



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Konstantin Lipaev

Asuinkerrostalojen hybridikytkentöjen energia- ja elinkaaritutkimus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

01.04.2021

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Konstantin Lipaev Asuinkerrostalojen hybridikytkentöjen energia- ja elinkaaritutkimus 43 sivua + 8 liitettä 01.04.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	yliopettaja Rauno Holopainen LVI-insinööri Sami Linnermo
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää poistoilmalämpöpumpun hankinnan kannattavuus kaukolämpöön liitettyssä asuinkerrostalossa. Poistoilmalämpöpumpulla talteen otettua lämpöenergiaa käytetään kerrostalossa ensisijaisesti tilojen lämmitykseen.</p> <p>Opinnäytetyössä on esitetty poistoilmalämpöpumpun toiminnan periaate, lämpöpumpun liittyvät komponentit sekä tehon ja energiankulutuksen laskenta. Työssä tutkittiin poistoilmalämpöpumpujärjestelmä, joka on liitetty kaukolämmössä olevan asuinkerrostalon poistoilmanvaihtojärjestelmään. Tässä työssä tästä järjestelmästä on käytetty nimeä hybridijärjestelmä.</p> <p>Opinnäytetyössä laskettiin poistoilmalämpöpumpulla aikaan saatu lämmitysenergian säästö, lämpöpumpun investoinnin nykyarvo ja takaisinmaksuaika. Lämmitysenergian kulutustiedot ovat helsinkiläisestä asuinkerrostalosta, jossa poistoilmalämpöpumppu oli ollut käytössä neljän vuoden ajan. Poistoilmalämpöpumppu oli asennettu taloon putkiremontin ja lämmitysjärjestelmän saneerauksen yhteydessä.</p> <p>Poistoilmalämpöpumppua ei ole tarkoitus käyttää kesäaikana tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen, koska kaukolämmön hinta on silloin edullista. Putkiremontin jälkeen talon vedenkulutus oli vähentynyt. Tämä on otettu huomioon investoinnin kannattavuuden laskennassa.</p> <p>Poistoilmajärjestelmän automaatiosta löydettiin virhetoiminto, joka on pitänyt poistoilmalämpöpumpun käytössä myös kesän aikana. Tämä on vaikuttanut saavutettavaan säästöön. Löydetyistä virheistä on ilmoitettu hybridijärjestelmän suunnittelijalle.</p> <p>Tässä tutkimuksessa poistoilmalämpöpumpujärjestelmän takaisinmaksuaika on noin 20 vuotta. Takaisinmaksuajassa on otettu huomioon lämpöpumpujärjestelmän kompressorin uusiminen 10 vuoden välein.</p>	
Avainsanat	poistoilmalämpöpumppu, kaukolämpö, hybridilämmitys, energialaskenta, elinkaarilaskenta, takaisinmaksuaika

Author Title Number of Pages Date	Konstantin Lipaev Energy and Life Cycle Calculations for Hybrid Heating for Apartment Buildings 43 pages + 8 appendices 1 April 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Program	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC, Design
Instructors	Rauno Holopainen, Principal Lecturer Sami Linnermo, HVAC engineer
<p>The goal of the final year project was to establish if heating with a hybrid heating system consisting of an exhaust air heat pump and district heating is more cost effective than district heating alone in an apartment building. The building had only district heating earlier but has now hybrid heating.</p> <p>The energy consumption of the building both before and after the renovation was compared and the energy and life cycle costs were calculated. Furthermore, data for the hybrid heating system was collected from the energy management system.</p> <p>The results showed that the renovation of the heating system reduced the consumption of district heating and increased use of electricity. Furthermore, it was shown that the payback period of the system with a heat-pump is quite long.</p> <p>Based on the analysis, it seems that a hybrid system is not as attractive to customers as is advertised. Naturally, there are benefits in the system, but they are diminished by the maintenance costs and the price of electricity.</p>	
Keywords	heating, hybrid heating, life cycle calculation, LCC

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn asettelu	1
1.2	Työn tavoitteet	1
1.3	Työn rajaukset	1
1.4	Työn tilaaja	1
2	Lähtötiedot kohteesta	2
2.1	Kohde	2
2.2	Lähtötiedot tutkimuskohteesta	2
2.3	Vertailtavat järjestelmät	4
2.4	Kiinteistön alkuperäinen kaukolämpö	4
2.5	Kiinteistön kulutustiedot	4
3	Hybridijärjestelmä	5
3.1	Tärkeitä lähtötietoja PILP-järjestelmän suunnittelussa	5
3.2	Kytkentäkaavio	6
3.3	Lämmöntalteenottoyksikkö	7
3.4	Järjestelmän liuosnesteeseen täyttöyksikkö	8
3.5	Lämpöpumput	8
3.6	Lämmönsiirtopiirit	9
3.7	Lämmönjakuhuoneen ääneneristys	11
3.8	Järjestelmän lämmönsiirtoputkisto	12
3.9	Lämpöpumpun kylmäane	12
4	Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate	12
5	Hybridijärjestelmän tehon laskelmat	15
5.1	Kiinteistön lämmitystehotarve	16
5.1.1	Huipputehotarve	16
5.1.2	Käyttöveden lämmittämisen energiatarve	17

5.1.3	Huipputehon tarvittava arvo	19
5.2	Lämmöntalteenoton tehon laskenta	19
5.2.1	Lämmöntalteenoton teho	19
5.2.2	Ilmavirta	22
5.2.3	Kondenssiveden määrä	22
5.2.4	Lämmöntalteenoton tehon mitoitus	23
6	Kiinteistön energiakustannukset	25
6.1	Sähkökulutus	25
6.2	Kiinteistön vuosien vesikulutus	25
6.3	Kiinteistön kaukolämmön energiakulutus	26
6.4	Kiinteistön energian vuosikulutus	28
7	Elinkaaritutkimus	29
7.1	Investointikustannukset	29
7.1.1	Kaukolämpö	29
7.1.2	Hybridijärjestelmä	30
7.2	Huoltokustannuksien nykyarvo	31
7.3	Lämpölaitteiden energiakustannusten nykyarvo	33
7.3.1	Kaukolämpölaite	33
7.3.2	Energiakustannusten nykyarvo	35
7.4	Elinkaarilaskenta	36
7.4.1	Huoltokustannusten nykyarvo	37
7.4.2	Reaalikorko	38
7.5	Tulokset	39
8	Tulosten analysointi	41
9	Yhteenveto	42
	Lähteet	44
	Liite 1. Kiinteistön alkuperäinen lämmönjakokeskuksen laitteiden mitoitusarvot	
	Liite 2. Hybridijärjestelmän kytkentäkaava As. Oy Maasälväntie 6	
	Liite 3. Lämmönjakokeskuksen laitteiden mitoitusarvot	
	Liite 4. Kaukolämmön hinta Suomessa ja Helen Oy:ssä vuosina 2015–2019	

Liite 5. Helenin kaukolämmön energian hintojen kasvu (2015–2019). Helenin kaukolämmön energian hintojen keskiarvon kasvu keskimäärin 4,5 %/vuodessa

Liite 6. Sähkön hinnan keskiarvo Suomessa (2015–2019). Sähkön hinnan keskimääräinen kasvu 4,6 %/vuodessa.

Liite 7. Lämmitysjärjestelmien elinkaari

Liite 8. HögforsGST palvelupaketit

Lyhenteet

COP Coefficient of Performance. Lämpöpumpun lämpökerroin

hybridilämmitys

tarkoittaa useiden eri energialähteiden käyttöä lämmitykseen ja käyttöveden lämmitykseen eri vuodenaikoina. Hybridijärjestelmän tavoitteena on tuottaa energiaa ympäristöystävällisellä ja tehokkaalla tavalla

LCC Life Cycle Costs. Elinkaari-kustannukset.

LTO lämmön talteenotto

PILP poistoilmalämpöpumppu

1 Johdanto

1.1 Työn asettelu

Opinnäytetyössä laskettiin Helsingissä sijaitsevan asuinkerrostalon lämmitysjärjestelmän elinkaari- ja energiatehokkuus kahdella eri lämmitysjärjestelmällä. Kerrostalon lämmitysjärjestelmä oli ennen putkiremonttia kaukolämpö. Putkiremontin yhteydessä talon poistoilmajärjestelmään oli asennettu poistoilmalämpöpumppu (PILP). Tässä työssä lämmitysjärjestelmästä, jossa on poistoilmalämpöpumppu ja kaukolämpö, käytetään nimeä hybridijärjestelmä.

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena oli selvittää poistoilmalämpöpumpulla asuinkerrostalossa aikaan saatu energiankulutuksen säästö, lämpöpumpun investoinnin nykyarvo ja takaisinmaksuaika. Tavoitteena oli myös selvittää poistoilmalämpöpumpun toimintaa. Vertailemalla eri vaihtoehtoja saadaan valittua kuluttajalle edullisin lämmitysjärjestelmä.

1.3 Työn rajaukset

Opinnäytetyön lähtötietoina olivat asuinkerrostalon kulutustiedot ja poistoilmalämpöpumpun asennukseen ja kytkentään liittyvät tiedot. Kulutustiedot on saatu asuinkerrostalon isännöitsijältä. Poistoilmalämpöpumppuun liittyvät tiedot ovat saatu poistoilmalämpöpumpun asentaneelta urakoitsijalta. Työssä on perehdytty poistoilmalämpöpumpun toiminnan teoriaan ja sen liittämiseen asuinkerrostalon poistoilmanvaihtojärjestelmään. Investoinnin kannattavuus laskettiin nykyarvomenetelmällä.

1.4 Työn tilaaja

Opinnäytetyö tehtiin Rakennuttajakaari Oy:lle. Opinnäytetyön taulukot ja kuvaajat on tehty yhdessä Rakennuttajakaari Oy:n LVI-suunnittelupäällikön kanssa.

2 Lähtötiedot kohteesta

2.1 Kohde

Tutkimuskohteena oli Helsingissä sijaitseva asuinkerrostalo. Vuonna 2016 kerrostaloon oli tehty putkiremontti ja lämmitysjärjestelmän saneeraus. Putkiremontin yhteydessä vaihdettiin vesikalusteet ja huoneistoihin asennettiin vedenkulutusmittarit.

Alkuperäisenä lämmitysjärjestelmänä kiinteistössä oli kaukolämmitys. Lämmitysjärjestelmän saneerauksessa yhteydessä kerrostalon poistoilmajärjestelmään asennettiin poistoilmalämpöpumppu. Hybridijärjestelmän suunnittelija ja toimittaja oli HögforsGST Oy.

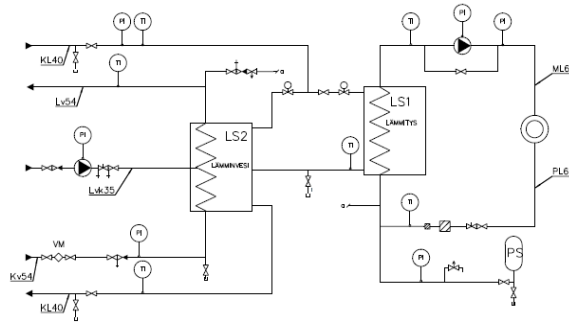
2.2 Lähtötiedot tutkimuskohteesta

Kohde on 8-kerroksinen asuinkerrostalo Helsingissä. Rakennuksessa on 48 asuntoa ja sen bruttopinta-ala on 1 892 m². Rakennuksen tilavuus on 7 605 m³. Betonielementeistä tehty rakennus on valmistunut vuonna 1962. Rakennuksessa on koneellinen poistoilmavaihtojärjestelmä. Rakennuksen katolla sijaitsee yksi huippumuri, joka hoitaa koko rakennuksen poistoilmavaihdon. Kohteen lämmitystuotantona on ollut kaukolämpö. Lämpö jaetaan rakennuksen tiloihin radiaattoreilla. (Kuva 1.)



Kuva 1. Opinnäytetyön kohteena oleva asuinrakennus

Lämmönjaon alkuperäiset mitoituslämpötilat ovat 80/60 °C. Saneerauksen yhteydessä taloon asennettiin poistoilmalämpöpumppu ja uusi lämmönjakokeskus. Rakennuksen porraskäytävissä oli hyvin tilaa uusitun järjestelmän vaatimille putkituksille. Alkuperäisessä suunnitelmassa rakennuksen lämmitysteho on 160 kW ja käyttöveden lämmitys-teho 310 kW. Kaukolämmön kytkentäpiirustus ja mitoitus tiedot ovat kuvissa 2 ja 3.



Kuva 2. Kiinteistön alkuperäinen kaukolämmityksen peruskytkentä

LÄMMÖNJAKOKESKUKSEN LAITTEIDEN MITOITUS					
LÄMMÖNSIIRTIMET	Yksikkö	Käyttövesi LS 1		Lämmitys LS 2	
Valmistaja		GETETHERN			
Malli		617-120-2V		617-80	
Teho	kW	310		160	
		ensiö	toisio	ensiö	toisio
virtaus	dm ³ /s	1,45	1,64	0,76	1,91
painehäviö	kPa	20	26	2	10
Lämpötilat	°C - °C	70 - 19	10 - 55	115 - 65	60 - 80
SUUNNITTELUPAINE	kPa	1,6	1,6	1,6	1,6
RAKENNUSAINE		Hst	Hst	Hst	Hst
ventiilit		käyttövesi		lämmitys	
Teho					
Valmistaja		TAC-COM OY		TAC-COM OY	
Malli		V241		V241	
virtaus	dm ³ /s	0,82		0,67	
Painehäviö	kPa	54		36	
KOKO / Kvs-ARVO	DN/kvs	15/4,0		15/4,0	
Kiertovesipumppu		käyttövesi		lämmitys	
Valmistaja		Kolmeks		Kolmeks	
Malli / lisätiedot		AP-32/4-130		AL-1032/4/FCC	
virtaus	dm ³ /s	0,5		1,91	
nostokorkeus	kPa	55		30	
mootorin teho	w	200		500	

Kuva 3. Kiinteistön alkuperäinen lämpöjakokeskuksen laitteiden mitoitus (katso liite 1)

2.3 Vertailtavat järjestelmät

Työssä on vertailtu kahta lämmitysjärjestelmää: kaukolämpöjärjestelmää ja hybridijärjestelmää. Kiinteistössä on ollut kaukolämpö vuoteen 2016 saakka. Poistoilmajärjestelmään on lisätty poistoilmalämpöpumppu putkiremontin yhteydessä. Työssä tutkittiin hybridijärjestelmän toimintaa ja arvioitiin laskennallisesti sen kannattavuutta asuinkerrosta-
lossa.

2.4 Kiinteistön alkuperäinen kaukolämpö

Kaukolämpöä siirretään kiinteistöihin lämmöneristetyssä kaksiputkisessa kaukolämpö-
verkossa (meno- ja paluujohto). Tutkittava asuinkerrostalo oli kytketty kaukolämmön
verkkoon vuonna 1963 heti talon valmistuttua. Kaukolämmön toimittaja oli Helsingin
Energia, joka on nykyisin Helen Oy.

Kaukolämmön siirrossa tapahtuvaa lämpöhäviötä on noin 9 %. Lämmin kaukolämpövesi
tulee kiinteistössä olevaan lämpöjakokeskukseen, jossa kaukolämpövesi luovuttaa läm-
pöenergia kiinteistön lämmitysverkkoon. Jäähtynyt kaukolämpövesi johdetaan kauko-
lämpöverkostoon lämpölaitokselle uudelleen lämmitettäväksi. [9]

2.5 Kiinteistön kulutustiedot

Asuinkerrostalosta oli saatavilla viimeisten vuosien kulutustietoja. Isännöitsijältä saa-
dusta toimintakertomuksesta oli kiinteistön kulutustiedot vuosilta 2012–2019. Taulu-
kossa 1 on esitetty kohteen kokonaiskulutus vuositasolla. Taulukossa on myös kohteen
ominaiskulutus.

Taulukko 1. Asuinkerrostalon kulutustiedot vuosilta 2012–2019

Kokonaiskulutus	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Lämpö (MWh/a)	441,0	404,9	347,0	325,4	280,2	172,9	136,9	118,5
Normitettu lämpö (MWh/a)	443,6	418,8	368,4	365,2	283,0	183,3	136,3	122,0
Vesi (m ³ /a)	3951,0	3667,9	4004,5	4129,7	2533,5	2814,7	2820,8	2779,9
Sähkö (kWh/a)	26333,0	27883,0	26594,0	27605,0	65028,0	62724,0	72678,0	71070,0

Ominaiskulutus								
Lämpö (kWh/m ³)	58,3	55,1	48,4	48,2	37,2	24,1	17,9	1605,0
Vesi (l/(hlö*vrk))	174,0	180,0	196,0	202,0	118,0	132,0	129,0	127,0
Sähkö (kWh/m ²)	3,5	3,7	3,5	3,6	8,6	8,3	9,6	9,4

Vuonna 2016 kiinteistössä tehtiin putkiremontti ja lämmitysjärjestelmän saneeraus. Vuoden 2016 kulutustietoja ei ole käytetty laskelmissa.

3 Hybridijärjestelmä

Hybridijärjestelmän toimittaja oli HögforsGST Oy. Suurin osa järjestelmästä on tehty tai valmistettu Suomessa olevissa tehtailla mahdollisimman pitkälle valmiiksi. Järjestelmä koostuu moduuleista, jolloin asennusaika ja käyttökatkokset saadaan työmaalla minimoitua. Laitteiston automaatio on esiasennettu ja testattu tehtaalla kohteen arvioitujen asetusarvojen mukaisiksi.

Toimittajan palveluihin kuuluvat myös poistoilman lämmöntalteenoton valvontapalvelut. Sivustokohtaisen ohjelmointityön osuus maksaisi huomattavasti enemmän kuin vastaava ja modulaarinen järjestelmä. [13]

3.1 Tärkeitä lähtötietoja PILP-järjestelmän suunnittelussa

Ennen PILP-järjestelmän suunnittelun aloittamista on tärkeää kerätä kiinteistöstä riittävästi tietoja. Tietojen perustella suunnittelija pystyy tekemään järjestelmän oikea valinta. Tarvittavia tietoja ovat mm.

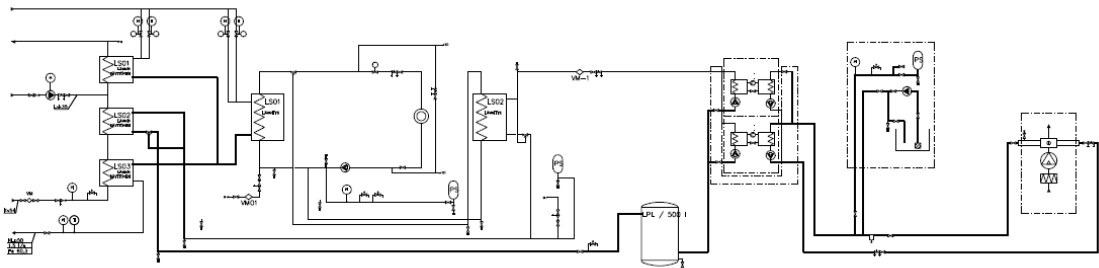
- rakennuksien lukumäärä
- asuntojen lukumäärä
- rakennuksen tilavuus
- kiinteistön lämmitysjärjestelmä
- nykyisen lämmitysverkoston lämpötilat
- sähköenergian hinta
- paikallinen kaukolämpöenergian hinta
- kaukolämmön perusmaksun hinta

- lämmitysenergian kulutus viime vuosilta
- käyttöveden kulutuksen määrä, parhaassa tapauksessa, lämpimän käyttöveden kulutuksen määrä
- ilmastovaihtojärjestelmän
- huippuimureiden tai puhaltimien sijoituspaikat ja määrät
- rakennuksen pääsulakekoko
- katon rakenne.

