatavilla: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehi/stat-fin_ehi_pxt_004_fi.px/table/tableViewLayout2/?rxid=ad8fo3d2-d680-4701-9d40-9aa6cc37cd17
- Lämmitysenergian kuluttajahintoja syyskuussa 2015. Saatavilla: http://www.tilastokeskus.fi/til/ehi/2015/03/ehi_2015_03_2015-12-14_tau_003_fi.html

- Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin 2015. Saatavilla: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehi/stat-fin_ehi_pxt_004_fi.px/table/tableViewLayout2/?rxid=ad8fo3d2-d680-4701-9d40-9aa6cc37cd17
- Pohjoismaisen sähköpörssin spot-hintoja hinta-alueittain 2015. Saatavilla: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehi/stat-fin_ehi_pxt_010_fi.px/table/tableViewLayout2/?rxid=ad8fo3d2-d680-4701-9d40-9aa6cc37cd17

1.2 Päästökertoimet

Päästökertoimien osalta laskennassa käytettiin kulutussähkölle, sähkölämmitykselle, kaukolämmölle, maakaasulle, kevyelle polttoöljylle ja kivihieille alla näkyviä oletuksia.

	2015	2030	2035
Kulutussähkö (tCO ₂ /GWh)	121,5	70,6	45,0
Sähkölämmitys (tCO ₂ /GWh)	234,2	138,5	88,3
Kaukolämpö (tCO ₂ /GWh)	189,7	128,8	49,1
Maakaasu (tCO ₂ /GWh)	198	198	198
Kevyt polttoöljy (tCO ₂ /GWh)	261	261	261
Kivihiehi (tCO ₂ /GWh)	341	341	341

Kulutussähkön, sähkölämmityksen ja kaukolämmön päästökertoimet saatiin HSY:ltä. Maakaasun, kevyen polttoöljyn ja kivihiehiin päästökertoimien lähteenä toimi Motiva.

- Motiva Yksittäisen kohteen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet. Saatavilla: https://www.motiva.fi/files/6817/CO2-laskenta_yksittainen_kohde.pdf

1.3 Asukkaat ja työpaikat

Helsingin asukas- ja työpaikkamäärät saatiin Helsingin kaupungilta ja ne on esitetty alla näkyvässä taulukossa. Asukasmääräarvio pohjautuu Helsingin kaupungin väestöennusteen 2017 – 2050 nopean väestönkasvun skenaarioon:

- <http://www.hri.fi/fi/dataset/helsingin-ja-helsingin-seudun-vaestoennuste-2017-2050>

Työpaikkamäärien kehitys vuoteen 2030 ja 2035 mennessä on arvioitu Helsingin kaupunkikaavan 2050 laadinnan aikana kaupunkiympäristön toimialalla.

	2015	2030	2035
Asukasmäärät (nopean kasvun skenaario)	628 208	731 185	764 659
Työpaikkamäärät	379 518	480 000	498 500
Kum. muutos asukasmäärästä vuodesta 2015		102 977	136 451
Kum. muutos työpaikkamäärästä vuodesta 2015		100 482	118 982

1.4 Helsingin kaupungin osuudet

Helsingin kaupungin kiinteistöjen osuus koko kiinteistökannasta saatiin Helsingin kaupungilta ja se on esitetty alla näkyvässä taulukossa. Tiedot rakennusten tilavuudesta, kerrosalasta ja lukumäärästä kullakin käyttötarkoituksella sekä omistusosuus ovat Helsingin kuntarekisterin 13.2.2018 tietojen mukaisia. Joillakin rakennuksilla on useampi omistaja. Tilastossa kunta on tulkittu omistajaksi, jos kunta on yksi useammasta omistajasta.

