



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mika Stenman

VILPE OY:N ENERGIATEHOK- KUUSHANKE

Tekniikka
2021

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Mika Stenman
Opinnäytetyön nimi	Vilpe Oy:n Energiatehokkuushanke
Vuosi	2021
Kieli	suomi
Sivumäärä	41 + 2 liitettä
Ohjaaja	Riitta Niemelä

Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä Vilpe Oy:n tuotantotilojen laajennukseen sekä uusien tuotantokoneiden hankintaan liittyvään energiatehokkuushankkeeseen. Työssä käsitellään, kuinka kiinteistön energiatehokkuutta voidaan parantaa muuttamalla nykyinen öljylämmitysjärjestelmä lämmöntalteenotolla varustetuksi maalämpöjärjestelmäksi ja miten tuotantokoneissa käytettävää energiaa hyödynnetään uudelleen maalämpöpumpun ja kaivokenttien avulla.

Projekti aloitettiin tutustumalla kiinteistön lämmön ja sähkön kulutusprofiiliin, joiden pohjalta mitoitettiin lämpöpumpun koko, kaivokentän porareikien optimaalinen määrä ja niiden sijoitus toisiinsa nähden. Kaivokentän mitoitukseen käytettiin Earth Energy Designer -ohjelmaa.

Hankkeen keskiössä on energian kierrätys ja vapaajäähdytyksen tehostaminen lämpöpumpun ja kaivokenttien avulla. Tuotantokoneiden jäähdytyksessä hyödynnetään vapaajäähdytystä kesäaikana, jolloin jäähdytystä voidaan tuottaa korkealla hyötysuhteella pelkkiä liuospumppuja käyttäen. Tällöinkin osa tuotannon hukkaenergiasta talletetaan kaivoihin. Kaivojen lämpötilan noustessa liian korkeaksi vapaajäähdytykseen käytetään koneellista jäähdytystä, josta syntyvä lämpöenergia käytetään myös kaivojen lämmityksen tai kiinteistön lämmittämiseen.

Opinnäytetyön yhteydessä ja koko projektin edetessä suunnittelusta eri työvaiheisiin päästiin tutustumaan laajasti kiinteistö- ja energiatekniikkaan. Projektin ainutlaatuisen ja energianerokkaan luonteen ansiosta päästiin soveltamaan teoriaa käytäntöön suuressa mittakaavassa eri osa-alueilla.

ABSTRACT

Author	Mika Stenman
Title	Vilpe Oy:n Energiatehokkuushanke
Year	2021
Language	Finnish
Pages	41 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Riitta Niemelä

The purpose of this thesis was to get acquainted with the energy efficiency project related to expansion of Vilpe Oy's production facilities and the acquisition of new production machines. The work covers how energy efficiency at the factory can be improved by changing the existing oil heating system into a geothermal heating system with heat recovery and how the energy used in production machines can be reused by using geothermal heat pump and boreholes.

The project was started by getting acquainted with and analyzing the heat and electricity consumption profile of the building, which led to dimensioning the heat pump, optimal number of boreholes and their position and relation to each other in the borehole field. The Earth Energy Designer program was used to model the borehole field.

The focus of the project was on enhancing energy recycling and free cooling with the help of a heat pump and boreholes. The cooling of production machines utilizes free cooling during the summer when cooling can be produced with a very high efficiency by using fluid pumps alone. Even then, some of the waste energy from production process is deposited in the boreholes. When the temperature of the boreholes becomes too high, the mechanical cooling is used for free cooling, concurrently creating heat which is also used for heating the boreholes or the building.

In connection with the thesis and as the project progressed from planning to different stages of implementation helped to get vastly acquainted with the real estate and energy technologies. Because the unique and energy ingenious nature of the project, it was possible to put the theory into practice in a large scale of different sectors.

Keywords Free cooling, energy efficiency, geothermal energy system

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	8
2	KIIINTEISTÖN ENERGIANKÄYTTÖ	9
	2.1 Sähködataprofiili.....	9
	2.2 Öljynkulutus.....	12
	2.2.1 Lämmitystarveluku	16
	2.2.2 Päästövähennykset	16
3	MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄ.....	19
	3.1 Maalämpöpumppu	20
	3.2 Lämpökertoimet.....	22
4	KAIVOKENTÄN MITOITUS.....	25
	4.1 TRT-mittaus.....	25
	4.2 Earth Energy Designer.....	26
5	JÄRJESTELMÄN TOIMINTAPERIAATE	29
	5.1 Kiinteistön lämpöpumppu.....	29
	5.2 Lämmityksen tehot ja muovikoneiden hyödyntäminen	30
	5.3 Lämpöpumpun ja sähkökattilan yhteiskäyttö	36
	5.4 Järjestelmän toiminta kesäaikana.....	39
	5.5 Järjestelmän toiminta talviaikana.....	40
6	YHTEENVETO	41
	LÄHTEET.....	42

