



Riikka Holopainen, Sirje Vares, Jouko Ritola & Sakari Pulakka

Maalämmön ja -viilennyksen hyödyntäminen asuinkerrostalon lämmityksessä ja jäähdytyksessä



Riikka Holopainen, Sirje Vares, Jouko Ritola & Sakari Pulakka

Maalämmön ja -viilennyksen hyödyntäminen asuinkerrostalon lämmityksessä ja jäähdytyksessä

Maalämmön ja -viilennyksen hyödyntäminen asuinkerrostalon lämmityksessä ja jäähdytyksessä

Riikka Holopainen, Sirje Vares, Jouko Ritola & Sakari Pulakka

ISBN 978-951-38-7644-9 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2010

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

Kannen kuva: BERGANS/EKOVERMO/ILLUSTRATIO/1/2000
www.ymparistosuunnittelu.com

Toimitus Leena Ukskoski

Riikka Holopainen, Sirje Vares, Jouko Ritola & Sakari Pulakka. Maalämmön ja viilennyksen hyödyntäminen asuinkerrostalon lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Espoo 2010. VTT Tiedotteita – Research Notes 2546. 56 s.

Avainsanat geothermal heating, geothermal cooling, passive house, low-energy house

Tiivistelmä

Espoon Vermoon on suunniteltu kerrostaloaluetta, jossa hyödynnetään maalämpöä rakennuksen lämmityksessä ja jäähdytyksessä.

Maalämmön hyödyntämistä tarkasteltiin laskemalla esimerkkikerrostalon energiankulutus neljällä eri vaihtoehdolla:

1. passiivitason rakenteet
2. passiivitason rakenteet ja taloyhtiön yhteinen kylmäsäilytystila
3. matalaenergiatason rakenteet
4. matalaenergiatason rakenteet ja taloyhtiön yhteinen kylmäsäilytystila.

Tilalämmityksen ja -jäähdytyksen tarve laskettiin dynaamisella simuloinnilla VTT Talo-ohjelmalla. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergiatarve arvioitiin toteutuneen kerrostalokohteen mitatun kuukausikulutuksen avulla.

Joka vaihtoehdolle tehtiin seuraava maalämmön hyödyntämistarkastelu: Maalämpöpumppu mitoitettiin 90 %:lle, 70 %:lle, 50 %:lle, 40 %:lle tai 30 %:lle maksimilämmitystehon tarpeesta, ja pumpulle laskettiin kuukausittaiset lämmitys- ja jäähdytysenergiantuotot. Saatujen kuukausiarvojen ja kuukausittaisten maksimitehontarpeiden avulla tehtiin geokentän mallinnus, josta saatiin tarvittava lämpökaivojen määrä ja lämmönkeruuputkiston pituus sekä yhdelle kerrostalolle että alueratkaisulle.

Lämmön- ja jäähdytyksentuottojärjestelmille tehtiin elinkaarikustannustarkastelu (LCC), jossa verrattiin maalämpöpumppuratkaisua (maalämmitys ja -viilennys, lisälämmitys sähköllä) kaukolämmitysratkaisuun (kaukolämpö ja kompressorijäähdytys). Laskentajakson pituus oli 20 vuotta ja laskennassa käytetty laskentakorko 6 %. Energian hinnan vuotuiselle nousulle (eskaatiolle) käytettiin kahta skenaariota:

- 1) maltillinen: lämpöenergian hinnan eskalaatio 2 %, sähköenergian 3 %
- 2) nopea: lämpöenergian hinnan eskalaatio 4 %, sähköenergian 5 %.

Elinkaarikustannustarkastelussa huomioitiin vain lämmön- ja jäähdytyksentuottojärjestelmän kustannukset, koska lämmön ja jäähdytyksen jakeluverkostot ovat samat molemmille ratkaisuille.

Elinkaarikustannustarkastelun mukaan maalämpö on kaikilla mitoitussuhteilla edullisempi vaihtoehto. Maalämpöratkaisulle matalimmat elinkaarikustannukset saadaan tilanteessa, jossa maalämpöpumpun mitoitussuhde on 50 % tarvittavasta maksimitehosta.

Elinkaarikustannustarkastelu tehtiin lisäksi maalämpö- ja kaukolämpöratkaisuille ilman jäähdytystä sekä maltillisella että nopealla energian hinnannoususkenaariolla 20 vuoden ajalle. Maalämpö on myös ilman jäähdytystä edullisin vaihtoehto.

Elinkaarianalyysitarkastelu (LCA) tehtiin samalle kerrostalolle passiivi- ja matalaenergiatason rakenteilla joko maalämpö- tai kaukolämpöratkaisulla. Tarkastelussa maalämpöpumpun mitoitussuhde oli 50 % tarvittavasta maksimitehosta. Elinkaarianalyysin tuloksena oli hiilijalanjälki 50 vuoden tarkastelujaksolle.

Kaukolämpöratkaisujen laskennassa käytettiin ominaispäästökertoimena Espoon kaukolämpötuotannon hiilijalanjälkeä. Maalämpöpumppuratkaisuissa päästöjen laskenta perustui skenaarioratkasteluun riippuen siitä, vaikuttaako lisääntyvä sähköntarve Suomen sähköntuotannon rakenteeseen paljon tai vähän. Tätä varten laskettiin hiilijalanjälkitulokset keskimääräiselle suomalaiselle sähköntuotannolle sekä kivihiililauhdetuotannolle, jolla korvataan lisääntynyt sähkönkysyntä, kun muut tuotantokapasiteetit ovat jo käytössä. Käytetyt skenaariot olivat:

Skenaario 1 – Maalämpöpumpun tarvitsema sähkö sekä mitoitustehosta (50 %) johtuva lisälämmitystarve tuotetaan keskimääräisellä Suomalaisella sähköllä.

Skenaario 2 – Maalämpöpumpun tarvitsema sähkö (pumpun sähköntarve) tuotetaan keskimääräisellä suomalaisella sähköllä ja lisälämmitystarve lauhdevoimalla (sähkön erillistuotanto kivihiililauhteella).

Skenaario 3 – Maalämpöpumpun tarvitsema sähkö (pumpun sähköntarve sekä lisälämmitystarve) talvikuukausina (joulukuu, tammikuu, helmikuu) tuotetaan 100 % lauhdetuotannolla (sähkön erillistuotanto kivihiililauhteella), muulloin keskimääräisellä suomalaisella sähköllä.

Skenaario 4 – Kaikki maalämpöpumpun tarvitsema sähkö sekä lisälämmitys tuotetaan 100 % lauhdetuotannolla (sähkön erillistuotanto kivihiililauhteella).

Tarkastelu tehtiin passiivitalon rakenteilla. Skenaarioilla 1 ja 2 maalämpöratkaisun hiilijalanjälki oli alle puolet kaukolämpöratkaisun hiilijalanjäljestä. Skenaariolla 3 maalämpöratkaisun hiilijalanjälki oli hieman pienempi kuin kaukolämpöratkaisun. Skenaariolla 4 maalämpöratkaisun hiilijalanjälki oli lähes kaksi kertaa isompi kuin kaukolämpöratkaisun hiilijalanjälki.

Verrattaessa vain kerrostalon rakenneratkaisuita elinkaarianalyysitarkastelun mukaan passiivitalon rakenteet lisäsivät kerrostalon hiilijalanjälkeä vain vähän (< 10 %) verrattuna matalaenergiatason rakenteisiin. Kun otettiin lisäksi huomioon käytönaikainen energiankulutus sekä rakenteiden korjaukset 50 vuoden ajalta, passiivitalon kokonaishiilijalanjälki on pienempi (noin 20 %) kuin matalaenergiatalon hiilijalanjälki. Tämän tarkastelun lämmitysvaihtoehtona oli kaukolämpö.

Maalämpö- ja kaukolämpöratkaisujen hiilijalanjäljen edullisuus riippuu siitä, miten Suomen sähköntuotanto tulee kehittymään. Tällä hetkellä sähkön kysyntä Suomessa ylittää tuotannon. Lisääntyvä sähköntarve joko ostetaan ulkomailta tai tuotetaan erillisillä lauhdevoimaloilla, joissa hiilijalanjälki on suuri.

Maalämpöpumpun sähköntarpeen vaikutuksen suuruus hiililauhdetuotantoon vaikuttaa siihen, menetetäänkö maalämpöpumppuratkaisun tehokkuushyöty hiilijalanjälkitarkastelussa kokonaan tai vain osittain. Toisaalta, jos Suomen sähköntuotanto lähitulevaisuudessa kehittyy ja muuttuu omavaraiseksi, uusiutuvia energialähteitä otetaan enemmän käyttöön ja uusia ydinvoimaloita rakennetaan, tulos on paljon myönteisempi maalämpöratkaisujen sähkönkäytön osalta.

Alkusanat

Maa- ja kallioenergia yhdyskunnan energiahuollossa (GEOENER) -projekti on Tekesin rahoittamaan Kestävä yhdyskunta 2007–2012 -teknologiaohjelmaan kuuluva ryhmähanke. Hankkeen tarkoituksena on edistää uusiutuvan, tuontipolttoaineita säästävän ja kestävästä kehitystä tukevan maa- ja kalliolämmön (geoenergian) käyttöä Suomessa ja luoda alalle sellaista soveltavaa tutkimusta/osaamista, joka on suomalaisten yritysten hyödynnettävissä niiden kotimaisessa ja kansainvälisessä liiketoiminnassa.

Hankkeessa kuvataan eri geoenergiajärjestelmien toteutusratkaisuja kohde-esimerkkien avulla ja arvioidaan järjestelmien toimivuutta. Julkaisussa tarkastellaan Espoon Vermoon suunnitellun maalämpöä hyödyntävän esimerkkikerrostalon toimivuutta eri maalämmön mitoitusosuuksilla. Maalämpöratkaisua verrataan kaukolämpöratkaisuun sekä elinkaarikustannusten että hiilijalanjäljen osalta.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Alkusanat.....	5
1. Johdanto ja tavoite.....	7
2. Kohteen kuvaus.....	9
2.1 Rakennetkaisu.....	11
2.2 Ilmanvaihto.....	12
2.3 Tilalämmitys ja -jäähdytys.....	12
2.4 Sisäiset kuormat.....	13
3. Tilojen ja ilmanvaihdon lämmitys- ja jäähdytystarve.....	14
4. Lämpimän käyttöveden lämmitystarve.....	16
5. Maalämpöpumpun mitoitus.....	17
5.1 Lämmitys- ja jäähdytysteho.....	17
5.2 Lämmitysenergian kuukausituotto.....	18
5.3 Jäähdytysenergian kuukausituotto.....	22
6. Geokentän mallinnus.....	27
6.1 Geoenergiakaivojen mitoitus yhdelle kerrostalolle.....	27
6.2 Geoenergiajärjestelmän kytkentä.....	29
7. Elinkaarikustannuslaskenta, LCC.....	32
7.1 Laskennan perusteet.....	32
7.2 LCC-elinkaarikustannusvertailu.....	33
8. Hiilijalanjäkilaskenta.....	43
8.1 Laskennan perusta.....	43
8.2 Energiantuotannon hiilijalanjälki.....	45
8.2.1 Keskimääräisen sähkön ja kaukolämmön hiilijalanjälki.....	45
8.2.2 Erillisellä lauhdetuotannolla tuotetun sähkön hiilijalanjälki.....	47
8.2.3 Espoon kaukolämpö.....	48
8.2.4 Energiatuotannon kehitysnäkymät ja sähkön hiilijalanjälki.....	48
8.3 Energiankulutuksen hiilijalanjälkitulokset.....	50
8.4 Rakennuksen hiilijalanjälki.....	53
9. GeoEner-liiketoimintamalli.....	56

1. Johdanto ja tavoite

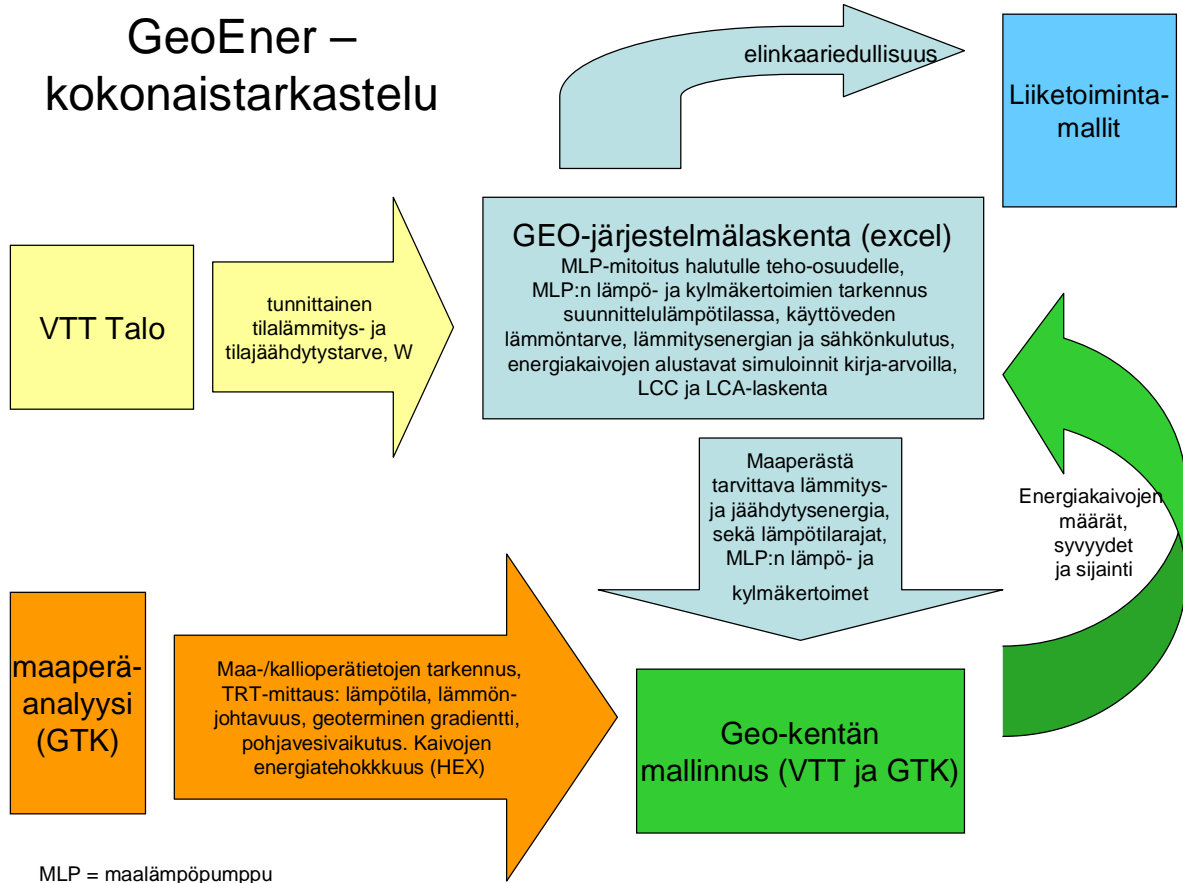
Espoon Vermoon on suunniteltu kerrostaloaluetta, jossa hyödynnetään maalämpöä rakennuksen lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Rakennuksissa on lattialämmitys ja kattojäähdytys. Esimerkkikerrostalon tilojen lämmitys- ja jäähdytysenergiankulutus lasketaan VTT Talo -ohjelman dynaamisella vuosisimuloinnilla neljällä eri vaihtoehdolla:

1. passiivitason rakenteet
2. passiivitason rakenteet ja taloyhtiön yhteinen kylmäsäilytystila
3. matalaenergiatason rakenteet
4. matalaenergiatason rakenteet ja taloyhtiön yhteinen kylmäsäilytystila.

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergiatarve arvioidaan toteutuneen kerrostalokohteen mitatun kuu-kausikulutuksen avulla.

Jokaiselle vaihtoehdolle lasketaan energiankulutusprofiilit, joiden avulla on mahdollista suunnitella ja mitoittaa geoenergiakonseptit erityyppisille talotekniikkaratkaisuille.

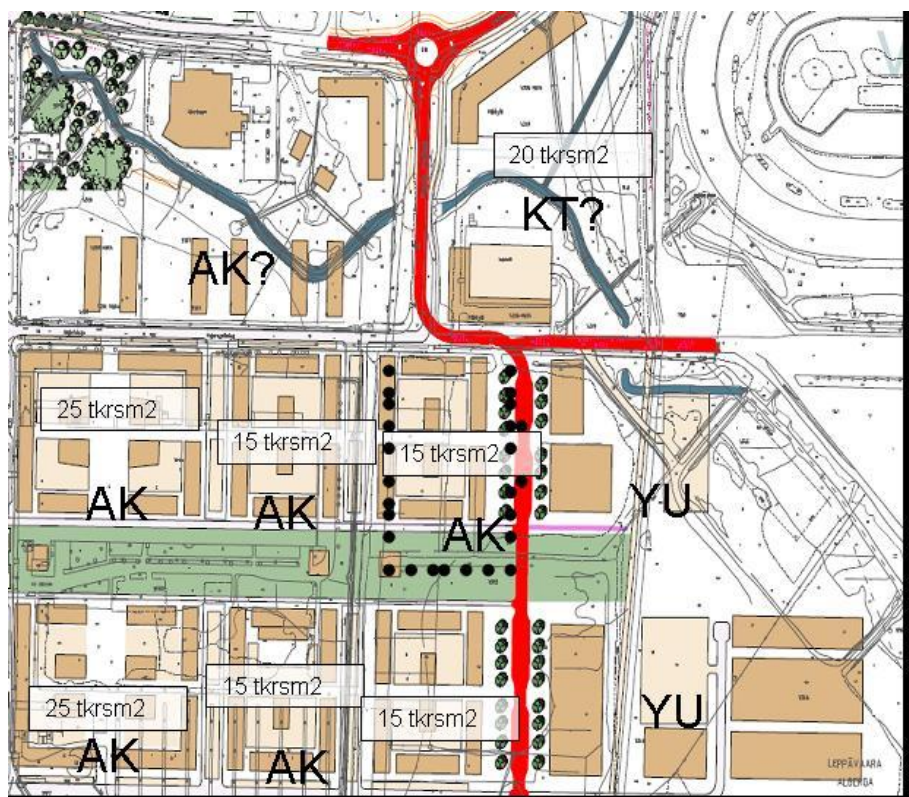
Lisäksi tehdään elinkaarikustannusvertailu ja elinkaarianalyysi, jossa maalämpöpumppu-ratkaisua verrataan vaihtoehtoiseen kaukolämpö- ja kompressorijäähdytysratkaisuun. Elinkaaritarkasteluja tullaan hyödyntämään liiketoimintamallien kehittämisessä.



Kuva 1. Maalämmön hyödyntämistarkastelu.

2. Kohteen kuvaus

Espoon Perkkäälle suunniteltavalle uudelle rakennusalueelle on tarkoitus kaavoittaa noin 130 000 k-m² liike- ja asuinkerrosalaa (Kuva 2). Tässä tarkastelussa arvioidaan geoenergian käyttömahdollisuutta kaavoitettavan alueen asuinkiinteistöjen energiahuollossa.



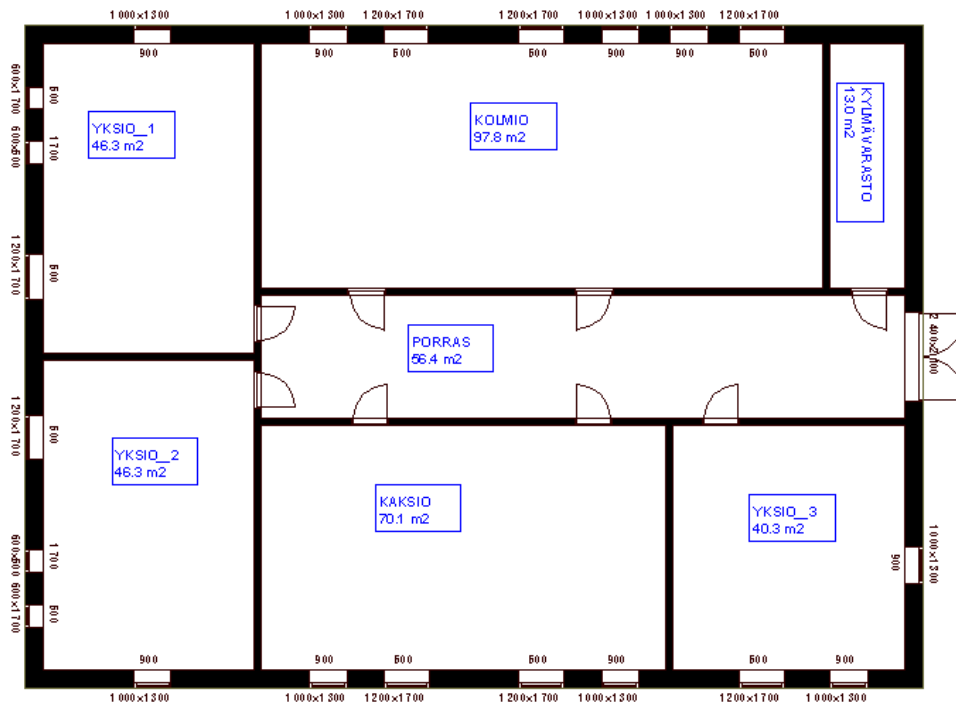
Kuva 2. Bergans-pilotti, kaavoitettava asuinalue.