	Tilavuus	Kerrosala	Lukumäärä
Helsingin kaupungin osuus asuinrakennuksissa	11,5 %	12,3 %	6,4 %
Erilliset pientalot	1,0 %	1,2 %	1,5 %
Rivi- ja ketjutilat	5,8 %	6,0 %	5,8 %
Asuinkerrostalot	13,6 %	14,6 %	16,4 %
Helsingin kaupungin osuus muissa rakennuksissa	19,1 %	18,3 %	19,6 %
Liike- ja toimistorakennukset	10,0 %	8,8 %	12,2 %
Julkiset palvelurakennukset	41,9 %	42,3 %	53,7 %
Teollisuusrakennukset	14,0 %	10,0 %	15,0 %
Varastorakennukset	11,3 %	11,5 %	13,3 %
Muut rakennukset	36,7 %	31,1 %	15,9 %
Helsingin kaupungin osuus rakennuksista (painotettu ka)	15,3 %	14,7 %	10,2 %

2 Toimenpidekohtaiset laskentataavat ja oletukset

2.1 Lämmön kokonaiskulutuksen vähentäminen

Helsingin kaupungissa kulutetun kaukolämmön määrä mallinnettiin käyttämällä Gaian kaukolämpömallia, joka on excel-pohjainen pitkän aikavälin kaukolämmön kulutuksen arviointityökalu. Mallin syöttötietona tarvitsema rakennusten lukumäärä, iät, ja rakennusten ominaislämmönkulutukset vuonna 2016 saatiin aggregoituina ja anonymisoituina lähtötietoina Helen Oy:ltä. Laskelmat tehtiin erikseen Helsingin kokonaisrakennuskannalle ja Helsingin kaupungin omistamalle rakennuskannalle.

Kaukolämpömalli muuntaa väestö- ja työpaikkaennusteen tarvittavaksi asuinrakentamisen ja toimistorakentamisen määriksi, ja ottaa huomioon uuden rakennuskannan edellyttämän energiatehokkuuden. Yli 30 vuotta vanhalle rakennuskannalle oletetaan lämmitysenergian käyttöä tehostavia peruskorjauksia ja yli 50 vuotta vanhoille rakennuksille oletetaan 2,5% poistuma/v. Kaukolämpömalli ottaa huomioon myös kaukolämmön kulutuksen vähenemisen ilmaston lämmitessä (lämmityskuorma noin 88% normista vuoteen 2035 mennessä).

Kaukolämpömallin laskennan tuloksena saadaan kaukolämmön kulutusennusteet aina vuoteen 2035 asti, ja näistä tuloksista vähennetään muilla lämmöntuotantomuodoilla tuotettu lämpö (jätelämpö, maalämpöpumput jne) ja saadaan kaukolämmön kuorman ennuste vuoteen 2035.

2.2 Paikallisesti tuotetun sähkön osuuden lisääminen

Paikallisesti tuotettu sähkö rajattiin laskennassa koskemaan vain aurinkosähköä. Laskennassa käytettiin apuna Helsingin kaupungille aiemmin tehtyä selvitystä kaupungin aurinkosähköpotentialista. Kyseinen raportti määrittelee kaupungille maksimi ja teknistaloudellisen aurinkosähköpotentialin uudisrakennuksille sekä vanhoille rakennuksille.

- Pöyry (2015) Kiinteistökohtaisen hajautetun energian tuotannon potentiaali Helsingissä. Saatavilla: <https://dev.hel.fi/paatokset/media/att/9d/9d03ce885409c36fff4f836ff30314dof95bcb72.pdf>.

Laskettaessa Helsingin kaupungin osuutta aurinkosähköpotentialista, käytettiin kaupungin kiinteistöjen osuutena kattopinta-alasta 19 %.

- Helsingin kaupunki (2016) Energiansäästötoiminta ja energiankäytön kehittyminen Helsingin kaupungissa. Saatavilla: <https://dev.hel.fi/paatokset/media/att/b2/b237731306e0912d7a622904704096c5ff24d140.pdf>

Investointien osalta laskennan parametreina käytettiin seuraavia arvoja, jotka perustuvat Gaian analyysiin.