LIITTEET

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Kuukausittainen energiankulutus keskiarvoina.	10
Taulukko 2. Viikoittainen energiankulutus ja lämpötila keskiarvoina.	11
Taulukko 3. Päiväkohtainen energiankulutus keskiarvoina.	12
Taulukko 4. Kiinteistön öljyn vuosikulutus verrattuna lämmöntarvelukuun. Säiliöt 1 ja 2.....	15
Taulukko 5. Kiinteistön öljyn vuosikulutus verrattuna lämmöntarvelukuun. Säiliö 3.....	16
Taulukko 6. Vuosittaiset CO ₂ -päästövähennykset.....	17
Taulukko 7. TRT-mittaus, lämpötila ja vastuksien kuumennusaika.	26
Taulukko 8 kaivokentän koko.	27
Taulukko 9 Muu lämmitysteho ulkolämpötilan suhteen.	31
Taulukko 10 Ilmanvaihdon tehot ulkolämpötilan suhteen.	32
Taulukko 11 Kiinteistön lämmitystarve ulkolämpötilan mukaan. Helmikuun 8 päivä.	33
Taulukko 12 Kaivokentästä otettava lämpöenergia. Helmikuun 8 päivä.	33
Taulukko 13 Kiinteistön lämmitystarve ulkolämpötilan mukaan. Toukokuun 3 päivä.	35
Taulukko 14 Kaivoihin ladattava lämpöenergia. Toukokuun 3 päivä.....	35
Taulukko 15 Energialaskennan testivuositiedon ulkolämpötilojen jakautuminen vuoden tunneille. /12/.....	36
Taulukko 16 Approksimaatio lämpökertoimen käyttäytymisestä menoveden lämpötilan mukaan.	38
Taulukko 17 Lämpöpumpun ja sähkökattilan yhteiskäytön energiatehokkuus. Tehot kytkentäkaavion kuvakaappauksesta.	39
Kuva 1. Esimerkkikuva muovikoneesta. /2/.....	12
Kuva 2. Kevyen polttoöljyn ja sähkön hinnan kehitys, sekä lämpöpumppujen lukumäärä. /8/.....	20
Kuva 3. Maalämpöpumpun toimintaperiaate. /9/.....	22
Kuva 4. Maalämpöpumpun tehojen ja lämpökertoimen muodostuminen.....	23
Kuva 6 Kaivojen sijoitus ympyröitynä kaivokentässä.	28

Kuva 7 Kohteen lämpöpumppu ennen asennusta.....	30
Kuva 8 Kuvakaappaus kytkentäkaavioista. Yksi osa rakennuksen lämmityspiireistä.....	37

LIITELUETTELO

LIITE 1. TRT-mittausraportti.

LIITE 2. Carrierin 30XWP 1012 vedenjäähdytin.

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö keskittyy Vilpe Oy:n tehtaan lämmitysjärjestelmän muuttamiseen ja itse projektin toteutus sijoittuu vuosiin 2020 ja 2021. Opinnäytetyö toteutettiin Vaasalaisen Tammi Kiinteistötekniikka Oy:n toimesta ja opinnäytetyön ohjaajana toimi energia-asiantuntija Mikko Pieskä. Tammi Kiinteistötekniikka Oy on erilaisiin kiinteistötekniikan tehtäviin erikoistunut yritys, jonka palveluihin kuuluvat muun muassa LVISAK-urakointi ja huoltotyöt.

Vilpe Oy suunnittelee ja valmistaa ilmanvaihdon päätelaitteita sekä erikoiskattotarvikkeita. Vilpe Oy:n tehdas sijaitsee Mustasaarella ja on kooltaan noin 11 300 neliometriä. Tehtaan lämmitykseen on käytetty pääasiassa öljylämmitystä ja lämmitykseen on kulunut noin 100 000 litraa öljyä vuosittain. Öljylämmitys korvataan projektissa maalämpöjärjestelmällä ja öljystä luopumalla saavutetaan noin 266 tonnin hiilidioksidipäästövähennykset vuosittain.

Tässä työssä mainitaan useaan otteeseen tuotantolaitteet, jotka ovat yrityksen tuottamien päätelaitteiden valmistukseen käytettäviä muovikoneita. Muovikoneista saatavaa hukkalämpöä hyödynnetään tehtaan lämmityksessä tai sitä varastoidaan kaivokenttään. Näiden koneiden jäähtymiseen käytettävää energiaa pyritään hyödyntämään mahdollisimman paljon ja jäähtytys tuottamaan mahdollisimman energiatehokkaasti. Jäähtymyksessä pyritään hyödyntämään vapaajäähtytystä kaivokentistä kesäkuukausina, jolloin lämmöntalteenottoa ei tarvita.

Vilpe Oy kuuluu energiatehokkuussopimuksen piiriin, jolloin hankkeelle voitiin hakea energiatukea, jonka myöntää Business Finland. Energiatuen tavoitteena on edistää uusien ja innovatiivisten ratkaisujen kehittämistä, joilla voidaan muuttaa energiajärjestelmiä ympäristöystävällisemmiksi. Projektin osalta Business Finlandin rahoituksen ehdot täyttyivät, kun hankkeen katsottiin edistävän uusiutuvan energian tuotantoa ja energiansäästöä. Hankkeen investointikustannuksista noin 25 % katetaan Business Finlandin tuella.

2 KIINTEISTÖN ENERGIANKÄYTTÖ

Kiinteistön sähkön-, energian- ja lämmityskäytön profiilia aloitettiin rakentamaan kohteen sähkönkulutusdatasta, öljynkulutuksesta ja lämmitykseen käytettävistä tehoista. Tarkoituksena oli muun muassa saada tietoa muovikoneista hyödynnettävistä energioista sekä tarkempi käsitys kiinteistön energiankäytöstä. Profiileista selvitettiin, että kohteessa käytetään noin 100 000 litraa öljyä vuosittain lämmitykseen sekä tätä vastaava lämmitysenergian tarve, joka on noin 1021 MWh vuodessa. Kohteessa on lisäksi sähkölämmitteisiä ilmanvaihtokoneita, joihin kuluu vuosittain noin 87 MWh sähköenergiaa. Öljy ja sähkölämmitys korvataan maalämmöllä.