Geoenergiatarkastelua ja konseptimitoitusta varten suunniteltiin mallikerrostalo sekä matalaenergiä-että passiivienenergiarakenteilla.

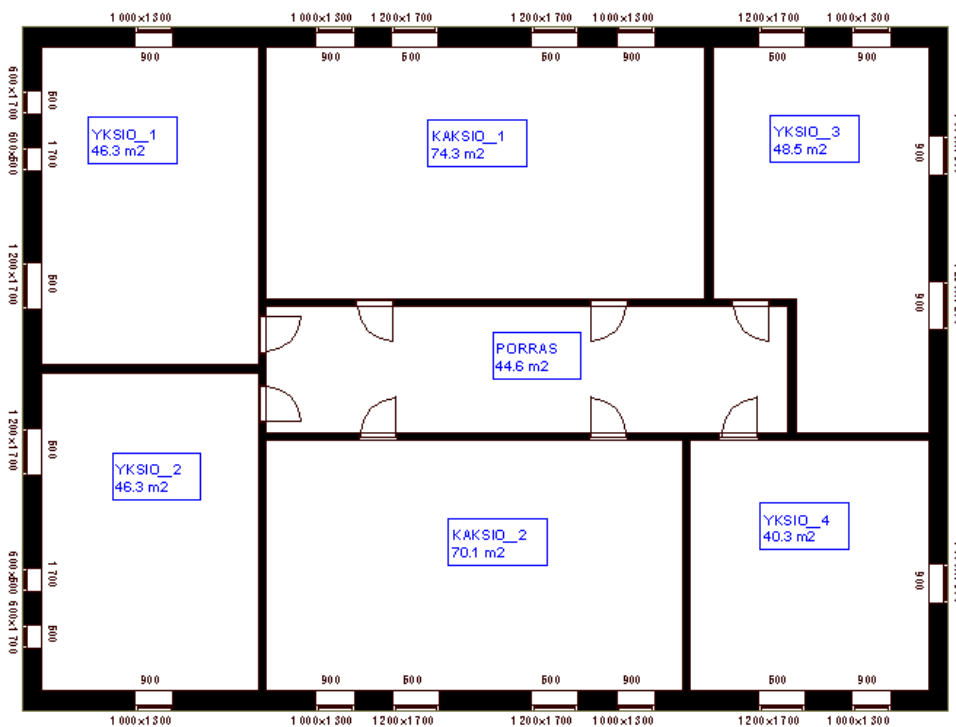
Bergans-mallikerrostalossa on viidessä kerroksessa kerrosalaa yhteensä 2 124 m² ja huoneistoalaa 1 591 m². Rakennustilavuus on 5 522 rak-m³. Yhden kerroksen seinäkorkeus on 2,6 m, huoneistoja on 29 kpl ja niiden keskikoko on 54,9 m². Asukkaita on 40 henkilöä. Huoneistoista 19 on yksiöitä, yhdeksän kaksiota ja yksi kolmio. Ensimmäisessä kerroksessa on varastohuone, jonka pinta-ala on 12,9 m². Varastoa tarkastellaan kahdella käyttölämpötilalla: + 17 °C tai + 10 °C (kylmävarasto).

Pohjakerroksessa on varastohuone ja viisi asuntoa (Kuva 3), kerroksissa 2.–5. on kussakin 6 asuntoa (Kuva 4).

2. Kohteen kuvaus



Kuva 3. Pohjakerros.



Kuva 4. Kerrostien 2.-5. pohjakuva.

Asuntojen huoneistoalat vaihtelevat välillä 40,3–97,5 m² (Taulukko 1). Asukkaita on yksiöissä yksi, kaksioissa kaksi ja kolmioissa kolme asukasta.

Taulukko 1. Tilojen nettopinta-alat.

	Pinta-ala, m²
1. krs: yksiö 1	46,3
1. krs: yksiö 2	46,3
1. krs: yksiö 3	40,3
1. krs: kaksio	70,1
1. krs: kolmio	97,5
1. krs: varasto	12,9
1. krs: porras	56,4
1. krs yhteensä	369,8
2.-5. krs: yksiö 1	46,3
2.-5. krs: yksiö 2	46,3
2.-5. krs: yksiö 3	40,3
2.-5. krs: yksiö 4	48,0
2.-5. krs: kaksio 1	72,9
2.-5. krs: kaksio 2	68,8
2.-5. krs: porrashuone	39,1
2.-5. krs yhteensä /krs	367,2
Rakennus yhteensä	1 839
Huoneistopinta-ala yhteensä	1 591

2.1 Rakennerratkaisut

Kerrostalon energiantarve laskettiin sekä passiivitalon että matalaenergiatalon rakenteilla (Taulukko 2). Kylmävaraston ympärillä olevan väliseinän on lämpöeristetty 2 x 200 mm mineraalivillakerroksella. Huoneistojen välisissä väliseinissä on 2 x 65 mm mineraalivillaaeristys. Molempien ratkaisujen vaipan ilmavuotoluku n50 on 0.6 1/h (vaihtoa tunnissa).

Taulukko 2. Passiivitalon ja matalaenergiatalon U-arvot.

Rakenne ja kokonaispaksuus	Passiivitalon U-arvo, W/m²K	Matalaenergiatalon U-arvo, W/m²K
Alapohja AP 850 mm	0,122	0,150
Ulkoseinä US 550 mm	0,078	0,140
Väliseinä VS 205 mm	0,278	0,278
Yläpohja YP 822 mm	0,071	0,100
Ikkunat	0,76	0,9
Ovet	0,74	0,74

2.2 Ilmanvaihto

Kerrostalossa on huoneistokohtainen ilmanvaihto seinäpuhalluksella. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on 75 % passiivitalolle ja 70 % matalaenergiatalolle. Lämmöntalteenottolaitteena on pyörivä kenno. Ilmanvaihto mitoitettiin SMRK D5:n mukaan. Koko rakennuksen tuloilmavirta oli 762 dm³/s ja poistoilmavirta 803 dm³/s (Taulukko 3).

Taulukko 3. Laskennassa käytetyt ilmavirrat tiloittain.

	Tuloilmavirta (SRMK), dm³/s	Poistoilmavirta (SRMK), dm³/s
1. krs: yksiö 1	19,0	20,4
1. krs: yksiö 2	19,0	20,4
1. krs: yksiö 3	16,6	17,7
1. krs: kaksio	28,9	30,9
1. krs: kolmio	40,1	42,9
1. krs: varasto	2,6	2,6
1. krs: porras	23,2	22,6
1. krs yhteensä	149	158
2.-5. krs: yksiö 1	19,1	20,4
2.-5. krs: yksiö 2	19,1	20,6
2.-5. krs: yksiö 3	20,1	21,3
2.-5. krs: yksiö 4	16,7	17,7
2.-5. krs: kaksio 1	30,7	32,7
2.-5. krs: kaksio 2	29,0	30,9
2.-5. krs: porrashuone	18,4	17,8
2.-5. krs yhteensä /krs	153	161
Rakennus yhteensä	762	803

2.3 Tilalämmitys ja -jäähdytys

Lämmitykselle ja jäähdytykselle asetetut tavoitelämpötilat olivat samat molemmissa rakenneratkaisuissa, mutta 1. kerroksen varastohuoneelle käytettiin kylmävarasto-vaihtoehdossa asetuslämpötilaa 10 °C.

Taulukko 4. Lämmityksen ja jäähdytyksen asetusarvot eri tiloille.

Tila	Lämmityksen asetuslämpötila, °C	Jäähdytyksen asetuslämpötila, °C
huoneistot	21	25
porrashuone	17	ei jäähdytystä
varasto / kylmävarasto	17 tai 8 (kylmävarasto)	ei jäähdytystä tai 10 (kylmävarasto)

Rakennus sijaitsee Espoon Vermossa. Simuloinnissa käytettiin Helsinki-Vantaan säätiedostoa.

2.4 Sisäiset kuormat

Sisäisten kuormien laskennassa käytetyt huoneistokohtaiset laitesähkönkulutukset määritettiin yksiöille, kaksioille ja kolmiolle (Taulukko 5).

Taulukko 5. Huoneistokohtaiset laitesähkönkulutukset.

Tila	Laitekuorma	Vuotuinen kulutus, kWh
Yksiö	valaistus	220
	astianpesu	60
	jääkaappi-pakastin	410
	liesi	240
	PC	150
	viihde	250
	pyykinpesu	50
	yhteensä:	1 380
Kaksio	valaistus	340
	astianpesu	110
	jääkaappi-pakastin	410
	liesi	380
	PC	150
	viihde	310
	pyykinpesu	120
	yhteensä:	1 820
Kolmio	valaistus	460
	astianpesu	150
	jääkaappi-viileä	210
	pakastin	170
	liesi	460
	PC	150
	viihde	380
	pyykinpesu	160
	yhteensä:	2 140
Porrashuone	valaistus	429
Koko rakennus	46 027	

Koko rakennuksen vuotuiset sisäiset kuormat ovat 55,6 MWh eli bruttoalaa kohden 26,2 kWh/brm².

3. Tilojen ja ilmanvaihdon lämmitys- ja jäähdytystarve

Tilojen ja ilmanvaihdon lämmitystarpeen laskenta tehtiin dynaamisella VTT Talo -simulointiohjelmalla.

Eri tilojen mitoituslämmitystekot mitoituslämpötilassa -26 °C laskettiin passiivirakenteilla ja matala-energiarakenteilla (Taulukot 6 ja 7).

Taulukko 6. Tilojen mitoituslämmitystekot passiivirakenteilla.

	Mitoituslämmitysteho, W	Mitoituslämmitysteho, W/m ²
1. krs: yksiö 1	748	16,2
1. krs: yksiö 2	747	16,1
1. krs: yksiö 3	661	16,4
1. krs: kaksio	1 019	14,5
1. krs: kolmio	1 397	14,3
1. krs: varasto	66	5,1
1. krs: porrashuone	0	0,0
1. krs: yhteensä	4 638	keskiarvo 12,5
2.-4. krs: yksiö 1	639	13,8
2.-4. krs: yksiö 2	637	13,8
2.-4. krs: yksiö 3	666	16,5
2.-4. krs: yksiö 4	546	11,4
2.-4. krs: kaksio 1	839	11,5
2.-4. krs: kaksio 2	813	11,8
2.-4. krs: porrashuone	0	0
2.-4. krs: yhteensä / krs	4 140	keskiarvo 11,4
5. krs: yksiö 1	872	18,8
5. krs: yksiö 2	872	18,8
5. krs: yksiö 3	909	22,6
5. krs: yksiö 4	753	15,7
5. krs: kaksio 1	1 227	16,8
5. krs: kaksio 2	1 182	17,2
5. krs: porrashuone	0	0
5. krs: yhteensä	5 815	keskiarvo 16,1
Koko rakennus	22 873	keskiarvo 12,6

Taulukko 7. Tilojen mitoituslämmitystekot matalaenergiarakenteilla.

	Mitoituslämmitysteho, W	Mitoituslämmitysteho, W/m ²
1. krs: yksiö 1	991	21,4
1. krs: yksiö 2	990	21,4
1. krs: yksiö 3	885	22,0
1. krs: kaksio	1 328	18,9
1. krs: kolmio	1 811	18,6
1. krs: varasto	157	12,2
1. krs: porrashuone	0	0
1. krs: yhteensä	6 162	keskiarvo 16,7
2.–4. krs: yksiö 1	871	18,8
2.–4. krs: yksiö 2	871	18,8
2.–4. krs: yksiö 3	924	22,9
2.–4. krs: yksiö 4	759	15,8
2.–4. krs: kaksio 1	1 141	15,7
2.–4. krs: kaksio 2	1 100	16,0
2.–4. krs: porrashuone	0	0
2.–4. krs: yhteensä / krs	5 666	keskiarvo 15,7
5. krs: yksiö 1	1 195	25,8
5. krs: yksiö 2	1 195	25,8
5. krs: yksiö 3	1 261	31,3
5. krs: yksiö 4	1 045	21,8
5. krs: kaksio 1	1 680	23,0
5. krs: kaksio 2	1 613	23,4
5. krs: porrashuone	0	0
5. krs: yhteensä	7 989	keskiarvo 22,1
Koko rakennus	31 149	keskiarvo 17,1

VTT Talolla dynaamisesti simuloitu rakennuksen tilojen ja ilmanvaihdon vuotuinen lämmitysenergiankulutus laskettiin eri rakenne- ja jäähdytysratkaisuille (Taulukko 8). Lämmönjakojärjestelmän häviöiksi arvioitiin 15 % 1. kerroksen lämmitysenergiatarpeesta.

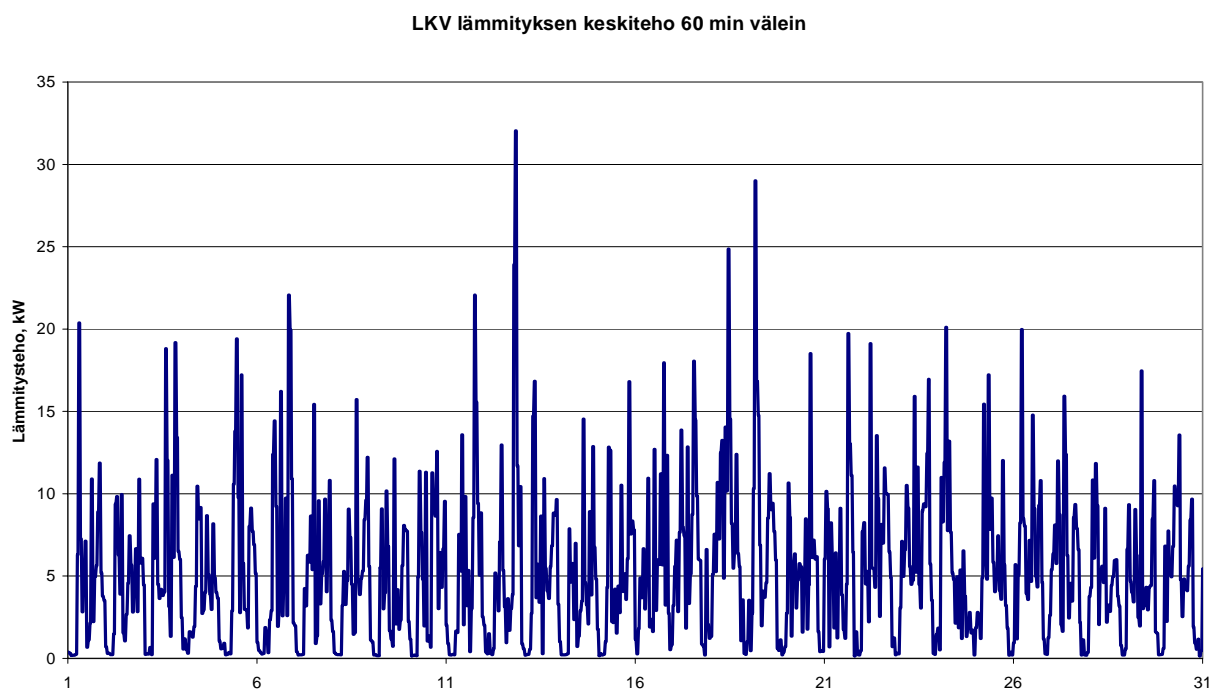
Taulukko 8. Eri rakenne- ja jäähdytysratkaisuiden vuotuinen tilalämmityksen ja -jäähdytyksen energiankulutus.

	Lämmitys, MWh/a	Lämmitys, kWh/brm ² ,a	Jäähdytys, MWh/a	Jäähdytys, kWh/brm ² ,a
Passiivirakenteet, varasto 17 °C	20,7	9,7	0,35	0,2
Passiivirakenteet, varasto 10 °C	23,8	11,2	4,1	1,9
Matalaenergiarakenteet, varasto 17 °C	42,3	19,9	0,49	0,2
Matalaenergiarakenteet, varasto 10 °C	46,2	21,8	4,1	1,9

4. Lämpimän käyttöveden lämmitystarve

Käyttöveden lämmitysenergiatarvetta arvioitiin mitatun kohteen perusteella¹. Mitattu kohde on pienkerrostalo, jossa on 18 asuntoa ja yhteensä 41 asukasta. Asunnot ovat omistusasuntoja.

Lämpimälle käyttövedelle on laskettu maalämpöratkaisun LKV-varaajasta johtuen 1 tunnin keskimääräinen tehontarve. Tunnittainen maksimitehontarve on 32 kW (Kuva 5). Kuukausittainen lämpimän käyttöveden energiankulutus on 5 030 kWh ja vuotuinen 60,4 MWh.



Kuva 5. Lämpimän käyttöveden lämmitystehontarve, laskennassa käytetty esimerkkikuukausi.

¹ Koivuniemi J. Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama ja lämpötilakriteerit veden mikrobiologisen laadun kannalta kaukolämmitetyissä asuinrakennuksissa. Diplomityö. TKK Konetekniikan osasto 2005. (Mitattu kohde K14)

5. Maalämpöpumpun mitoitus

5.1 Lämmitys- ja jäähdytysteho

Maalämpöpumppu mitoitettiin energiankulutuslaskelmien avulla siten, että pumpun maksimituotto on 90 %, 70 %, 50 %, 40 % tai 30 % rakennuksen tilalämmityksen ja käyttöveden lämmityksen yhteenlasketusta maksimilämmitystehosta (Taulukko 9). Maalämpöpumpun maksimijäähdytystehoksi on oletettu 2/3 maksimilämmitystehosta (Taulukko 10, tietolähde: Lämpöässä).

Taulukko 9. Eri ratkaisuiden lämmitystehot eri maalämpöpumppumitoituksilla.

	Tila- lämmitys ja LKV, max teho, kW	Tilaläm- mitys ja LKV, keski- määr. teho, kW	MLP max lämmitys- teho, kW (mit. 90 %)	MLP max lämmitys- teho, kW (mit. 70 %)	MLP max lämmitys- teho, kW (mit. 50 %)	MLP max lämmitys- teho, kW (mit. 40 %)	MLP max lämmitys- teho, kW (mit. 30 %)
Passiivirakenteet, varasto 17 °C	41.1	7.7	37.0	28.8	20.6	16.4	12.3
Passiivirakenteet, varasto 10 °C	41.5	8.1	37.3	29.0	20.7	16.6	12.4
Matalaenergiaraken- teet, varasto 17 °C	47.5	10.2	42.8	33.3	23.2	19.0	14.3
Matalaenergiaraken- teet, varasto 10 °C	47.9	10.7	43.1	33.5	24.0	19.2	14.4

Taulukko 10. Eri ratkaisuiden jäähdytystehot.

	MLP max jäähdytysteho, kW (mitoitus 90 %)	MLP max jäähdytysteho, kW (mitoitus 70 %)	MLP max jäähdytysteho, kW (mitoitus 50 %)	MLP max jäähdytysteho, kW (mitoitus 40 %)	MLP max jäähdytysteho, kW (mitoitus 30 %)
Passiivirakenteet, varasto 17 °C	24,7	19,2	13,7	10,9	8,2
Passiivirakenteet, varasto 10 °C	24,9	19,3	13,8	11,1	8,3
Matalaenergiaraken- teet, varasto 17 °C	28,5	22,2	15,5	12,7	9,5
Matalaenergiaraken- teet, varasto 10 °C	28,8	22,4	16,0	12,8	9,6

5. Maalämpöpumpun mitoitus

Geokentän mitoitusta varten laskettiin tarvittavat kuukausittaiset maalämpöpumpulta saatavat lämmitys- ja jäähdytysenergiatarpeet passiivi- ja matalaenergiavaihtoehdoilla. Taulukoissa esitettyjä energiankulutus- ja tehoarvoja käytettiin geoenergiakonseptien mitoituksessa.

5.2 Lämmitysenergian kuukausituotto

Taulukko 11. Geoenergialla tuotettava osuus passiivirakennuksen lämmitysenergiatarpeesta, varastolämpötila 17 °C.