Tarkasteltava hybridijärjestelmä soveltuu kiinteistöihin, jossa on vesikiertoinen lämmönjako ja koneellinen poistoilmavaihto. [22]

3.2 Kytchentäkaavio

Järjestelmä koostuu yksiköistä, jotka on koottu, testattu ja esisäädetty tehtaalla. Moduuleita ovat lämmöntalteenottoyksikkö, järjestelmän liuosnesteeseen täyttöyksikkö, lämpöpumput, lämmönsiirtopiirit, lämmityspiiri ja käyttöveden piiri (kuva 4).



Kuva 4. Kiinteistön hybridijärjestelmän (PILP/KL) kytchentäkaavio

Lämmöntalteenottolaitteet ovat laitteita, jotka siirtävät lämpöä poistoilmasta joko tuloilmaan tai rakennuksen lämmitysjärjestelmään ja vähentävät siten rakennuksen lämmitysenergian kulutusta. [13]

Tyypilliseen lämmöntalteenottolaitteistoon kuuluu poistoilmakanavassa oleva lämmöntalteenottopatteri, lämmönsiirtoputkisto, pumppu ja lämpöpumppu. Kuvassa 5 on lämmönjakokeskuksen laitteiden mitoitustaulukko.

HögforsGST Oy		LÄMMÖNJAKOKESKUKSEN LAITTEIDEN MITOITUS																	
Kohteen osoite / Merkki: Esimerkki																			
KESKUKSEN PN luokka (ensio)																			
PN16																			
Kyltöntäkaavio: Hybridi - 2p - KV(2vet) + L. Jälkijäähdytys																			
KÄYTTÖVESI																			
LÄMMITYS																			
LATAUSPIIRI (Käyttövesi)																			
LATAUSPIIRI (Lämmitys)																			
LÄMMÖNSIIRTIMIT		Yksikkö		170HEX01 / 170HEX02		101HEX01		170HEX03		101HEX02									
Valmistaja		HögforsGST		HögforsGST		HögforsGST		HögforsGST		HögforsGST									
Malli		HG2x40x40		B80Hx58 304		B85Hx100		FlowEx DN50		FlowEx DN50									
Teho		kW		300		175		106		47.5									
		Ensio		Toisio		Ensio		Toisio		Ensio		Toisio							
Virtaus		l/s		1.45		1.5		0.58		1.41		1.14		1.5		1.15		1.414750881	
Lämpötilat		°C-°C		70 - 20		10 - 58		115 - 41		40 - 70		50 - 27.49		25 - 42		50 - 40		40 - 48,12	
Painehäviöt		kPa		14.48		15.82		3.07		15.53		6.98		11.43		2		2	
Suunnittelupaine		MPa		1.6		1.6		1.6		1.6		1.6		1.6		1.6		1.6	
Virtaava aine		Vesi		Vesi		Vesi		Vesi		Vesi		Vesi		Vesi		Vesi		Vesi	
Rakennearine EN10028/7-		EN1.4401		EN1.4401		EN1.4301		EN1.4301		EN1.4401		EN1.4401		EN1.4401		EN1.4401		P235GH	
Tilavuus (ensio/toisio)		l		7.02		7.2		2.89		3		4.61		4.7		4.61		17	
SÄÄTÖKESKUS																			
Valmistaja				HögforsGST				HögforsGST											
Malli				FIKSU				FIKSU											
SÄÄTOVENTTIILIT				170FV01 / 170FV02		101FV01 / 101FV02		131FV01 / 131FV02		101FV03									
Valmistaja				SCHNEIDER		SCHNEIDER		BELIMO		BELIMO									
Malli				V231/15/0.63 / V231/20/6.3		V231/15/0.63 / V231/15/2.5		H532B-16 / H532B-16		H532B-16									
Virtaus		l/s		0.13 / 1.32		0.12 / 0.46		1.14 / 1.14		1.414750881									
Painehäviöt		kPa		56.71		44.5		6.6 / 6.6		10.1									
Kokoilvus-arvo		DNkvs		15 / 20		0.63 / 6.3		15 / 15		0.63 / 2.5		32 / 32		16 / 16		32		16	
SÄÄTÖMOOTTORIT				170FV01 / 170FV02		101FV01 / 101FV02		131FV01 / 131FV02		101FV03									
Valmistaja				BELIMO		BELIMO		BELIMO		BELIMO									
Malli				NVC24A-SZ-TPC + ZNV-202 / NVC24A-SZ-TPC + ZNV-202		NVC24A-SZ-TPC + ZNV-202 / NVC24A-SZ-TPC + ZNV-202		NVC24A-SZ-TPC / NVC24A-SZ-TPC		NVC24A-SZ-TPC / NVC24A-SZ-TPC									

Kuva 5. Kiinteistön hybridi (PILP+KL) -lämmönjakokeskuksen laitteiden mitoitustaulukko

3.3 Lämmöntalteenottoyksikkö

Tavallinen nestekiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmä on jaettu kahteen yksikköön. Ulkoyksikkö asennetaan katolle ja sisäyksikkö kytketään lämmitysjärjestelmään. Pääsääntöisesti ulkoyksikkö koostuu poistoilmasuodattimesta, poistoilmapuhaltimesta sekä höyrystimestä (lämmönsiirrin) ja sisäyksikön lauhduttimesta.

HögforsGST:n laitteessa käytetään epäsuoraa höyrystintä. Höyrystin on poistoilmakanavassa oleva poistoilmapatteri, josta liuos siirtää lämpöenergiaa edelleen lämpöpumpun varsinaiseen kylmäainepiiriin, joka sijaitsee tavanomaisesti sisäyksikössä. Lämmöntalteenottoyksikössä olevassa höyrystimessä käytetään mikrokanavakennoa.

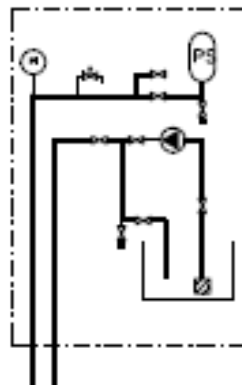
Tutkitussa asuinkerrostalon poistoilmanvaihdossa on yksi huippuimuri ja lämpöpumpun ulkoyksikkö on sijoitettu sen yhteyteen. Laite on suunniteltu asennettavaksi suoraan ole-massa olevan läpiviennin päälle. [22]

Poistoilmassa olevassa lämmönsiirtimessä lämmönsiirtoneste lämpenee noin 4 °C. Lämmennyt lämmönsiirtoneste pumpataan lämpöpumpun höyrystimelle, jossa lämmönsiirtoneste luovuttaa lämpöä ja jäähtyy noin 4 °C.

3.4 Järjestelmän liuosnesteiden täyttöyksikkö

Liuosnesteiden täyttöyksikkö on tärkeä osa järjestelmää (kuva 6). Sillä voidaan tehdä ke-ruupiirin täytöt sekä seurata piirin lämpötilaa sekä painemittauksia. Sillä voidaan tarvittaessa tehdä myös vastavirtahuuhteluita.

Täyttöyksiköitä on erilaisia. Osassa täyttöyksiköitä on teholtaan alimitoitettu pumppu (ei riittävästi nostokorkeutta), eikä niissä ole lainkaan mittasuhteita.



Kuva 6. Järjestelmän liuosnesteiden täyttöyksikkö, kaavio

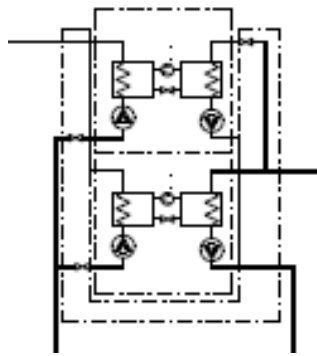
Liuosneste olisi vaihdettava viiden vuoden välein. Käyttöaikana liuosnesteiden ominaisuudet muuttuvat. Nesteiden pH voi nousta yli 9:n, mikä kiihdyttää putkien ja keinojen korroosiota. Hybridijärjestelmän tuottajan mukaan hybridijärjestelmän käyttäjät noudattavat harvoin valmistajan antamia huolto-ohjeita.

3.5 Lämpöpumput

Lämpöpumput valitaan käytössä olevan ilmavirran mukaan. Jäähdytystehon pitää olla sellainen, että ilmanvaihdon ollessa nimellisteholla lämpöpumppu käy noin 50–60 %:n kapasiteetilla. Lämpöpumppu pitää olla varustettu invertteri-kompressorilla, jotta se voi

mukautua käytössä olevaan ilmavirtaan. Lämpöpumput, joissa on ON/OFF-säätö, eivät pysty säätämään keruupiirin jäähdytystehoa riittävän tarkasti. Tässä kohteessa on käytössä NIBE F1345 -lämpöpumppu, joka on ON/OFF-mallinen (kuva 7).

Lämpöpumpun teho on 30 kW, joka soveltuu suuriin asuin- ja teollisuuskiinteistöihin sekä muihin paljon lämpöä tarvitseviin rakennuksiin. Lämpöpumppu on varustettu kahdella suurella kompressorilla, jotka toimivat rinnankytkettynä. Lämpöpumput käynnistyvät tarpeen mukaan, mikä takaa paremman tehonsäädön, pidemmän käyttöiän ja suuremman toimintavarmuuden.



Kuva 7. Nibe F1345 koostuu kahdesta lämpöpumppumoduulista, joita kytketty rinnakkain

Nibe F1345 koostuu kahdesta päällekkäisestä lämpöpumppumoduulista, kiertovesipumpuista, ohjausyksiköstä sekä mahdollisesta lisälämmönlähteestä. Kompressoriyksikkö voidaan irrottaa kuljetusta, asennusta ja huoltoa varten. Lisätietoja on lämpöpumppujen valmistajan kotisivulla. [26]

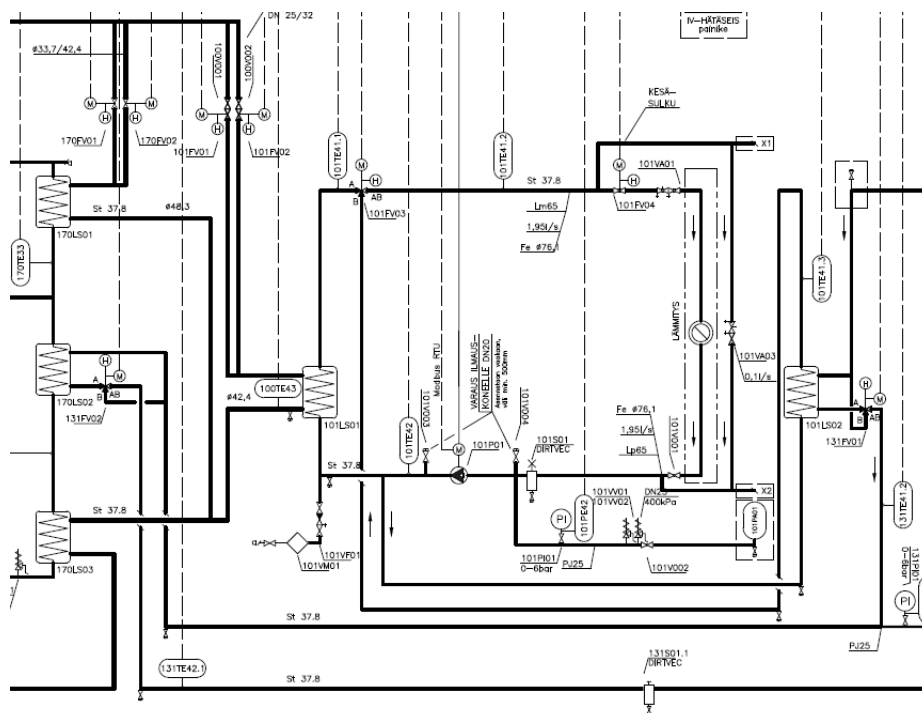
3.6 Lämmönsiirtopiirit

Kiinteistössä käytössä oleva hybridijärjestelmä on nyt 4 vuotta vanha.

Lämpöpumppu tuottaa 50 °C:n lämpöistä vettä, kun vesivirta on 0,87 l/s. Lämmitetty vesi pääsee 3-tie-moottoriventtiin (131FV01) kautta lämmityksen ja lämpimän käyttöveden latauspiiriin (kuva 8).

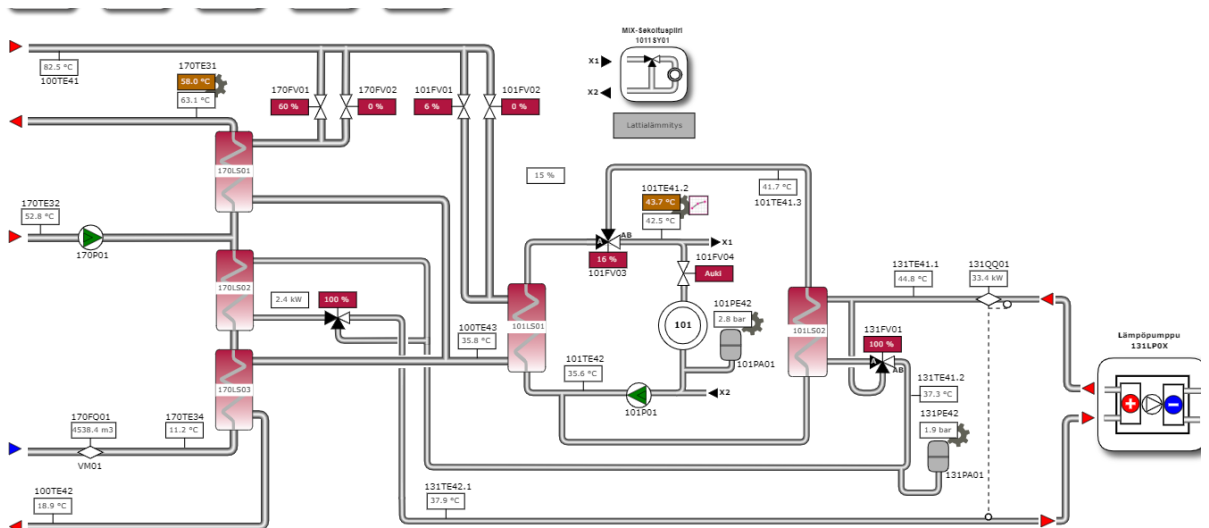
Rakennusta ei yleensä tarvitse lämmittää, kun ulkolämpötila on noin $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$. 3-tie-moottoriventtiili on silloin täysin auki asennossa ja lämminvesi ohjataan käyttöveden lämmönsiirtimeen (170LS02) 3-tie-moottoriventtiilin kautta (131FV02). 3-tie-moottoriventtiilillä ohjataan lämmönsiirtimen tehon tarpeen mukaan. Lämpöpumpulle palaavan veden lämpötilan asetusarvo on $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Kesäkaudella (toukokuusta syyskuuhun) lämmöntalteenottoyksikkö pidetään pois käytöstä, koska kaukolämpöenergia on silloin edullista (noin 35 €/MWh).



Kuva 8. Lämmönsiirtopiirit

Kuvassa 9 on esitetty hybridijärjestelmän kytkentäkuva valvomon näytöstä. Kuva on otettu arkipäivänä klo 20:00, kun ulkolämpötila on $+2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Kuva 9. Hybridijärjestelmän kytkentäkuva valvomossa

Lämpimän käyttöveden kulutus on suuri, jolloin järjestelmä ohjaa enemmän tehoa pois-toilmalämpöpumpulta käyttöveden (kuva 9). Lämpöpumpusta lähtevänä veden lämpötila on 44,8 °C. Ensimmäinen 3-tie-moottoriventtiili on auki (100 %). Vettä kulkee lämmityksen latauspiirin lämmönsiirtimen kautta toiselle 3-tieventtiilille lämminkäyttöveden latauspiiriin ja lämmittää käyttövettä esilämmönsiirtimessä. Käyttöveden latauspiirin esilämmönsiirtimen teho on 2,4 kW. Lämmitysjärjestelmässä menoveden lämpötila on +42,5 °C. Lämmityksen latauspiirissä kulkevan veden lämpötila on 44,8 °C. Kiinteistössä on tuolloin lämpimän veden kulutus suurta, ja lämpöpumpun tuottama energia ei riitä kattamaan koko tarvetta. Käyttöveden venttiili 170FV01 on auki 60 % ja lämmityksen venttiili 101FV01 on auki 6 %, jolloin lisäenergiaa tulee kaukolämpöverkosta.

3.7 Lämmönjakohuoneen ääneneristys

Erityistä huomiota on kiinnitettävä hybridijärjestelmän äänieristykseen, koska kaukolämpöjärjestelmä on käytössä paljon hiljaisempi kuin kompressoriteknikkaa käyttävä hybridijärjestelmä. Putkien kiinnityksen ja kannakoinnin tulee olla rakenteeltaan ja sijainniltaan sellaisia, että järjestelmän aiheuttama ääni ei siirry haitallisessa määrin yläpuolella oleviin asuntoihin. Lämpöpumpun tekninen tila sijaitsee vanhassa lämmönjakohuoneessa. Teknisen tilan seinien, kattojen, ovien ja ilmanvaihto tulee myös äänieristää,

ettei niiden kautta pääse häiritsevää ääntä muualle rakennukseen. Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen ääniympäristöstä on määritelty ohjearvot talotekniikkalaitteiden enimmäisäänentasoille. [15]

3.8 Järjestelmän lämmönsiirtoputkisto

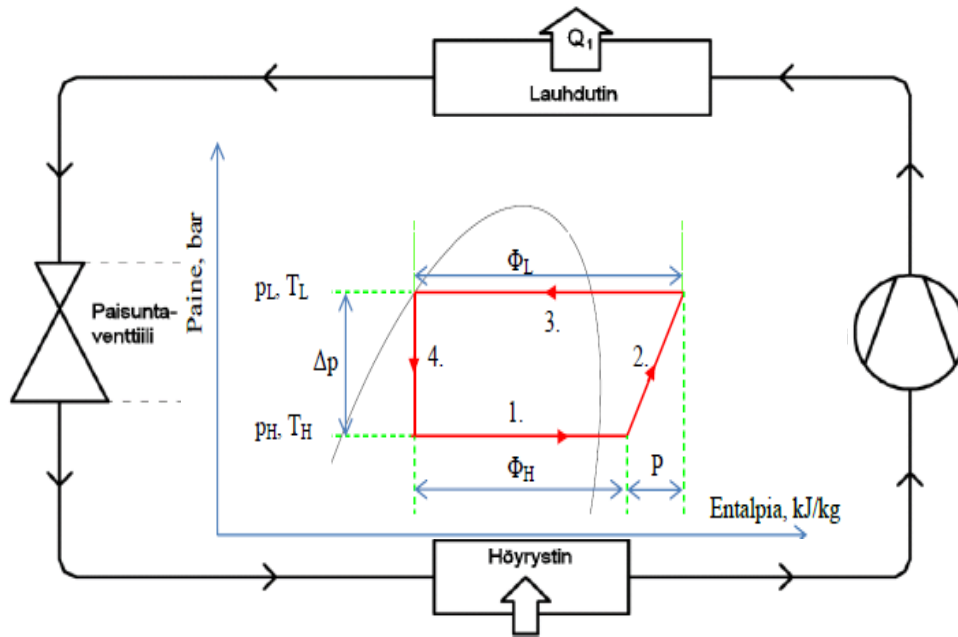
Lämmönsiirtoputkisto lämmöntalteenoton kattoyksiköstä sisäyksiköön eivät kuuluneet HögforsGST:n toimitukseen. Putkien materiaali ja koot määritellään asennuspiirustuksessa. Hybridijärjestelmän valmistaja suosittelee käytettäväksi muoviputkia. Teräs- ja kupariputkia ei suositella käytettäväksi. [22]

3.9 Lämpöpumpun kylmäaine

Lämpöpumpun käytössä on yksikomponenttinen kylmäaine R134a. Kylmäaineen koostumus on tetrafluorietaani, jonka on fluorattu kasvihuonekaasu. Kylmäaine ei ole haitallinen otsonikerrokselle. [27]

4 Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate

Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate ja tehot kylmäainepiirin puolelta on esitetty kuvassa 10. Poistoilmalämpöpumpun tuotantokyvyn kannalta olemassa olevat tekijät ovat poistoilman lämpötila, poistoilmavirta, poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin ja kompressorin sähköteho sekä näiden perusteella määritettävät höyrystinteho ja lauhdutinteho. Seuraavassa käydään lyhyesti läpi näiden tekijöiden laskenta ja riippuvuus toisistaan. [13]



Kuva 10. Poistoilmalämpöpumpun toiminta kylmäainekierto-olosuhteissa kuvattuna [3]

Kuvassa 10 vaak-akselina on kylmäaineen energiasisältö eli entalpia (kJ/kg) ja pysty-akselina on kylmäaineen paine (Bar). Kuva on piirretty logaritmiselle log p,h -asteikolle.