2.1 Sähködataprofiili

Sähködataprofiili koottiin Microsoft Excelillä ja se perustuu kiinteistön sähkönkulutukseen vuosien 2015 ja 2019 välillä. Siinä tulevat ilmi seuraavat asiat:

- Päivämäärä.
- Viikontähti numeroina (Maanantai=2, Tiistai=3, Keskiviikko=4 jne.)
- Tunnit.
- Energia yhteensä per tietty tunti.
- Lämpötila jokaiselle tunnille. /1/

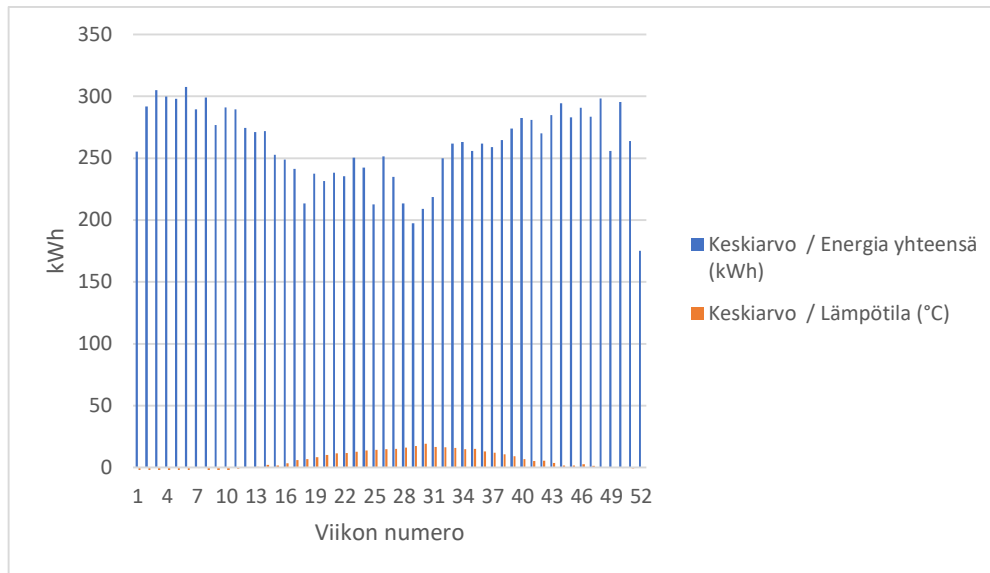
Sähködataprofiilin kuukausittaisesta energiankulutuksesta (taulukko 1) havainnointiin tehtaan muovikoneiden käyntiaikoja ja tehoja kuukausittaisilla keskiarvoilla. Taulukosta 1 huomataan joulukuun energiankulutuksen olevan suunnilleen samaa luokkaa kuin kesäkuukausina. Tehtaan toiminta on joulukuussa pyhäpäivien takia vähäisempää ja muovikoneiden käyntiajat ovat normaalia alhaisemmat. Tämä tarkoittaa, että muovikoneiden jäähdytystarve on pienempi joulukuussa ja niistä hyödynnettävä lämpöenergia kiinteistön lämmittämiseen on myös alhaisempi tuolloin.

Taulukko 1. Kuukausittainen energiankulutus keskiarvoina.

Average of Energia (kWh)												
Rivivotsikot	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
0:00:00	164,94	170,14	165,47	143,35	129,13	130,03	124,08	122,61	129,60	141,98	151,05	150,84
1:00:00	165,74	170,41	166,01	143,63	129,93	126,47	125,41	122,05	128,87	140,80	150,69	149,68
2:00:00	165,56	170,44	165,99	145,13	126,69	120,56	125,51	121,56	128,05	140,11	150,38	149,43
3:00:00	166,86	171,46	168,27	145,63	124,19	119,02	123,27	121,01	127,12	139,99	149,95	148,89
4:00:00	167,25	172,91	169,47	146,62	121,50	118,02	120,83	119,36	127,23	140,23	150,15	149,21
5:00:00	172,75	178,37	175,53	149,71	123,83	120,66	122,16	121,05	131,35	145,63	155,80	154,25
6:00:00	368,26	378,73	364,64	341,48	306,76	307,74	308,50	330,01	345,69	361,06	364,00	300,83
7:00:00	406,83	410,11	384,92	367,67	332,16	333,64	327,10	362,29	379,70	403,92	404,94	332,01
8:00:00	455,95	455,25	428,81	406,28	368,72	375,37	362,06	409,10	427,94	449,74	455,70	366,24
9:00:00	453,06	454,02	421,53	398,32	361,86	368,63	353,27	403,53	420,23	446,63	451,89	361,88
10:00:00	462,63	460,73	428,07	400,60	365,11	374,57	356,81	408,77	419,50	452,09	460,34	367,82
11:00:00	455,23	448,08	417,27	384,10	356,20	363,93	347,46	394,67	406,04	438,19	452,56	361,46
12:00:00	467,57	461,83	429,94	391,72	364,53	374,12	358,16	409,65	417,86	447,46	465,64	371,85
13:00:00	464,15	457,06	421,96	383,04	356,58	368,45	353,86	404,96	408,18	438,86	458,18	366,63
14:00:00	433,04	427,36	397,41	355,51	339,08	347,46	308,89	381,49	381,18	412,22	432,70	343,90
15:00:00	310,49	308,13	301,06	252,35	257,19	263,57	193,76	291,98	289,25	317,58	330,22	268,27
16:00:00	278,58	264,15	263,66	221,69	223,19	230,10	158,07	261,59	257,13	281,92	292,65	234,47
17:00:00	265,37	249,99	250,59	207,93	211,24	219,75	151,25	249,62	249,60	268,48	273,06	217,76
18:00:00	250,25	243,31	238,45	202,88	199,14	211,27	149,72	232,32	234,98	251,68	253,61	204,76
19:00:00	228,71	229,78	225,04	191,65	177,06	186,21	141,86	190,98	196,66	215,81	221,19	190,45
20:00:00	216,61	215,68	213,61	186,72	173,10	182,25	142,74	187,44	194,04	208,99	206,89	184,26
21:00:00	200,00	197,35	197,02	178,72	166,61	180,82	140,46	181,08	191,72	203,64	191,91	180,04
22:00:00	180,43	182,12	179,97	163,34	148,79	165,53	130,98	157,86	167,82	181,08	175,01	163,29
23:00:00	164,48	170,03	164,04	142,73	127,62	131,79	118,70	119,16	130,73	143,45	152,35	150,26
(tyhjä)												
Kaikki yhteensä	294,36391	293,6423474	280,9314966	251,9301582	232,9255323	238,3310528	214,3708548	254,3389382	262,10315	281,9563168	289,62	244,5200457