Kuukausi	MLP lämmitysenergia, kWh (mit. 90 %)	MLP lämmitysenergia, kWh (mit. 70 %)	MLP lämmitysenergia, kWh (mit. 50 %)	MLP lämmitysenergia, kWh (mit. 40 %)	MLP lämmitysenergia, kWh (mit. 30 %)
tammi	9 143	9 103	8 851	8 384	7 321
helmi	8 770	8 738	8 445	7 952	6 866
maalis	6 529	6 507	6 405	6 209	5 745
huhti	5 013	5 005	4 965	4 866	4 615
touko	4 265	4 258	4 221	4 149	3 967
kesä	3 860	3 856	3 829	3 766	3 609
heinä	4 017	4 011	3 975	3 908	3 737
elo	4 017	4 011	3 975	3 908	3 737
syys	3 883	3 880	3 853	3 789	3 630
loka	4 873	4 861	4 815	4 711	4 462
marras	5 754	5 749	5 691	5 568	5 225
joulu	7 730	7 707	7 564	7 273	6 548
Yhteensä / vuosi	67 855	67 684	66 588	64 483	59 462

Taulukko 12. Maalämpöpumpun maksimilämmitystehon kuukausikäyttö passiivirakennuksessa, varastolämpötila 17 °C.

Kuukausi	Maksimitehon käyttötunnit/kk (mit. 90 %)	Maksimitehon käyttötunnit/kk (mit. 70 %)	Maksimitehon käyttötunnit/kk (mit. 50 %)	Maksimitehon käyttötunnit/kk (mit. 40 %)	Maksimitehon käyttötunnit/kk (mit. 30 %)
tammi	2	13	66	170	367
helmi	1	12	72	184	352
maalis	1	4	31	72	166
huhti	0	2	15	39	91
touko	0	3	9	29	70
kesä	0	2	6	25	61
heinä	0	3	7	27	65
elo	0	3	7	27	65
syys	0	2	6	25	61
loka	1	3	15	37	96
marras	0	3	16	49	126
joulu	1	7	39	108	260
Yhteensä / vuosi	6	55	288	790	1 778

Taulukko 13. Geoenergialla tuotettava osuus passiivirakennuksen lämmitysenergiantarpeesta, varastolämpötila 10 °C.

Kuukausi	MLP lämmitys- energia, kWh (mit. 90 %)	MLP lämmitys- energia, kWh (mit. 70 %)	MLP lämmitys- energia, kWh (mit. 50 %)	MLP lämmitys- energia, kWh (mit. 40 %)	MLP lämmitys- energia, kWh (mit. 30 %)
tammi	9 382	9 342	9 082	8 594	7 485
helmi	8 973	8 940	8 641	8 132	7 006
maalis	6 832	6 809	6 702	6 494	5 998
huhti	5 332	5 325	5 281	5 174	4 902
touko	4 532	4 526	4 487	4 410	4 215
kesä	3 952	3 948	3 921	3 858	3 696
heinä	4 215	4 209	4 174	4 102	3 921
elo	4 134	4 128	4 093	4 024	3 849
syys	4 274	4 270	4 241	4 169	3 984
loka	5 272	5 259	5 209	5 097	4 819
marras	6 077	6 071	6 009	5 874	5 500
joulu	8 018	7 994	7 844	7 535	6 764
Yhteensä / vuosi	70 993	70 820	69 682	67 463	62 138

Taulukko 14. Maalämpöpumpun maksimilämmitystehon kuukausikäyttö passiivirakennuksessa, varastolämpötila 10 °C.

Kuukausi	Maksimitehon käyttötunnit h/kk (mit. 90 %)	Maksimitehon käyttötunnit h/kk (mit. 70 %)	Maksimitehon käyttötunnit h/kk (mit. 50 %)	Maksimitehon käyttötunnit h/kk (mit. 40 %)	Maksimitehon käyttötunnit h/kk (mit. 30 %)
tammi	2	13	69	177	382
helmi	1	12	73	190	365
maalis	1	4	31	76	178
huhti	0	2	16	42	104
touko	0	3	10	30	73
kesä	0	2	6	25	61
heinä	0	3	7	28	66
elo	0	3	8	27	65
syys	0	2	9	27	69
loka	1	3	17	40	107
marras	0	3	18	54	133
joulu	1	7	41	114	274
Yhteensä / vuosi	6	56	303	826	1 874

5. Maalämpöpumpun mitoitus

Taulukko 15. Geoenergialla tuotettava osuus matalaenergiarakennuksen lämmitysenergiantarpeesta, varastolämpötila 17 °C.

Kuukausi	MLP lämmitys- energia, kWh (mit. 90 %)	MLP lämmitys- energia, kWh (mit. 70 %)	MLP lämmitys- energia, kWh (mit. 50 %)	MLP lämmitys- energia, kWh (mit. 40 %)	MLP lämmitys- energia, kWh (mit. 30 %)
tammi	13 048	12 978	12 447	11 386	9 407
helmi	12 362	12 287	11 629	10 515	8 684
maalis	9 351	9 328	9 148	8 817	7 997
huhti	7 204	7 198	7 152	7 004	6 602
touko	4 947	4 947	4 920	4 870	4 701
kesä	3 869	3 869	3 854	3 823	3 708
heinä	4 059	4 059	4 036	4 000	3 874
elo	4 027	4 027	4 004	3 968	3 844
syys	4 443	4 443	4 426	4 384	4 231
loka	7 085	7 075	7 004	6 850	6 356
marras	8 136	8 134	8 070	7 886	7 317
joulu	10 978	10 943	10 686	10 063	8 678
Yhteensä / vuosi	89 510	89 287	87 375	83 566	75 397

Taulukko 16. Maalämpöpumpun maksimilämmitystehon kuukausikäyttö matalaenergiarakennuksessa, varastolämpötila 17 °C.

Kuukausi	Maksimitehon käyttötunnit h/kk (mit. 90 %)	Maksimitehon käyttötunnit h/kk (mit. 70 %)	Maksimitehon käyttötunnit h/kk (mit. 50 %)	Maksimitehon käyttötunnit h/kk (mit. 40 %)	Maksimitehon käyttötunnit h/kk (mit. 30 %)
tammi	2	19	136	322	486
helmi	1	20	159	310	473
maalis	1	4	44	112	239
huhti	0	1	15	52	135
touko	0	0	7	19	60
kesä	0	0	4	14	39
heinä	0	0	5	15	43
elo	0	0	5	15	43
syys	0	0	4	18	52
loka	1	2	19	57	171
marras	0	1	17	70	195
joulu	1	12	73	201	389
Yhteensä / vuosi	6	58	487	1 203	2 324

Taulukko 17. Geoenergialla tuotettava osuus matalaenergiarakennuksen lämmitysenergiantarpeesta, varastolämpötila 10 °C.

Kuukausi	MLP lämmitys- energia, kWh (mit. 90 %)	MLP lämmitys- energia, kWh (mit. 70 %)	MLP lämmitys- energia, kWh (mit. 50 %)	MLP lämmitys- energia, kWh (mit. 40 %)	MLP lämmitys- energia, kWh (mit. 30 %)
tammi	13 352	13 280	12 723	11 610	9 570
helmi	12 631	12 554	11 871	10 715	8 821
maalis	9 698	9 674	9 484	9 130	8 259
huhti	7 558	7 551	7 501	7 340	6 903
touko	5 272	5 272	5 243	5 188	5 004
kesä	4 096	4 096	4 080	4 049	3 926
heinä	4 439	4 439	4 415	4 374	4 233
elo	4 273	4 273	4 250	4 212	4 080
syys	4 845	4 845	4 827	4 780	4 609
loka	7 456	7 445	7 370	7 202	6 660
marras	8 480	8 477	8 408	8 206	7 587
joulu	11 306	11 270	10 997	10 337	8 881
Yhteensä / vuosi	93 405	93 176	91 168	87 143	78 533

Taulukko 18. Maalämpöpumpun maksimilämmitystehon kuukausikäyttö matalaenergiarakennuksessa, varastolämpötila 10 °C.

Kuukausi	Maksimitehon käyttötunnit h/kk (mit. 90 %)	Maksimitehon käyttötunnit h/kk (mit. 70 %)	Maksimitehon käyttötunnit h/kk (mit. 50 %)	Maksimitehon käyttötunnit h/kk (mit. 40 %)	Maksimitehon käyttötunnit h/kk (mit. 30 %)
tammi	2	19	142	335	494
helmi	1	21	166	314	481
maalis	1	5	48	120	254
huhti	0	1	17	56	147
touko	0	0	8	20	65
kesä	0	0	3	14	43
heinä	0	0	5	17	49
elo	0	0	5	16	45
syys	0	0	5	20	55
loka	1	2	20	62	181
marras	0	1	20	77	206
joulu	1	12	76	211	406
Yhteensä / vuosi	6	59	512	1 260	2 425

5. Maalämpöpumpun mitoitus

Taulukko 19. Tarvittava lisälämmitysenergia eri vaihtoehdoilla.

MLP-mitoitus		Tarvittava lisälämmitysenergia, kWh/a	Lisälämmitysenergian osuus vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta
90 %	Passiivirakenteet, varasto 17 °C	12	0,02 %
	Passiivirakenteet, varasto 10 °C	12	0,02 %
	Matalaenergiarakenteet, varasto 17 °C	14	0,02 %
	Matalaenergiarakenteet, varasto 10 °C	14	0,02 %
70 %	Passiivirakenteet, varasto 17 °C	183	0,3 %
	Passiivirakenteet, varasto 10 °C	186	0,3 %
	Matalaenergiarakenteet, varasto 17 °C	237	0,3 %
	Matalaenergiarakenteet, varasto 10 °C	244	0,3 %
50 %	Passiivirakenteet, varasto 17 °C	1 280	1,9 %
	Passiivirakenteet, varasto 10 °C	1 320	1,9 %
	Matalaenergiarakenteet, varasto 17 °C	2 150	2,4 %
	Matalaenergiarakenteet, varasto 10 °C	2 250	2,4 %
40 %	Passiivirakenteet, varasto 17 °C	3 380	5,0 %
	Passiivirakenteet, varasto 10 °C	3 540	5,0 %
	Matalaenergiarakenteet, varasto 17 °C	5 960	6,7 %
	Matalaenergiarakenteet, varasto 10 °C	6 280	6,7 %
30 %	Passiivirakenteet, varasto 17 °C	8 410	12,4 %
	Passiivirakenteet, varasto 10 °C	8 870	12,5 %
	Matalaenergiarakenteet, varasto 17 °C	14 130	15,8 %
	Matalaenergiarakenteet, varasto 10 °C	14 890	15,9 %

5.3 Jäähdytysenergian kuukausituotto

Taulukko 20. Geoenergialla tuotettava osuus passiivirakennuksen jäähdytysenergiatarpeesta (kWh), varastolämpötila 17 °C.

Kuukausi	MLP-mit. 90 %	MLP-mit. 70 %	MLP-mit. 50 %	MLP-mit. 40 %	MLP-mit. 30 %
tammi	0	0	0	0	0
helmi	0	0	0	0	0
maalisk.	0	0	0	0	0
huhti	0	0	0	0	0
touko	9	9	9	9	9
kesä	233	233	233	231	227
heinä	3	3	3	3	3
elo	102	102	102	101	98
syys	0	0	0	0	0
loka	0	0	0	0	0
marras	0	0	0	0	0
joulu	0	0	0	0	0
Yhteensä	346	346	346	344	337
Lisäjäähd.	0	0	0	2	9

Taulukko 21. Maalämpöpumpun maksimijäähdytystehontarpeet (W) passiivirakennuksessa, varastolämpötila 17 °C.

Kuukausi	MLP-mit. 90 %	MLP-mit. 70 %	MLP-mit. 50 %	MLP-mit. 40 %	MLP-mit. 30 %
tammi	0	0	0	0	0
helmi	0	0	0	0	0
maalis	0	0	0	0	0
huhti	0	0	0	0	0
touko	2 783	2 783	2 783	2 783	2 783
kesä	13 079	13 079	13 079	10 966	8 224
heinä	2 713	2 713	2 713	2 713	2 713
elo	11 417	11 417	11 417	10 966	8 224
syys	0	0	0	0	0
loka	0	0	0	0	0
marras	0	0	0	0	0
joulu	0	0	0	0	0

Taulukko 22. Geoenergialla tuotettava osuus passiivirakennuksen jäähdytysenergiatarpeesta (kWh), varastolämpötila 10 °C.

Kuukausi	MLP-mit. 90 %	MLP-mit. 70 %	MLP-mit. 50 %	MLP-mit. 40 %	MLP-mit. 30 %
tammi	253	253	253	253	253
helmi	194	194	194	194	194
maalis	265	265	265	265	265
huhti	283	283	283	283	283
touko	374	374	374	374	374
kesä	640	640	640	638	633
heinä	400	400	400	400	400
elo	514	514	514	513	510
syys	343	343	343	343	343
loka	305	305	305	305	305
marras	273	273	273	273	273
joulu	249	249	249	249	249
Yhteensä	4 093	4 093	4 093	4 090	4 081
Lisäjäähd.	0	0	0	3	11

5. Maalämpöpumpun mitoitus

Taulukko 23. Maalämpöpumpun maksimijäähdytystehontarpeet (W) passiivirakennuksessa, varastolämpötila 10 °C.

Kuukausi	MLP-mit. 90 %	MLP-mit. 70 %	MLP-mit. 50 %	MLP-mit. 40 %	MLP-mit. 30 %
tammi	380	380	380	380	380
helmi	393	393	393	393	393
maalis	419	419	419	419	419
huhti	484	484	484	484	484
touko	3 409	3 409	3 409	3 409	3 409
kesä	13 755	13 755	13 755	11 055	8 291
heinä	3 345	3 345	3 345	3 345	3 345
elo	12 061	12 061	12 061	11 055	8 291
syys	544	544	544	544	544
loka	506	506	506	506	506
marras	445	445	445	445	445
joulu	425	425	425	425	425

Taulukko 24. Geoenergialla tuotettava osuus matalaenergiarakennuksen jäähdytysenergiantarpeesta (kWh), varastolämpötila 17 °C.

Kuukausi	MLP-mit. 90 %	MLP-mit. 70 %	MLP-mit. 50 %	MLP-mit. 40 %	MLP-mit. 30 %
tammi	0	0	0	0	0
helmi	0	0	0	0	0
maalis	0	0	0	0	0
huhti	0	0	0	0	0
touko	26	26	26	26	26
kesä	324	324	322	319	316
heinä	9	9	9	9	9
elo	131	131	131	131	128
syys	0	0	0	0	0
loka	0	0	0	0	0
marras	0	0	0	0	0
joulu	0	0	0	0	0
Yhteensä	489	489	487	484	478
Lisäjäähd.	0	0	1	4	11

Taulukko 25. Maalämpöpumpun maksimijäähdytystehontarpeet (W) matalaenergia-rakennuksessa, varastolämpötila 17 °C.

Kuukausi	MLP-mit. 90 %	MLP-mit. 70 %	MLP-mit. 50 %	MLP-mit. 40 %	MLP-mit. 30 %
tammi	0	0	0	0	0
helmi	0	0	0	0	0
maalis	0	0	0	0	0
huhti	0	0	0	0	0
touko	3 941	3 941	3 941	3 941	3 941
kesä	17 558	17 558	15 846	12 677	9 508
heinä	7 047	7 047	7 047	7 047	7 047
elo	12 112	12 112	12 112	12 112	9 508
syys	0	0	0	0	0
loka	0	0	0	0	0
marras	0	0	0	0	0
joulu	0	0	0	0	0

Taulukko 26. Geoenergialla tuotettava osuus matalaenergiarakennuksen jäähdytysenergiantarpeesta (kWh), varastolämpötila 10 °C.

Kuukausi	MLP-mit. 90 %	MLP-mit. 70 %	MLP-mit. 50 %	MLP-mit. 40 %	MLP-mit. 30 %
tammi	214	214	214	214	214
helmi	177	177	177	177	177
maalis	253	253	253	253	253
huhti	274	274	274	274	274
touko	391	391	391	391	391
kesä	735	735	734	731	726
heinä	409	409	409	409	409
elo	546	546	546	546	543
syys	338	338	338	338	338
loka	295	295	295	295	295
marras	262	262	262	262	262
joulu	233	233	233	233	233
Yhteensä	4 127	4 127	4 125	4 122	4 115
Lisäjäähd.	0	0	1	5	12

5. Maalämpöpumpun mitoitus

Taulukko 27. Maalämpöpumpun maksimijäähdytystehontarpeet (W) matalaenergiarakennuksessa, varastolämpötila 10 °C.

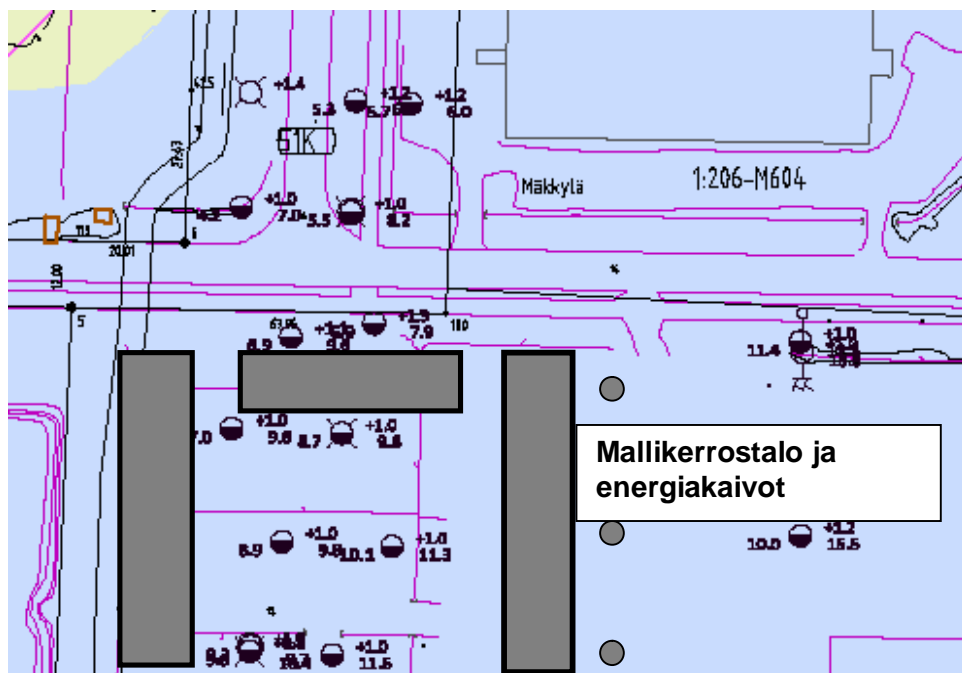
Kuukausi	MLP-mit. 90 %	MLP-mit. 70 %	MLP-mit. 50 %	MLP-mit. 40 %	MLP-mit. 30 %
tammi	365	365	365	365	365
helmi	386	386	386	386	386
maalis	409	409	409	409	409
huhti	485	485	485	485	485
touko	4 586	4 586	4 586	4 586	4 586
kesä	17 768	17 768	15 972	12 778	9 583
heinä	7 714	7 714	7 714	7 714	7 714
elo	12 674	12 674	12 674	12 674	9 583
syys	548	548	548	548	548
loka	508	508	508	508	508
marras	438	438	438	438	438
joulu	411	411	411	411	411

6. Geokentän mallinnus

6.1 Geoenergiakaivojen mitoitus yhdelle kerrostalolle

Mitoituksen lähtötietoja

Espoon kaupungin alueen maaperäkartalle on sijoitettu Bergans mallitalo energiakaivoineen (Kuva 6). Kuvasta voidaan todeta, että energiakaivojen sijoitusalueella savikerroksen paksuus on noin 10–15 m ja kokonaismaapiteen paksuus noin 20 m. Geoenergiamitoituksessa energiakaivojen kiertonesteen mitoituslämpötila rajattiin 0 °C: n yläpuolelle maaperän routaantumisen estämiseksi.



Kuva 6. Bergans mallikerrostalo sijoitettuna kaavoitettavan alueen maaperäkartaan [kartta: Espoon geotekniikkayksikkö].

Energiakaivojen alustava mitoitus tehtiin EED (Earth Energy Designer) -ohjelmistolla.

Mitoituksessa käytettiin kalliolle seuraavia lämpötekniisiä arvoja:

- lämmönjohtavuus $\lambda = 2,9 \text{ W/m, K}$ (soveltuu useille kivilajeille)
- ominaislämpökapasiteetti $2,1 \text{ MJ/m}^3, \text{ K}$

6. Geokentän mallinnus

- maanpinnan lämpötila + 6 °C
- Maapeitteen lämpötekniistä vaikutusta energiakaivoihin ei alustavassa mitoituksessa erikseen huomioitu.
- Kalliopiirin kiertonesteen mitoituslämpötiloiksi asetettiin 0/+15 °C.