1. Poistoilmalämpöpumppu ottaa poistoilmasta lämpöä talteen kylmäaineeseen höyrystimessä lämpötilassa T_H . Höyrystimen teho on Φ_H .
2. Poistoilmalämpöpumpun kompressori nostaa sähköteholla P kylmäainehöyryn höyrystyspaineesta P_H lauhtumispaineeseen P_L .
3. Lauhduttimessa poistoilmalämpöpumpun tuottama lämpö siirtyy kylmäaineesta lämmönsiirtimen kautta lämpöjärjestelmään. Lauhduttimen teho on Φ_L . Pääosa lauhduttimen lämmöstä poistuu lauhtumislämpötilassa T_L . Kompressorin jälkeen tulistunut kylmäaine on huomattavasti kuumempaa kuin lauhtumislämpötila T_L .
4. Paisuntaventtiilistä nestemäinen kylmäaine purkautuu alempaan höyrystyspaineeseen P_H ja samalla kylmäaine jäähtyy höyrystyslämpötilaan T_H .

Prosessi toistuu samanlaisena kompressorin toimiessa.

Prosessi on kuvan 10 mukainen. Poistoilmapumpun lämmönkerroin COP lasketaan yhtälöllä [13]

$$COP = \frac{\Phi_L}{P} \quad (1)$$

jossa

Φ_L on poistoilmalämpöpumpun lauhdutinteho, kW

P on kompressorin ottoteho, kW.

Lauhdutinteho voidaan laskea yhtälöstä (2)

$$\Phi_L = COP \cdot P = \Phi_H + P \quad (2)$$

ja tästä saadaan

$$\Phi_L = \frac{\Phi_H}{1 - \frac{1}{COP}} \quad (3)$$

Poistoilmalämpöpumpun höyrystinteho lasketaan yhtälöstä

$$\Phi_H = (COP - 1) \cdot P = \Phi_L - P = \Phi_L \cdot \left(1 - \frac{1}{COP}\right) \quad (4)$$

jossa

Φ_L on poistoilmalämpöpumpun lauhdutinteho, kW

Φ_H on poistoilmalämpöpumpun höyrystinteho, kW

COP on poistoilmalämpöpumpun lämpökerroin,

P on poistoilmalämpöpumpun kompressorin ottama sähköteho, kW.

Poistoilmalämpöpumpun höyrystinteho Φ_H ja lauhdutinteho Φ_L lasketaan ilmapuolelta yhtälöiden (5) ja (6) mukaan. Tässä menetelmässä ei oteta huomioon ilman kosteuden vaikutusta. Jos ilman kosteuden vaikutus halutaan ottaa huomioon, on käytettävä muita laskentamenetelmiä ja ilman lämpötilaeron sijasta entalpiaeroa [13].

$$\Phi_H = \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v,p} \cdot (T_{p, \text{ennen höyrystintä}} - T_{p, \text{höyrystimen jälkeen}}) \quad (5)$$

$$\Phi_L = \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v,p} \cdot (T_{t, \text{lauhduttimen jälkeen}} - T_{t, \text{ennen lauhdutinta}}) \quad (6)$$

joissa

ρ_i	on ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/kg K
$q_{v,t}$	on tuloilmavirta, m ³ /s
$q_{v,p}$	on poistoilmavirta, m ³ /s
$T_{t, \text{lauhduttimen jälkeen}}$	on tuloilman lämpötila lauhduttimen jälkeen, °C
$T_{t, \text{ennen lauhdutinta}}$	on tuloilman lämpötila ennen lauhdutinta, °C
$T_{p, \text{ennen höyrystintä}}$	on poistoilman lämpötila ennen höyrystintä, °C
$T_{p, \text{höyrystimen jälkeen}}$	on poistoilman lämpötila höyrystimen jälkeen, °C
W_{kompr}	on poistoilmalämpöpumpun kompressorin kuluttama sähköenergia, kWh
ΔT	on ajanjakson pituus, h.

Poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa poistoilman lämpötila höyrystimen (T_p , höyrystimen jälkeen) jälkeen ei voi olla alempi kuin ulkoilman lämpötila. [13]

5 Hybridijärjestelmän tehon laskelmat

Tässä luvussa lasketaan kohteen uudelle lämmitysjärjestelmälle asettavat tehovaatimukset. Selkeyden vuoksi tekstiosassa on esitetty vain käytetyt kaavat ja saadut tulokset. Tarvittavat tehot ja energiamäärät lasketaan aikaisemmin olemassa olevan energi-ankustannustiedon perustella.

5.1 Kiinteistön lämmitystehotarve

5.1.1 Huipputehotarve

Lämmityksen huipputeho voidaan arvioida tietyn ajanjakson lämpöenergian kulutuksen perusteella. Laskenta voidaan tehdä seuraavan yhtälön mukaisesti niissä asuinrakennuksissa, joissa ei ole koneellista ilmastointia (tuloilman lämmitystä) [8]

$$\Phi_{mit} = \frac{Q_l}{H} = \frac{Q - Q_k}{\frac{24 \times S_{17}}{17^\circ C - t_u}} = \frac{(Q - Q_k) \times (17^\circ C - t_u)}{24 \times S_{17}} \quad (7)$$

jossa

Φ_{mit}	on lämmityksen huipputehotarve (mitoitusteho), kW
H	on $24 \times S_{17} / (17^\circ C - t_u)$ - lämmityshuipun käyttöaika tarkasteluaikana, h
S_{17}	on lämmitystarveluku tarkasteluaikana, °Cd
t_u	on paikkakunnan mitoitusulkolämpötila, °C
Q	on energiankulutus tarkasteluaikana, MWh
Q_{kv}	on käyttöveden lämmittämiseen kulunut lämmitysenergia tarkasteluaikana (kiinteä kulutus), MWh.

$$Q = Q - Q_{kv} = \text{lämmitykseen kulunut energia tarkasteluaikana, MWh.}$$

Tässä laskelmassa on lämmitystarveluvut (S_{17}) ja energiakulutukset (Q_l , Q ja Q_{kv}) laskettu vuosien 2011–2015 keskiarvona. Lämmitystarveluvut ovat saatavilla Ilmatieteen laitoksen verkkosivustolta [23].

Taulukko 2. Lämmitystarveluvut Helsingissä

vuosi	°Cd
2012	3 797
2013	3 592
2014	3 464
2015	3 118
keskiarvo	3 492,8

Normaalivuoden lämmitystarveluvut $S_{17} = 3\,492,8 \text{ } ^\circ\text{Cd}$.
 Helsingissä mitoitusulkolämpötila $t_u = -26 \text{ } ^\circ\text{C}$.
 Energiankulutus tarkasteluaikana neljän vuoden ajassa keskiarvo (taulukko 1)
 $Q = 382,9 \text{ MWh/a}$.

5.1.2 Käyttöveden lämmittämisen energiatarve

Käyttöveden lämmittämisen energiatarve voidaan laskea muutamilla menetelmillä.

5.1.2.1 RakMk D5:n menetelmä

Rakennuksessa lämpimän käyttöveden kulutusta ei ole erikseen mitattu. Se voidaan se määrittää veden kokonaiskulutuksen pohjalta. Tällöin oletetaan, että asuinrakennuksissa lämpimän veden osuus käyttöveden kulutuksesta on 40 %. Asuinkerrostalon vedenkulutus oli vuosina 2012–2014 keskimäärin $3\,938 \text{ m}^3/\text{a}$, joten lämpimän veden osuus on $1\,575 \text{ m}^3/\text{a}$. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavan (8) avulla. [10]

$$Q_{lkv, netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3\,600 \quad (8)$$

jossa

$Q_{lkv, netto}$	on käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia, kWh
ρ_v	on veden tiheys, $1\,000 \text{ kg/m}^3$
c_{pv}	on veden ominaislämpökapasiteetti, $4,2 \text{ kJ/kg K}$
V_{lkv}	on lämpimän käyttöveden kulutus, m^3
T_{lkv}	on lämpimän käyttöveden lämpötila, $58 \text{ } ^\circ\text{C}$
T_{kv}	on kylmän käyttöveden lämpötila, $8 \text{ } ^\circ\text{C}$
3 600	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/tunnissa.

Lämpimän käyttöveden laskennallinen energiantarve Q_{lkv} on $91,8 \text{ MWh/a}$. Putkiremontin yhteydessä kerrostaloon asennettiin asuntokohtaisen vesimittarit. Remontin jälkeen veden kulutus laski 15–30 %. Laskennassa on oletettu, että veden kulutus on

pienentynyt remontin jälkeen 20 %, jolloin lämpimän käyttöveden energiankulutus on 73,5 MWh/a.

5.1.2.2 Motivan menetelmä

Mikäli lämpimän käyttöveden energiankulutusta Q_{lkv} (kWh/a) ei ole mitattu erikseen, se lasketaan kulutetun lämpimän käyttöveden perusteella kaavalla [24]

$$Q_{lkv} = 58 \times V_{lkv} \quad (9)$$

jossa

V_{lkv} on kulutettu lämpimän käyttöveden määrä, m^3/a

58 on veden lämmittämiseen (lämpötilan muutos 50 °C) tarvittava energiamäärä vesikuutioita kohden, kW/m^3 .

Tämän kaavan mukaan saadaan lämpimän käyttöveden energiankulutukseksi 73,08 MWh/a.

5.1.2.3 Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämmittämisen energiatarve

Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon häviöt lasketaan katselmoijan antamien jäähtymä- ja virtaustietojen perusteella seuraavasti [10]

$$Q_{kierto} = q_{kierto} * dT_{kierto} * 4,19 * 8\,760/1\,000 \text{ (MWh/a)} \quad (10)$$

jossa

q_{kierto} on kiertojohtoon virtaama, dm^3/s

dT_{kierto} on kiertojohtoon jäähtymä, $°C$.

Kiertojohtoon lämpöenergian kulutus on 22 MWh/a, jos kiertojohtoon virta on $0,2\text{ dm}^3/s$ ja jäähtymä 3 °C . Lämmityksen energiankulutus on silloin

$$Q_i = Q - (Q_{lkv} + Q_{kierto}) = 382 - (73,1 + 22) = 287 \text{ MWh/a.}$$

5.1.3 Huipputehon tarvittava arvo

Kaavalla 7 laskettu lämmityksen huipputehon tarve on 139,5 kW. Rakennuksen alkuperäinen lämmitysteho oli 160 kW eli 15 % suurempi kuin laskettu huipputehon arvo.

5.2 Lämmöntalteenoton tehon laskenta

Lämmönsiirtimeltä vaadittava laskennallinen teho on poistoilmalämpöpumppujärjestelmän asennuksen jälkeen pienempi kuin entisessä tilanteessa. Tässä tapauksessa lämpöpumpulla tuotettu teho on 40 kW, ja lämmitysverkoston tarvitsema teho on 139 kW. Lämmönsiirtimeltä vaadittu teho on 99 kW. Lisälämmitys tuotetaan kaukolämpösiirtimellä. Kiinteistön alkuperäinen lämmitysverkosto on 80/60 °C -verkosto (ks. kuva 2). [13]

5.2.1 Lämmöntalteenoton teho

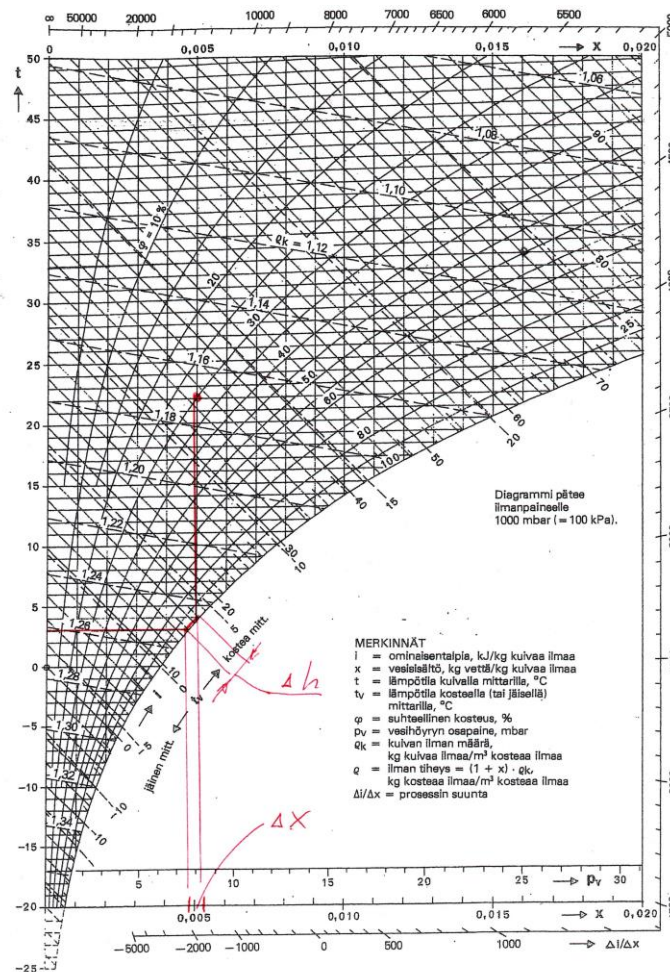
Rakennuksesta tuleva ilma on aina kosteaa. Hengityслиiton tutkimuksen mukaan asunnoista poistettavan ilman kosteuspitoisuus vaihtelee vuodenajan mukaan. Asuntojen suhteellinen kosteus talvella on alle 40 % ja kesällä 50 %:sta jopa 70 %:iin. Kerrostalohuoneistojen talviaikainen keskiarvo ilman lämpötilalle oli +22 °C ja suhteelliselle kosteudelle 40 %. Vastaavat kesäajan arvot olivat +24 °C ja 60 %.

Ilman ominaisuudet eri tilapisteissä voidaan arvioida käyttämällä usein Mollier-diagrammia. Mollier-diagrammin avulla voidaan selvittää ilman ominaisuudet tarpeeksi tarkasti.

Poistoilmapumpun avulla poistoilmasta on mahdollista ottaa lämpöä talteen niin paljon, että lämpötila heikentää alle 0 °C:n. Käytännössä tätä ei saa tehdä lämmönsiirtimen jäätyksen estämiseksi. Suunnittelijan on kiinnitettävä huomiota lämmöntalteenottopatterille tulevan liuoksen lämpötilaan. Jos liuoksen lämpötila pidetään ilman kastepisteen alapuolella, lämmönsiirtopinnoille muodostuu kosteutta. Liian korkea liuoksen lämpötila laskee lämmöntalteenottoyksikön hyötysuhdetta. Kesäaikana veden kondensoituminen

ei ole haitallista. Märkälämmönsiirrossa ilmasta on otettavissa talteen enemmän energiaa kuivalämmönsiirron verrattuna.

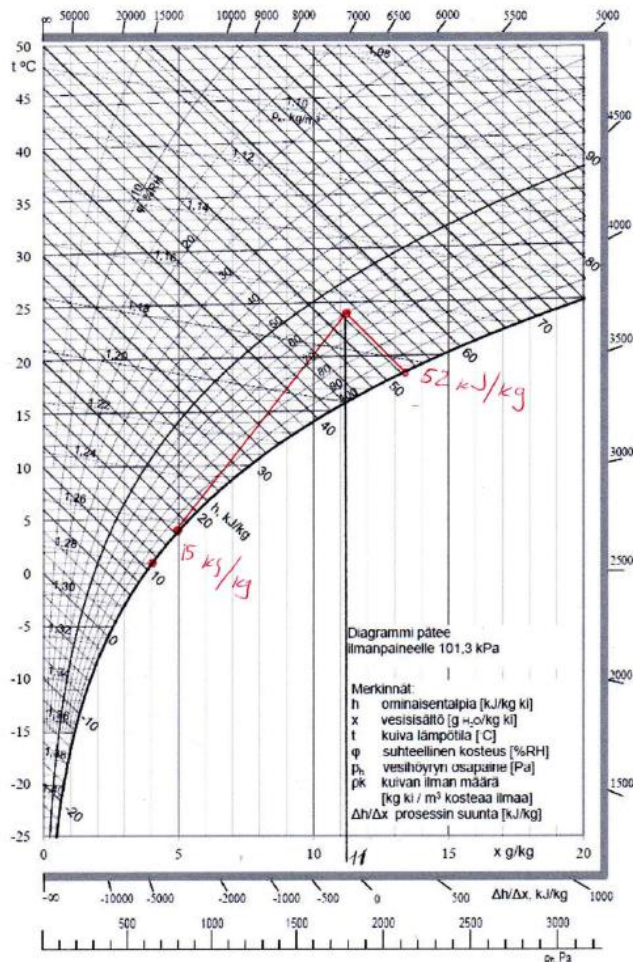
Kuvassa 11 on esimerkki talven poistoilman jäähtymisestä poistoilmalämpöpumpun lämmönsiirtimessä. Kun ilman rakennuksen sisälämpötila on $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja suhteellinen kosteus on 30 %, ilman kastepiste on noin $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jos lämmönsiirtoaineen lämpötila on yli $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$, kondensoitumista ei tapahdu. Poistoilmakanava on lämpöeristettävä poistoilmalämpöpumpun lämmöntalteenottoosiirtimen jälkeen.