Taulukosta 2 huomataan, kuinka energiankulutus jakautuu keskiarvoina vuoden viikoille. Taulukosta näkyy hyvin viikon 52 energiankulutuksen pudotus. Samassa kuvaajassa on myös ulkolämpötilan keskiarvo.

Taulukko 2. Viikoittainen energiankulutus ja lämpötila keskiarvoina.



Taulukosta 3 voidaan arvioida melko tarkasti muovikoneiden käyntiajat ja tehot. Energiankulutus lähtee kovaan nousuun joka arkipäivä kello 06:00 mikä johtuu siitä, kun tuotanto aloitetaan ja jatkuu aina kello 14:00–15:00 saakka, jonka jälkeen koneita ruvetaan ajamaan yksitellen alas. Taulukosta nähdään rakennuksen tunti-kohtainen energiankulutus, joka on keskimäärin noin 143 kWh arkipäivinä, kun tuotantokoneet eivät ole käytössä. Tämän perusteella arvioitiin muovikoneiden

käyvän noin 350 kilowatin teholla päivisin ja pienemällä teholla iltopäivällä ja illalla.

Taulukko 3. Päiväkohtainen energiankulutus keskiarvoina.

klo	maanantai	tiistai	keskiviikko	torstai	perjantai	lauantai	sunnuntai	
0	134	151	151	146	142	144	136	kWh
1	134	151	150	146	142	144	136	kWh
2	135	148	147	146	141	143	136	kWh
3	135	147	146	145	141	143	136	kWh
4	134	149	146	144	140	142	137	kWh
5	139	156	151	152	145	140	136	kWh
6	429	418	411	423	410	145	140	kWh
7	457	465	465	469	455	143	137	kWh
8	517	530	529	533	515	138	131	kWh
9	512	524	522	527	510	133	125	kWh
10	522	535	535	535	515	128	119	kWh
11	510	524	521	521	490	125	120	kWh
12	529	545	539	535	502	125	118	kWh
13	523	536	531	529	489	122	116	kWh
14	500	511	508	494	412	119	115	kWh
15	381	389	383	362	226	118	114	kWh
16	333	341	332	313	175	121	116	kWh
17	316	325	306	287	163	125	120	kWh
18	311	321	262	247	162	130	125	kWh
19	303	311	187	174	159	133	128	kWh
20	291	298	174	163	156	135	130	kWh
21	274	278	163	151	153	137	132	kWh
22	225	225	155	145	147	135	131	kWh
23	151	152	147	141	143	135	130	kWh



Kuva 1. Esimerkkikuva muovikoneesta. /2/

2.2 Öljynkulutus

Kiinteistön lämmitys perustui ennen energiatehokkuushankkeen aloittamista öljylämmitykseen. Lämmönjako kiinteistössä tapahtuu lattialämmityksellä, pattereilla ja ilmanvaihdon lämmityksellä ja näitä käytetään myös, kun öljylämmitys

korvataan maalämmöllä. Rakennuksessa on neljä öljykattilaa, joista kaksi jätetään rakennukseen varalle.

Tarkoituksena oli saada käsitys kiinteistön lämmitystarpeesta, joten öljynkulutuksen tarkempi analysointi oli tarpeen. Keskimääräinen vuosittainen öljynkulutus arvio saatiin kiinteistöön toimitetusta öljyn määrästä. Myös öljyn tankkausväleihin kiinnitettiin huomioita ja näitä verrattiin ilmatieteen laitokselta saatuihin ulkolämpötiloihin kyseisinä ajanjaksoina. Tällöin saatiin arviota lämmitystarpeesta esimerkiksi talvikuukausina ja kovilla pakkasilla. Mainittakoon tässä yhteydessä, että kiinteistössä ei ollut ennen hankkeen aloittamista juurikaan energiamittareita, joista olisi saanut tarkkaa dataa kulutuksesta. Projektin yhteydessä kuitenkin asennetaan energiamittareita, jotka helpottavat energiankäytön seuraamista. /2/

Rakennuksen öljynkulutus hahmottuu katsomalla taulukoita 4 ja 5, joissa öljyn vuosikulutusta verrataan vastaavien vuosien lämmöntarvelukuihin. Taulukoissa punaiset pisteet edustavat arvioitua öljynkulutusta normitettuna vuonna. Esimerkiksi taulukossa 4 arvioitu öljynkulutus saatiin seuraavalla kaavalla. /3/

$$\text{Litraa öljyä} = X * 18,428 - 27161 \quad (1)$$

Jossa,

Litraa öljyä = Säiliön 1 ja 2 öljynkulutusarvio litroina.

X = 30 vuoden keskiarvo Vaasan lämmitystarveluvusta.

18,428–27161 = Kulmakerroin ja vakiotermin trendiviivan kaavasta.