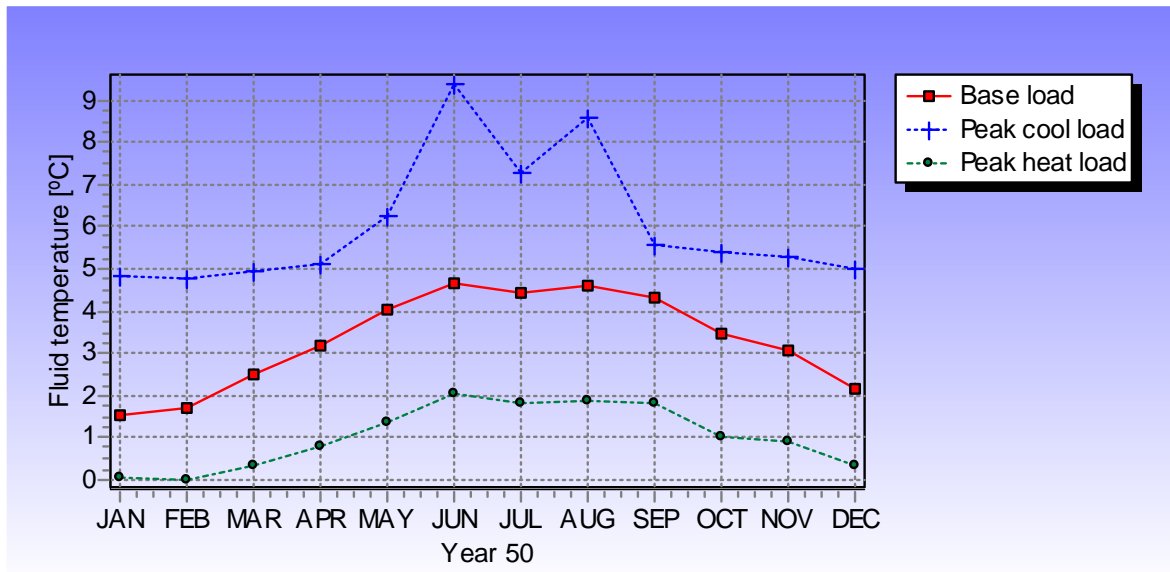
Lämpötilan alarajaksi asetettiin 0 °C, jotta kallion päällä oleva 10–20 m:n savikerros ei jäädy geoenergian käytön seurauksena. Jos geoenergiakenttä sijaitsee riittävän etäällä rakennuksista ja jos maaperän routimisesta ei ole haittaa rakenteille, voidaan lämpöpumpun kanssa käyttää matalampiakin mitoituslämpötiloja. Lämmönoton seurauksena kallio jäähtyy, joten lämpötila-alueen alaraja on mitoittava.

Energiakaivot mitoitettiin yhdelle kerrostalolle kunkin vaihtoehdon energiantuotantotarpeille (Taulukko 28). Kaikissa tapauksissa yhdelle kerrostalolle riittää kolme energiakaivoa, joiden syvyys on tapauksesta riippuen 166–283 m. Jos useammalle rakennukselle suunnitellaan yhteinen geoenergiakenttä, energiakaivoja tarvitaan vastaavasti enemmän. On kuitenkin huomattava, että samassa kentässä olevat energiakaivot vaikuttavat toisiinsa ja siksi lopullinen geoenergiakenttä ja energiakaivojen määrä tulee mitoittaa aina tapauskohtaisesti.

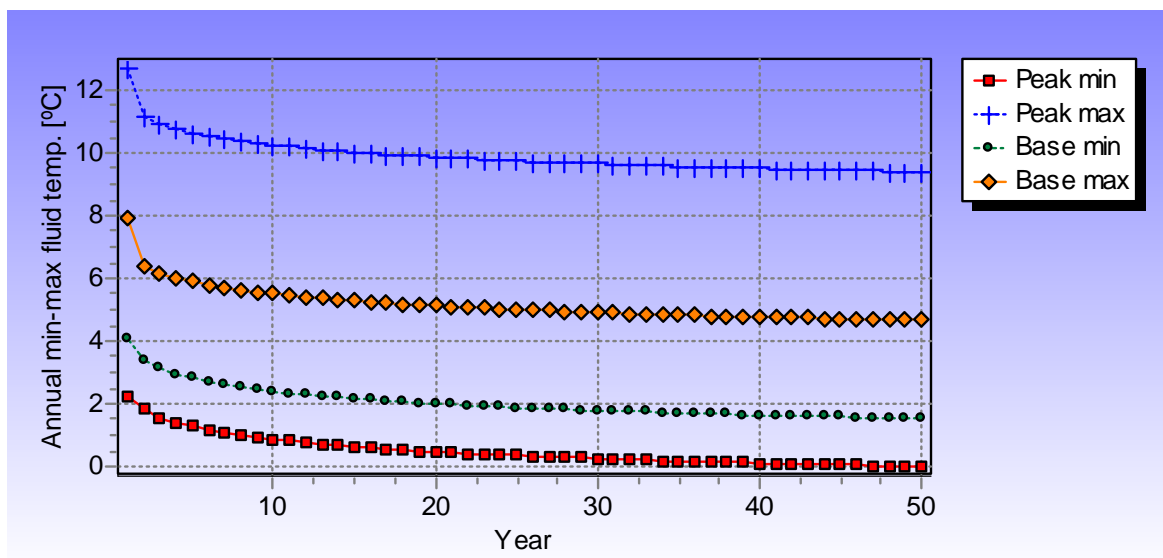
Taulukko 28. Geokenttämitoitus.

MLP-mitoitus		Energiakaivoja, kpl	Kaivosyvyys, m
90 %	Passiivirakenteet, varasto 17 °C	4	222
	Passiivirakenteet, varasto 10 °C	4	220
	Matalaenergiarakenteet, varasto 17 °C	4	273
	Matalaenergiarakenteet, varasto 10 °C	4	273
70 %	Passiivirakenteet, varasto 17 °C	4	211
	Passiivirakenteet, varasto 10 °C	4	210
	Matalaenergiarakenteet, varasto 17 °C	4	260
	Matalaenergiarakenteet, varasto 10 °C	4	261
50 %	Passiivirakenteet, varasto 17 °C	3	233
	Passiivirakenteet, varasto 10 °C	3	231
	Matalaenergiarakenteet, varasto 17 °C	3	279
	Matalaenergiarakenteet, varasto 10 °C	3	283
40 %	Passiivirakenteet, varasto 17 °C	3	205
	Passiivirakenteet, varasto 10 °C	3	204
	Matalaenergiarakenteet, varasto 17 °C	3	244
	Matalaenergiarakenteet, varasto 10 °C	3	244
30 %	Passiivirakenteet, varasto 17 °C	3	167
	Passiivirakenteet, varasto 10 °C	3	166
	Matalaenergiarakenteet, varasto 17 °C	3	200
	Matalaenergiarakenteet, varasto 10 °C	3	198

Kuvissa 7 ja 8 esitetään esimerkki matalaenergiatalomitoituksen (varasto + 10 °C) energiakaivojen kiertonesteen kuukausikeskilämpötiloista eri käyttövuosina sekä perus- että huippuenergiakäytölle.



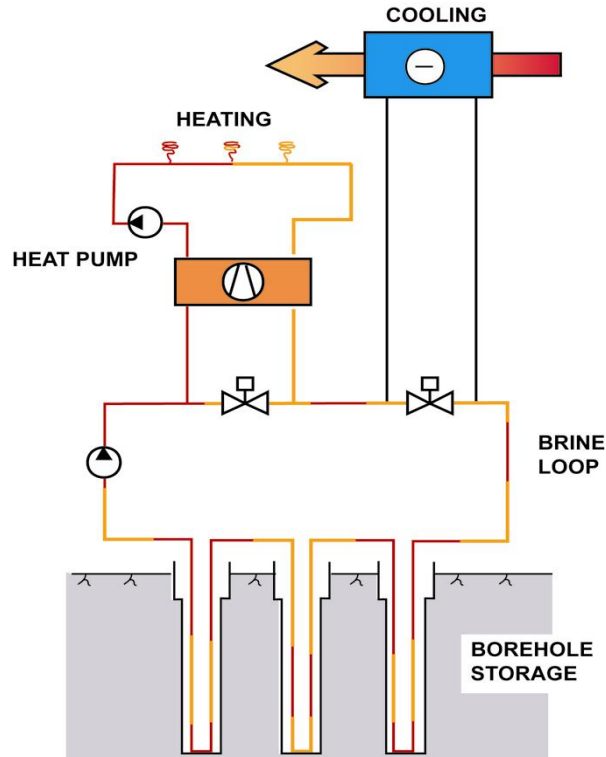
Kuva 7. Matalaenergiatalon (geoenergiaosuus 50 %, varasto + 10 °C) lämmönsiirtonesteen kuukausikeskilämpötilat mitoitusvuonna (50 v).



Kuva 8. Matalaenergiatalon (geoenergiaosuus 50 %, varasto + 10 °C) energiakaivojen lämmönsiirtonesteen kuukausikeskilämpötilat eri vuosina eri käyttötilanteissa.

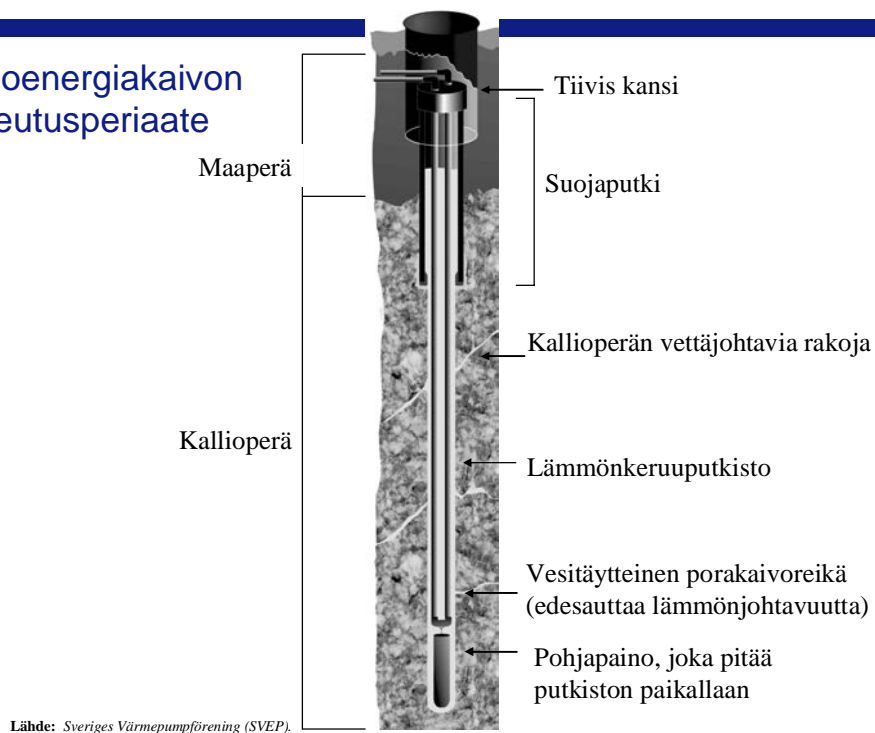
6.2 Geoenergiajärjestelmän kytkentä

Pohjoismaissa käytetty tyypillinen geoenergiajärjestelmän kytkentäperiaate esitetään Kuvassa 9. Lämmönnotossa ja myös jäähdytyksessä käytetään lämpöpumppua, mutta jäähdytys voidaan toteuttaa myös vapaajäähdytyksenä silloin, kun lämpötilat sallivat ja lämpöpumppu ei ole käytössä. Kuvassa 10 esitetään energiakaivon ja siihen asennettavan lämmönsiirtoputkiston toteutusperiaate. Kuvassa 11 on yksityiskohtaisempi kytkentäkaavio lämmitystä tai jäähdytystä tuottavalle geoenergiajärjestelmälle.



Kuva 9. Pohjoismaissa yleisesti käytetty geenergiajärjestelmän kytkentäperiaate.

Geoenergiakaivon toteutusperiaate



Lähde: Sveriges Värmepumpförening (SVEP).

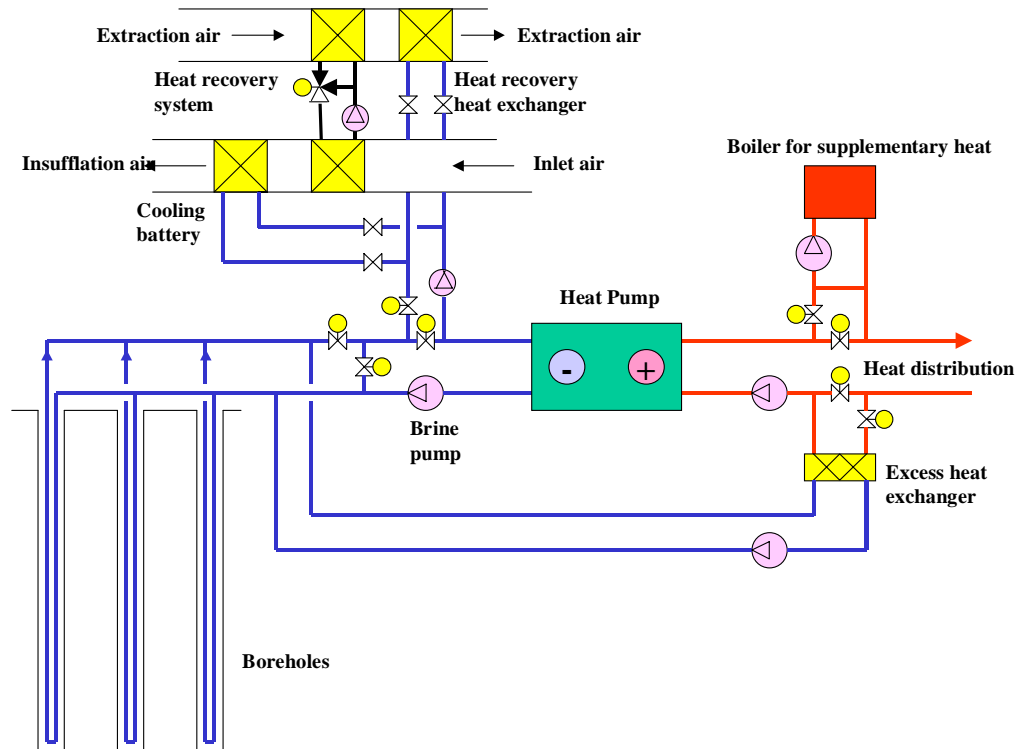
7



Kuva 10. Geoenergiakaivon toteutusperiaate.

Soil Cool

Ground coupled heat pump for cooling and heating



Kuva 11. Lämmitystä tai jäähdytystä tuottavan kallioenergiajärjestelmän periaatteellinen kytkentäkaavio.

7. Elinkaarikustannuslaskenta, LCC

7.1 Laskennan perusteet

Elinkaarilaskennan avulla voidaan päätöksentekoa ohjata kohti elinkaariedullisempien kokonaisratkaisuja. Talotekniikan osalta vertailevissa elinkaarikustannus- ja elinkaariedullisuusanalyysissä sovelletaan yleensä nykyarvolaskentaa.

Elinkaaren aikaiset nykyarvokustannukset muodostuvat investointikustannuksista sekä vuosittaisella diskonttaustekijällä korjatuista käyttö- ja ylläpitokustannuksista. Vuosittainen diskonttaustekijä D_{NA} on

$$D_{NA} = 1 / (1 + i)^a, \quad (1)$$

jossa i = laskentakorko ja a = laskentavuosi.

Investointikustannukset muodostuvat kaikista niistä kustannuksista, jotka syntyvät järjestelmän toteutusvaiheessa. Maaperäenergian investointikustannusten osalta voidaan soveltaa seuraavassa Taulukossa 29 esitettyjä tunnuslukuja kustannustasossa 5/2009 (hintatarkistukset/SRV).

Taulukko 29. Maaperäenergian investointikustannuksia (sis. ALV 22 %).

	Yksikkö	Euroa/yks
lämpöpumppu 10 kW	kpl	6 950
lämpöpumppu 13 kW	kpl	7 450
lämpöpumppu 15 kW	kpl	8 450
lämpöpumppu 21 kW	kpl	10 700
lämpöpumppu 31 kW	kpl	11 500
lämpöpumppu 40 kW	kpl	16 900
lämpöpumppu 60 kW	kpl	19 600
tulistusvaraaja 1 500 dm ³	kpl	3 430
liitokset keruupiiriin (1 000 eur) ja liitokset pumpun ja varaajan välillä (2 000 eur)	kpl	3 000
Energiakaivo ja lämmönkeruuputkisto	jm	30

Lämpöpumppujen laskennallinen käyttöikä on 20 vuotta, kalliopiirin noin 50 vuotta.

Energiamaksut (sis. ALV 22 %) ovat lähtökohtaisesti (1/2010) suuruusluokaltaan seuraavat sisältäen myös kulutustasoriippuvaisen perusmaksun:

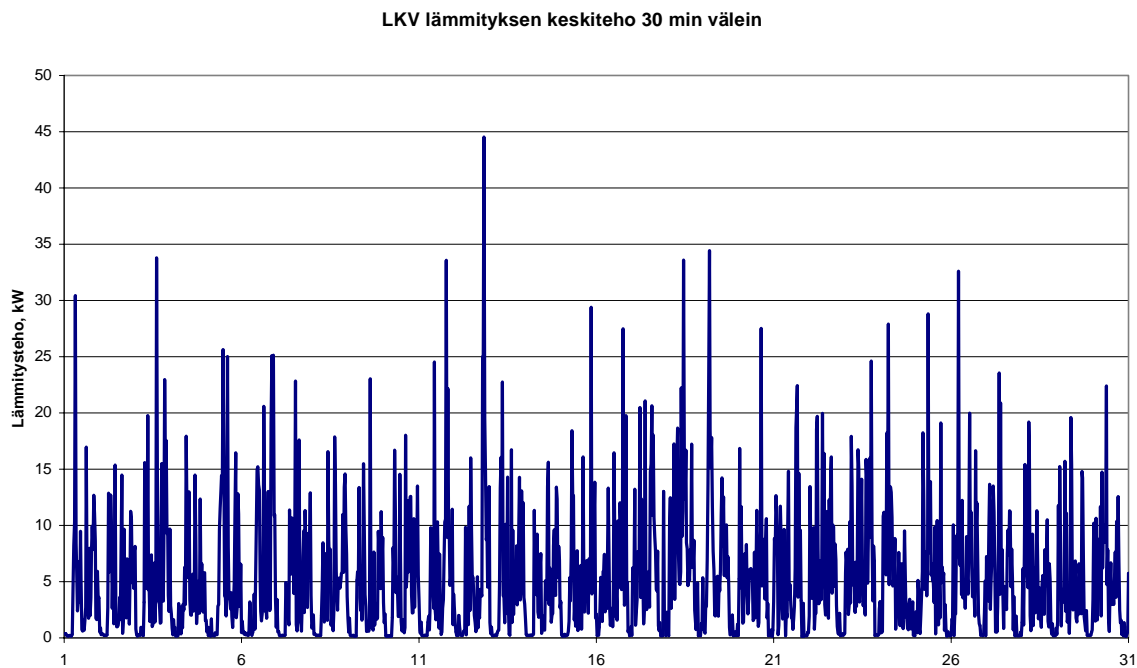
- sähkön energiamaksu 95 euroa/MWh
- kaukolämmön energiamaksu 55 euroa/MWh.

Sähkö- ja lämpöenergian eskalaatio, eli energian hinnan vuosittainen nousu on huomioitu laskemalla vuosittainen energian hinta E_a seuraavasti:

$$E_a = (1 + e)^a \cdot E_0, \quad (2)$$

jossa E_a on energian hinta vuonna a (€), e on energian hinnan eskalaatio ja E_0 on energian hinta tarkastelujakson alussa. Eri vuosien energian hinnat on diskontattu nykyarvohinnoiksi.

Kaukolämpöratkaisussa lämpimällä käyttövedellä ei ole varaajaa, joten LKV:n lämmitysteholle käytettiin 30 minuutin keskimääräistä tehontarvetta (Kuva 12). Lämpimän käyttöveden maksimitehontarve on nyt noin 45 kW. Maalämpöratkaisussa käytettiin varaajan vuoksi tunneittain mitattua maksimitehoa, joka on 32 kW (Kuva 5).



Kuva 12. Lämpimän käyttöveden lämmitystehontarve kaukolämmitysvaihtoehdossa.

Kaukolämmön alajakokeskuksen laskennallinen käyttöikä on 30 vuotta (lähde: LifePlan-projekti). Kaukolämmön liittymismaksut on arvioitu Fortumin laskurilla².