Kuva 11. Ulospuhallusilman jäähtyminen lämmöntalteenottoyksikössä talvella

Kuvassa 12 on esimerkki kesätilanteesta ulospuhallusilman jäähtymisestä. Poistoilman lämpötila on $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$, suhteellinen kosteus on 60 % ja kastepiste $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lämmönsiirtimen pinnalle tiivistyy vettä, kun ilman lämpötila laskee alle kastepistelämpötilan. Kun

patterin pintalämpötila on $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja ilma jäädytetään $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen, ilman lopputilapiste saadaan alkutilapisteestä ja patterin pintalämpötilan välille piirrettyä janalta $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$:n kohdalta katsottuna. Absoluuttinen kosteus ilmoittaa vesihöyryn määrän kuivaa ilmakiloa kohden. Sitten kun tiedetään kosteuden muutos ilmavirrassa, voidaan laskea vedeksi tiivistyneen kosteuden määrä ja viemäriin menevän kondenssiveden määrä.



Kuva 12. Ulospuhallusilman jäähtyminen lämmöntalteenottoyksikössä kesällä

Mollier-diagrammin mukaan (kuva 12) kondensoitumista ei tapahdu, jos lämmönsiirtopinnan lämpötila on yli $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.2.2 Ilmavirta

Ennen poistoilmasta saatavan energianmäärän laskettamiseksi pitää laskea rakennuksesta poistettava ilmavirta. Rakennuksen ilmatilavuus voidaan arvioida yhtälöllä 11. [13]

$$V=R(m^3) * 0,85 \quad (1) \quad (11)$$

jossa

V	on rakennuksen ilmatilavuus, m^3
$R(m^3)$	on rakennuksen tilavuus, m^3
0,85	on kerroin, jonka avulla muutetaan rakennustilavuus ilmatilavuudeksi.

Kerrostalon tilavuus on 7 605 m^3 . Asuntojen ilmanvaihtokerroin on vähintään 0,5 1/h ja ulkoilmavirtojen riittävyys varmistetaan vähintään ohjearvojen mukaisiksi. Minimaalinen ilmamäärä pidetään poistoilmalämpöpumpun toiminnassa 0,5 kertaa tunnissa. Poistoilmalämpöpumpun ilmavirta saadaan siten laskemalla kaavalla 12:

$$V_{PILP\ vaat.} = 0,5 \text{ (1/h)} * V \text{ (} m^3 \text{)} \quad (12)$$

jossa

$V_{PILP\ vaat.}$	on poistoilmalämpöpumpun ilmavirtaama, m^3/h
0,5	on ilmatilavuuden vaihtotarve tunnin aikana, 1/h
V	on rakennuksen ilmatilavuus, m^3 .

Kiinteistön poistoilmavirran tulee olla vähintään 3 270 m^3/h eli 0,91 m^3/s .

5.2.3 Kondenssiveden määrä

Mollier-diagrammista (kuva 12) voidaan laskea lämmöntalteenottoyksikössä kondensoituvan veden määrä kaavalla 13:

$$V_{kond} = \Delta x * q_v * \rho_i \quad (13)$$

jossa

V_{kond}	kondenssiveden massavirta, kg/s
Δx	absoluuttisen kosteuden muutos, kg/kg
q_v	ilman tilausvirta, m ³ /s
ρ_i	ilman tiheys, kg/m ³ .

Ilman tiheys riippuu ilman lämpötilasta ja kosteudesta. Tässä tapauksessa pidetään poistoilman keskimääräisenä tiheytenä arvoa 1,2 kg/m³

$$\Delta x = 0,0115 - 0,005 = 0,0065 \text{ kg/kg (kuva 12)}$$

$$q_v = 0,91 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$V_{kond} = 0,0065 * 1,2 * 0,91 = 0,0071 \text{ kg/s} = 25,6 \text{ kg/h, eli noin 25 l/h, eli noin 600 l/vrk.}$$

Kondensoituvan veden määrää ei kovin iso kesälläkään. Lämmöntalteenottoyksikön kondenssiviemäri liitetään viemäriverkoston tuuletusviemäreihin.

5.2.4 Lämmöntalteenoton tehon mitoitus

Lämmöntalteenottoyksikön tehon laskeminen ei kuulu yleensä LVI-insinöörin tehtävään. LVI-suunnittelija ilmoittaa valmistajalle laitteen läpi kulkevan poistoilmavirran ja poistoilman lämpötilat.

Lämmöntalteenottopatterin mitoitus tehdään kuivalämmönsiirron ja märkälämmönsiirron arvoilla. Talvikaudella lämmöntalteenottoyksikön patterin pinnoille tiivistynyt vesi jäätyy. Sen takia lämmöntalteenottoyksikön hyötysuhde heikkenee. Kesäolosuhteissa märkälämmönsiirto on toivottavaa, koska tällöin ilmasta on saatavissa talteen enemmän energiaa. Jos ilmavirrasta saatava teho kesällä halutaan maksimoida, on patterin mitoituksessa syytä huomioida märkälämmönsiirron tuoma etu. Märkälämmönsiirroissa lämmöntalteenottopatterin teho lasketaan kaavalla 14. [13]

$$\Phi_{LTO} = \rho_i * q_v * \Delta h \quad (14)$$

jossa

Φ_{LTO} on LTO patterin teho, kW

ρ_i	on ilman tiheys, kg/m ³
q_v	on ilman virtaama, m ³ /s
Δh	on ilman alku- ja loppupisteen entalpiaero, kJ/kg.

Kuvan 11 Mollier-diagrammista saadaan entalpiaero Δh . Kesäolosuhteessa lämmöntalteenottoyksikköön tulevan poistoilma alkupisteessä lämpötila on 24 °C, suhteellinen kosteus on 60 % entalpia on 52 kJ/kg. Lämmönsiirtimessä ilman lämpötila laskee +3 °C:seen. Lämmönsiirtimen pintalämpötila on +1 °C. Ulospuhallusilman entalpia on noin 15 kJ/kg. Entalpiaeroksi saadaan $\Delta h = 37$ kJ/kg.

Lasketaan $\Phi_{LTO} = \rho_i \cdot q_v \cdot \Delta h = 1,2 \cdot 0,91 \cdot 37 = 40$ kW

Talvitilanteessa teho lasketaan kaavalla

$$\Phi_{LTO} = \rho_i \cdot q_v \cdot c_{pi} \cdot \Delta t \quad (15)$$

jossa

Δt poistoilman lämpötilan ero 17 °C (21 °C - 4 °C = 17 °C),

q_v ilman virtaama pitää, m³/s.

Lasketaan $\Phi_{LTO} = \rho_i \cdot q_v \cdot c_{pi} \cdot \Delta t = 1,2 \cdot 0,91 \cdot 1,0 \cdot 17 = 18,4$ kW

Laskennassa $\Delta t = 17$ °C on järkevä lämpötilaero. Sulatusjakson aikana lämmöntalteenottoyksikkö on pois käytöstä ja teho on 0 W. [22]

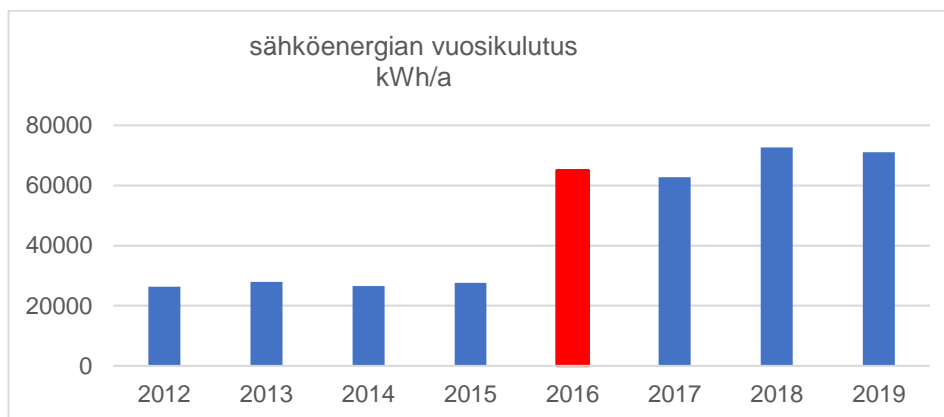
Jos poistoilmakanavassa oleva lämmönsiirrin mitoitettaisiin lämpötilojen perustella, oletuksena olisi, ettei märkälämmönsiirtoa tapahdu. Silloin poistoilmavirrasta ei saataisi kesällä kaikkea siinä olevaa energiaa talteen.

Kaukolämpö on kesällä halvempaa, jolloin tehokkaammasta lämmönsiirtimestä ei ole kuitenkaan hyötyä, koska talteen saadulle energialle ei ole käyttöä. Poistoilmassa olevan lämmönsiirtimen tehon mitoitus tulee päättää tapauskohtaisesti.

6 Kiinteistön energiakustannukset

6.1 Sähkötulutus

Kiinteistön sähköenergian kulutuksen selvittämiseksi pyydettiin isännöitsijältä tietoja sähkötulutuksesta. Helen Oy toimitti sähköenergian kulutustiedot viimeisen kymmenen vuoden ajalta. Niistä laskettiin keskiarvokulutukset vuositasolla. (Kuva 13.)



Kuva 13. Sähköenergian vuosikulut (kWh/a)

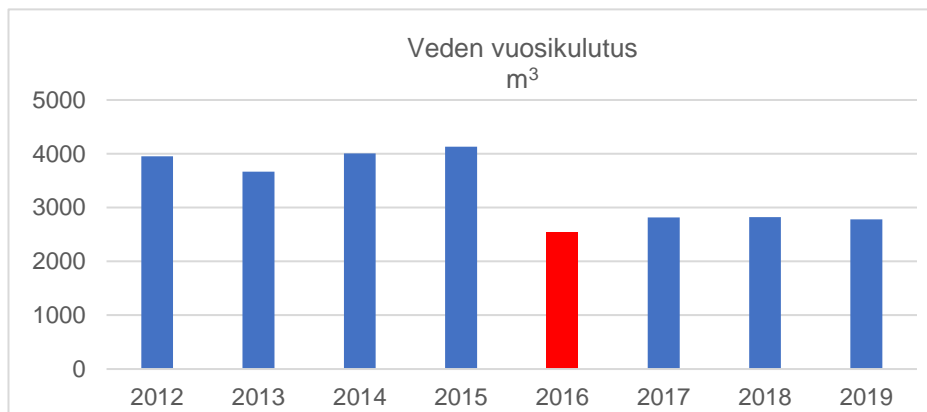
Sähköenergian vuosikulutuksen keskiarvo oli 27,1 MWh/a (26,33–27,83 MWh/a) ennen vuotta 2016. Sähköenergian vuosikulutuksen keskiarvo oli 68,8 MWh/a (62,72–72,68 MWh/a) vuoden 2016 jälkeen (Taulukko 1).

Hybridijärjestelmän asennuksen jälkeen sähköenergian kulutus oli kasvanut 153 % eli noin 2,5-kertaiseksi vuoteen 2016 nähden. Hybridijärjestelmän asennuksen jälkeen lisääntynyt sähköenergian kulutus on korvannut kaukolämpöenergian.

6.2 Kiinteistön vuosien vesikulutus

Kuvassa 14 on kiinteistön vedenkulutustiedot vuosilta 2012–2019. Vuonna 2016 kiinteistössä tehtiin linjasaneeraus. Linjasaneerauksella tarkoitetaan putkistoremonttia, jossa rakennuksen viemäreja ja vesijohtoa kunnostetaan tai uusitaan. Sen yhteydessä

jokaisen asuntoon on asennettu vesimittarit (kylmän- ja lämpimän veden mittarit). Linja-saneerauksen yhteydessä vesikalusteet on uusittu.

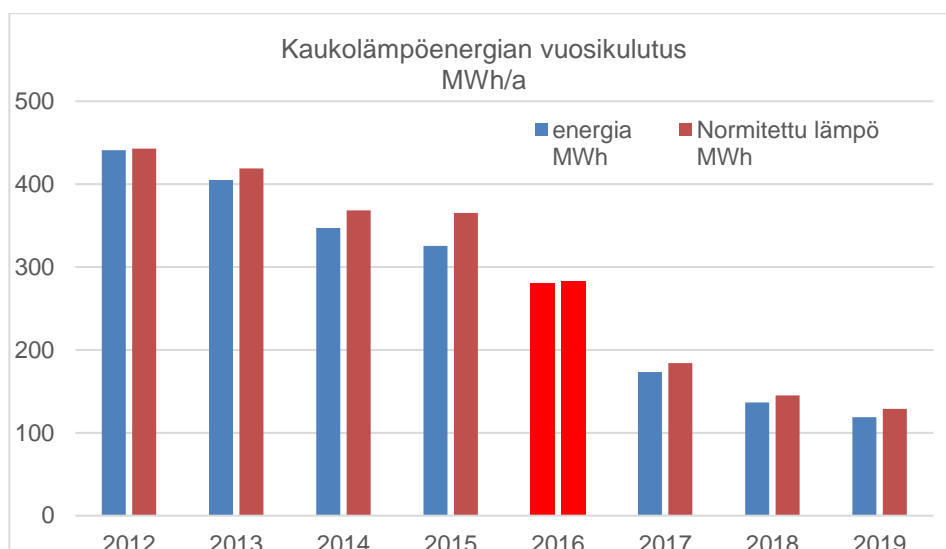


Kuva 14. Veden vuosikulutus (m³/a)

Veden vuosikulutus keskiarvo oli ennen vuotta 2016 noin 3 938 m³/a. Veden vuosikulutuksen keskiarvo on vesimittareiden asennuksen jälkeen 2 805 m³/a, jolloin vedenkulutus laski 28,8 % verrattuna vuoteen 2015 (Taulukko 1). Työssä on oletettu, että lämpimän käyttöveden kulutus on laskenut samassa suhteessa.

6.3 Kiinteistön kaukolämmön energiakulutus

Rakennuksen lämpöenergia oli tuotettu saneeraukseen asti kaukolämmöllä. Energian tuottaja on ollut Helen Oy. Kuvassa 15 on esitetty kaukolämmön vuosikulutuksia toteutuneina arvoina ja normitettuna kulutuksina.



Kuva 15. Kaukolämpöenergian vuosikulutus (MWh/a)

Taulukossa 3 on kaukolämmönkulutukset kuukausitasolla vuosina 2012–2019.

Taulukko 3. Kaukolämpöenergian kuukausikulutus (MWh/kk)

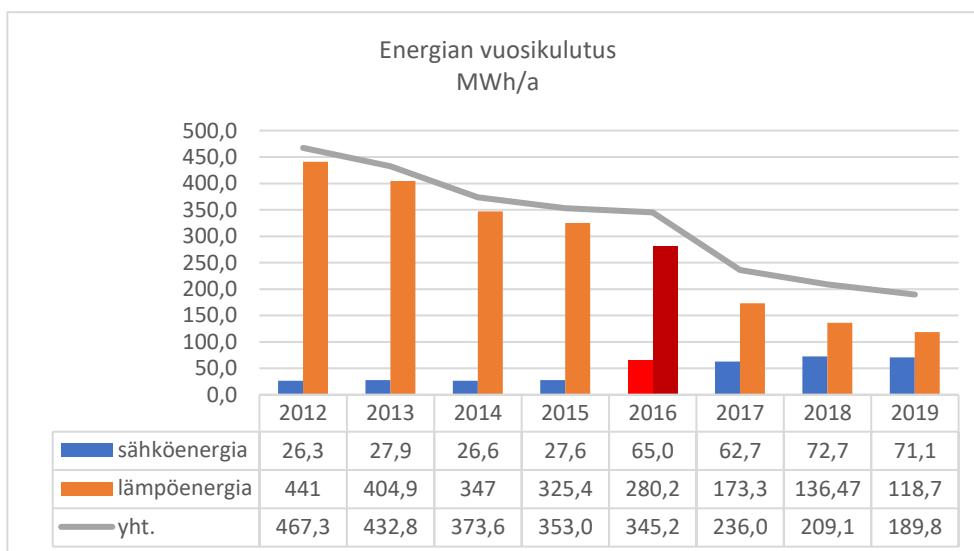
lämpöenergian kulutukset (MWh)	tammikuu	helmikuu	maaliskuu	huhtikuu	toukokuu	kesäkuu	heinäkuu	elokuu	syyskuu	lokakuu	marraskuu	joulukuu	Yht.
2015	44	38	38	31	19	13	10,6	9,8	12	32	37	41	325
2016	62	42	42							22	23	22	280
2017	27	20	17,7	9,8	6,8	5,5	5,4	6,2	5,5	17	32	20	173
2018	20	24	22	8	7	6	5	5	5,9	7	10	17	137
2019	22	13,5	14,5	7	6	5,5	5,5	5,5	7	8	12	12	119

Ennen vuotta 2016 kaukolämpöenergian vuosikulutuksen keskiarvo oli 377 MWh/a. Kaukolämpöenergian vuosikulutus keskiarvo on muuttunut hybridijärjestelmän asennuksen jälkeen 142 MWh/a. Kaukolämpöenergian vuosikulutus on laskenut 62 %. Kulutuksen väheneminen vuoden 2016 jälkeen selittyy suurimmaksi osaksi sillä, että kiinteistössä asenettiin poistoilmalämpöpumppu (Taulukko 1).

6.4 Kiinteistön energian vuosikulutus

Kaukolämmityksessä käytetään kaukolämpöverkostosta ostettua lämmitysenergiaa ja erikseen sähköenergia kiinteistösähköön. Hybridijärjestelmässä käytetään sekä kaukolämpöä, että sähköä lämmitykseen.

Sähköenergian kulutus oli ennen hybridijärjestelmän asennusta keskimäärin 27,1 MWh/a. Työssä on oletettu, että kiinteistösähkön kulutus on pysynyt rakennuksessa vakiona ennen hybridijärjestelmän asennetusta ja asennuksen jälkeen. Sähköenergian kulutus hybridijärjestelmän asennuksen jälkeen oli keskimäärin 68,8 MWh/a (ks. s. 4, taulukko 1). Sähköenergian kulutus on kasvanut keskimäärin 41,7 MWh/a, jolla on korvattu kaukolämmöllä tuotettua lämpöenergiaa



Kuva 16. Lämmön ja sähkön vuosikulutus (MWh/a)

Kiinteistön kokonaisenergiankulutus on esitetty kuvassa 16.

Kokonaisenergian vuosikulutus keskiarvo oli 404 MWh/a ennen vuotta 2016. Kokonaisenergian vuosikulutuksen keskiarvo oli muuttunut hybridijärjestelmän asennuksen jälkeen 211 MWh/a. Kokonaisenergian vuosikulutus laski 48 % vuodesta 2016.

Ennen hybridijärjestelmän asennusta sähköenergian osuus yhteisenergiassa oli vain 7 %. Hybridijärjestelmän asennuksen jälkeen sähköenergian osa osuus 33 % kokonaisenergiankulutuksesta.

7 Elinkaaritutkimus

Tässä osassa on arvioitu kaukolämpö- ja hybridijärjestelmiin liittyviä kustannuksia. Kustannukset muodostuvat laitteiden investoinnin hinnasta, energiankustannuksesta, huollon kustannuksista ja laitteiden uusinnasta. Lämmöntuottojärjestelmän tekninen käyttöikä on 10–30 vuotta. Periaatteessa järjestelmän käyttöikä voi olla paljon pidempi, jos järjestelmää huolletaan säännöllisesti.

Esimerkiksi kaukolämpöjärjestelmän käyttöikä on 20 vuotta. Kuluneita mekaanisia osia (mm. pumppuja ja magneettiventtiiliä) vaihdetaan käyttöohjeen vaihtosykliin mukaan tai osien rikkoutuessa.