Järjestelmän keskiteho (kW)	9,0
Järjestelmän keskivuosituotanto (kWh)	8 100
Huolto ja kunnossapitokustannus (€/MWh)	4,9
Kustannus per Wp (€/Wp)	1,0
Pitoaika (v)	25,0
Vuosituotanto (kWh/Wp)	0,9

Kannattavuusanalyysin pohjana käytetty verrokkisähkön hinta muodostettiin laskennassa käyttämällä seuraavaa jakaumaa aurinkosähkön hyödyntämisestä.

Verrokkisähkön hinta (€/MWh)	79,3
kulutussähkö, kotitaloudet	30 %
lämmitys sähkö, kotitaloudet	0 %
muiden kulutussähköä	40 %
markkinasähköä (verkkoon syötetty)	30 %

Aurinkosähkön osalta oletettiin, että järjestelmät asennetaan kohteisiin, jotka eivät vaadi kattorakenteiden vahvistamista. Näin ollen rakenteiden vahvistamisesta mahdollisesti aiheutuvia lisäkustannuksia ei otettu huomioon.

2.3 Kulutussähkön määrän vähentäminen

Asuinrakennusten kulutussähkön (sellainen asuinrakennusten sähkönkulutus, joka ei ole lämmitystä) määrää ei varsinaisesti tilastoida. On kuitenkin mahdollista arvioida asuinrakennusten kulutusta eri tilastoja yhdistelemällä, mikä onnistui vuosille 2012-2015.

	2012	2013	2014	2015
Asuinhuoneistot, GWh	1061	1032	1040	1051
Kiinteistöt (ei lämm.), GWh	107	120	129	144

Yhteensä, GWh	1168	1152	1169	1195
Asukasta kohti, kWh/a				
Asuinhuoneistot kWh/a	1782	1709	1697	1693
Kiinteistökulutus (ei lämm.) kWh/a	179	198	211	231
Yhteensä kWh/a	1961	1907	1908	1925

Asuinhuoneistojen sähkönkulutuksessa/henkilö, v ei ole havaittavissa olevaa selvää trendiä alaspäin. Yleensä arvioidaan, että vaikka uusimmat kotien laitteet ovat energiatehokkaampia, kotien lisääntyvä laitekanta kuluttaa mahdollisen säästön.

Aineistosta on myös havaittavissa se, että asuin kiinteistöjen sähkönkulutus/henkilö, v on lievässä nousussa. Tämä johtunee lisääntyvästä rakennusautomaatiosta, poistoilmalämpöpumppujen yleistymisestä ja ilmastoinnin lisääntymisestä. Kiinteistökulutus on kuitenkin vielä pieni asuinhuoneistojen kulutukseen nähden.

Laskentamallissa on oletettu, että kulutussähkön määrä laskee 0,5%/a vuoteen 2035 mennessä.

2.4 Paikallisesti tuotetun lämmön osuuden lisääminen

Paikallisesti tuotetun lämmön potentiaalin osalta hyödynnettiin Helsingin kaupungille aiemmin tehtyä selvitystä, joka kattoi potentiaalin mm. seuraaville lämmön lähteille: PILP, LTO ja maalämpö.

Pöyry (2015) Kiinteistökohtaisen hajautetun energian tuotannon potentiaali Helsingissä.

Saatavilla: <https://dev.hel.fi/paatokset/media/att/9d/9d03ce885409c36fff4f836ff30314dof95bcb72.pdf>

Alla on esitetty oletukset eri lämpöpumppujen osalta, jotka perustuvat Gaian analyysiin.