7.2 LCC-elinkaarikustannusvertailu

Perusratkaisu lämmityksellä ja jäähdytyksellä

Yhdelle esimerkkikerrostalolle tehtiin elinkaarikustannusvertailu seuraavasti:

- Vaihtoehto 1: maalämmitys ja -viilennys, lisälämmitys sähköllä
- Vaihtoehto 2: liittyminen kaukolämpöön, kompressorijäähdytys.

² http://www.fortum.fi/kaukolampo_kustannusarvio.asp?path=14020;14028;31772;31773;31779;31786;31906;40176;14020;31988;38391;38607

7. Elinkaarikustannuslaskenta, LCC

Laskentajakson pituus on 20 vuotta. Laskennassa käytetty laskentakorko on 6 %. Energian hinnan vuotuiselle nousulle (eskalaatiolle) käytettiin kahta skenaariota:

1. maltillinen: lämpöenergian hinnan eskalaatio 2 %, sähköenergian hinnan eskalaatio 3 %
2. nopea: lämpöenergian hinnan eskalaatio 4 %, sähköenergian hinnan eskalaatio 5 %.

Elinkaarikustannustarkastelussa huomioitiin vain lämmön- ja jäähdytyksentuottojärjestelmän kustannukset. Lämmön ja jäähdytyksen jakeluverkot jätettiin pois laskemista, koska ne ovat samat molemmille vaihtoehdoille.

Investointikustannukset

Investointikustannukset muodostuvat kaikista niistä kustannuksista, jotka syntyvät järjestelmän toteutusvaiheessa. Kunkin vaihtoehdon investointikustannukset esitetään Taulukoissa 30–35.

Taulukko 30. Maalämpöjärjestelmän investointikustannukset €, MLP-mitoitus 90 %.

	Passiiviratkaisu	Passiiviratkaisu kylmävarastolla	Matalaenergiaratkaisu	Matalaenergiaratkaisu kylmävarastolla
Energiakaivot	26 640	26 400	32 760	32 760
Lämpöpumput	14 243	14 323	15 787	15 877
Tulistusvaraaja	3 430	3 430	3 430	3 430
Liitokset	3 000	3 000	3 000	3 000
Yhteensä, €	47 313	47 153	54 977	55 067

Taulukko 31. Maalämpöjärjestelmän investointikustannukset €, MLP-mitoitus 70 %.

	Passiiviratkaisu	Passiiviratkaisu kylmävarastolla	Matalaenergiaratkaisu	Matalaenergiaratkaisu kylmävarastolla
Energiakaivot	25 320	25 200	31 200	31 320
Lämpöpumput	12 046	12 108	13 272	13 343
Tulistusvaraaja	3 430	3 430	3 430	3 430
Liitokset	3 000	3 000	3 000	3 000
Yhteensä, €	43 796	43 738	50 902	51 093

Taulukko 32. Maalämpöjärjestelmän investointikustannukset €, MLP-mitoitus 50 %.

	Passiiviratkaisu	Passiiviratkaisu kylmävarastolla	Matalaenergiaratkaisu	Matalaenergiaratkaisu kylmävarastolla
Energiakaivot	20 970	20 790	25 110	25 470
Lämpöpumput	9 849	9 953	10 758	10 808
Tulistusvaraaja	3 430	3 430	3 430	3 430
Liitokset	3 000	3 000	3 000	3 000
Yhteensä, €	37 249	37 173	42 298	42 708

Taulukko 33. Maalämpöjärjestelmän investointikustannukset €, MLP-mitoitus 40 %.

	Passiiviratkaisu	Passiiviratkaisu kylmävarastolla	Matalaenergiaratkaisu	Matalaenergiaratkaisu kylmävarastolla
Energiakaivot	18 450	18 360	21 960	21 960
Lämpöpumput	8 750	8 857	9 500	9 541
Tulistusvaraaja	3 430	3 430	3 430	3 430
Liitokset	3 000	3 000	3 000	3 000
Yhteensä, €	33 630	33 647	37 890	37 931

Taulukko 34. Maalämpöjärjestelmän investointikustannukset €, MLP-mitoitus 30 %.

	Passiiviratkaisu	Passiiviratkaisu kylmävarastolla	Matalaenergiaratkaisu	Matalaenergiaratkaisu kylmävarastolla
Energiakaivot	15 030	14 940	18 000	17 820
Lämpöpumput	7 652	7 760	8 243	8 273
Tulistusvaraaja	3 430	3 430	3 430	3 430
Liitokset	3 000	3 000	3 000	3 000
Yhteensä, €	29 112	29 130	32 673	35 523

Taulukko 35. Kaukolämpöjärjestelmän investointikustannukset €.

	Passiiviratkaisu	Passiiviratkaisu kylmävarastolla	Matalaenergiaratkaisu	Matalaenergiaratkaisu kylmävarastolla
Kaukolämmön alajakokeskus	4 970	4 970	4 970	4 970
Kaukolämmön liittymismaksu	7 533	7 578	8 451	8 702
Vedenjäähdytyskone	18 700	18 824	19 523	19 561
Yhteensä, €	31 203	31 373	32 944	33 233

Käyttö- ja ylläpitokustannukset

Käyttö- ja ylläpitokustannukset muodostuvat kaikista niistä kustannuksista, jotka syntyvät järjestelmän käytössä valitun elinkaaren pituuden aikana.

Maalämpöjärjestelmän energiakustannus koostuu lämmöntuottojärjestelmän ja tarvittavan lisälämmityksen sähkönkulutuksesta. Maalämpöjärjestelmässä jäähdytys tuotetaan lämmityksen ”sivutuotteena”, joten sen sähkönkulutus jätettiin huomioimatta. Kaukolämpöjärjestelmän energiankulutus koostuu kaukolämpöenergiasta sekä kompressorijärjestelmän sähkönkulutuksesta.

Huoltokustannukset arvioitiin samoiksi, joten niitä ei huomioitu laskennassa.

7. Elinkaarikustannuslaskenta, LCC

Taulukko 36. Maalämpöjärjestelmän vuosittainen energiankulutus ja -kustannus, MLP-mitotus 90 %.

	Passiiviratkaisu	Passiiviratkaisu kylmävarastolla	Matalaenergia-ratkaisu	Matalaenergiaratkaisu kylmävarastolla
Sähkönkulutus, lämmitys	22,6	23,7	29,9	31,1
Sähkönkulutus, jäähdytys	0	0	0	0
Sähkönkulutus, lisälämmitys	0	0	0	0
Sähkönkulutus yhteensä, MWh/vuosi	22,6	23,7	29,9	31,1
Energiakustannus, €/vuosi	2 150	2 250	2 840	2 960

Taulukko 37. Maalämpöjärjestelmän vuosittainen energiankulutus ja -kustannus, MLP-mitotus 70 %.

	Passiiviratkaisu	Passiiviratkaisu kylmävarastolla	Matalaenergiaratkaisu	Matalaenergiaratkaisu kylmävarastolla
Sähkönkulutus, lämmitys	22,6	23,6	29,8	31,1
Sähkönkulutus, jäähdytys	0	0	0	0
Sähkönkulutus, lisälämmitys	0,2	0,2	0,2	0,2
Sähkönkulutus yhteensä, MWh/vuosi	22,7	23,8	30,0	31,3
Energiakustannus, €/vuosi	2 160	2 260	2 850	2 970

Taulukko 38. Maalämpöjärjestelmän vuosittainen energiankulutus ja -kustannus, MLP-mitotus 50 %.

	Passiiviratkaisu	Passiiviratkaisu kylmävarastolla	Matalaenergiaratkaisu	Matalaenergiaratkaisu kylmävarastolla
Sähkönkulutus, lämmitys	22,2	23,2	29,1	30,4
Sähkönkulutus, jäähdytys	0	0	0	0
Sähkönkulutus, lisälämmitys	1,3	1,3	2,1	2,3
Sähkönkulutus yhteensä, MWh/vuosi	23,5	24,6	31,3	32,6
Energiakustannus, €/vuosi	2 230	2 330	2 970	3 100

Taulukko 39. Maalämpöjärjestelmän vuosittainen energiankulutus ja -kustannus, MLP-mitotus 40 %.

	Passiiviratkaisu	Passiiviratkaisu kylmävarastolla	Matalaenergiaratkaisu	Matalaenergiaratkaisu kylmävarastolla
Sähkönkulutus, lämmitys	21,5	22,5	27,9	29,0
Sähkönkulutus, jäähdytys	0	0	0	0
Sähkönkulutus, lisälämmitys	3,4	3,5	6,0	6,3
Sähkönkulutus yhteensä, MWh/vuosi	24,9	26,0	33,8	35,3
Energiakustannus, €/vuosi	2 360	2 470	3 210	3 360

Taulukko 40. Maalämpöjärjestelmän vuosittainen energiankulutus ja -kustannus, MLP-mitoitus 30 %.

	Passiiviratkaisu	Passiiviratkaisu kylmävarastolla	Matalaenergiaratkaisu	Matalaenergiaratkaisu kylmävarastolla
Sähkönkulutus, lämmitys	19,8	20,7	25,1	26,2
Sähkönkulutus, jäähdytys	0	0	0	0
Sähkönkulutus, lisälämmitys	8,4	8,9	14,1	14,9
Sähkönkulutus yhteensä, MWh/vuosi	28,2	29,6	39,3	41,1
Energiakustannus, €/vuosi	2 680	2 810	3 730	3 900

Taulukko 41. Kaukolämpöjärjestelmän vuosittainen energiankulutus ja -kustannus.

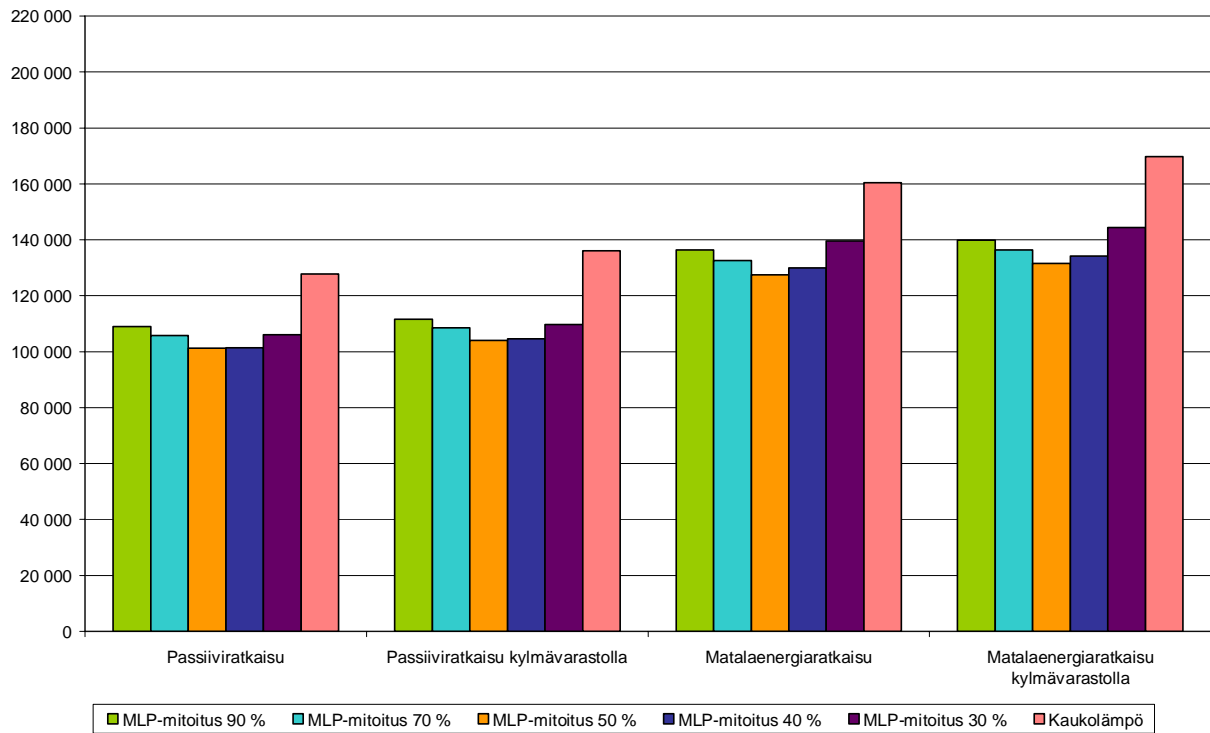
	Passiiviratkaisu	Passiiviratkaisu kylmävarastolla	Matalaenergiaratkaisu	Matalaenergiaratkaisu kylmävarastolla
Lämmityksen kaukolämpöenergia, MWh/a	67,9	71,0	89,5	93,4
Sähkönkulutus, jäähdytys, MWh/a	0,1	1,6	0,2	1,7
Lämmitysenergiakustannus, €/vuosi	3 733	3 905	4 924	5 138
Sähköenergiakustannus, €/vuosi	13	156	19	157
Energiakustannus yhteensä, €/vuosi	3 750	4 060	4 940	5 300

Eri vaihtoehdoille laskettiin elinkaarikustannukset 20 vuoden aikana kahdella energian hinnannoususkenaariolla: maltillinen ja nopea.

Taulukko 42. Eri järjestelmien elinkaarikustannukset maltillisella energian hinnannousulla (sähkö 3 %, lämpö 2 %), €

	Passiiviratkaisu	Passiiviratkaisu kylmävarastolla	Matalaenergiaratkaisu	Matalaenergiaratkaisu kylmävarastolla
MLP-mitoitus 90 %	108 964	111 655	136 299	139 927
MLP-mitoitus 70 %	105 758	108 555	132 629	136 369
MLP-mitoitus 50 %	101 201	104 056	127 497	131 630
MLP-mitoitus 40 %	101 406	104 559	130 008	134 162
MLP-mitoitus 30 %	106 007	109 714	139 627	144 393
Kaukolämpöratkaisu	127 783	136 074	160 375	169 753

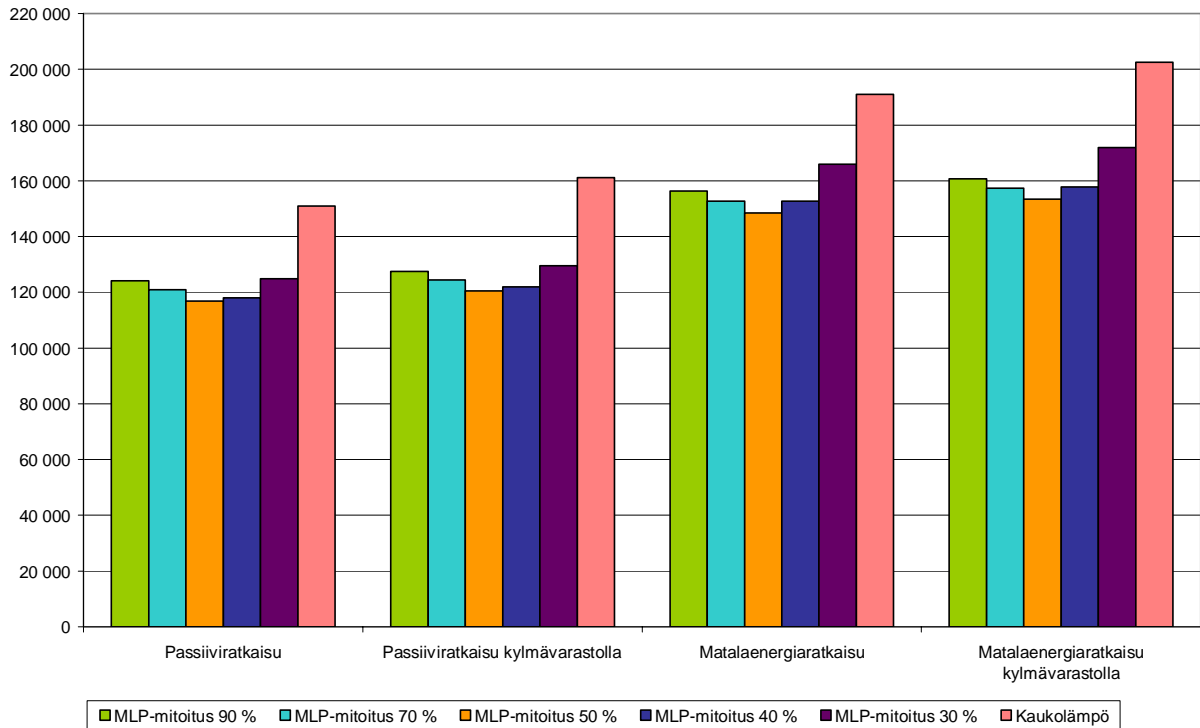
7. Elinkaarikustannuslaskenta, LCC



Kuva 13. Elinkaarikustannukset maltillisella energian hinnannousulla, €

Taulukko 43. Eri järjestelmien elinkaarikustannukset nopealla energian hinnannousulla (sähkö 5 %, lämpö 4 %), €

	Passiiviratkaisu	Passiiviratkaisu kylmävarastolla	Matalaenergiaratkaisu	Matalaenergiaratkaisu kylmävarastolla
MLP-mitotus 90 %	124 106	127 496	156 271	160 768
MLP-mitotus 70 %	120 976	124 473	152 700	157 312
MLP-mitotus 50 %	116 907	120 482	148 421	153 468
MLP-mitotus 40 %	118 051	121 975	152 632	157 796
MLP-mitotus 30 %	124 892	129 505	165 894	171 867
Kaukolämpöratkaisu	150 955	161 194	190 948	202 507



Kuva 14. Elinkaarikustannukset nopealla energian hinnannousulla, €

Maalämpö on kaikissa tapauksissa edullisin vaihtoehto. Maalämpötapauksissa matalimmat elinkaari-kustannukset saadaan tilanteessa, jossa mitoitussuhde on 50 % maksimitehosta.

Lisätarkastelu ilman jäähdytystä

Laskelmille tehtiin vielä lisätarkastelu ilman jäähdytystä ja kylmävarastoa. Tässä vaihtoehdossa jätettiin jäähdytys pois sekä maalämpö- että kaukolämpötapauksista. Eri vaihtoehdoille laskettiin elinkaari-kustannukset 20 vuoden aikana kahdella energian hinnannoususkenaariolla: maltillinen ja nopea.