Hybridijärjestelmässä on paljon enemmän mekaanisia osia (mm. kompressorit, hormi- puhaltimet ja lämpöpumpun magneettiventtiilit). Kaukolämpöyksikössä on samat osat kuin perinteisessä kaukolämpöjärjestelmässä. Tässä työssä hybridijärjestelmän käyttöikäksi on arvioitu 20 vuotta elinkaarikustannusten tarkastelussa.

7.1 Investointikustannukset

Tässä osassa analysoidaan investointikustannuksia, joita sisältyy kaukolämpö- ja hybridijärjestelmiin. Investointikustannukset sisältävät lämmitysjärjestelmän ja siihen kuuluvat muut työt ja asennukset.

7.1.1 Kaukolämpö

Kaukolämpöyksikkö toimitetaan asiakkaalle yleensä valmiina kokoonpanona. Lämmönjakokeskukseen kuuluvat osat on esitetty kuvassa 2. Tässä tapauksessa

kaukolämpökeskus asennettiin olemassa olevaan lämmönjakohuoneeseen. Samaan tilaan sijoitettiin myös hybridijärjestelmän laitteisto.

Kohde oli liittynyt kaukolämpöön, joten liittymismaksu jää pois tarkastelusta. Helenin kotisivulta löytynyt liittymismaksun hinta ilman kaivutöitä on 5 704 €. Koska kohde on liittynyt kaukolämpöön, tämä maksu jää pois.

Kaukolämmössä kaikki seurantahuolto sisältyy kaukolämmön hintaan. Kaukolämmön hintaan sisältyy muun muassa neuvonta ja tekninen asiakaspalvelu sekä asiantuntijapalvelu laitteiden uusimisessa. Kaukolämpöjärjestelmälle huoltokustannukset ovat 200 €/a keskiarvoisena.

Kaukolämpökeskuksen hinta on 15 000 € ja LVI-asennustyön hinta vaihtelee markkina-tilanteen mukaan 1 000–3 000 €. Työssä arvioitiin vanhojen laitteiden uusimisen työn hinnan olevan 2 000 €. Kaukolämmön keskuksen asennettaessa varataan 1 000 € automaatioon ja sähkötyöhön. [26]

Virtuaalisen kaukolämpöjärjestelmän hankintakustannukset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Kaukolämpöjärjestelmän investointikustannukset

	kpl	Hinta/ €
KL lämpökeskus	1	15 000,00
LVI-asennus	1	3 000,00
kytkentä KL verkostoon/ei kaivutyötä	1	Ei
Automaatika- ja sähkötyöt	1	1 000,00
Suunnittelutyö	1	Ei
Hankinnat yhteensä		19 000,00 €

7.1.2 Hybridijärjestelmä

Hybridijärjestelmän hankintakustannukset esitellään taulukossa 10. Hinnat on otettu HögforsGST Oy:n tarjouksesta.

HögforsGST:n hybridijärjestelmä ei integroitu olemassa olevaan kaukolämpöjärjestelmään, vaikka molemmilla on kaukolämmönsiirtimet. Järjestelmätoimitus on siis helpompi

suunnitella, laskea, asentaa, ottaa käyttöön ja seuranta on tehty helpommaksi. Sen takia kokonaisjärjestelmä on aina huomattavasti edullisempi ratkaisu. Tämän voi todentaa helposti, jos vertaillaan esimerkiksi asennusaikoja tai suunnitteluajoja. Järjestelmätoteutuksessa näissä vaiheissa voitetaan jopa yli puolet ajasta.

Usein paikan päällä kootut ja kohdekohtaisesti suunnitellut järjestelmät tulevat kalliimmaksi kuin järjestelmätoimituksen mahdollistamat vakioidut toimintatavat ja tuotteet. Hybridijärjestelmän investointikustannukset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Hybridijärjestelmän investointikustannukset. Hinnat vuodelta 2016

	kpl	hinta
Poistokojeet LTO-pattereilla	1	
Lämpöpumppujärjestelmät	1	
Energia- ja lämminvesivaraajat, n. 2000 L	1	
LTO- ja liittyvät putkistot eristyksineen	1	
Automatiikka- ja sähkötyöt	1	
Asennukset vesikatolla	1	
Suunnittelutyö	1	
HögforsGST yhteensä		83 800 €
kytkentä KL verkostoon/ei kaivutyötä	1	ei
Pois jäävät hankinnat		
Huippuimurit		-4 500 €
LVI asennukset		6 000 €
Hankinnat hinnat yhteensä		85 300 €

Koska hybridijärjestelmässä on olemassa kaukolämmölle kytkettävä lämmönyksikkö, liitetään hybridijärjestelmä Helen Oy:n verkkoon. LVI-asennukseen kuuluu katolla oleva lämmöntalteenottoyksikkö ja liitosputkia katon yksiköstä lämpöpumpulle, putkien eristys ja kotelointi. Paikkakunnan mukaan LVI-asennuksen hinta voi vaihdella 5 000–10 000 €. Tässä työssä LVI-asennuksen hinta on arvioitu olevan 6 000 €.

7.2 Huoltokustannuksien nykyarvo

Asiantuntijalta saadun tiedon perusteella arvioidaan hybridijärjestelmän huoltokustannukset puolet korkeammaksi kuin kaukolämmön huoltokustannukset.

Hybridijärjestelmän ongelmat ovat olleet lähinnä säätöongelmia, joten uusia osia ei ole tarvinnut vaihtaa. Tässä tapauksessa HögrorsGST:ssa on kehitetty järjestelmän asennus prosessia. Kaikki järjestelmään kuuluneet osat ja yksiköt säädetään tehtaalla ennen asiakkaalle toimitusta. Hybridijärjestelmän vuotuiseksi huoltokustannukseksi pidetään HögrorsGST:n etävalvonta pakettina. Se maksaa asiakkaalle 1 140 €/a.

Kaikissa järjestelmissä viallisten laitteiden vaihto pitää maksaa erikseen. Lämpöpumpussa oleva kompressorin käyttöikä on 10 vuotta. Kymmenen vuoden välissä molemmissa laitteessa vaihdetaan kompressoria. Järjestelmä sisältää kaksi kompressoria. Kompressorien vaihtohinta on 10 000 € (5 000 € x 2) per kerta. Samana aikana vaihdetaan myös kylmäainetta ja glykolinestettä. Glykolineste suositellaan vaihtamaan viiden vuoden välein, joka on myös lisätty huoltokustannuksiin. (Liitteet 7,8 ja 9.)

Hybridijärjestelmän huollosta on löydettävissä lisätietoa HögrorsGST:n kotisivulta. Järjestelmää valittaessa on hyvä pitää mielessä laajennettavuus, mahdollisuus päivittää järjestelmää ja huomioida varaosien saattavuus.

Laitteiden käyttöikään vaikuttavat myös tuotekehityksessä tehdyt ratkaisut, komponenttien elinkaari, käytetäänkö useita eri komponentteja ja onko niitä, tai onko korvaavia tuotteita saatavana tulevaisuudessa. Ennen projektin alkamista on hyvä tutustua hankkeessa mukana oleviin toimittajiin huolellisesti ja pyytää järjestelmien toimittajilta todelliseen laitedataan perustuvat elinkaarilaskelmat.

Järjestelmässä käytetään erilaisia sähköä kuluttavia laitteita, esimerkiksi kiertovesipumpuja, puhaltimia, antureita ja venttiileitä. Komponenttien valinnassa on otettava huomioon mahdollisimman optimaalinen energiatehokkuus. Mikäli tilaaja jättää sijoittamatta näihin laitteisiin järjestelmän suunnitteluvaiheessa, voi tilaajalle syntyä todella korkeita vuosikustannuksia laitteiston käytöstä. Virheellinen mitoitus ja komponenttivalinnat voivat johtaa suuriin käyttökustannuksiin tulevaisuudessa.

HögrorsGST:n asiakkaiden palvelujärjestelmä on nimeltään Fiksu-palvelu. Fiksu-palvelut on jaettu kolmeen kokonaisuuteen, jotta asiakkaat voivat valita itselleen sopivat ominaisuudet. (Liite 9.)

7.3 Lämpölaitteiden energiakustannusten nykyarvo

7.3.1 Kaukolämpölaite

Käyttökustannukset tulevat lämpöenergian käytöstä, joka luetaan mittauskeskuksen lämpöenergiakulutuksen mittarista. Meidän tapauksessamme kiinteistön energiankulutuksen tiedot saadaan Helen Oy:n valvontajärjestelmästä (taulukko 6).

Taulukko 6. Kiinteistön kaukolämpöjärjestelmän energian käyttöraportti (Helen Oy)

	2011	2012	2013	2014
	energia MWh	energia MWh	energia MWh	energia MWh
tammikuu	69,33	49,83	67,22	56,86
helmikuu	60,01	61,59	52,13	39,78
maaliskuu	47,82	48,96	60,51	38,46
huhtikuu	37,41	35,04	40,45	28,86
toukokuu	23,92	26,58	20,19	19,81
kesäkuu	10,74	19,48	10,28	13,53
heinäkuu	7,22	10,04	9,48	9,52
elokuu	11,23	13,12	10,7	9,61
syyskuu	16,21	21,48	20,04	16,13
lokakuu	31,96	35,29	34,27	30,21
marraskuu	42,48	44,09	38,26	36,64
joulukuu	45,07	67,91	42,98	44,5
Yhteensä	403,4	433,41	406,51	343,91

Vuonna 2016 kiinteistössä tehtiin putkiremontti, jonka jälkeen veden kulutus on laskenut 28,8 %. Työssä on oletettu, että lämpimän käyttöveden kulutus on laskenut samassa suhteessa eli 20 %.

Kesällä kiinteistöön tulevaa kaukolämpöenergiaa käytetään pelkästään lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Ennen putkiremonttia kaukolämmön kulutus oli kesällä (toukokuu-syyskuu) keskimäärin 14,97 MWh/a. Putkiremonttien jälkeen vedenkulutus väheni 20 %, jolloin kaukolämmön osuudeksi saadaan 3 MWh ($14,97 \text{ MWh} \cdot 20 \% = 2,99 \text{ MWh}$).

Uudet kiinteistön energiakulutukset virtuaalisessa kaukolämpöjärjestelmässä on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Kaukolämmön energiankulutuksen kuukausittaiset kulutukset

	keskiarvo uusi MWh
tammikuu	57,82
helmikuu	50,38
maaliskuu	45,94
huhtikuu	32,45
toukokuu	19,63
kesäkuu	10,51
heinäkuu	6,07
elokuu	8,17
syyskuu	15,47
lokakuu	29,94
marraskuu	37,37
joulukuu	47,12

Kaukolämmön keskimääräinen kulutus on 360,89 MWh/a.

Helenin tarjoama energian hinta jakautuu lämmityskausiin. Jokaisella vuodenajalla on oma energian hinta. (Taulukko 8 ja kuva 17.)

Taulukko 8. Helenin kaukolämmön energian hinta

	hinta +ALV €/MWh
talvikauden	67,77
kevätkauden	61,00
kesäkauden	34,74
syyskauden	67,03
hinta sähkö	125,53



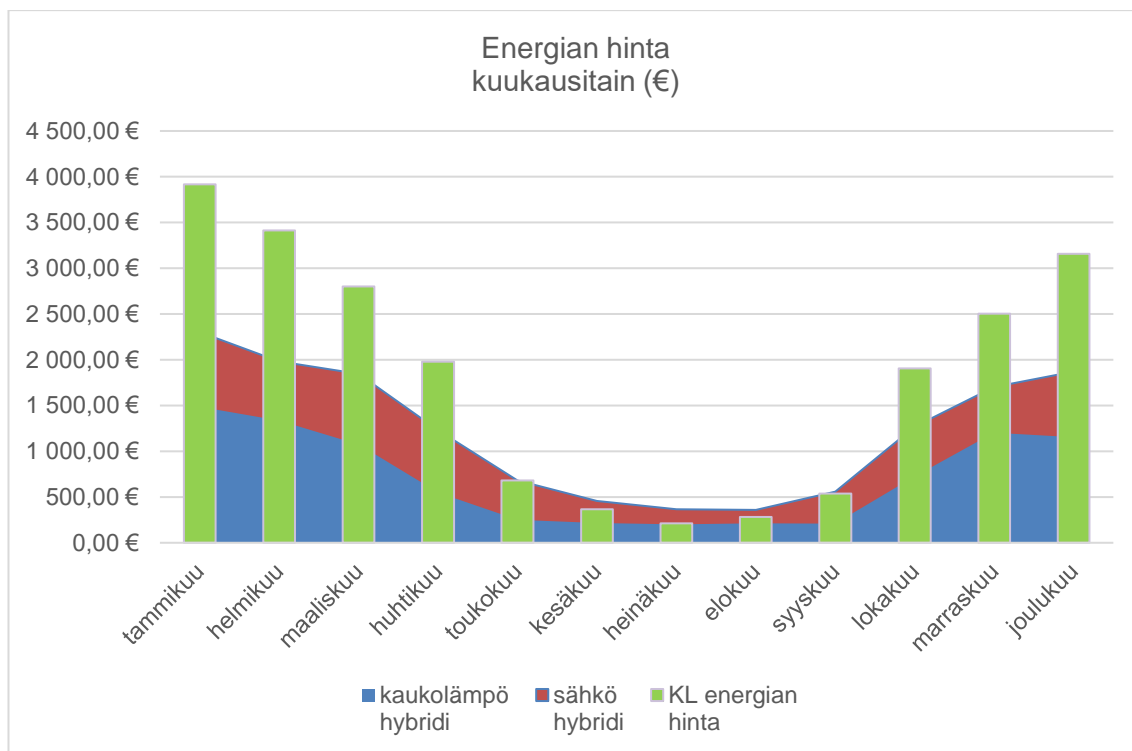
Kuva 17. Helerin kaukolämmön energian hinta [26]

7.3.2 Energiakustannusten nykyarvo

Hybridijärjestelmän energian kustannus koostuu sähkön ja kaukolämmön energiasta. Lämpöpumpun kuluttama sähköenergiaa saadaan HögforsGST:n Fiksu-sivulta. Sähköenergian keskimääräinen kulutus on 48,9 MWh/a (taulukko 1). Helerin kotisivulta saadaan tieto kulutetusta hybridijärjestelmän lämpöenergiasta. Kaukolämpöenergian keskimääräinen kulutus on 142,8 MWh/a (taulukko 3.)

Taulukko 9. Energiakustannusten nykyarvo

	Hybridi (KL+sähkö)	kaukolämpö
energia MWh/a	191,73	360,89
Hinta €/a	14 628,40	21 762,94



Kuva 18. Kaukolämmön ja hybridijärjestelmän energiankulut euroina (hinnat 2020)

Kesällä hybridijärjestelmän käyttöhintaa oli korkeampi kuin kaukolämpöjärjestelmän. Järjestelmänvalvoja oli unohtanut sammuttaa poistoilmalämpöpumpun yksikön kesällä. Kesällä kaukolämpöenergia on halvempaa kuin poistoilmalämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia. Tuottamuksellinen teko maksoi noin 1 000 € kolmessa vuodessa. Järjestelmien vertailussa sähkökustannukset on poistettu laskelmasta kokonaan kesän aikana, ts. huolimattomuus otetaan huomioon.

7.4 Elinkaarilaskenta

Elinkaarilaskelmilla (*life cycle costs*, LCC) arvioidaan järjestelmän kannattavuutta sekä elinkaaren aikana syntyviä kustannuksia ja niiden vaikutusta järjestelmän kannattavuuteen. Elinkaarilaskelmissa pitää selvittää investoinnin kulut ja käytönaikaiset kustannukset. Investointipäätöksen tekemisessä on otettava huomioon vain tarkasteltavasta investoinnista aiheutuvat kulut.

Elinkaarikustannukset investoinnille lasketaan nykyarvomenetelmällä kaavalla 16.

$$LCC = \sum_{k=0}^n [K_i * \text{dis } i] = K_i + K_e + K_h + K_{kk} \quad (16)$$

jossa

LCC	on koko elinkaaren aikana syntyvät kustannukset,
K_i	on investointikustannukset, €
K_e	on lämmitys energian kustannusten nykyarvo, €
K_h	on laitteiston huoltokustannusten nykyarvo, €
K_{kk}	on laitteiden kunnossapitokustannus nykyarvo, €.

Energiakustannusten nykyarvo saadaan kaavalla 17 [20; 21].

$$K_e = E * \frac{(1+r)^n - 1}{r * (1+r)^n} = E * \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} \quad (17)$$

jossa

K_e	on lämmitys energian kustannusten nykyarvo, €
E	on vuotuinen energiakustannus, €/a
n	tarkastelujakson pituus, vuotta
r	reaalikorko, %.

7.4.1 Huoltokustannusten nykyarvo

Huoltokustannukset ovat järjestelmän ylläpidosta aiheutuvia kustannuksia. Kerrostalossa KL toimittaja ja hybridijärjestelmän toimittaja hoitavat säännöllisesti tarvittavat huoltotoimenpiteet. Huoltokustannusten nykyarvo voidaan laskea kaavalla 18. [17; 20.]

$$K_h = H * \frac{(1+r)^n - 1}{r * (1+r)^n} = H * \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} \quad (18)$$

jossa

K_h	on laitteiston huoltokustannusten nykyarvo, €
H	on vuotuinen huoltokustannus, €/a

n on tarkastelujakson pituus, vuotta
r on reaalikorko, %.

Rakennusten lämmitysenergiakustannukset johtuvat tilalämmityksestä ja käyttöveden lämmityksestä. Sähkökustannukset aiheutuvat rakennuksen sähköstä, käyttäjän sähköstä ja talotekniikan laitteista ja järjestelmistä. Talotekniikan osalta energiakustannukset käsittävät taloteknisten laitteiden ja järjestelmien aiheuttamat sähköenergiakustannukset (pumput, puhaltimet, kompressorit, toimilaitteet, valaistus jne.). Nämä kulut ovat molemmille järjestelmille samanlaisia. [20]

7.4.2 Reaalikorko

Reaalikoron laskennassa huomioidaan inflaatio, eli rahan arvon muuttuminen ajassa. Reaalikorko lasketaan kaavalla 20.

$$r = \frac{i-f}{1+f} \quad (19)$$

jossa

r on reaalikorko
f on vuoden inflaatio
i on nimelliskorko.

Tilastokeskuksen mukaan vuonna 2019 vuoden [20]:

inflaatio oli 2 %

nimelliskorko oli 5 %.

Tästä lasketaan kaavalla 20: $r = \frac{0,05-0,02}{1+0,05} = 0,0285=2,85 \text{ %/a}$

Meidän tapauksessamme reaalikorko on $r = 2,85 \text{ %/a}$

Energiakustannukset saattavat käyttäytyä eri lailla kuin yleinen kustannustason nousu. Tämä voidaan ottaa huomioon käyttämällä energian hinnalle omaa reaalikorkoa, joka lasketaan kaavalla 20. [20]

$$re = \frac{i-e}{1+e} \quad (20)$$

Kaavassa re on energiakustannusten reaalikorko ja e on vuoden energian hinnan nousu vuodessa $e=4\%/a$.