Poistoilmalämpöpumput

Poistoilmalämpöpumpun COP	3,5
Poistoilmalämpöpumpun pitoaika, v	20
Huolto ja kunnossapitokustannus (€/MWh)	5,0

	Pientalot	Rivitalot	Asuinkerrostalot	Liike-, toimisto- ja varastorakennukset
Poistoilmalämpöpumpun investointikustannus, eur	8 000	6 000	40 000	25 000
Poistoilmalämpöpumpun tuotto, MWh/v	11,2	5,6	113,4	49,0

Maalämpöpumput

Maalämpöpumpun COP	3,2
Pitoaika, v	20
Huolto ja kunnossapitokustannus (€/MWh)	5,0

	Asuinkerrostalot	Pien- ja rivitalot	Liike- ja toimistorakennukset	Muut rakennukset
Maalämpöpumpun keskim. teho, kW	200	10	280	200
Maalämpöpumpun keskim. huipunkäyttöaika, h	2 500	2 500	2 500	2 500
Maalämpöpumpun investointikustannus, eur	200 000	12 000	250 000	200 000

Ilma-ilmalämpöpumput

Ilma-ilmalämpöpumpun COP	3,0
Pitoaika, v	10
Huolto ja kunnossapitokustannus (€/MWh), nim.	5,0

	Pientalot	Rivitalot
Ilma-ilmalämpöpumpun tuotto, MWh/v	4,5	6,0
Ilma-ilmalämpöpumpun investointikustannus, eur	2 000	2 000

Ilma-vesilämpöpumput

Ilma-vesilämpöpumpun COP	3,0
Pitoaika, v	15
Huolto ja kunnossapitokustannus (€/MWh), nim.	5,0

	Pientalot	Rivitalot	Asuinkerrostalot	Liike-, toimisto- ja varistorakennukset
Ilma-vesilämpöpumpun tuotto, MWh/v	15,0	45,0	0,0	75,0
Ilma-vesilämpöpumpun investointikustannus, eur	8 000	15 000	0	20 000

Lämpöpumppujen tuottama energia laskettiin korvaamaan joko kaukolämpöä tai sähkö-/ölylämmitystä.

2.5 Lämmön kysyntäjoustop lisääminen

Lämmön kysyntäjoustop osalta laskennassa käytettiin asiantuntijoiden arviota säästöpotentiaalista, joka on esitetty alla.

Oletettu huipunleikkauspotentiaali	20 %
Oletettu energiansäästöpotentiaali	10 %
Huipunleikkauksen kustannusetu	10 %

Laitteiston pitoaikana käytettiin 10 vuotta ja investointikustannuksina alla näkyviä arvioita.

	Asuinker- rostalot	Pien- ja rivi- talot	Liike-, toi- misto- ja va- ratoraken- nukset	Muut raken- nukset
Kysyntäjoukseen soveltuva kiinteistö	80 %	50 %	10 %	10 %
Investointikustannus, eur/kiinteistö	5 000	3 000	5 000	5 000
Vuotuinen palvelumaksu ml. huolto ja ylläpito, eur/vuosi	1 500	600	1 500	1 500

Kysyntäjoukseen osallistuva kaukolämmitetty kiinteistö arvioitiin Tilastokeskuksen lähteiden avulla:

- Tilastokeskus (2016), Rakennukset (lkm, m²) käyttötarkoituksen ja rakennusvuoden mukaan 31.12. 2016. Saatavilla: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_asu_rakke/statfin_rakke_pxt_002.px/table/table-ViewLayout2/?rxid=1c67b08d-4674-4d09-9f04-1a53bf1626a8

Lämmitysenergiakulutukset, joiden perusteella säästöpotentiaali laskettiin, saatiin vanhan rakennuskannan osalta Helsingin ympäristötilastosta:

- Helsingin ympäristötilasto (2017), Total consumption of energy in Helsinki. Saatavilla: <http://www.helsinginymparistotilasto.fi/>

Lämmitysenergiakulutukset uuden rakennuskannan osalta saatiin aiemmin toteutetusta Pöyryn selvityksestä:

- Pöyry (2015) Kiinteistökohtaisen hajautetun energian tuotannon potentiaali Helsingissä. Saatavilla: <https://dev.hel.fi/paatokset/media/att/9d/9d03ce885409c36fff4f836ff30314dof95bcb72.pdf>

2.6 Sähkön kysyntäjoukseen lisääminen

Sähkön kysyntäjoukseen osalta laskennassa käytettiin asiantuntijoiden arviota säästöpotentiaalista, joka on esitetty alla.