Taulukko 44. Kaukolämpöjärjestelmän investointikustannukset ilman jäähdytystä, €

	Passiiviratkaisu	Matalaenergiaratkaisu
Kaukolämmön alajakokeskus	4 970	4 970
Kaukolämmön liittymismaksu	7 533	8 451
Yhteensä, €	12 503	13 421

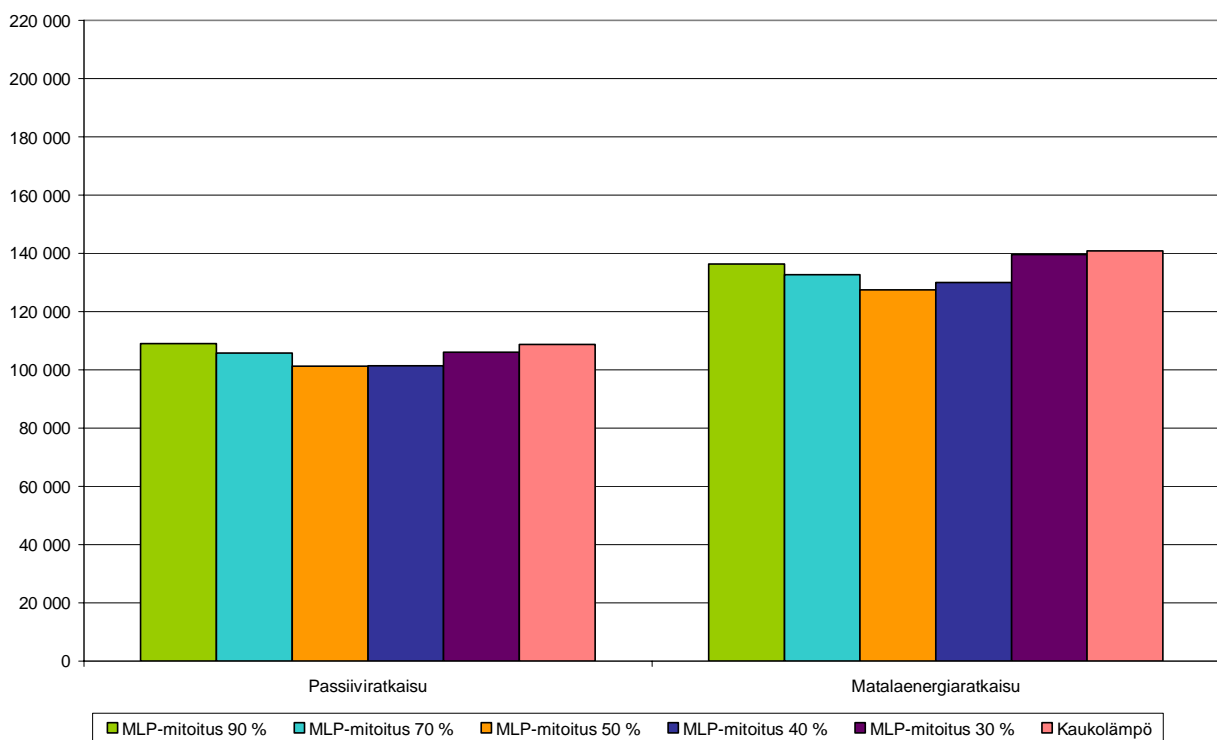
Taulukko 45. Kaukolämpöjärjestelmän vuosittainen energiankulutus ja -kustannus ilman jäähdytystä €

	Passiiviratkaisu	Matalaenergiaratkaisu
Lämmityksen kaukolämpöenergia, MWh/a	67.9	89.5
Energiakustannus, €/vuosi	3 733	4 924

7. Elinkaarikustannuslaskenta, LCC

Taulukko 46. Eri järjestelmien elinkaarikustannukset ilman jäähdytystä maltillisella energian hinnannousulla (sähkö 3 %, lämpö 2 %), €

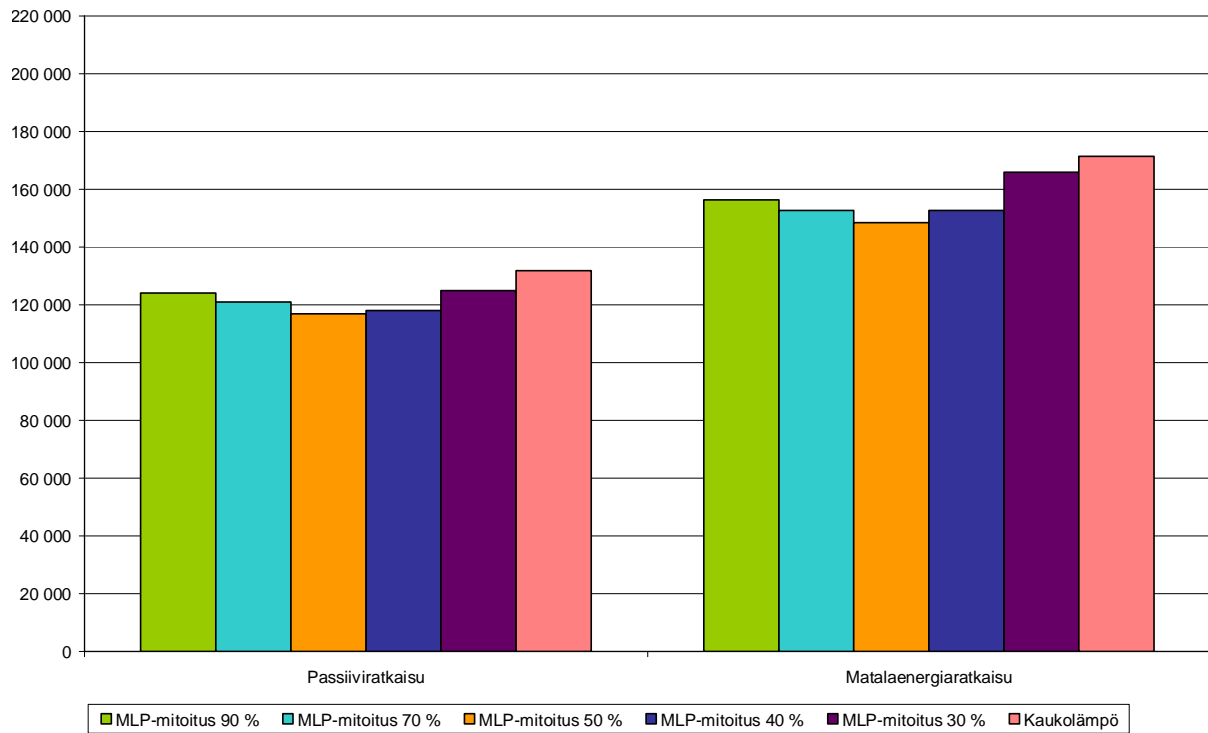
	Passiiviratkaisu	Matalaenergiaratkaisu
MLP-mitoitus 90 %	108 964	136 299
MLP-mitoitus 70 %	105 758	132 629
MLP-mitoitus 50 %	101 201	127 497
MLP-mitoitus 40 %	101 406	130 008
MLP-mitoitus 30 %	106 007	139 627
Kaukolämpöratkaisu	108 744	140 853



Kuva 15. Elinkaarikustannukset ilman jäähdytystä maltillisella energian hinnannousulla, €

Taulukko 47. Eri järjestelmien elinkaarikustannukset ilman jäähdytystä nopealla energian hinnannousulla (sähkö 5 %, lämpö 4 %), €

	Passiiviratkaisu	Matalaenergiaratkaisu
MLP-mitoitus 90 %	124 106	156 271
MLP-mitoitus 70 %	120 976	152 700
MLP-mitoitus 50 %	116 907	148 421
MLP-mitoitus 40 %	118 051	152 632
MLP-mitoitus 30 %	124 892	165 894
Kaukolämpöratkaisu	131 834	171 426



Kuva 16. Elinkaarikustannukset ilman jäähdytystä nopealla energian hinnannousulla, €

Maalämpö on ilman jäähdytystä laskettuna lähes kaikissa tapauksissa edullisin vaihtoehto. Ainoastaan maltillisella energianhinnannousulla passiiviratkaisussa maalämmön elinkaarikustannukset ovat 90 %:n mitoituksella korkeammat kuin kaukolämmön.

Taulukkoon 48 on koottu maalämmityksen elinkaarikustannus- ja edullisuusarvio 40 vuoden laskentajaksolla ja reaalisella 4 %:n energiamaksunousulla.

Taulukko 48. Maalämmön edullisuus suhteessa kaukolämpöön; Case Bergans -mallikerrostalo. MLP-mitoitus 50 %. Ei kylmävarastoa.

Bergans-mallikerrostalo

1 591 huon-m²

Kustannustaso: 1/2010 (Sis. ALV)

Nykyarvoanalyysi

Laskentajakso: 40 v.

Energian reaalihintanousu: +4 %/v.

Rahoitusaste: 70 %, nimelliskorko 6 %

		Kauko- lämpö	Maa- lämpö	Kauko- lämpö	Maa- lämpö
		Matala- energia	Matala- energia	Passiivi- energia	Passiivi- energia
KULUTUKSET	MWh/v.				
Kaukolämpöenergia		90		68	
Sähkölämpöenergia			31		24

INVESTOINTIKUSTANNUS	€	13 000	42 000	13 000	37 000
€huon-m ²		8	23	8	26
RAHOITUSKUSTANNUS	€/jakso	3 000	8 000	3 000	7 000
UUSIMISKUSTANNUS	€/jakso	6 000	25 000	6 000	22 000
HUOLTOKUSTANNUS	€/jakso	20 000	32 000	20 000	28 000
ENERGIAKUSTANNUS	€/jakso				
Kaukolämpö		445 000		338 000	
Sähkölämpö			267 000		200 000
ELINKAARIKUSTANNUS	€/jakso	487 000	374 000	380 000	294 000
€/huon-m ²		306	235	239	185
Nykyarvosäästö maalämmöllä			113 000		86 000
Tekninen takaisinmaksuaika			11...13 v.		13...15 v.
Taloudellinen takaisinmaksuaika			4...6 v.		5...7 v.
Pääoman tuottoaste			+2..4 %/v.		+2...3 %/v.
Asunnon jälleenmyyntiarvo			+1...3 %		+1...+3 %

Maalämpö on pidemmällä aikajänteellä edullinen vaihtoehto. Matalaenergiatalojen osalta 40 vuoden laskentajaksoilla (peruskorjausvälillä) kokonaissäästö on hieman yli 100 000 € (noin 70 €/huon-m²). Kun tekninen takaisinmaksuaika (tekniikasta aiheutuvat kustannukset/energiansäästöt) ylittää kymmenen vuotta, taloudellinen takaisinmaksuaika (ottaen huomioon kassavirtojen kääntymisen positiiviseksi rahoitusjärjestelyjen kautta) jää alle viideksi vuodeksi. Kun laskentajakso ylittää 15 vuotta, maalämpö on matalaenergiatalossa edullisempi kuin passiivitalossa suhteessa kaukolämpöön.

8. Hiilijalanjälkilaskenta

8.1 Laskennan perusta

Hiilijalanjälkilaskenta perustuu elinkaarianalyysiin, jossa selvitetään tuotteiden elinkaari ottaen huomioon raaka-aineiden hankinta, tuotanto, käyttö, käytöstä poisto, kierrätys sekä jätteiden loppusijoitus (ns. koko elinkaari kehdestä hautaan). Elinkaarianalyysin tulos ilmoitetaan tuotteen potentiaalisena ympäristövaikutuksena. Tuotteen hiilijalanjälki ilmoittaa, kuinka paljon kasvihuonekaasuja tuotteen elinkaaren aikana on syntynyt. Hiilijalanjälkilaskennassa selvitettäviä päästötietoja ovat ainakin CO₂, CH₄ ja N₂O. Tulos ilmoitetaan ratkaisun hiilijalanjälkenä, esim. kg CO₂ ekvivalenttina, joka lasketaan seuraavan kaavan avulla:

$$\text{Hiilijalanjälki (kg CO}_2\text{ ekv.)} = 1 * \text{CO}_2 + 25 * \text{CH}_4 + 298 * \text{N}_2\text{O}$$

Bergans Eko-Vermon kerrostalon hiilijalanjälki laskettiin talon rakennevaihtoehdoille sekä lämmitys- ja viilennysratkaisuille.

Rakennuksen hiilijalanjälki

Rakennuksen hiilijalanjälkilaskenta toteutettiin betoniselle kerrostalolle, jossa rakennevaihtoehtoina käytettiin:

- passiivirakenteita ja
- matalaenergiarakenteita.

Rakennuksen hiilijalanjälkilaskentaa varten selvitettiin rakennusvaihtoehdoissa käytettyjen materiaalien massamäärät, ja niiden perusteella laskettiin materiaalien hiilijalanjäljet. Elinkaariaikaiset rakenteiden hiilijalanjäljet laskettiin myös tarkasteluaikalle 50 vuotta. Siinä oletettiin, että ikkunat ja vesikattomateriaalit uusitaan kerran ja väliseinissä toteutetaan sisäpuolinen remontti, jossa sisäpuolella olevat kipsilevyt vaihdetaan. Muita materiaalien hoito- ja kunnossapitotoimenpiteitä ei otettu laskennassa huomioon. Laskenta ei sisällä myöskään rakennuksen käytöstä poistoa eikä jätteiden käsittelyä.

Laskennassa käytetyt rakenteiden määrät, rakennemateriaalit, kerrospaksuudet ja u-arvot ilmoitetaan Taulukossa 49.

Taulukko 49. Bergans Eko-Vermon kerrostalon rakenteet.

	Rakenne	Passiivitalo		Matalaenergiatalo	
		kokonaispaksuus, mm	u-arvo W/m ² K	kokonaispaksuus mm	u-arvo, W/m ² K
Ulkoseinä, US 900 m ²	Betonielementtiseinä, jossa SPU-eriste	550	0,078	440	0,140
Alapohja, AP 370 m ²	Maata vasten valettu betonilaatta, solupolystyreeni, kevytsora, suodatinkangas	855	0,122	805	0,150
Välipohja, VP, 1 480 m ²	Ontelolaatta	265	ei merkitystä	265	ei merkitystä
Väliseinä, VS 900 m ²	Villaeristeinen kaksinkertainen kipsilevyseinä	203	0,278	203	0,278
Yläpohja, YP 370 m ²	Kermikatto (pintakermi + 2 eristyskermiä), betonilaatta, kevytsora, SPU, tasausbetoni, ontelolaatta	822	0,071	732	0,100
Ikkunat, 170 m ²		4-lasinen	0,76	3-lasinen	0,9

Lämmitysratkaisujen hiilijalanjälki

Lämmitys- ja viilennysvaihtoehtojen hiilijalanjälki laskettiin:

- maalämpöratkaisuna (MLP) (lämmitys ja – viilennys maalämpöpumpulla, lisälämmitys sähköllä) ja
- kaukolämpöratkaisuna (kerrostalo liittyy Espoon kaukolämpöverkkoon, jäähdytys kompressorilla).

Lämmitys- ja viilennysvaihtoehtojen hiilijalanjälkilaskennassa rakenteet toteutettiin neljänä eri vaihtoehtona:

- passiivirakenteet,
- passiivirakenteet sekä kylmävarasto,
- matalaenergiarakenteet ja
- matalaenergiarakenteet sekä kylmävarasto + 10 °C.

Maalämpöpumppuratkaisun perusoletuksena oli pumpun mitoitusteho 50 % (maksimituotto 50 %, rakennuksen tilälämmityksen ja käyttöveden lämmityksen yhteenlasketusta maksimilämmitystehosta). Jäähdytyksen oletettiin toteutuvan kokonaan vapaajäähdytyksenä; silloin lämpöpumppua ei tarvita ja siitä ei aiheudu päästöjä. Tulos laskettiin 50 vuoden tarkastelujaksolle. Maalämpöpumpun tehokkuuskertoimen oletettiin olevan 3 (COP = 3; tarkoittaa, että 1 kWh sähköä tuottaa 3 kertaa enemmän lämpöä).

Kaukolämpöratkaisussa viilennys tuotettiin kompressorijäähdytyksenä. Siinä kompressorin tehokkuuskertoimen oletettiin olevan 2,5 (COP = 2,5; tarkoittaa, että 1 kWh sähköä tuottaa 2,5 kertaa enemmän jäähdytystä).

Taulukko 50. Kaukolämmitteisen rakennuksen sekä maalämpöä hyödyntävän rakennuksen ostoenergian kulutukset.

Rakennevaihtoehdot	Kaukolämpö		Maalämpö (MLP)	
	Kaukolämpö	Kompressori-jäähdytyksen sähkö (COP = 2,5)	MLP:n sähkö (COP = 3), mit. 50 %	Vapaa jäähdytys
	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a
Passiivirakenteet	67 867	138	23 475	0
Passiivirakenteet, kylmävarasto + 10 °C	71 007	1 637	24 551	0
Matalaenergiarakenteet	85 609	196	29 969	0
Matalaenergiarakenteet, kylmävarasto + 10 °C	93 420	1 651	32 641	0

Lämmitys- ja viilennysvaihtoehtojen hiilijalanjälki laskentaa varten selvitettiin keskimääräisen sähkönvalmistuksen hiilijalanjälki sekä Espoon kaukolämmön ja maalämpöratkaisussa käytetyn sähkön hiilijalanjälki. Lämmitysratkaisujen hiilijalanjälkiarviossa tarkasteluna käytettiin 50 vuotta.

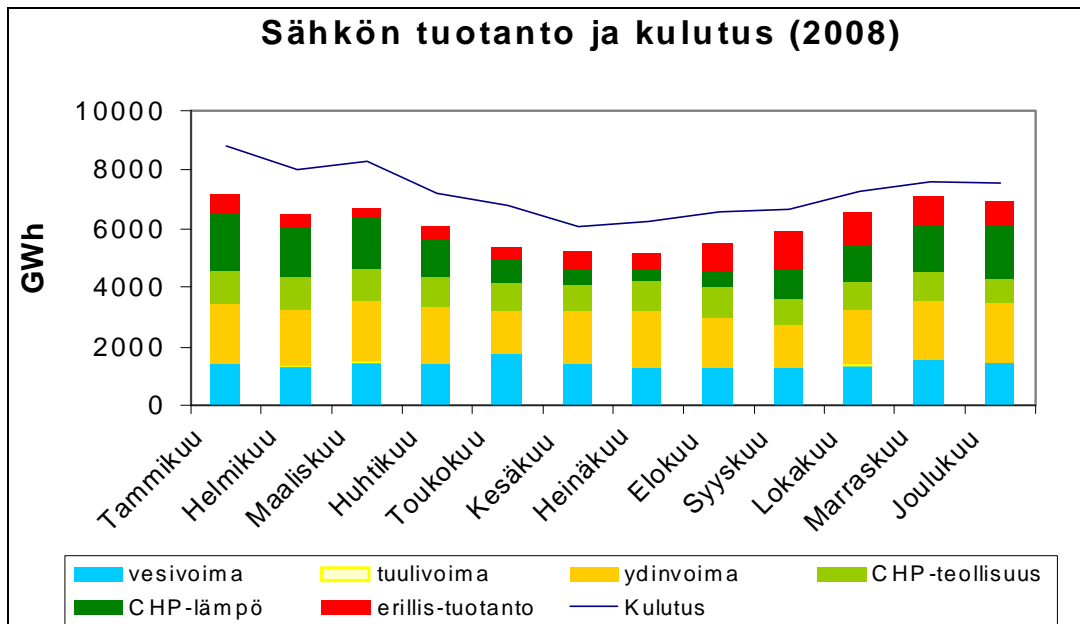
8.2 Energiantuotannon hiilijalanjälki

Energiantuotannon hiilijalanjälki vaikuttaa myös rakennuksien energiankäytön elinkaarihedullisuuteen. Aina rakennuksien energiatehokkuuden kehittäminen ei kannata, jos muutoksia nykyisissä energiantuotannon rakenteissa ei tehdä. Suomen energia- ja ilmastostrategian täytyy luoda mahdollisuus uusiin sähkötuotantokapasiteettien rakentamiseen niin tehon kuin energiatarpeen näkökulmasta.

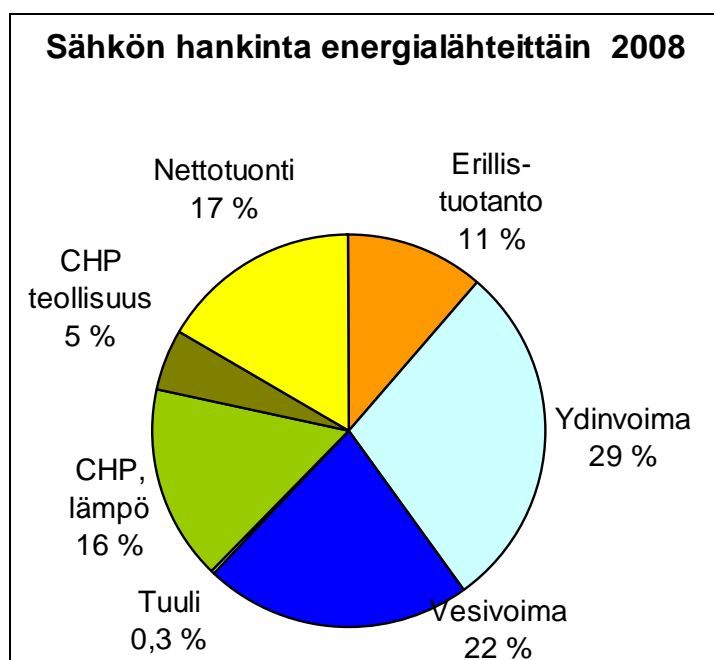
Energiantuotannon hiilijalanjälki laskettiin keskimääräiselle sähkön- ja lämmöntuotannolle, kivihiihilauhdesähkön tuotannolle sekä Espoon kaukolämpötuotannolle. Lisäksi arvioitiin energia- ja ilmastostrategian kehityksen perusteella Suomen sähköntuotannon kehityspotentiaali.

8.2.1 Keskimääräisen sähkön ja kaukolämmön hiilijalanjälki

Sähkön ja kaukolämmöntuotannon hiilijalanjälki laskettiin vuoden 2008 tilanteen mukaan. Lähtötietona käytettiin Energiategollisuus ry:n sekä Tilastokeskuksen tilastoja. Vuositasolla kotimainen sähkötuo-
tointo on ollut pienempi kuin sähkön kulutus. Vuonna 2008 tuotanto oli 77,4 TWh, kun kulutus oli 87,2 TWh. Puuttuva osaa sähkötarpeesta ostetaan tällä hetkellä Suomeen ulkopuolelta; vuonna 2008 nettotuonti on ollut jopa 17 % (Kuva 18). Kuvassa 18 esitetään vuoden 2008 tuotannon ja kulutuksen tilanne sekä Kuvassa 17 sähkön hankinta energialähteittäin.



Kuva 17. Sähkön tuotanto ja kulutus (2008).



Kuva 18. Sähkön hankinnan energialähteet (2008).

Yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon (CHP-laitoksissa) ympäristövaikutusten laskemiseksi täytyy aina polttoaineiden käytön suhteen tehdä jako (kohdentaminen) lämmöntuotannon ja sähköntuotannon välillä. Päästöjen kohdentamismenetelmiä löytyy useita:

- kohdentamista ei käytetä, tuloksena vain yksi tuote, kaikki päästöt jaetaan sille
- energiamenetelmä, kohdennuksena käytetään polttoaineiden energiasisältöä

- hyödynjakomenetelmä, päästöt jaetaan vaihtoehtoisten hankintamuotojen polttoainekulutusten suhteessa (oletetaan, että vaihtoehtoisena sähköntuotantona käytetään lauhdetuotantoa ja vaihtoehtoisena lämmöntuotantona vesikattilalämpöä)
- exergy-menetelmä – kohdentaminen tapahtuu polttoaineiden exergy-energiasisällön pohjalta
- taloudellinen arvo
- ym.

Taulukoissa 51 ja 52 esitetään energiamenetelmällä ja hyödynjakomenetelmällä lasketut päästöt sähkön- ja lämmöntuotannolle.

Taulukko 51. Sähkön- ja lämmöntuotannon CO₂-päästö vuonna 2008 laskettuna hyödynjakomenetelmällä ja energiamenetelmällä.

	Hyödynjako- menetelmä, 1 000 000 tonnia CO₂	Energia- menetelmä, 1 000 000 tonnia CO₂
Sähkö	15,5	13,7
Lämpö	6,0	7,7
Yhteensä	21,5	21,5

Taulukko 52. Keskimääräisen sähkön ja lämmön hiilijalanjälki (2008) laskettuna hyödynjakomenetelmällä ja energiamenetelmällä.

Suomen keskimääräinen tuotanto	Hyödynjako- menetelmä, g CO₂ ekv. /kWh	Energia- menetelmä, g CO₂ ekv. /kWh
Sähkön hiilijalanjälki	224	199
Lämmön hiilijalanjälki	210	270

Tilastokeskuksen tilastoissa yleensä CHP-laitoksissa tuotetun sähkön ja lämmön polttoaineiden jakomenetelmänä on käytetty energiamenetelmää. Vaihtoehtoisesti Tilastokeskus esittää tulokset myös hyödynjakomenetelmää käyttäen.

8.2.2 Erillisellä lauhdetuotannolla tuotetun sähkön hiilijalanjälki

Suomen sähköntuotanto ei kata sen tarvetta, ja jos esimerkiksi lisääntyvä sähköntarve ajoittuu pakkas-kaudelle, jossa oma sähköntuotannon kapasiteetti ylittyy, joudutaan tuomaan sähköä ulkomailta tai tuottamaan lisää sähköä erillisellä lauhdutusvoimalla.

Vuonna 2008 21 % sähköstä ja 75 % lämmöstä tuotettiin sähkön- ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa (CHP-laitos). Toisaalta, jos osa lämmöstä jää CHP-laitoksissa tuottamatta sen takia, että lämmölle ei ole käyttötarvetta, myös osa sähköstä jää tuottamatta.

8. Hiilijalanjälkilaskenta

Tässä laskennassa oletuksena oli, että maalämmitysratkaisussa lisälämmitystarve saattaa aiheuttaa sähkötuotannon kapasiteetin ylittymistä, jolloin sähköä joudutaan joko osittain tai kokonaan valmistamaan lauhdutusvoimalla.

Lauhdutusvoiman valmistus ja vastaavat päästöt arvioitiin käyttämällä lähtötietona Fortumin Inkoon ja Meri-Porin laitoksien tuotantolukuja. Molemmat laitokset perustuvat kivihiililauhdevoiman tuotantoon. Inkoon osuus tuotetusta lauhdevoimasta oli 2 % ja Meri-Pori laitoksen osuus 98 % (laskettu vuoden 2008 tuotannon mukaan).

Tuloksena kivihiililauhdetuotannon hiilijalanjälki oli 966 g/kWh.

8.2.3 Espoon kaukolämpö

Tänä päivänä sähkötuotantoyhtiöitä voidaan kilpailuttaa, ja verkosta on mahdollista ostaa minkä tahansa valmistajan tuottamaa sähköä. Sähkön tuotantotapaa ja alkuperä voivat vaihteella suurestikin, mutta sen sijaan kaukolämpöä tuotetaan paikallisesti. Myös teknologia (tehokkuus) ja raaka-aineiden saatavuus riippuvat paikallisesta tarjonnasta. Kaukolämmön paikallisuuden takia, aina kun on mahdollista, pitäisi käyttää lämmöntarjoajan tuotannosta johtuvia päästötietoja.

Bergans Eko-Vermo-kerrostalo rakennetaan Espooseen, joten paikallinen toimittaja on Fortum Power and Heat Oy, Espoo. Laskennassa kaukolämmön valmistuksen päästötiedot perustuvatkin Espoon Suomenojan tuotantoarvioon (uusi tuotantoyksikkö) sekä Espoon ja Kirkkonummen lämpölaitoksien tuotantoon vuonna 2008.

Laskennan tuloksena Espoon kaukolämmön hiilijalanjälki oli 193 g / kWh.

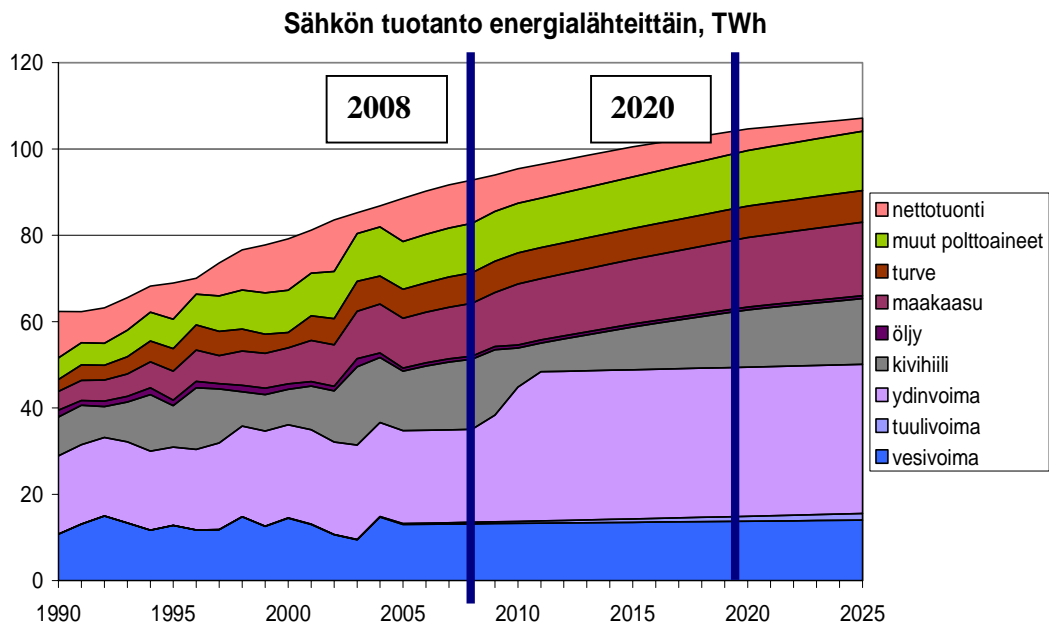
8.2.4 Energiatuotannon kehitysnäkymät ja sähkön hiilijalanjälki

Sähköntuotannon riittävyys sekä tuotantotavan muutokset vaikuttavat oleellisesti hiilijalanjälkilaskelmiin. Seuraavassa on esitetty hahmotelmia energiatuotannon tulevaisuudesta.

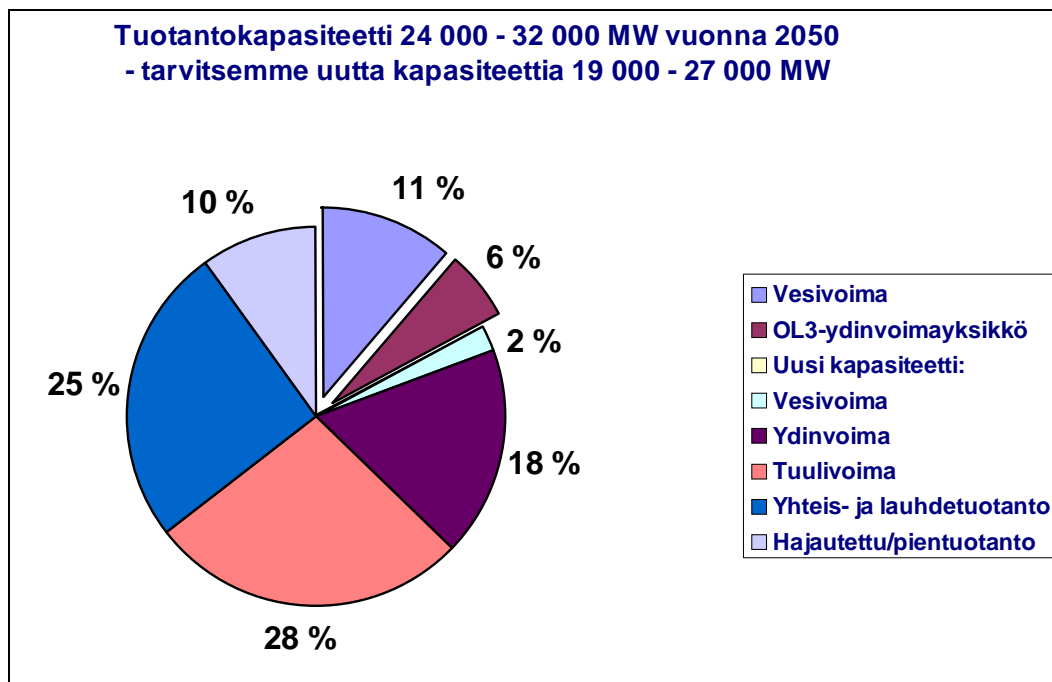
Tulevaisuudessa sähköntuotanto Suomessa kasvaa, valmistuu Olkiluoto 3 (OLK 3) sekä mahdollisesti pari muuta ydinvoimalaa (Fennovoiman ja TVO:n laitos). Toisaalta täytyy ottaa huomioon, että osa nykyisistä energiatuotantolaitoksista tulee käyttöikänsä päähän ja poistuu käytöstä. Kuvissa 19 ja 20 esitetään Energiateollisuus ry:n näkemys Suomen sähköntuotannon kehityksestä vuoteen 2025 saakka sekä sähköntuotannon kapasiteetti vuonna 2050.

Energiateollisuuden arvio sähköntarpeesta (tuotanto + nettotuonti) vuonna 2015 on noin 100 TWh. Tässä laskennassa oletetaan kuitenkin maltillisempaa energiankulutuksen kasvuskenaariota, jonka mukaan vasta vuoden 2025 jälkeen sähköntarve ylittää 100 TWh ja on vuonna 2050 tämä on 117 TWh.

Taulukossa 53 esitetään vuoden 2008 toteutunut sähkön nettohankinta ja mahdollinen sähköntuotannon kehitysskenaario vuosiksi 2015, 2030 ja 2050. Vuoden 2015 oletuksena on, että uusi TVO:n laitos (OLK 3, 14 TWh) on jo käytössä. Vuoden 2030 oletuksena on, että Loviisan voimalaitos (8 TWh) sekä OLK 1 ja OLK 2 (yhteensä 12 TWh) poistuvat käytöstä ja uudet mahdolliset voimalaitokset OLK 4 (12 TWh) sekä Fennovoima:n voimalaitos (12 TWh) otetaan käyttöön. Lisäksi taulukossa ilmoitetaan myös Energiateollisuus ry:n arvioitu tuotantotarve vuodeksi 2050 (Lähde: Energiavuosi 2009. Energiateollisuus ry, 28.1.2010).



Kuva 19. Sähkön tuotanto energialähteittäin (Lähde: Suomen energia- ja ilmastostrategian skenaario, TEM ja Energiateollisuus ry, 5.3.2008).



Kuva 20. Sähköntuotantokapasiteetti 2050. (Lähde: Energiavuosi 2009. Energiateollisuus ry, 28.1.2010).

8. Hiilijalanjälkilaskenta

Taulukko 53. Sähkön nettohankinta energialähteittäin energialähteittäin (2008 edustaa toteutunutta hankintaa, 2015, 2030 ja 2050 ovat arvioita ja 2050* on Energiateollisuus ry:n kehitysnäkymä³).

	2008	2015	2030	2050	2050*
	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a	TWh/a
Vesivoima	16,8	14	14	15	16–18
Tuulivoima	0,26	6	9,5	9,5	15–20
Ydinvoima	22	36	38	38	45–60
Pientuotanto					3–7
Sähkön ja kaukolämmön yhteistuotanto yhteensä	26,5	25	25,5	27,5	25–30
josta CHP, teollisuus	11,9	10	11,5	11,5	
josta CHP, lämpö	14,6	15	14	16	
Tuotanto ilman erillistä lauhdevoimaa	65,7	81	87	90	105–135
Kulutus yhteensä	87,2	96	106	117	
Lisätarve	21,5	15	19	27	
Sähkön erillistuotanto	8,8, josta > 50 % kivihiihilauhde	6	9	12	10–15
Nettotuonti	12,8	9	10	15	

* Energiateollisuus ry:n arvio.

Sähköntuotannon lisätarve oli vuonna 2008 yli 20 TWh. Uusien ydinvoimaloiden ansiosta (ykäi rakenteilla ja kaksi harkinnassa) tarve pienenee aluksi jonkin verran, mutta kun osa tuotantokapasiteetista poistuu käytöstä, sähkön lisätarve kasvaa jälleen. Lisätarve voi maltillisen kulutuskasvun mukaan olla vuonna 2050 jopa 27 TWh.

Toisaalta, energiateollisuuden sähköntuotannon kehitysskenaariossa ehdotetaan, että tuulivoimatuotanto kasvaa, ydinvoimaa rakennetaan lisää ja, jos lisäksi ”risupaketit” CHP-tuotannossa otetaan käyttöön ja sähkön kulutus kasvaa vain vähän, voidaan päästä sähkönkäytön osalta omavaraisuuteen sekä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen.

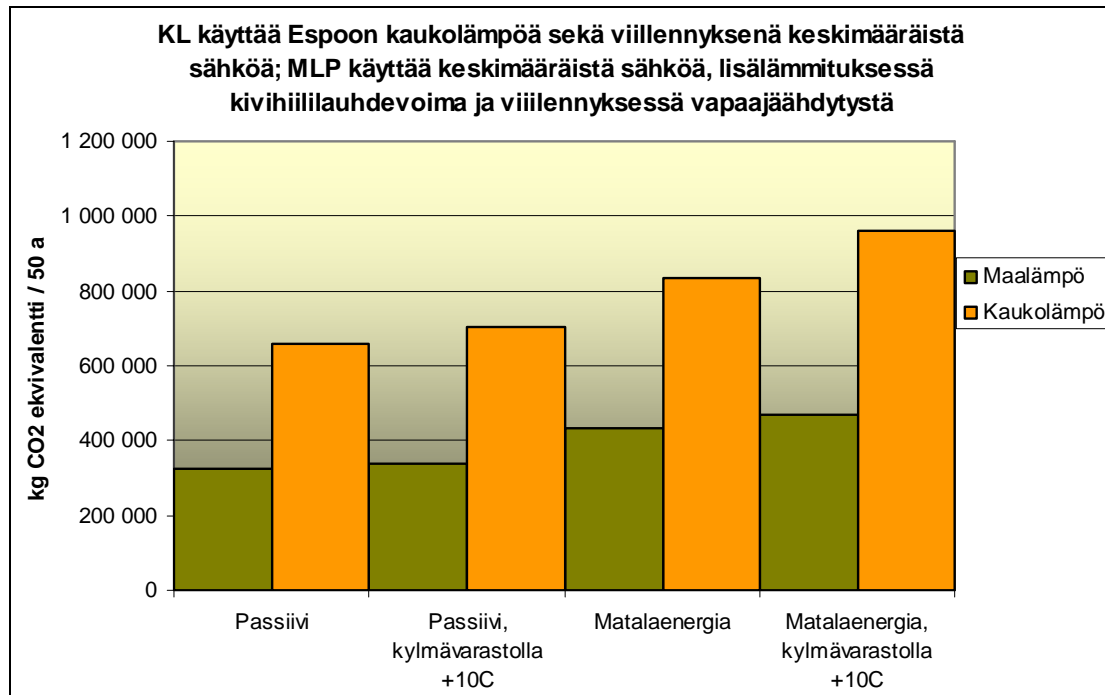
Toisaalta pohjoismaisilla sähkönmarkkinoilla kilpailu on vapaa ja sähkön tuotantotapa valikoituu kysynnän ja tarjonnan perusteella. Sähkön kysynnän kasvaessa suureksi säätövarana toimii edelleen lauhdekapasiteetti, jonka kasvihuonekaasupäästöt ovat suuria. Suomen sähköntuotannon hiilijalanjäljen muutoksen suuruus riippuu siitä, minkälaisia poliittisia päätöksiä Suomessa tehdään kotimaisen sähköntuotannon lisäämiseksi ja kehittämiseksi.

8.3 Energiankulutuksen hiilijalanjälkitulokset

Kuvassa 21 esitetään tapaus, jossa oletuksena on, että maalämpöpumppuratkaisuissa käytetty sähkötarve ei aiheuta oleellisia muutoksia Suomen sähköntuotannossa. Oletuksena on, että:

³ Lähde: Energiavuosi 2009. Energiateollisuus ry, 28.1.2010.

- maalämpöpumpun tarvitsema sähkö (pumpun sähköntarve) tuotetaan keskimääräisellä Suomalaisella sähköllä ja lisälämmitystarve lauhdevoimalla (sähkön erillistuotanto kivihiililauhteella) ja
- kaukolämpö tuotetaan Espoon kaukolämmöllä ja viilennyksen tarvitsema sähkö tuotetaan keskimääräisellä Suomalaisella sähköllä.



Kuva 21. Eri rakennusratkaisuilla toteutettujen rakennuksien energiankulutuksen hiilijalanjälki 50 vuoden tarkasteluajana (kg CO₂ ekvivalentti / 50 a), vaihtoehtoina maalämmitys ja -viilennys tai kaukolämmitys ja kompressorijäähdytys.

Edellisen laskennan mukaan hiilijalanjälki maalämpöpumppuratkaisuna toteutetuissa rakennuksissa oli pienempi kuin rakennuksissa, jossa käytettiin kaukolämpöä. Tämä kuitenkin ei ole oikea johtopäätös, kun tiedetään, että sähkönkysyntä Suomessa ylittää tuotannon jo nyt. Lisäksi sähkön kysynnän kasvun ja huippukulutuksen kasvun odotetaan seuraavina vuosina jatkuvan. Joustava sähköntuotannon kapasiteetti Suomessa tällä hetkellä on lauhdevoima, joka perustuu pääasiassa kiivihiihen sekä turpeen käyttöön.

Maalämpöpumpun käytön vaikutus hiilijalanjälkeen riippuu voimakkaasti siitä, miten lisääntynyt sähköntarve Suomessa tullaan turvaamaan ja miten korvaava sähkökapasiteetti tullaan tuottamaan. Tässä laskennassa maalämpöpumpun käytöstä johtuva lisääntyvä energiantarve otettiin huomioon eri sähköntuotannon skenaarioitten avulla (skenaariot 1–4) (Kuva 22). Kaukolämmitysratkaisulla ei oletettu olevan vaikutusta kaukolämmön tuotantorakenteeseen. Kaukolämmön ympäristöprofiilina käytettiin Espoon kaukolämpötuotannon CO₂ ekv.-päästöä ja kompressorijäähdytyksen osalta keskimääräisen Suomalaisen sähkön CO₂ ekv. päästöä.

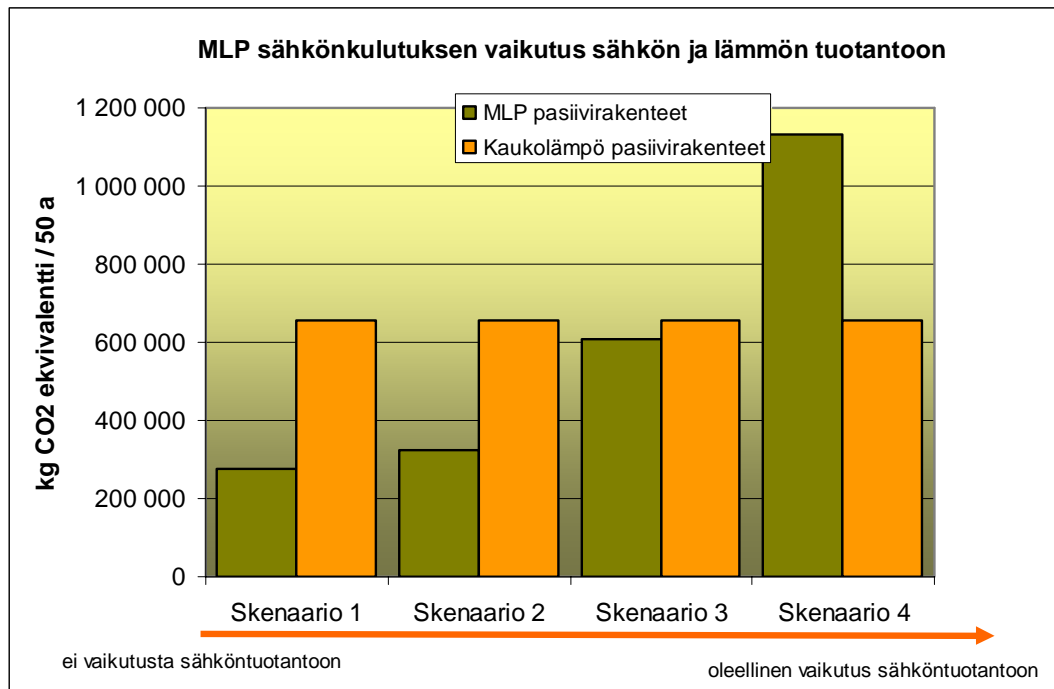
Skenaario 1 – Maalämpöpumpun tarvitsema sähkö sekä mitoitetusta (50 %) johtuva lisälämmitystarve tuotetaan keskimääräisellä suomalaisella sähköllä.