Tulokseksi saatiin noin 55 000 (taulukko 1) ja 46 000 (taulukko 2) litraa öljyä. Näistä yhteenlaskettuna normitetun vuoden öljynkulutukseksi tuli koko rakennuksessa noin 100 000 litraa/vuodessa.

Öljylämmityksestä maalämpöön siirtyessä tulee tietää paljonko lämpöenergiaa olisi tarkoitus korvata uudella maalämpöjärjestelmällä, joten öljyllä tuotetun

lämpöenergian määrä tuli selvittää. Lämpöenergian määrä voidaan laskea öljynkulutuksesta seuraavalla tavalla.

Kertomalla tilavuus (yksi litra = 1 dm³) polttoöljyn tiheydellä 0,85 kg/dm³ saadaan polttoöljyn massa.

$$1 \text{ dm}^3 \times 0,85 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 0,85 \text{ kg} \quad (2)$$

Polttoöljyn lämpöarvon ollessa 42,7 MJ/kg muutetaan lämpöarvo kilowattitunneiksi muuntokertoimella 1 kWh = 3,6 MJ.

$$\frac{42,7}{3,6} = 11,9 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \quad (3)$$

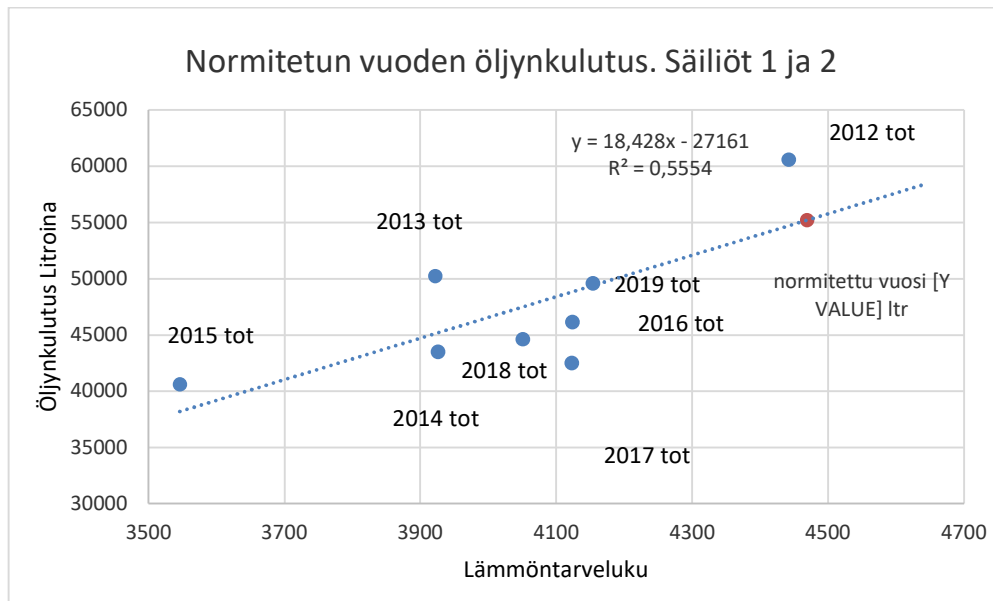
Joten yhden öljylitran lämpöarvo saadaan kertomalla sen massa 0,85 kg sen energiasisällöllä 11,9 kWh/kg.

$$0,85 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times \frac{11,9 \text{ kWh}}{\text{kg}} = \frac{10,115 \text{ kWh}}{\text{litra}} \quad (4)$$

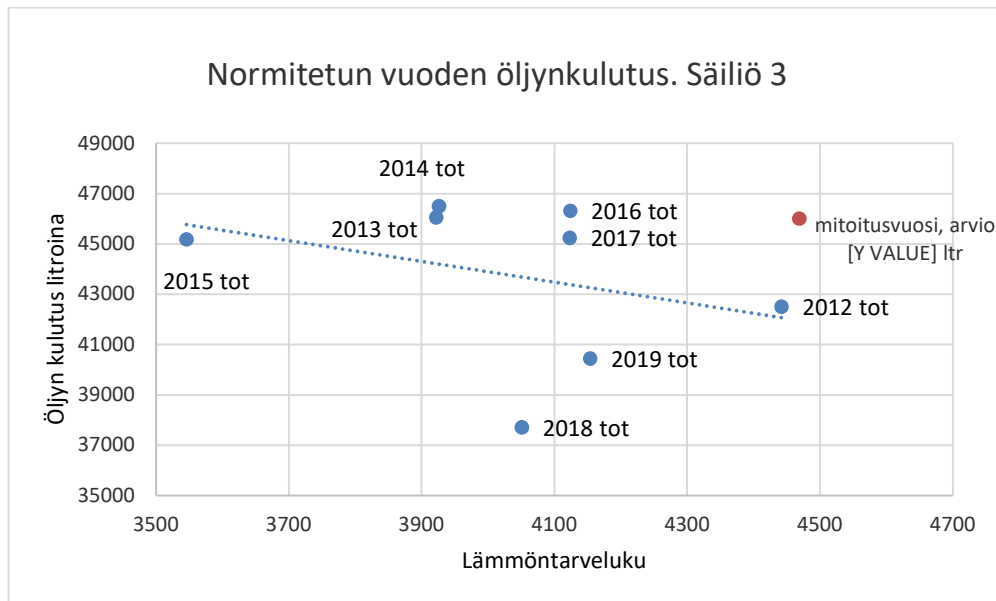
Kun yhden öljylitran lämpöarvo kerrotaan normitetun vuoden öljynkulutuksella, saadaan laskettua öljyllä tuotettu lämmitysenergia. Vanhahkojen öljykattiloiden hyötysuhteen arvioitiin olevan noin 85 %.

$$101000 \text{ litraa vuodessa} \times \frac{10,115 \text{ kWh}}{1000 \text{ litra}} \times 0,85 = 868,4 \frac{\text{MWh}}{\text{vuodessa}} \quad (5)$$

Taulukko 4. Kiinteistön öljyn vuosikulutus verrattuna lämmöntarvelukuun. Säiliöt 1 ja 2.