Oletettu huipunleikkauspotentiaali	20 %
Oletettu energiansäästöpotentiaali	10 %
Huipunleikkauksen kustannusetu	10 %

Laitteiston pitoaikana käytettiin 10 vuotta ja investointikustannuksina alla näkyviä arvioita.

	Asuinkerrostalot	Pien- ja rivitalot	Liike-, toimisto- ja varastorakennukset	Muut rakennukset
Potentiaalinen kiinteistökanta (sähkölämmityksestä)	60 %	80 %	40 %	80 %
Investointikustannus, eur/kiinteistö	5 000	3 500	5 000	5 000
Vuotuinen palvelumaksu ml. huolto ja ylläpito, eur/vuosi	2 000	1 500	2 000	2 000

Kysyntäjouston osallistuva kaukolämmitetty kiinteistökanta arvioitiin Tilastokeskuksen lähteiden avulla:

- Tilastokeskus (2016), Rakennukset (lkm, m²) käyttötarkoituksen ja rakennusvuoden mukaan 31.12. 2016. Saatavilla: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_asu_rakke/statfin_rakke_pxt_002.px/table/table-ViewLayout2/?rxid=1c67b08d-4674-4d09-9f04-1a53bf1626a8

Lämmitysenergiakulutukset, joiden perusteella säästöpotentiaali laskettiin, saatiin vanhan rakennuskannan osalta Helsingin ympäristötilastosta:

- Helsingin ympäristötilasto (2017), Total consumption of energy in Helsinki. Saatavilla: <http://www.helsinginymparistotilasto.fi/>

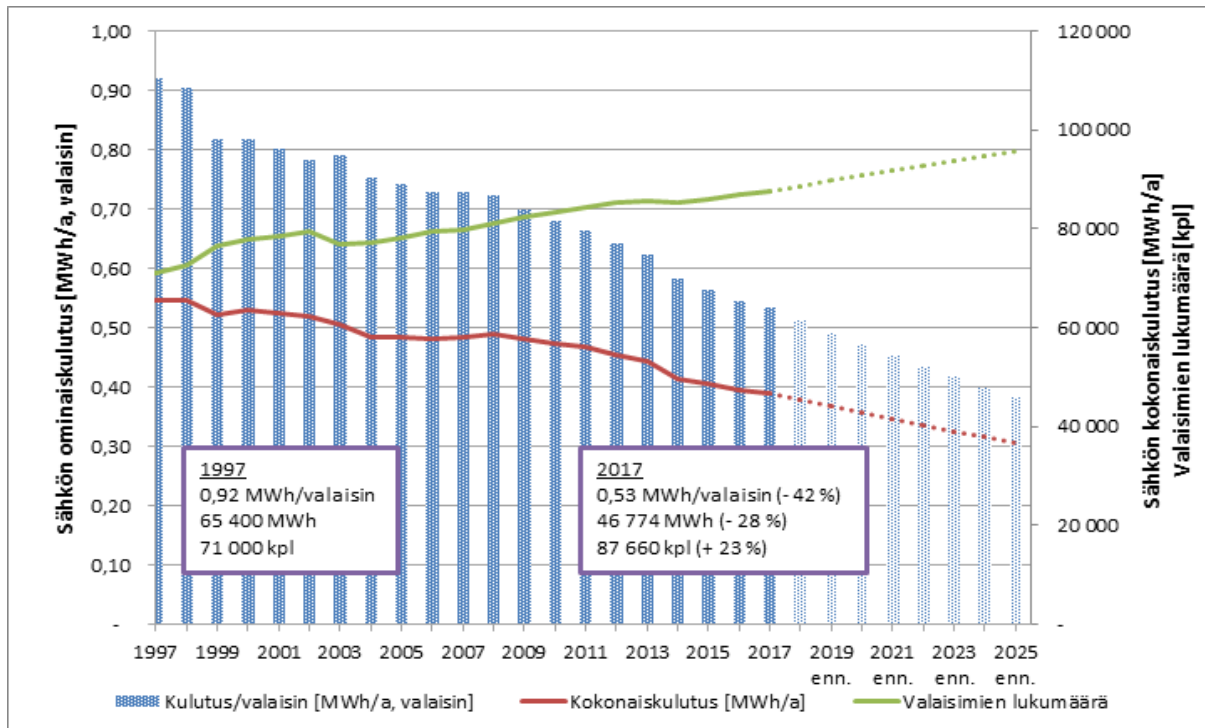
Lämmitysenergiakulutukset uuden rakennuskannan osalta saatiin aiemmin toteutetusta Pöyryn selvityksestä:

- Pöyry (2015) Kiinteistökohtaisen hajautetun energian tuotannon potentiaali Helsingissä. Saatavilla: <https://dev.hel.fi/paatokset/media/att/9d/9d03ce885409c36fff4f836ff30314dof95bcb72.pdf>

2.7 Ulko- ja julkisen valaistuksen energiankulutuksen vähentäminen

Ulko- ja julkisen valaistuksen energiatehokkuuden osalta työssä hyödynnettiin Helsingin kaupungin aiemmin toteuttaa hanketta: HELSINKI LED - Selvitys ledeihin siirtymisen aikataulusta ja kustannuksista

- HELSINKI LED -hanke - Selvitys ledeihin siirtymisen aikataulusta ja kustannuksista Saatavilla: <https://dev.hel.fi/paatokset/media/att/91/91503f57b8294ca40871db2b0cd50ce52694ce42.pdf>



HELSINKI LED -selvityksessä oli esitetty arviot energiatehokkuusparannuksista, mikäli Helsingissä siirryttäisiin täysin LED-valaistukseen. Tässä työssä hyödynnettiin ko. skenaarion mukaisia laskelmia. Lisäyksenä HELSINKI LED -selvityksen laskelmille, tässä työssä oletettiin, että valaistuksen älykkäällä ohjauksella saavutetaan 15 % lisäsäästö energiankulutuksessa.

2.8 Öljyn osuuden vähentäminen erillislämmityksestä

Helsingissä on monissa niistä kaukolämpöön kuulumattomista rakennuksista, joissa on alunperin rakennusvaiheessa ollut öljylämmitys, siirrytty jo muihin lämmitysmuotoihin. Nykyisin öljylämmitys uudisrakennuksessa on hyvin harvinaista.

Helsingin olemassa olevaa öljylämmitteisen rakennuskannan öljyn kulutustietoa kerää HSY. Oheessa on Helsingissä öljylämmitykseen käytetty kevyen polttoöljyn kulutus sääkorjattuna.

	2012	2013	2014	2015	2016
Normeerattu öljynkulutus, GWh/a	286	335	356	368	322

Laskelmissa on oletettu, että 30% olemassa olevista öljykattiloista vaihdetaan maalämpöön aina kymmentä vuotta kohti.

2.9 Hyödyntämättömän hukkalämmön talteenotto

Helsingissä on laadittu alustava kartoitus mahdollisesti hyödynnettävissä olevista hukkalämpökohteista.

- Jorma Anttila: Helsingin hukkalämmön hyödyntämisen potentiaalisia kohteita.
<http://www.stadinilmasto.fi/2018/02/15/helsingissa-kartoitettiin-suuria-hukkalampokohteita/>

Hukkalämpökohteiden määräksi arvioidaan tässä selvityksessä 92 GWh/a, ja ne oletetaan hyödynnetyiksi vuoteen 2035 mennessä.



Gaia Consulting Oy

Bulevardi 6 A,

FI-00120

HELSINKI, Finland

Tel +358 9686 6620

Fax +358 9686 66210

ADDIS ABABA | BEIJING |
BUENOS AIRES | GOTHENBURG |
HELSINKI | SAN FRANCISCO |
TURKU | ZÜRICH

You will find the presentation
of our staff, and their contact
information, at www.gaia.fi