Skenaario 2 – Maalämpöpumpun tarvitsema sähkö (pumpun sähköntarve) tuotetaan keskimääräisellä suomalaisella sähköllä ja lisälämmitystarve lauhdevoimalla (sähkön erillistuotanto kivihiililauhteella).

8. Hiilijalanjälkilaskenta

Skenaario 3 – Maalämpöpumpun tarvitsema sähkö (pumpun sähköntarve sekä lisälämmitystarve) talvikuukausina (joulukuu, tammikuu, helmikuu) tuotetaan 100 % lauhdetuotannolla (sähkön erillistuotanto kivihiililauhteella), muulloin keskimääräisellä suomalaisella sähköllä.

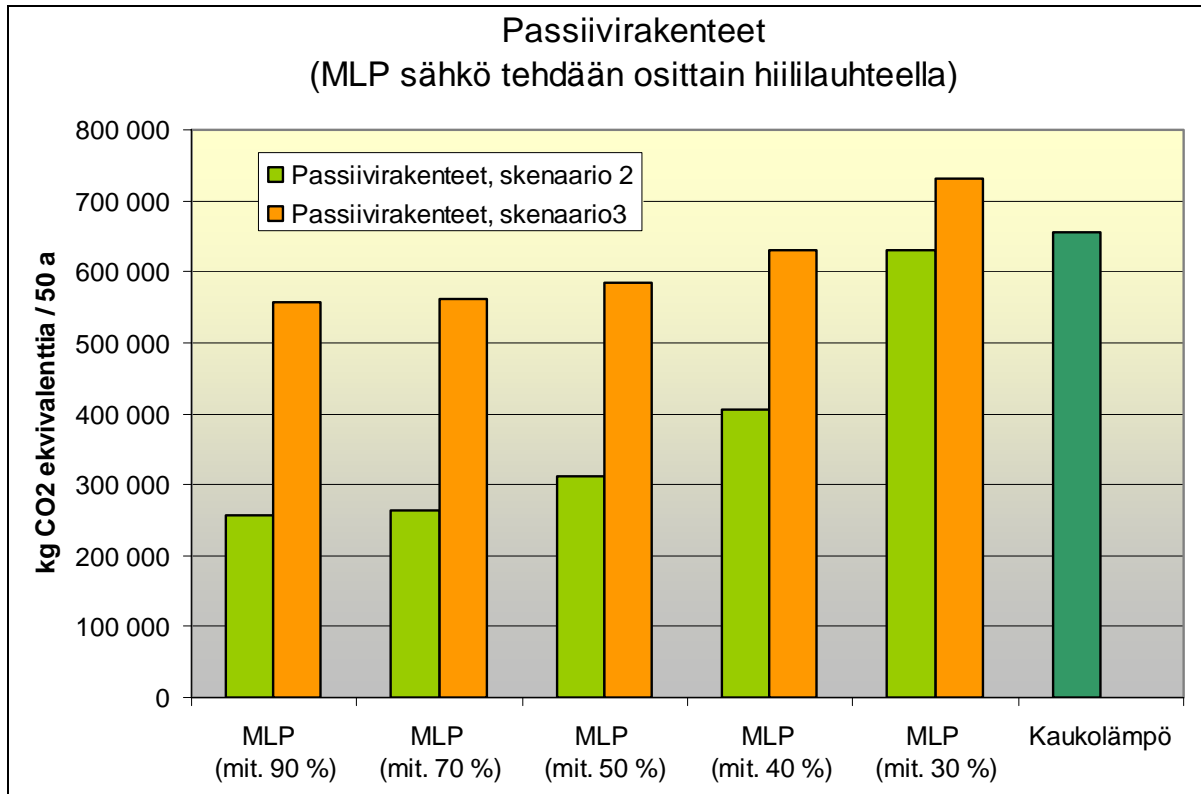
Skenaario 4 – Kaikki maalämpöpumpun tarvitsema sähkö sekä lisälämmitys tuotetaan 100 % lauhdetuotannolla (sähkön erillistuotanto kivihiililauhteella).



Kuva 22. Maalämpöpumpun sähkökulutuksen vaikutus sähköntuotantoon.

Tarkastelu tehtiin passiivitalon rakenteilla. Skenaarioilla 1 ja 2 maalämpöratkaisun hiilijalanjälki oli alle puolet kaukolämpöratkaisun hiilijalanjäljestä. Skenaariolla 3 maalämpöratkaisun hiilijalanjälki oli hieman pienempi kuin kaukolämpöratkaisun. Skenaariolla 4 maalämpöratkaisun hiilijalanjälki oli lähes kaksi kertaa isompi kuin kaukolämpöratkaisun hiilijalanjälki.

Lisäksi maalämpöpumppuratkaisun päästöt arvioitiin erilaisille pumpun maksimituotoille (30 %, 40 %, 70 % ja 90 % rakennuksen tilalämmityksen ja käyttöveden lämmityksen yhteenlasketusta maksimilämmitystehosta). Siinä maalämpöpumpun sähköntarve oletettiin tuotettavaan kahdella vaihtoehdoisella tavalla (skenaario 2 ja skenaario 3) ja kaukolämpö Espoon kaukolämmöllä (Kuva 23).



Kuva 23. Passiivirakenteisen rakennuksen hiilijalanjälki, tarkasteluikä 50 vuotta. Maalämpöpumppuratkaisun päästöt arvioitiin erilaisille pumpun maksimituotoille ja kahdelle sähköntuotannon skenaariolle (skenaariossa 2 maalämpöpumpun sähköntarve tuotetaan keskimääräisellä suomalaisella sähköllä ja lisälämmitystarve lauhdevoimalla (sähkön erillistuotanto kivihiiililauhteella) ja skenaariossa 3 pumpun sähköntarve sekä lisälämmitystarve talvikuukausina tuotetaan 100 % lauhdetuotannolla, muulloin keskimääräisellä suomalaisella sähköllä).

Tuloksen mukaan passiivirakenteisessa talossa melkein kaikkien maalämpöpumpun mitoitusasteiden osalta maalämpöpumpun hiilijalanjälki oli pienempi kuin kaukolämpötarkastelussa, paitsi tapauksessa jossa maalämpöpumpun mitoitusaste oli pienin (30 %) ja sähköä jouduttiin tuottamaan talvikuukausina kivihiiililauhdetuotannolla (skenaario 3).

8.4 Rakennuksen hiilijalanjälki

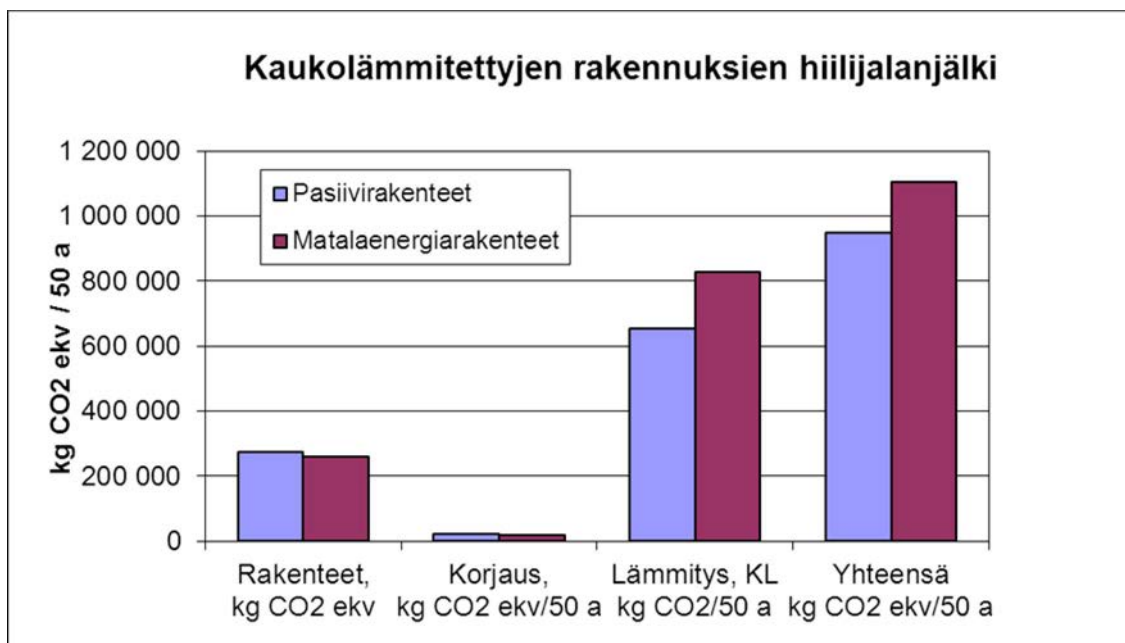
Taulukossa 54 esitetään betonirakenteisen kerrostalon hiilijalanjälki ilman rakennuksen korjausta sekä korjatulle rakennukselle. Korjausskenaariossa rakennuksen tarkasteluikä oli 50 vuotta. Siinä oletettiin, että ikkunat vaihdetaan, väliseinäkipsilevyt (1 kipsilevykerros) uusitaan, samoin vesikatto. Tulos esitetään passiivirakenteiselle sekä matalaenergiarakenteiselle rakennukselle.

8. Hiilijalanjälkilaskenta

Taulukko 54. Passiivirakenteisen ja matalaenergiarakenteisen kerrostalon hiilijalanjälki valmiille rakennukselle sekä korjatulle rakennukselle (tarkasteluikä 50 vuotta).

	Passiivirakenteet kg CO ₂ ekv. ilman korjauksia	Matalaenergiarakenteet, kg CO ₂ ekv. ilman korjauksia	Passiivirakenteet kg CO ₂ ekv. tarkasteluikä 50 vuotta	Matalaenergiarakenteet, kg CO ₂ ekv. tarkasteluikä 50 vuotta
Ulkoseinä	82 900	74 200	ei korjauksia, 82 900	ei korjauksia, 74 200
Alapohja	29 800	28 600	ei korjauksia, 29 800	ei korjauksia, 28 600
Välipohja	89 430	89 430	ei korjauksia 89 430	ei korjauksia 89 430
Väliseinä	18 200	18 200	1 x kipsilevyn vaihto (+ 3 400) 21 600	1 x kipsilevyn vaihto (+ 3 400) 21 600
Yläpohja	48 500	46 600	vesikaton vaihto (+11 000) 59 500	vesikaton vaihto (+11 000) 57 600
Ikkunat	6 000	4 400	ikkunan vaihto (+ 6 000) 12 000	ikkunan vaihto (+ 4 400) 8 800
Yhteensä	274 830	261 530	295 230	280 230

Kuvassa 24 esitetään sellaisten kaukolämmitteisten kerrostalojen hiilijalanjälki 50 vuoden tarkasteluajalle, joissa rakenteet ovat toteutettu joko passiivirakenteisena tai matalaenergiarakenteisena.



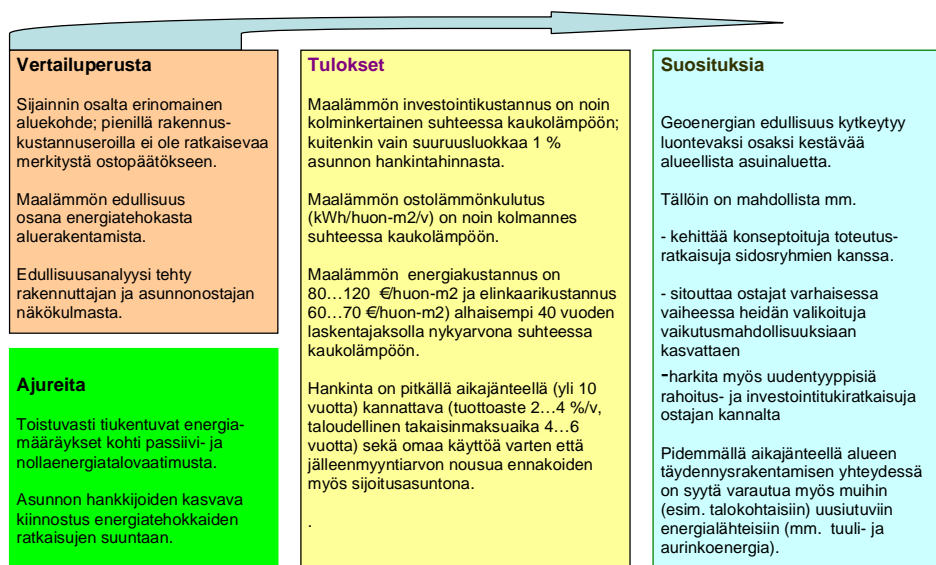
Kuva 24. Kaukolämmitettyjen rakennuksien (passiivirakenteinen tai matalaenergiarakenteinen) hiilijalanjälki, tarkasteluikä 50 vuotta.

Rakennuksen kerrosalaa kohden, joka oli 2 124 m², passiivirakenteisen kerrostalon materiaalien hiilijalanjälki oli 139 kg/kerros-m² ja matalaenergiarakenteisen kerrostalon hiilijalanjälki oli 132 kg/kerros-m² (sisältää myös korjausmateriaalit). Silloin, kun rakennuksen käyttö on 50 vuotta, sen tarvittava lämmitys toteutetaan kaukolämmöllä ja tarvittavat korjaustoimet otetaan laskennassa huomioon, kerrostalon hiilijalanjäljet ovat vastaavasti 447 kg/kerros-m² 50 a (passiivirakenteinen kerrostalo) ja 521 kg/kerros-m² 50 a (matalaenergiarakenteinen kerrostalo).

Verrattaessa vain kerrostalon rakenneratkaisuita, elinkaarianalyysitarkastelun mukaan passiivitalon rakenteet lisäsivät kerrostalon hiilijalanjälkeä vain vähän (< 10 %) verrattuna matalaenergiatason rakenteisiin. Kun otettiin lisäksi huomioon käytönaikainen energiankulutus sekä rakenteiden korjaukset 50 vuoden ajalta, passiivitalon kokonais- hiilijalanjälki on pienempi (noin 20 %) kuin matalaenergiatalon hiilijalanjälki. Tämän tarkastelun lämmitysvaihtoehtona oli kaukolämpö.

9. GeoEner-liiketoimintamalli

SUOSITUKSET



TOIMIJA	Kaupunki Yhdyskunnalliset vaikutukset	Yritykset Liiketoimintavaikutukset	Asukkaat Asumisvaikutukset
EDUT JA MAHDOLLISUUDET	Energiantuotannon optimaalinen hallinta; parempi energiaomavaraisuus ja pienemmät päästöt. Alueellinen arvonnousu ja tonttivarannon myyntipotentiaali.	Mahdollisuus soveltaa konseptoitua rakentamista. Mahdollistaa uudentyypiset rahoitus- ja investointitukiratkaisut. Mahdollistaa uusien erikoiskauppojen synnyttämisen.	Alhaisemmat asumiskustannukset, parempi arvonkehitys ja korkeampi tuottopotentiaali. Parempi ekotehokkuus ja pienempi riippuvuus energianhinnan vaihteluista. Hyvien ja terveellisten sisäolosuhteiden varmistaminen; vähäisemmät vaurioitumisriskit.
HAITAT JA RISKIT	Toimivuusriskit; huoltovarmuus?	Voi kasvattaa toimivuusvastuuongelmia.	Järjestelmän uusimisväli suhteellisen lyhyt (20 v.). Voi vaikuttaa tonttialueen muuhun hyödynnettävyyteen.



Julkaisun sarja, numero ja
raporttikoodi

VTT Tiedotteita 2546
VTT-TIED-2546

Tekijä(t) Riikka Holopainen, Sirje Vares, Jouko Ritola & Sakari Pulakka		
Nimeke Maalämmön ja -viilennyksen hyödyntäminen asuinkerrostalon lämmityksessä ja jäähdytyksessä		
Tiivistelmä Maa- ja kallioenergia yhdyskunnan energiahuollossa (GEOENER) -projekti on Tekesin rahoittamaan Kestävä yhdyskunta 2007–2012 -teknologiaohjelmaan kuuluva ryhmähanke. Hankkeen tarkoituksena on edistää uusiutuvan, tuontipolttoaineita säästävän ja kestävä kehitystä tukevan maa- ja kalliolämmön (geoenergian) käyttöä Suomessa ja luoda alalle sellaista soveltavaa tutkimusta/osaamista, joka on suomalaisten yritysten hyödynnettävissä niiden kotimaisessa ja kansainvälisessä liiketoiminnassa. Hankkeessa kuvataan eri geoenergiajärjestelmien toteutusratkaisuja kohde-esimerkkien avulla ja arvioidaan järjestelmien toimivuutta. Julkaisussa tarkastellaan Espoon Vermoon suunnitellun maalämpöä hyödyntävän esimerkkikerrostalon toimivuutta eri maalämmön mitoitusosuuksilla. Maalämpöratkaisua verrataan kaukolämpöratkaisuun sekä elinkaarikustannusten että hiilijalanjäljen osalta.		
ISBN 978-951-38-7644-9 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinumero 24590
Julkaisu-aika Syyskuu 2010	Kieli Suomi	Sivu-ja 56 s.
Projektin nimi Maa- ja kallioenergia yhdyskunnan energiahuollossa (GEOENER)		Toimeksiantaja(t) Tekes ja alan yritykset
Avainsanat Geothermal heating, geothermal cooling, passive housing, low-energy house		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374

Maa- ja kallioenergia yhdyskunnan energiahuollossa (GEOENER) -projekti on Tekesin rahoittamaan Kestävä yhdyskunta 2007–2012 -teknologiaohjelmaan kuuluva ryhmähanke. Hankkeen tarkoituksena on edistää uusiutuvan, tuontipolttoaineita säästävän ja kestävä kehitystä tukevan maa- ja kalliolämmön (geoenergian) käyttöä Suomessa ja luoda alalle sellaista soveltavaa tutkimusta/osaamista, joka on suomalaisten yritysten hyödynnettävissä niiden kotimaisessa ja kansainvälisessä liiketoiminnassa.

Hankkeessa kuvataan eri geoenergiajärjestelmien toteutusratkaisuja kohde-esimerkkien avulla ja arvioidaan järjestelmien toimivuutta. Julkaisussa tarkastellaan Espoon Vermoon suunnitellun maalämpöä hyödyntävän esimerkkikerrostalon toimivuutta eri maalämmön mitoitusosuuksilla. Maalämpöratkaisua verrataan kaukolämpöratkaisuun sekä elinkaarikustannusten että hiilijalanjäljen osalta.

Maa- ja kallioenergia yhdyskunnan energiahuollossa (GEOENER) -projekti on Tekesin rahoittamaan Kestävä yhdyskunta 2007–2012 -teknologiaohjelmaan kuuluva ryhmähanke. Hankkeen tarkoituksena on edistää uusiutuvan, tuontipolttoaineita säästävän ja kestävä kehitystä tukevan maa- ja kalliolämmön (geoenergian) käyttöä Suomessa ja luoda alalle sellaista soveltavaa tutkimusta/osaamista, joka on suomalaisten yritysten hyödynnettävissä niiden kotimaisessa ja kansainvälisessä liiketoiminnassa.

Hankkeessa kuvataan eri geoenergiajärjestelmien toteutusratkaisuja kohde-esimerkkien avulla ja arvioidaan järjestelmien toimivuutta. Julkaisussa tarkastellaan Espoon Vermoon suunnitellun maalämpöä hyödyntävän esimerkkikerrostalon toimivuutta eri maalämmön mitoitusosuuksilla. Maalämpöratkaisua verrataan kaukolämpöratkaisuun sekä elinkaarikustannusten että hiilijalanjäljen osalta.