Taulukko 5. Kiinteistön öljyn vuosikulutus verrattuna lämmöntarvelukuun. Säiliö 3.



2.2.1 Lämmitystarveluku

Lämmitystarvelukua käytetään rakennusten energiankulutuksen vertailussa eri vuosina ja kuukausina. Sitä käytetään rakennusten lämmitystarpeen arvioinnissa mikä perustuu siihen, että lämmityksen energiankulutus on verrannollinen sisä- ja ulkolämpötilan erotukseen. Lämmitystarveluvussa lasketaan erotus +17 celsiusasteen sisälämpötilan ja ulkolämpötilan välille päivittäin. Päivittäiset arvot lasketaan yhteen vuoden ajalta, jolloin saadaan vuosikohtainen lämmitystarveluku, joita taulukoissa 4 ja 5 esiintyy. /4/

2.2.2 Päästövähennykset

Kun öljynkulutukset ovat tiedossa voidaan tarkastella ympäristövaikutuksia, jotka ovat yksi koko hankkeen tärkeimmistä lähtökohdista. Näihin kuuluvat fossiilisten polttoaineiden käytön lopettaminen, päästöjen vähentäminen ja uusiutuvien energiamuotojen käyttäminen.

Polttoöljyn CO₂-päästökertoimen ollessa 261 kgCO₂/MWh ja keskimääräinen sähköntuotannon CO₂-päästökertoimen ollessa 141 kg CO₂/MWh saadaan

seuraavanlainen taulukko kuvaamaan hiilidioksidipäästöjen vähennyksiä, kun luovutaan öljystä ja siirrytään maalämpöön. /5, 6/.

Taulukko 6. Vuosittaiset CO₂-päästövähennykset.

Toimenpide	Määrä MWh/a	Päästökerroin kg CO ₂	CO ₂ päästöt (tn)/a
Öljystä luopuminen	1021	261	-266
IV-koneiden sähkölämmityksen poistaminen	90	141	-13
Prosessisähkön hyödyntäminen. Muovikoneet yms.	660	141	-93
Maalämpöpumpun sähkönkulutus	425	141	60
Päästövähennykset yhteensä vuodessa			-312

Päästövähennykset lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\frac{tCO_2}{a} = \frac{MWh}{a} \times \frac{kgCO_2}{MWh} \quad (6)$$

Jossa,

tCO_2/a = Hiilidioksidipäästöt vuodessa

MWh/a = Energiankulutus vuodessa

$kgCO_2/MWh$ = Polttoainekohtainen CO₂-päästökerroin

Suurin osa hiilidioksidipäästöjen vähennyksistä saadaan öljynkäytöstä luopumisella kun 101 000 litran öljynkulutuksesta johtuvat päästöt ovat 266 tonnin kokoluokkaa vuodessa. Maalämpöpumpun lisääminen järjestelmään ja sen tarvitsema sähkö kuitenkin aiheuttavat päästöjä mutta öljynkäyttöön verrattuna hiilidioksidipäästöt ovat kohtuulliset 60 tonnia vuodessa. Prosessisähkön hyödyntämisellä tarkoitetaan tehtaan tuotantoprosesseille menevien energiavirtojen hyödyntämisestä uudelleen kaivokenttien ja maalämpöpumpun avulla. Ilmanvaihtokoneiden

sähkölämmitys korvataan vesikiertoisella järjestelmällä ja siitä aiheutuvat päästövähennykset ovat noin 13 tonnin kokoluokkaa vuodessa.

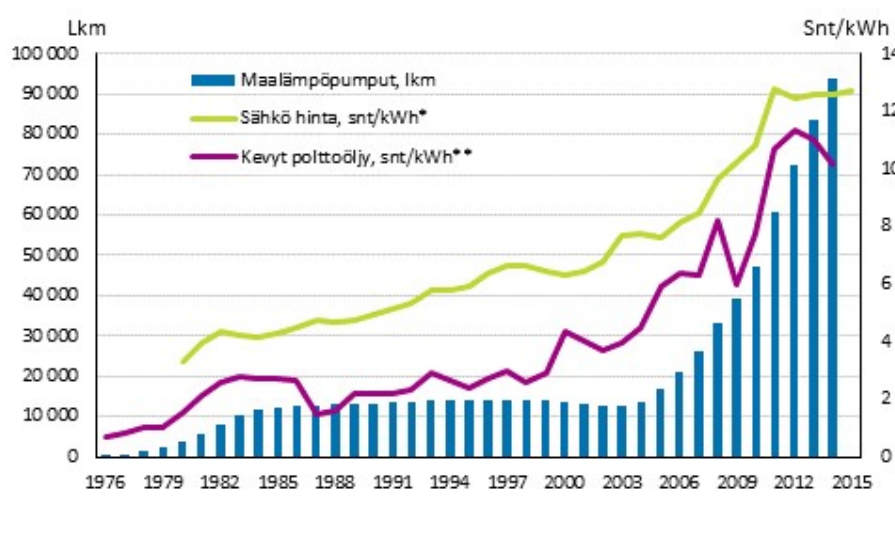
Tiivistettynä tehtaan hiilidioksidipäästöt vähenevät vuosittain noin 312 tonnia kun vanha lämmitysjärjestelmä korvataan maalämpöjärjestelmällä ja tuotantoprosessin energiavirtoja hyödynnetään. Määrä on huomattava ja se toteuttaa yhtiön ja koko hankkeessa mukana olleiden keskeisen tavoitteen muuttaa tehtaan toiminta vähähiiliseksi ja ympäristöystävällisemmäksi. Kohteen energiankäyttöä tarkasteltiin kertakäyttöajattelun sijaan kiertotalousajattelun näkökulmasta ja kun perusideana oli käyttää sama energia uudelleen, päästiin melko vaikuttaviin tuloksiin.