Helen Oy:n kaukolämmön energiahinta nousi 25 % vuodesta 2015 alkaen. Keskimäärin energian hinta nousee vuodessa 4,5 %. (Liitteet 4, 5 ja 6.)

$$re = \frac{0,05-0,04}{1+0,04} = 0,024=1\%/a$$

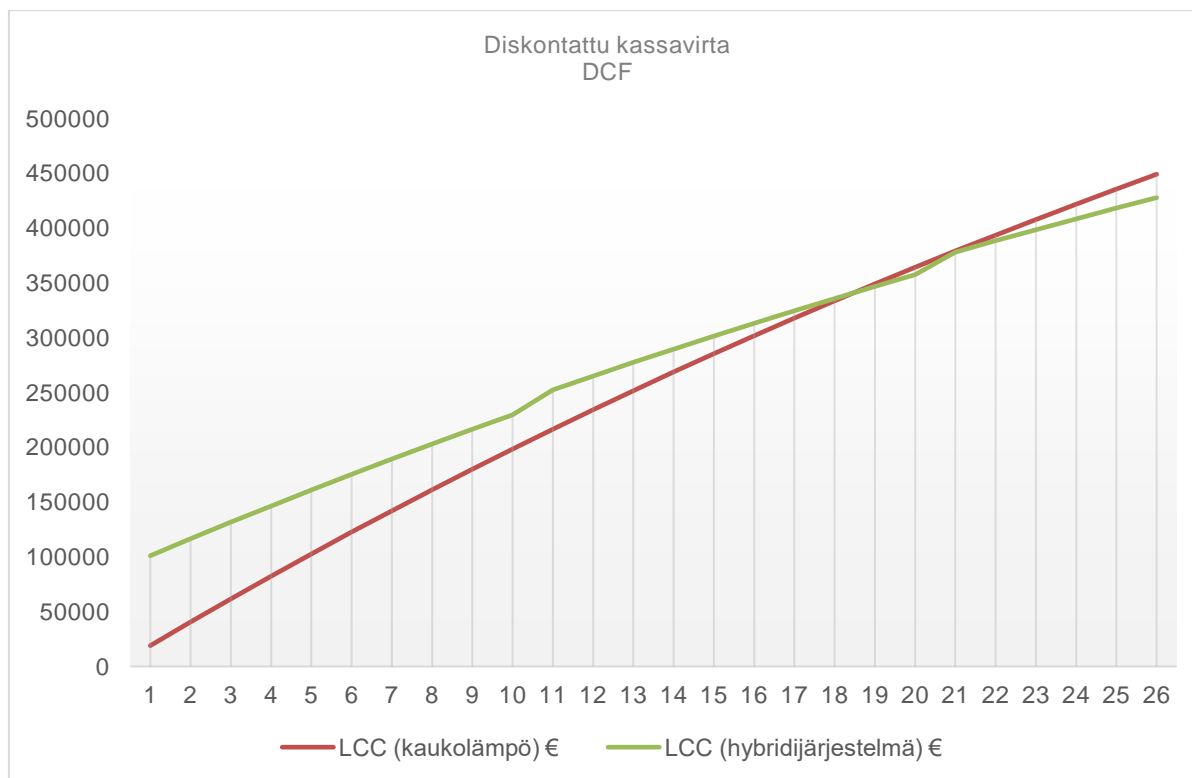
Korkotekijää $(1+r_e)$ käytetään vain energiakustannuksissa eli sähkölle ja lämmölle [20].

Taulukko 10. Perustiedot vertailuun

	PILP+KL	KL
Laskentajakso (vuosi)	25	
Hankintahinta (€)	85 300	19 000
Vuotuiset energiakulut (€/a)	14 628	21 763
Vuotoiset huolto (€/a)	1 140	200
Nimelliskorko 100i	5,0 %	
Inflaatio 100f	2,0 %	
Energian nimellinen inf. 100re	4,0 %	

7.5 Tulokset

Kuvassa 19 on esitetty 25 vuoden elinkaaren aikana syntyvät kustannukset kaukolämpö- ja hybridijärjestelmissä.



Kuva 19. 25 vuoden elinkaaren aikana syntyvät kustannukset

Taulukossa 11 on esitetty viiden vuoden välein syntyvät kustannukset kaukolämpö- ja hybridijärjestelmissä.

Taulukko 11. Elinkaaren aikana syntyvät kustannukset

kaukolämpö							
aika vuosi	0	1	5	10	15	20	25
vuotuiset nimelliset energiakulut €/a	21763	21972	22830	23948	25122	26353	27645
vuotuiset nimelliset huoltokulut €/a	200	200	200	200	200	200	200
yhteensä €/a	21963	22172	23030	24148	25322	26553	27845
Diskonttaus tekijä reaalikorolla	1,000	0,971	0,865	0,748	0,647	0,560	0,484
Kulujen nykyarvo- €	0	21529	19921	18063	16383	14870	13477
LCC (kaukolämpö) €	19000	40529	122627	216579	301811	379155	449283
hybridi							
vuotuiset nimelliset energiakulut €/a	14628	14769	15345	16097	16886	17714	18582
vuotuiset nimelliset huoltokulut €/a	1140	1140	1140	1140	1140	1140	1140
yhteensä €/a	15768	15909	16485	17237	18026	18854	19722
Diskonttaus tekijä reaalikorolla	1,000	0,971	0,865	0,748	0,647	0,560	0,484
Kulujen nykyarvo- €	0	15448	14260	12894	11663	10558	9546
LCC (hybridijärjestelmä) €	101068	116516	175337	252478	313219	378194	427915
				kompressorin vaihto	10 000 €		10 000 €

8 Tulosten analysointi

Tutkittavassa kerrostaloissa katolla on asennettu yksi lämmöntalteenottoyksikkö. Lämmönjakohuoneessa on asennettu tehtaalla kootut hybridijärjestelmän moduulit ja lämpöpumppu. Järjestelmän kytkeminen katolla olevaan lämmöntalteenottoyksikköön ja lämmönjakohuoneessa olevaan lämpöpumppuun lisää kustannuksia. Tutkittavassa kohteessa vuonna asennetun 2016 hybridijärjestelmän hinta oli 85 300 €. Tällä hetkellä markkinoilla tarjolla olevat hybridijärjestelmät ovat kalliimpia ja vastaavasti tehokkaampia kuin kohteessa oleva järjestelmä. Työssä ei tarkasteltu muita markkinoilla olevia hybridijärjestelmiä.

Investoinnin jälkeen elinkaarikustannukset muodostuvat energiakustannuksista ja lämmitysjärjestelmän ylläpitokustannuksista. Tutkimuksen mukaan kerrostalon vuotuisissa energiakustannuksissa ei ole paljon hintaeroa. Hybridijärjestelmän sähköenergiakustannukset ja kaukolämpöenergian kustannukset ovat vuodessa noin 7 150 € halvemmat kuin pelkällä kaukolämmöllä varustetun kohteen energiakustannukset. Hybridijärjestelmän huoltokustannukset ovat 1 140 €/a ja kaukolämmöllä huoltomaksu kuluu kaukolämmön hintaa ja on 200 €/a. Investointi- ja energianhintoihin verrattuna ylläpitokustannuksilla ei ole paljon vaikutusta elinkaarivertailuun.

Ylläpitokustannuksen laskennassa kannattaa muistaa lämpöpumpun huoltovälit. Lämpöpumpussa olevat kompressorit on vaihdettava 10 vuoden välein ja 5 vuoden välein on uusittava glykoliliuos. Kompressorien vaihdon kanssa vaihdetaan myös kylmäainetta. Kokonaisvaihtohinta on 10 000 € kahdesta kompressorista.

Taulukossa 11 on esitetty kompressorin uusiminen 10 vuoden välein. Toisin sanoen järjestelmän vuosina 10 ja 20 lisätään 10 000 € lisäkustannuksia LCC-kaavaan.

Taulukko 12. LCC, kaukolämpö ja hybridi

	LCC kaukolämpö	LCC hybridi	Suhteellinen erotus		
1 vuosi	40 529 €	116 516 €	-65,3 %	KL edullisempi	
5 vuotta	122 627 €	175 337 €	-30,1 %	KL edullisempi	
10 vuotta	216 579 €	252 478 €	-14,3 %	KL edullisempi	+ 10 000 € hybridi
15 vuotta	301 811 €	313 219 €	-3,7 %	KL edullisempi	
19 vuotta	349 109 €	357 636 €	-2,4 %	Hybridi = KL	
20 vuotta	379 155 €	378 194 €	0,3 %	Hybridi = KL	+ 10 000 € hybridi
25 vuotta	449 283 €	427 915 €	5,0 %	Hybridi edullisempi	

Taulukosta 12 käy ilmi, että jopa 10 vuoden kuluttua kaukolämpöjärjestelmän käyttö on edullisempää kuin hybridijärjestelmä (noin 14 %). Kaukolämpö on 25 vuoden elinkaari-tarkastelujakson aikana 21 000 € kalliimpi kuin hybridijärjestelmä, mikä on prosentuaalises-ti yli 5 %. Molemmilla lämmitysjärjestelmillä tekninen käyttöikä on maksimissaan 25 vuotta, minkä jälkeen laitteet pitäisi vaihtaa uusiin. Näillä lukemilla voidaan olettaa, että hybridijärjestelmä saavuttaa kaukolämpölämmityksen elinkaarikustannusvertai-lussa.

9 Yhteenveto

Hybridijärjestelmän korollinen takaisinmaksuaika on kaukolämmitykseen verrattuna noin 15 vuotta, kun reaalikorko on 1 %. Tämä johtuu siitä, että hybridilämmityksen vuotuiset kulut ovat pienemmät. Hybridijärjestelmän elinkaarikustannukset ovat edullisemmat, kuin kaukolämmön 20 vuoden pitoajalla (taulukko 12). Talviajan energiatehontarve on kohteessa liian suuri hybridin poistoilman lämpöpumpun tuottamalle energialle, joten sil-loin hybridi joutuu käyttämään usein lisälämmityksenä kaukolämpöä. Kesällä lämmön-talteenottoyksikkö periaatteessa poistetaan käytöstä kokonaan neljäksi kuukaudeksi koska, että lämpöpumpun tuottama energia on tuolloin kalliimpaa kuin kaukolämpöener-gia. Kesällä kaukolämmön energian hinta on melkein neljä kertaa edullisempää kuin säh-kön hinta.

Hybridijärjestelmä on aika uusi järjestelmä, joka sopii kaupunkialueilla suuriin kohteisiin. Hybridijärjestelmän elinkaarikustannukset eivät ole radikaalisti pienemmät kuin kauko-lämmityksen. Hybridilämmitysjärjestelmässä on paljon enemmän kuluvia osia, mm.

automaatiolaitteita, antureita ja pumppuja. Myös hybridijärjestelmässä olemassa oleva lämmönsiirtimet rajoittavat järjestelmän käyttöikä. Kaukolämmön järjestelmässä ei ole kalliita osia, jotka vaativat vaihtoa käyttöaikana. Pumpun ja lämmönsiirtimeen käyttöikä on melkein sama kuin koko järjestelmän käyttöaika. (Liite 8).

Tässä työssä on käsitelty ja analysoitu tavanomaisia hybridijärjestelmän energian kuluksia ja niitä on verrattu virtuaalisen kaukojärjestelmän energiankulutukseen, jotka perustuvat kohteen aiempaan kulutukseen.

Takaisinmaksuaika ei välttämättä ole oikea mittari, mutta elinkaarikustannuksia on seurattava. Lämmitysenergian hinnat nousevat tasaisesti.

Lähteet

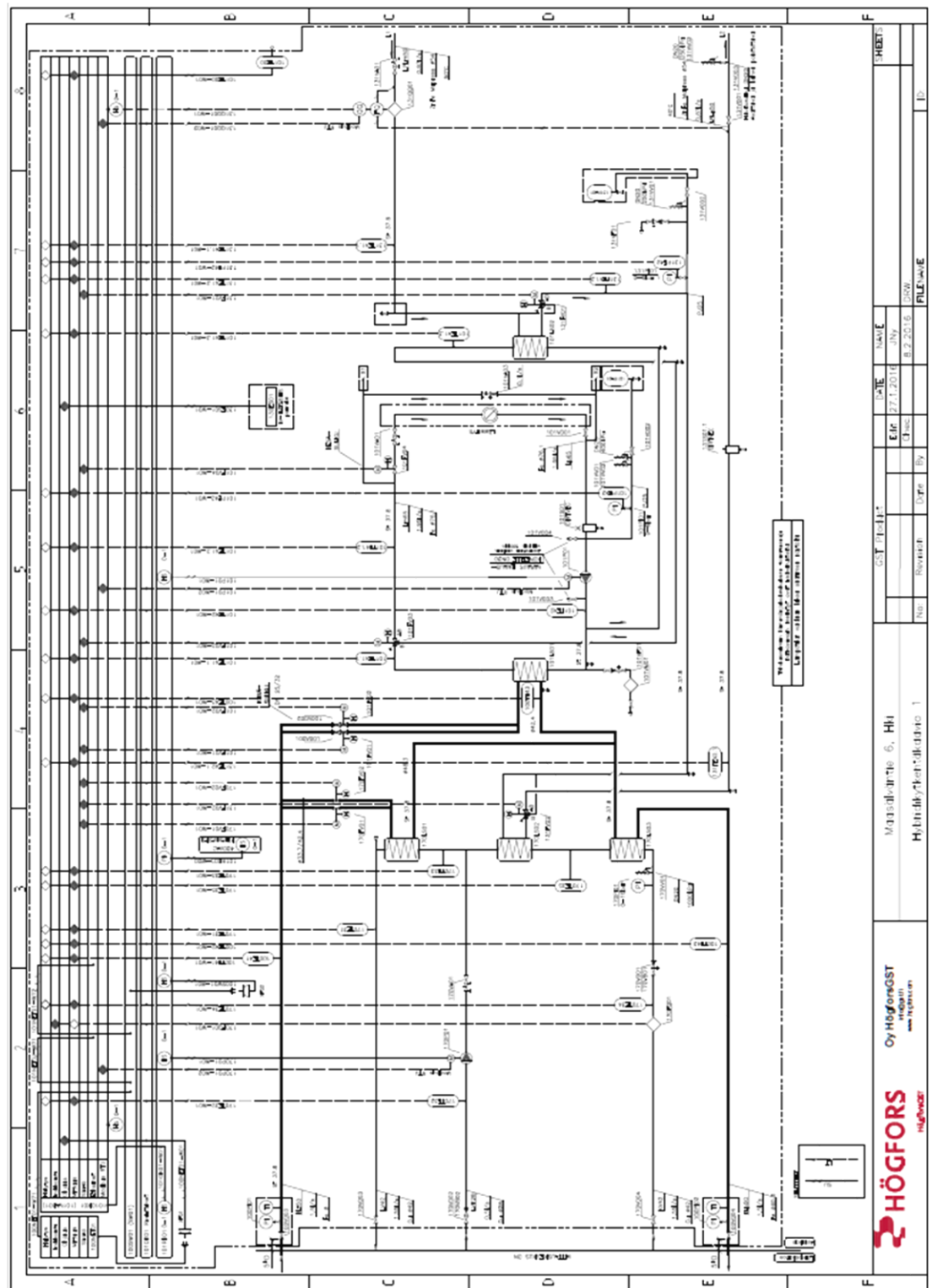
- 1 Lämpöpumppujen energialaskentaopas. 2012. Espoo. Aalto yliopisto.
- 2 Rakennuksen kaukolämmitys. 2014. Määräykset ja ohjeet. Helsinki. Energiategollisuus.
- 3 Lämpöpumput. 2002. LVI 11-10332. LVI-keskusliitto
- 4 Rakennusten lämmitys. 2006, LVI 10-10397. LVI-keskusliitto.
- 5 Energiategokkuus. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehotarpeen laskenta, ohjeet. 2018. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 6 Energiatodistuksen kokonaisenergiankulutuksen (E-luvun) määrittäminen. Verkkoaineisto. Finlex. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130176?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=6%09Energiatodistuksen%20kokonaisenergiankulutuksen%20>>. Julkaistu 2013. Luettu 2.08.2020.
- 7 Lämmitysjärjestelmien elinkaari. Verkkoaineisto. Energiategokas koti. <https://www.energiategokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/lammitysjarjestelmien_elinkaari>. Päivitetty 17.3.2020. Luettu 8.10.2020
- 8 Rakennuksen kaukolämmitys. 2013. Määräykset ja ohjeet. Helsinki. Energiategollisuus
- 9 Kaukolämmön suunnittelu- ja urakointiohjeita. 2015. Helsinki. Helen Oy.
- 10 Energiategokkuus. 2018. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehotarpeen laskenta, ohjeet. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 11 Energiatodistuksen laadintaesimerkki: kerrostalo vuodelta 1970. 2018. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 12 Rakennusten lämmitys. 2006. LVI 10-10397. LVI-keskusliitto
- 13 PILP-opas 2018. Poistoilmalämpöpumpun (PILP) lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen lämpö häviöiden tasauslaskentaa varten. 2017. Ympäristöministeriö.
- 14 Sandberg, Esa. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. 2014.Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 15 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. 1009/2017. Luettu 10.10.2020
- 16 Pulakka, Sakari; Heimonen, Ismo; Junnonen, Juha-Matti & Vuolle, Mika. 2007. Talotekniikan elinkaarikustannukset. VTT
- 17 Saari Arto. Elinkaarikustannusten laskenta. 2004. Luonnos 23.08.2004
- 18 Kuluttajahintaindeksi 2020, lokakuu. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <<https://www.stat.fi/til/khi/2020/10/> > Luettu 10.10.2020

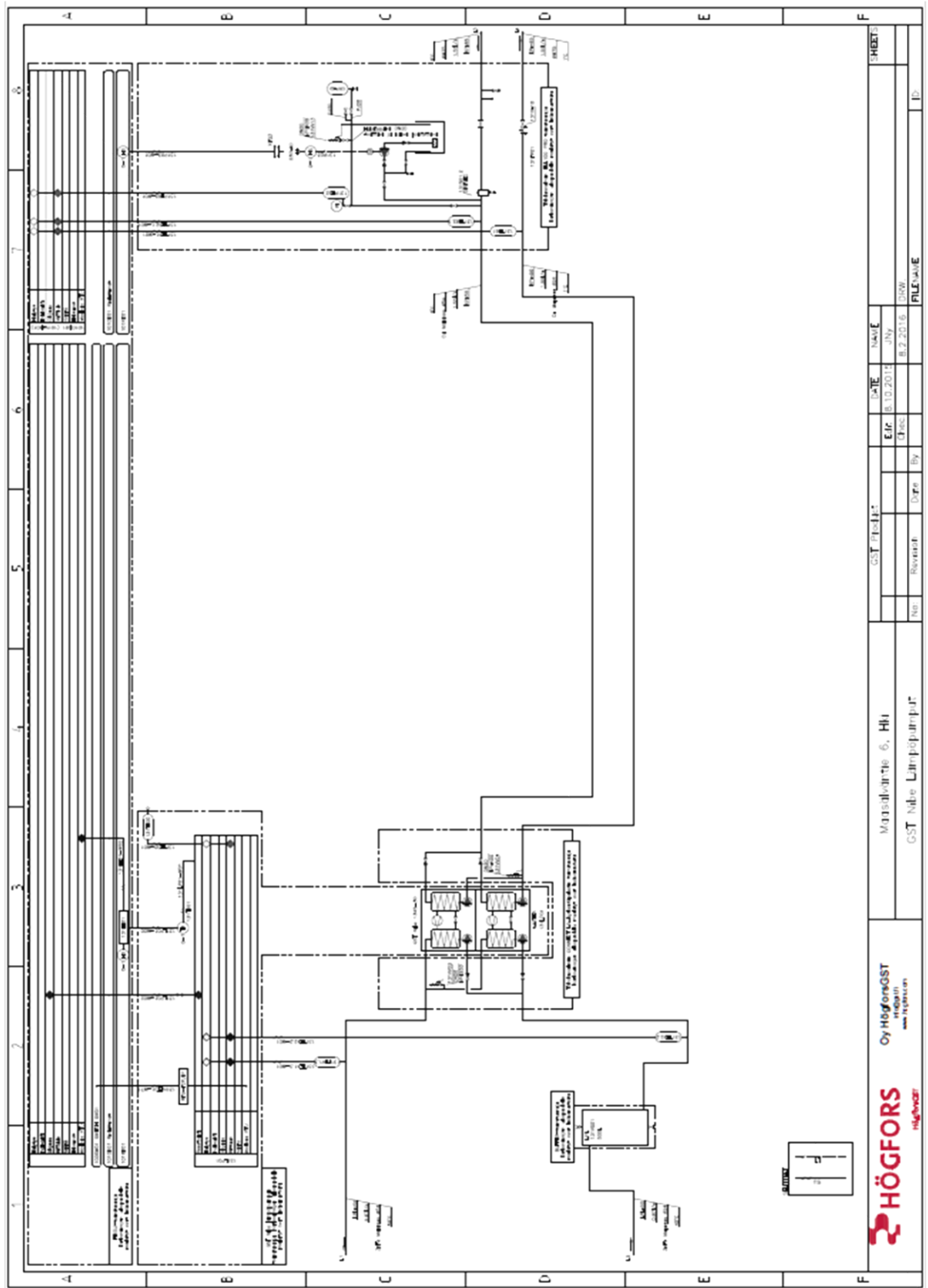
- 19 Vuoden 2020 laskelmissa käytettäväksi tarkoitettu korkokustannus. Verkkoaineisto. Valtiokonttori. <<https://www.valtiokonttori.fi/maaraykset-ja-ohjeet/vuoden-2020-laskelmissa-kaytettavaksi-tarkoitettu-korkokustannus/#dc139012>> Luettu 11.10.2020.
- 20 Yrjölä, Jukka. 2018. Investointilaskelmat. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma
- 21 Siren, Kai. 2015. Rakennusten energiainvestointien kannattavuuden laskenta. Aalto Yliopisto
- 22 Virkki, Juha. Haastattelu. 9.11.2020. HögforsGST OY
- 23 Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>> Luettu 9.9.2020
- 24 Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. Motiva. <https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi> Luettu 9.8.2020
- 25 Laiteuusinta. Helen. <<https://www.helen.fi/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/nykyisille-asiakkaille/laiteuusinta>> Luettu 9.11.2020
- 26 NIBE F1345. Verkkoaineisto. <<https://www.nibe.eu/fi/fi/tuotteet/maalampopumput/NIBE-F1345-Maal%C3%A4mp%C3%B6pumppu--32>> Luettu 10.10.2020
- 27 Kylmäaineiden valmistus, maahantuonti, myynti ja varastointi. Verkkoaineisto. Tukes. <<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/kylmaala/kylmaaineet#4a7b5b12>> Luettu 06.07.2020

Liite 1. Kiinteistön alkuperäinen lämmönjakokeskuksen laitteiden mitoitusarvot

LÄMMÖNJAKOKESKUKSEN LAITTEIDEN MITOITUS						
SIIRTIMET	YKSIKKÖ	KÄYTTÖVESI LS1		LÄMMITYS LS2		
VALMISTAJA		617-120-2V		617-80		
TYYPPI		310		160		
		ENSISÄ	TOISISÄ	ENSISÄ	TOISISÄ	
VIRTAAUS	dm ³ /s	1.45	1.64	0.76	1.91	
LÄMPÖTILAT	°C	70-19	10-55	115-65	60-80	
PAINEHAVIÖ	kPa	20	26	2	10	
SUUNNITTELUVAINE	MPa	1,6	1,6	1,6	1,6	
KORKEUSVAINE	Hst	Hst	Hst	Hst	Hst	
HUOM!						
VAROVENTTIILIT		KÄYTTÖVESI		LÄMMITYS		
		TV 1		TV 2		
VALMISTAJA		TAC-COM OY		TAC-COM OY		
MALLI		V241		V241		
VIRTAAUS	dm ³ /s	0.82		0.67		
PAINEHAVIÖ	kPa	54		36		
KOKO / kvs-ARVO	DN/kvs	15/4.0		15/4.0		
HUOM!						
SIIRTIMET		KÄYTTÖVESI P1		LÄMMITYS P2		
VALMISTAJA		Kolmek		Kolmek		
MALLI/LISÄTIEDOT		AP-32/4-130		AL-1032/4/FCC		
VIRTAAUS	dm ³ /s	0.50		1.91		
NOSTOKORKEUS	kPa	55		30		
MOOTTORIN TEHO	W	200		500		
HUOM!						
VERKOSTO, PAISUNTA- JA VAROLAITTEET	YKSIKKÖ	LÄMMITYSVER. PSI				
VERKON TILAVUUS/VERKON PAINEHAVIÖ	dm ³ /kPa					
PAISUNTAOSAILIEN TILAVUUS/-ESIPAINE	dm ³ /kPa					
VAROVENTTIILIN KOKO/-AVAUTUMISPAINE	DN/kPa					
Nro	KPL	LAITE	MITOITUS		HUOM!	
11	1	Paisunta-astia Reflex-A-280	1x280dm ³ ,esip. 250kPa		ENTINEN	
12	2	Varoventtiili	DN25, av. paine 350kPa		UUDET	
VM1	1	Vesimittari, MM20 SUVE	DN40, 10 m ³ /h		UUSI	
VM2	1	Vesimittari, HVM25 SUVE	DN20, 2,5 m ³ /h		UUSI	
TC1	1	SRADIN	TAC XENTA 2261		UUSI	
TC2	1	SRADIN	TAC XENTA 2261		UUSI	
LISÄTIETOJA						
LÄMPÖLAITTEIKSEN ILMOITTAMA KÄYTTÄVISSÄ OLEVA PAINE-ERD 60 kPa						

Liite 2. Hybridijärjestelmän kytkentäkaava As. Oy Maasälväntie 6

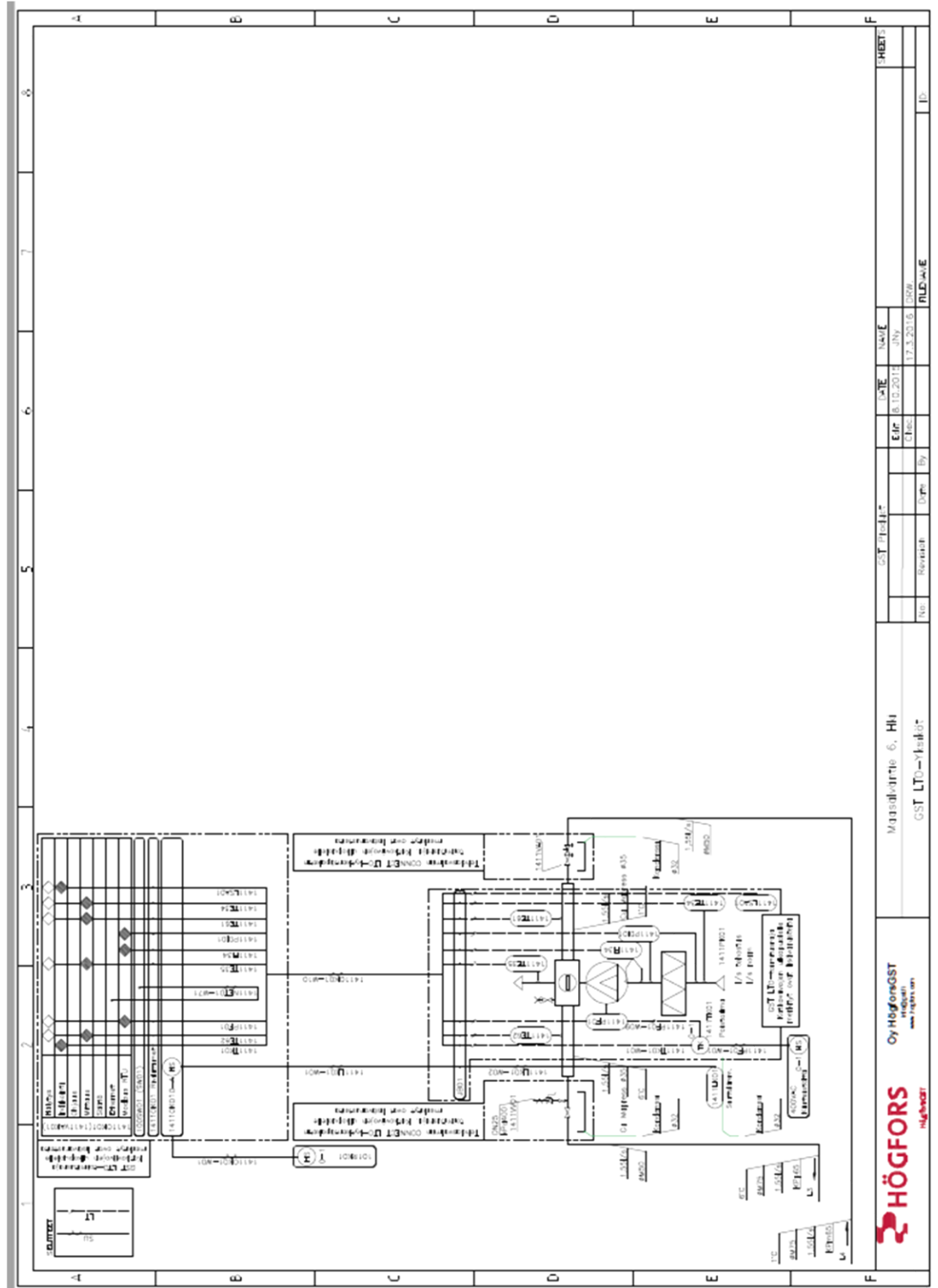


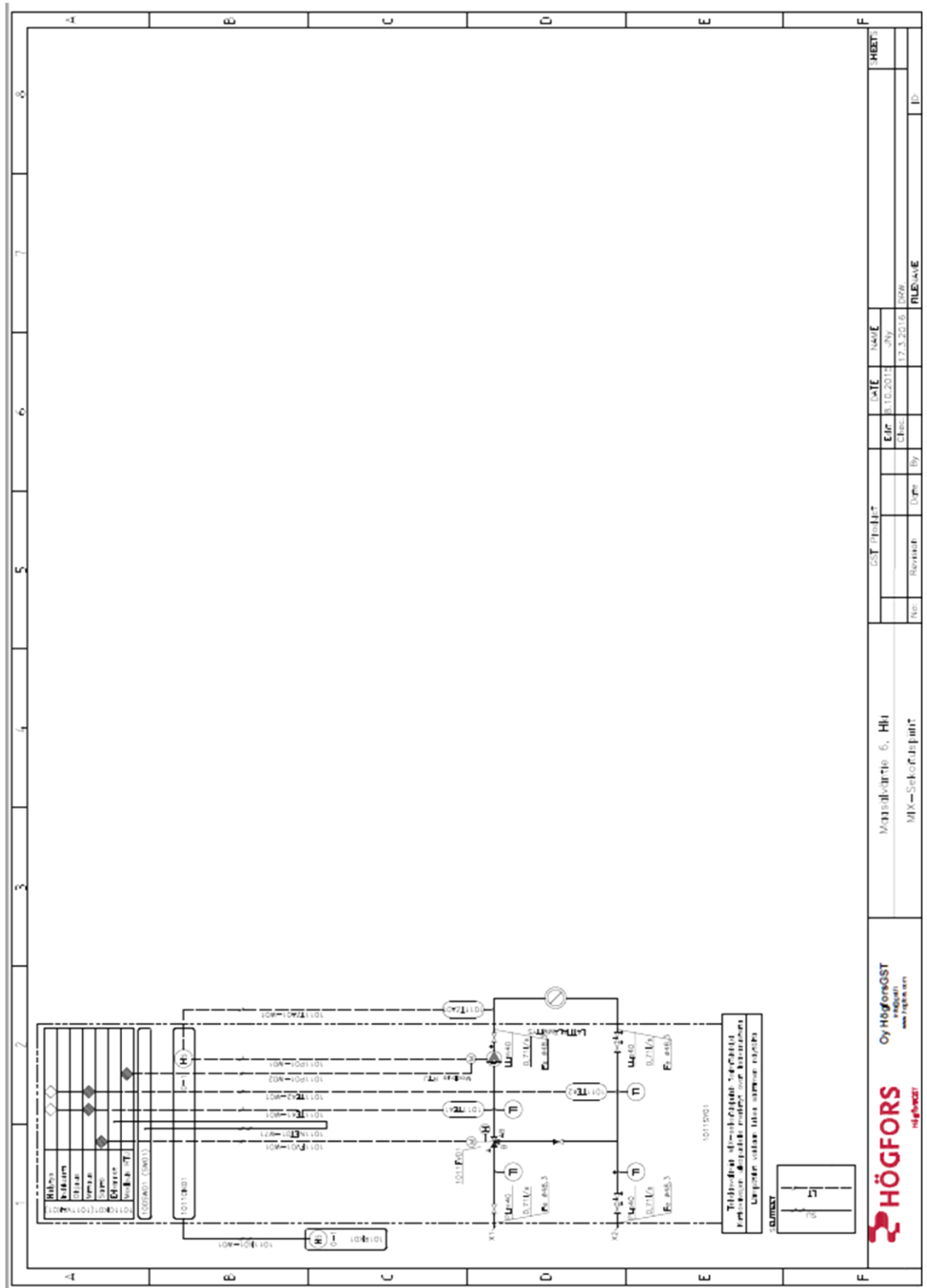


Mansikkatie 6, HI
GST-talon Lämpöparit

GST-PIIRIT:		PÄIVÄ		PÄIVÄ	
N:o	Revisioid	Diag.	8.10.2013	JUNY	2008
		Diag.	8.7.2016		
					FILENAME

1:HEBTS





DRY	NOVE	DATE	17.2.2016
DRY	NOVE	DATE	17.2.2016
DRY	NOVE	DATE	17.2.2016
DRY	NOVE	DATE	17.2.2016

DRY	NOVE	DATE	17.2.2016
DRY	NOVE	DATE	17.2.2016
DRY	NOVE	DATE	17.2.2016
DRY	NOVE	DATE	17.2.2016

Oy HögforsOST			Manuskriptin 6. HII
www.hogfors.com			MX-Sekokäyttö
HÖGFORS			
HOGFORS			

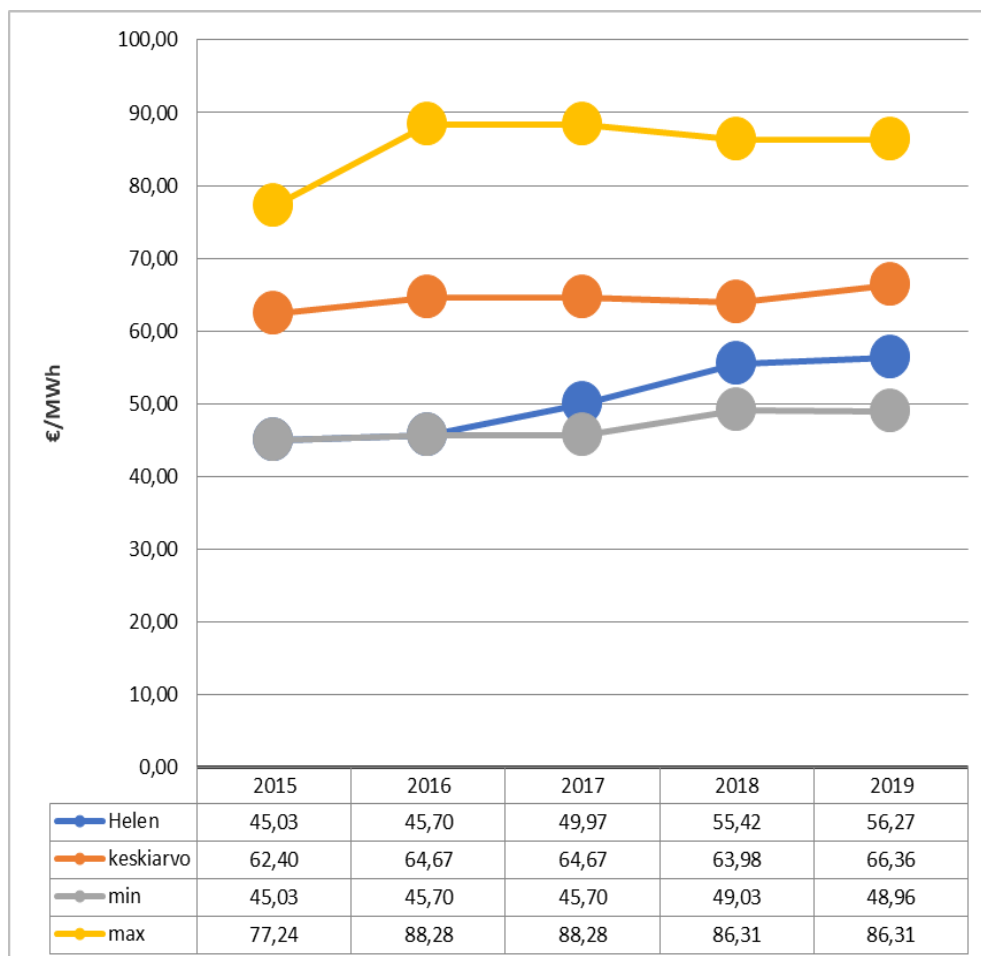
Liite 3. Lämmönjakokeskuksen laitteiden mitoitusarvot