3 MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄ

Maalämmöllä tarkoitetaan maahan, kallioperään ja vesistöihin varastoitunutta lämpöenergiaa, joka on suurimmalta osin peräisin auringosta. Tätä lämpöenergiaa käytetään lämmönkeruujärjestelmien avulla kiinteistöjen lämmitykseen tai jäähdytykseen ja se perustuu lämpötilaerojen hyödyntämiseen maalämpöpumpun avulla.

Maalämpö on ympäristöystävällistä, tehokasta ja puhdasta energiaa. Ilmastonmuutoksen kasvattaman huolen ja maalämpöinvestointien kannattavuuden ansiosta maalämpöpumppujen suosio on ollut jatkuvassa kasvussa. Maalämmöllä voidaan pienentää huomattavasti kiinteistöjen lämmityskustannuksia ja se suojaa myös mahdollisilta energianhinnan vaihteluilta, mikäli esimerkiksi öljyn hinta nousee (kuva 1). Maalämpöjärjestelmän investointihinta on kuitenkin aina kohdekohtainen.

Vaikka maalämpö on vakaa ja tasainen lämmönlähde tulee maalämpöjärjestelmää suunniteltaessa ja mitoitettaessa ottaa huomioon sijainnin maaperän ominaisuudet ja geoterminen energiapotentiaali. Maahan varastoituneen energian määrä ja kallioperän lämmöntuottotehot vaihtelevat Suomessa eri alueilla. Tähän vaikuttavat ilman vuotuinen keskilämpötila, erilaiset geologiset tekijät, kuten maa- ja kivilajien lämmönjohtavuudet ja pohjavesien liikkuvuudet irtomaassa ja kallioperässä sekä näiden jakaantuminen maaperään. Maaperän ominaisuudet vaikuttavat myös maalämpöjärjestelmän investointihintaan. Kustannukset muodostuvat lämpökaivojen syvyyden sekä kaivokentän peruskallion ja irtomaan määrän mukaan. Energiakaivojen syvyyteen ja lukumäärän vaikuttaa kohteen lämmitysenergian tarve. /7/



Kuva 2. Kevyen polttoöljyn ja sähkön hinnan kehitys, sekä lämpöpumppujen lukumäärä. /8/

3.1 Maalämpöpumppu

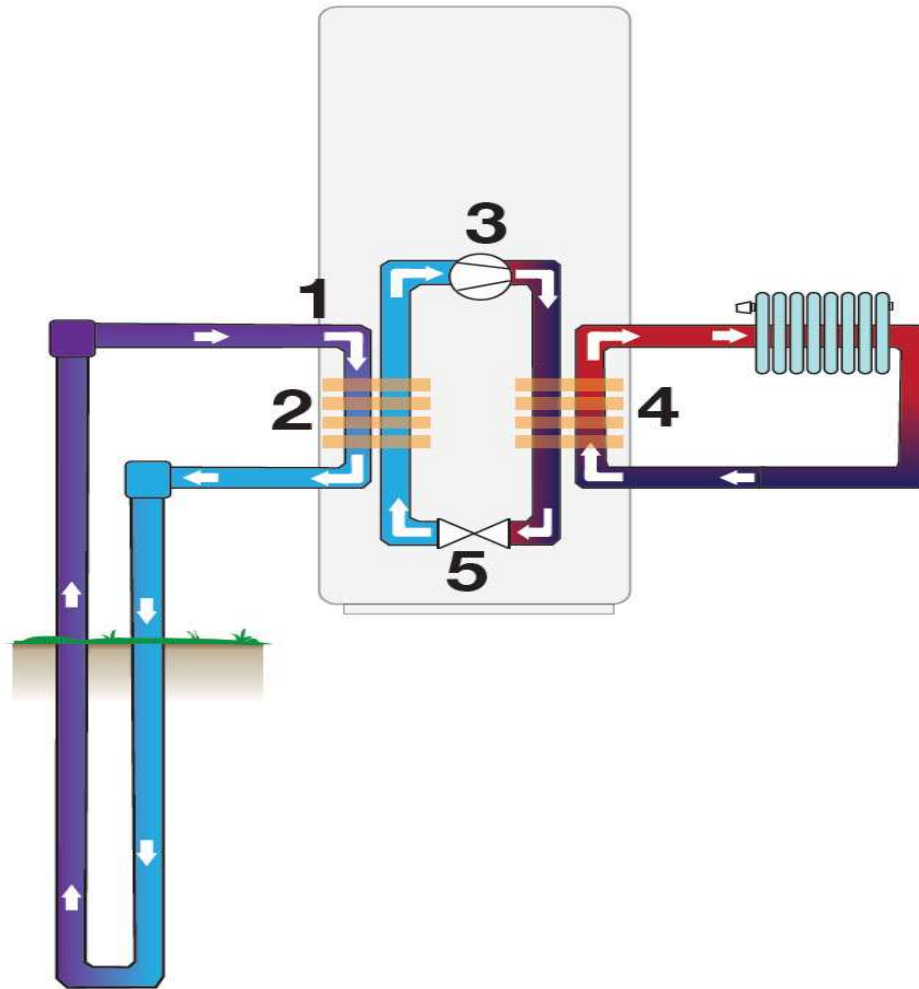
Lämpöpumppuja on monenlaisia, kuten poistoilmalämpöpumppu, ulkoilma-ilmaalämpöpumppu, ulkoilma-vesilämpöpumppu ja maalämpöpumppu. Lämpöpumput luokitellaankin yleensä niiden hyödyntävän lämpöenergian lähteen tai luovutustavan mukaan. Koska kohteessa hyödynnetään maalämpöä ja muovikoneiden hukkalämpöä perehdytään lämpöpumpun toimintaan maalämmön näkökulmasta.