Σ

LÄMMÖNJAKOKESKUKSEN LAITTEIDEN MITOITUS										
Tietokeräinlaitteiden:										
Kohteen osoite / Merkki / Maastittelinlehti & Heli /Hyönteisilä / TOI	176LS92 / 176LS92			KYTKENTÄKAAVIO: 4p - KV + 3xLA, suora palttu			191LS91			
LÄMMÖNKAUKALINNA	Höyrykeskus / SVSEP			Höyrykeskus / SVSEP			Höyrykeskus / SVSEP			
LÄMMÖNKAUKALINNA	C28H066			C28H066			C28H066			
Varmistaja	310			72			90			
Yhtö	Eristä	Toistoa	Eristä	Toistoa	Eristä	Toistoa	Eristä	Toistoa	Eristä	Toistoa
Virtaus	1,50	1,55	0,87	1,55	0,73	1,95	0,87	1,93		
Lämpötila	70 - 20	10 - 58	50 - 30	29 - 40,2	115 - 61	60 - 80	50 - 40	30 - 43,5		
Painejärjestys	18,80	20,10	3,53	9,95	1,68	11,62	2,63	12,41		
Suunnitelmapaine	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6		
Virtauslämpötila		Vesi		Vesi		Vesi		Vesi		
Reaktanttimäärä ENT1002877	ENT 4401	ENT 4401	ENT 4401	ENT 4401	ENT 4401	ENT 4401	ENT 4401	ENT 4401	ENT 4401	ENT 4401
Tilavuus (ensimmäinen)	4,66 / 4,66	4,77 / 4,77	4,66	4,77	5,22	5,22	5,22	5,22	5,22	5,22
SAATOKESKUS										
Varmistaja	Höyrykeskus									
Malli	Oman Osien Pika									
SAATOKESKUKSEN LAITTEIDEN MITOITUS										
Tietokeräinlaitteiden:										
Varmistaja	Höyrykeskus									
Malli	Oman Osien Pika									
Varmistaja	191FV01 / 191FV02			191FV01 / 191FV02			191FV01 / 191FV02			191FV03
Malli	H6128 / H6155			H6128 / H6155			H6128 / H6155			H6408
Virtaus	0,19 / 0,00			0,87 / 0,87			0,19 / 0,48			1,95
Painejärjestys	29,16			9,81 / 9,81			47,49			7,9
Kokoava-avo	DN150			DN150			DN150			DN150
Varmistaja	1,4			1,725			10 / 10			1,725
Varmistaja	176P01 / 176P02			176P01 / 176P02			176P01 / 176P02			176P03
Malli	NVC24A-SZ-TPC / NVC24A-SZ-TPC			2* NVC24A-SZ-TPC			NVC24A-SZ-TPC / NVC24A-SZ-TPC			NVC24A-SZ-TPC
PAINE-BROSAADIN										
Varmistaja	Täsmämittä -									
Malli	Asennuspaikka Väpää									
Virtaus	-									
Painejärjestys	-									
Kokoava-avo	-									
PUMPUT										
Varmistaja	176P01									
Malli	STRATOS-Z 2611-8			STRATOS-Z 2611-10			STRATOS-Z 2611-10			STRATOS-Z 2611-10
Virtaus / LVV 32 %	0,50			0,50			0,50			0,50
Notoite	55 0071 0			55 0071 0			55 0071 0			55 0071 0
Nimeltäminen / Järjeste	1 kpl (100 %)			1 kpl (100 %)			1 kpl (100 %)			1 kpl (100 %)
Kpl / Käyttökorkeus	EI			EI			EI			EI
Pumput väärä	Ei									
SAATOKESKUKSEN LAITTEIDEN MITOITUS										
Tietokeräinlaitteiden:										
Varmistaja	Höyrykeskus									
Malli	Oman Osien Pika									
Varmistaja	KÄYTTÖVESI			KÄYTTÖVESI			KÄYTTÖVESI			KÄYTTÖVESI
Malli	LÄMMITYS			LÄMMITYS			LÄMMITYS			LÄMMITYS
Virtaus	0,250/93			0,125/93			0,125/93			0,125/93
Painejärjestys	200/1000			200/1000			200/1000			200/1000
Kokoava-avo	DN200			DN200			DN200			DN200
Varmistaja	2,25/2,00			2,25/2,00			2,25/2,00			2,25/2,00
Malli	LÄMMITYS			LÄMMITYS			LÄMMITYS			LÄMMITYS
Virtaus	42			42			42			42
Painejärjestys	Lx			Lx			Lx			Lx
Kokoava-avo	50			50			50			50
Varmistaja	Höyrykeskus									
Malli	Oman Osien Pika									
Varmistaja	KÄYTTÖVESI			KÄYTTÖVESI			KÄYTTÖVESI			KÄYTTÖVESI
Malli	LÄMMITYS			LÄMMITYS			LÄMMITYS			LÄMMITYS
Virtaus	50			50			50			50
Painejärjestys	Lx			Lx			Lx			Lx
Kokoava-avo	50			50			50			50
Varmistaja	Höyrykeskus									
Malli	Oman Osien Pika									
Varmistaja	KÄYTTÖVESI			KÄYTTÖVESI			KÄYTTÖVESI			KÄYTTÖVESI
Malli	LÄMMITYS			LÄMMITYS			LÄMMITYS			LÄMMITYS
Virtaus	1			1			1			1
Painejärjestys	Lx			Lx			Lx			Lx
Kokoava-avo	50			50			50			50
Varmistaja	Höyrykeskus									
Malli	Oman Osien Pika									
Varmistaja	KÄYTTÖVESI			KÄYTTÖVESI			KÄYTTÖVESI			KÄYTTÖVESI
Malli	LÄMMITYS			LÄMMITYS			LÄMMITYS			LÄMMITYS
Virtaus	1			1			1			1
Painejärjestys	Lx			Lx			Lx			Lx
Kokoava-avo	50			50			50			50

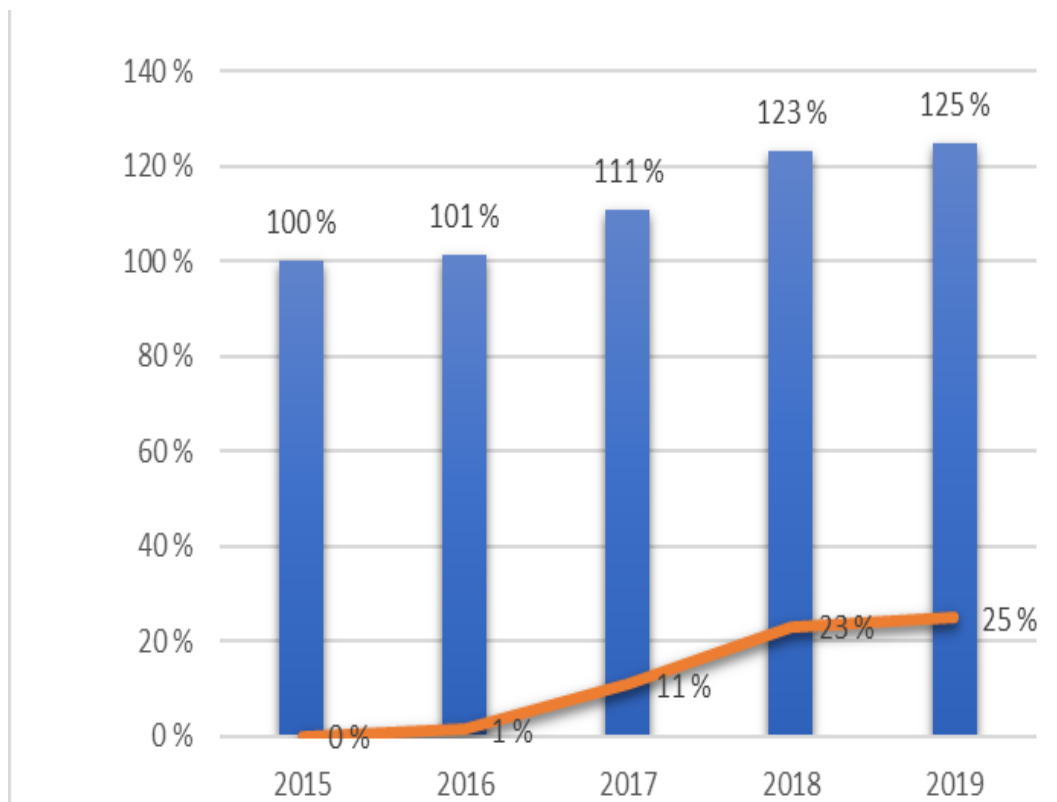
		<p>131LP01</p> <p>Kompressorikolmitieji Vaihtoluketyyppi Lämmitysteho max Latausajin virtaama (vesi) Latausajin lämpötilat Latausajin DN Latausajin lämpötila Laitteen lämpötilaero maksimi Laitteen lämpötilaero normaalii IV Kompressorit Käusupäin virtaama (tyyppi) Käusupäin DN Suukokoko</p> <table border="1"> <tr><td>Näkö</td><td>1</td></tr> <tr><td>W</td><td>36,00 kW</td></tr> <tr><td>W</td><td>0,87 W</td></tr> <tr><td>°C</td><td>50-40</td></tr> <tr><td></td><td>40</td></tr> <tr><td>°Pa</td><td>72</td></tr> <tr><td>°C</td><td>27,0</td></tr> <tr><td>°C</td><td>14,2</td></tr> <tr><td>l/s</td><td>2</td></tr> <tr><td>W</td><td>1,55</td></tr> <tr><td>W</td><td>50</td></tr> <tr><td>mm</td><td>3x35A</td></tr> </table>		Näkö	1	W	36,00 kW	W	0,87 W	°C	50-40		40	°Pa	72	°C	27,0	°C	14,2	l/s	2	W	1,55	W	50	mm	3x35A			
Näkö	1																													
W	36,00 kW																													
W	0,87 W																													
°C	50-40																													
	40																													
°Pa	72																													
°C	27,0																													
°C	14,2																													
l/s	2																													
W	1,55																													
W	50																													
mm	3x35A																													
		<p>141SPK01</p> <p>LTO yksikön tiedot TEHOSUJILMAMÄÄRÄ</p> <p>Yksikkö 1</p> <table border="1"> <tr><td>1/5, LTO teho kW</td><td>15,36</td><td>27</td></tr> <tr><td>Tyyppi, positio</td><td>RSP1000</td><td>PK01</td></tr> <tr><td>Painehäviö ilma</td><td>450</td><td>Pa</td></tr> <tr><td>Neste virtaama</td><td>1,55</td><td>l/s</td></tr> <tr><td>Painehäviö neste</td><td>19,98</td><td>kPa</td></tr> <tr><td>Puhaltimen tyyppi</td><td>GR45</td><td></td></tr> <tr><td>Puhaltimen ottoteho</td><td>1,063</td><td>kW</td></tr> <tr><td>Puhaltimen ototeho max</td><td>1,8</td><td>kW</td></tr> <tr><td>Puhaltimen SFP</td><td>0,736</td><td></td></tr> </table>		1/5, LTO teho kW	15,36	27	Tyyppi, positio	RSP1000	PK01	Painehäviö ilma	450	Pa	Neste virtaama	1,55	l/s	Painehäviö neste	19,98	kPa	Puhaltimen tyyppi	GR45		Puhaltimen ottoteho	1,063	kW	Puhaltimen ototeho max	1,8	kW	Puhaltimen SFP	0,736	
1/5, LTO teho kW	15,36	27																												
Tyyppi, positio	RSP1000	PK01																												
Painehäviö ilma	450	Pa																												
Neste virtaama	1,55	l/s																												
Painehäviö neste	19,98	kPa																												
Puhaltimen tyyppi	GR45																													
Puhaltimen ottoteho	1,063	kW																												
Puhaltimen ototeho max	1,8	kW																												
Puhaltimen SFP	0,736																													
911PV04	MIX 40/40 UH-3-L																													
Beilmo	1011PV01																													
R450	OUMAN																													
1,96	OJVMF325-6-3P																													
2,05	0,71																													
50	16,46																													
49	25	6,3																												
911PV04	1011PV01																													
Beilmo	Beilmo																													
SRFA-O	NRVC04-SR-HW																													
		<p>1011P01</p> <p>WILD STRATOS 25T1-10 = Bimodul Stratos Modbus 0,70 35 0,125X0,93 220 1kgf (100 %) EI</p>																												

Liite 4. Kaukolämmön hinta Suomessa ja Helen Oy:ssä vuosina 2015–2019



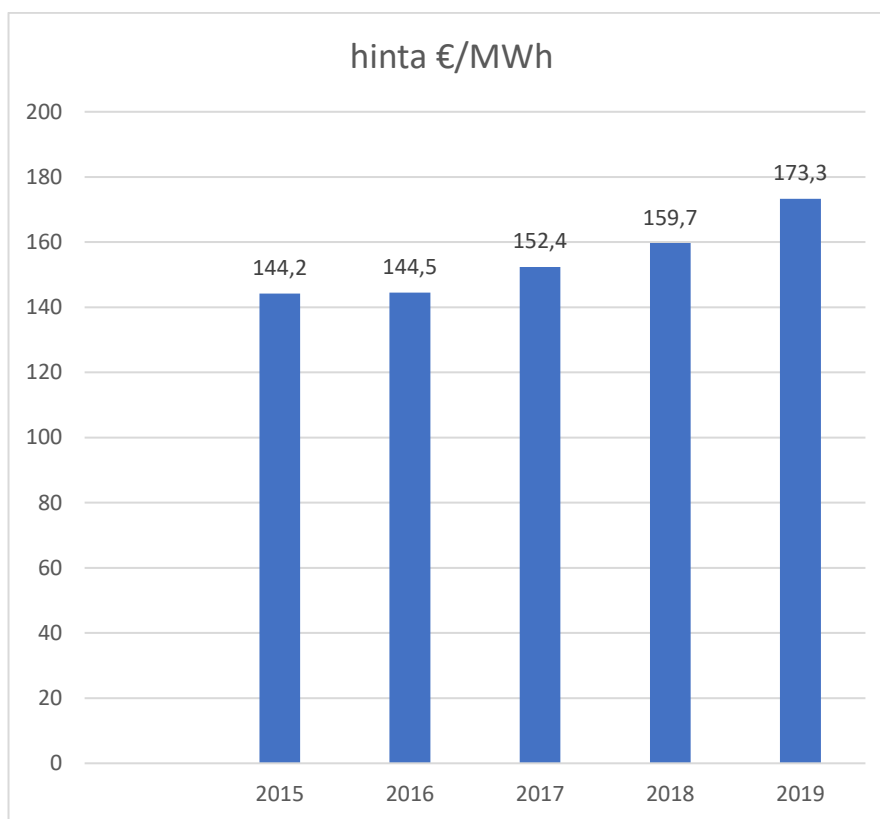
https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukolammon_hintatilasto.html#material-view

Liite 5. Helenin kaukolämmön energian hintojen kasvu (2015–2019). Helenin kaukolämmön energian hintojen keskiarvon kasvu keskimäärin 4,5 %/vuodessa



https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukolammon_hintatilasto.html#material-view

Liite 6. Sähkön hinnan keskiarvo Suomessa (2015–2019). Sähkön hinnan keskimääräinen kasvu 4,6 %/vuodessa.



Liite 7. Lämmitysjärjestelmien elinkaari

Useissa lämmitysjärjestelmissä on komponentteja, joita joudutaan todennäköisesti uusimaan järjestelmän pitoaikana. Toisaalta lämmitysjärjestelmän korvaaminen uudella samanlaisella ei ole yleensä niin laajamittainen hanke kuin sen rakentaminen uudiskohteeseen on. Joissain lämmitys-
muodoissa vaihteluväli laitemallien välisessä eliniässä on varsin suurta.

Lämmitysmuotojen tyypillisiä elinaikaodotuksia:

Pellettikattila 20–30 vuotta, pellettipoltin 10–15 vuotta (uusinta noin 1 000 €)

Kaukolämpö/lämmönvaihdin 20–30 vuotta (uusinta noin 5 000–6 000 €)

Maalämpöpumppu 15–30 vuotta, kompressorin 10–15 vuotta (uusinta noin 2 000–3 000 €)

Ilma-vesilämpöpumppu 10–20 vuotta, kompressorin uusinta noin 1 000–2 000 €

Poistoilmalämpöpumppu 20–30 vuotta, kompressorin uusinta noin 1 000–2 000 €

Ilmalämpöpumppu 10–20 vuotta

Öljylämmityskattila 20–30 vuotta, öljysäiliö, öljypoltin 10–15 vuotta (uusinta noin 1 000 €)

Lämmönjakaminen:

Suora sähkölämmitys (sähkökaapelit lattiassa tai sähköpatterit) 20–30 vuotta

Vesikiertoinen patteriverkko 40–50 vuotta

Vesikiertoinen lattialämmitysputkisto 30–50 vuotta

Muita osia:

Kiertovesipumppujen ikä noin 20–30 vuotta

Lämmitysvesivaraajat 15–30 vuotta

Käyttövesivaraaja 10–20 vuotta

Huonetermostaatit 10–20 vuotta

Patteriventtiilit 10–20 vuotta

Kaukolämmön laitteet uusitaan yleensä 25 vuoden välein

Kaukolämpölaitteiden keskimääräinen käyttöikä on noin 25 vuotta. Suosittelemme vanhojen lämmönvaihtimien ja niihin liittyvien muiden lämmönjakohuoneen **laitteiden uusimista** tehokkaan toiminnan takaamiseksi. Laitteuusinta ja kaukolämpölaitteiden ylläpito hoituu nyt entistä huolettomammin uudella palvelullamme, jolla tarjoamme **älykään lämmönjakokeskuksen** taloyhtiön käyttöön kiinteää kuukausimaksua vastaan.

Kaukolämpöasiakkaanamme saat meiltä neuvoja ja apua kaikissa taloyhtiönne lämmitykseen liittyvissä kysymyksissä maksutta. Haluamme varmistaa vaivattoman, edullisen ja asumismukavuutta lisäävän kaukolämmön käytön taloyhtiössänne. Seuraamme koko asiakkaidemme energiankulutusta hyödyntäen etäluennalla kerättyä mittausdataa. Tavoitteenamme on pitää huolta siitä, että asiakkailamme on laadukas ja turvallinen lämmitysjärjestelmä.

Autamme mielellämme laiteuusintaan ja kaukolämmön käyttöön liittyvissä kysymyksissä. Ota yhteyttä puhelimitse **09 617 8012** tai **sähköpostilla**.

Liite 8. HögforsGST palvelupaketit

Peruspaketti	Etävalvonta	Etähallinta
<p>paketti, johon sisältyy verkkopohjainen käyttöliittymä ja perusominaisuudet. Palvelintila, hallinta ja turvallinen tiedonsiirto. Kirjautumistunnukset 10 käyttäjälle. Kirjautumistunnukset asiakkaan huolto-organisaatiolle ja hälytysreititykset.</p> <p>Kahden vuoden takuu.</p>	<p>paketti sisältää edellä mainittujen toimintojen lisäksi trendiseurannan, jonka avulla asiakkaat voivat tarkastella järjestelmän aiempaa toimintaa. Vikadiagnostiikkatoiminto on tehokas ja helppo käyttää. Pakettiin kuuluu myös energiaraportointi sähköpostitse.</p> <p>Kolmen vuoden takuu.</p>	<p>paketti sisältää edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi järjestelmätarkastustoiminnot, valinnaisen kolmannen osapuolen liitettävyyden sekä ohjelmiston Fiksu-etäpäivitykset. Rajoittamaton määrä kirjautumistunnuksia ja viiden vuoden takuu sisältyvät myös pakettiin.</p>
<ul style="list-style-type: none"> – Kohteen luonti tietokantaan – Palvelintila ja hallinta (10 käyttäjä) – Tietoturvapaketti – Tehdastestaus – Asennus ja käytönopastus etänä – Etäkäyttöönotto ja aloitusviritys – Dokumenttipankki – Huoltokalenteri – Huoltoilmoitukset verkkokäyttöliittymän kautta – Hälytysreititys huolto-organisaatiolle – Energiaraportointi verkkokäyttöliittymän kautta – Fiksu-verkkokauppa – Fiksu-support 	<ul style="list-style-type: none"> – Trendiseuranta – Energiaraportointi sähköpostitse – Ensiöpuolen energiamittaus (lisävaruste) 	<ul style="list-style-type: none"> – Ohjelmiston Fiksu-etäpäivitykset – Lämpöpumpun ohjelmistopäivitykset pyynnöstä (USB) – Rajoittamaton määrä kirjautumistunnuksia – Viiden vuoden järjestelmätakuu – Kolmannen osapuolen Fiksu+ -liitettävyyys 5 e/kk – Säännölliset järjestelmätarkastukset – Energiansäästövinkejä pyynnöstä
600 €/a	900 €/a	1140 €/a