Maalämpöjärjestelmässä maassa kiertävää ja sieltä lämpöä keräävää maalämpönestettä kierrätetään liuospumpeilla lämpöpumpun höyrystimelle, missä lämmön siirtyminen maalämpönesteestä kylmäaineeseen tapahtuu. Kun lämpö on siirtynyt kylmäaineeseen, luovutetaan lämpöenergia lämpöpumpun avulla lämmitysjärjestelmään. Tarkempi kuvaus lämpöpumpun toimintaperiaatteeseen havainnollistetaan kuvassa 3. Jossa,

1. Keruupiirissä (nro 1) kiertävä pakkasenkestävä lämmönkeruuneste lämpeenee piiriä ympäröivän maalämpöenergian vaikutuksesta.
2. Keruunesteeseen siirtynyt lämpö johdetaan lämpöpumpun höyrystimeen (nro 2), missä se kohtaa kylmäaineen, joka höyrystyy. Kylmäaine ja

keruuneste eivät sekoitu keskenään vaan ne ovat kaksi erillistä putkistoa ja lämmönsiirto tapahtuu johtumalla.

3. Höyrystynyt kylmäaine puristetaan kompressorin (nro 3) avulla korkeaan paineeseen, jolloin sen lämpötila nousee.
4. Nyt korkeassa paineessa ja lämpötilassa oleva kylmäaine johdetaan lämpöpumpun lauhduttimeen (nro 4), missä kylmäaine kohtaa lämmityspiirin, jolloin kylmäaineen sisältämä lämpö siirtyy kiinteistön lämmitysjärjestelmään.
5. Kylmäaineen kierto jatkuu paisuntaventtiiliin (nro 5), missä sen paine ja lämpötila laskee. Prosessi alkaa tämän jälkeen uudelleen kylmäaineen kohdatessa lämmönkeruunesteen.



Kuva 3. Maalämpöpumpun toimintaperiaate. /9/

3.2 Lämpökertoimet

Lämpökerroin eli COP (Coefficient Of Performance) on lämpökerroin, joka viittaa siihen kuinka paljon enemmän lämpö- tai jäähdytysenergiaa lämpöpumppu tuottaa otettuun sähköenergiaan nähden ja sillä kuvataan usein lämpöpumpun suorituskykyä.

Laskujen ja kuvan avulla havainnollistettuna:

$$COP = \frac{Q}{P} \quad (7)$$

Ja

$$X = Q - P \quad (8)$$

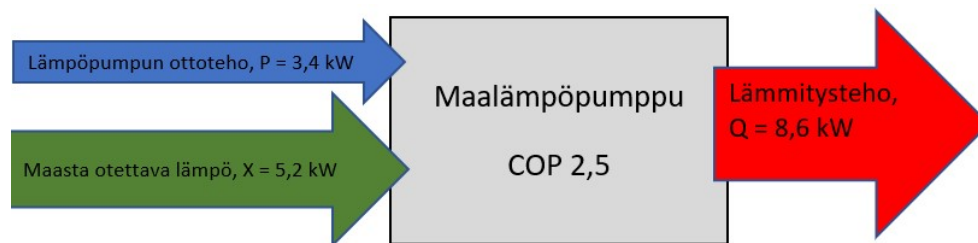
Jossa,

$$\text{COP} = 2,5$$

$Q = 8,6 \text{ kW}$ (Lämpöpumpulla tuotettu lämpöteho)

$P = 3,4 \text{ kW}$ (lämpöpumpun ottoteho/sähkö)

$X = 5,2 \text{ kW}$ (Maasta otettu lämpöteho)



Kuva 4. Maalämpöpumpun tehojen ja lämpökertoimen muodostuminen.

Lämmityskauden lämpökerroin SCOP (Seasonal Coefficient Of Performance) kuvaa lämpöpumpun todellista hyötysuhdetta paremmin kuin COP, koska siinä lasketaan lämpökerroin erikseen neljälle eri lämmityskaudelle. Tämä antaa realistisemman kuvan lämpöpumpun hyötysuhteesta ja helpottaa lämpöpumppujen vertailua eri valmistajien välillä.

Kun pyritään korkeaan lämpökertoimeen, tulisi lämpövarastoiden lämpötilaerojen olla mahdollisimman pieni. Toisin sanoen mitä lähempänä maaperän lämpötila ja huoneistoon tarvittava lämpötila ovat toisiaan, sitä parempi lämpökerroin on. Tästä syystä maalämpöpumpun lämmönjakomuotona suositaan usein lattialämmitystä pattereiden sijaan, kun vesikiertoisessa lattialämmityksessä nesteen lämpötila on noin $+30 \text{ }^\circ\text{C}$ ja pattereissa kiertävän veden lämpötila on noin $+55 \text{ }^\circ\text{C}$. Käänteisellä Carnot'n kiertoprosessilla havainnollistetaan parasta mahdollista jäädytyskoneen ja lämpöpumpun kiertoprosessia, jolloin lämpökerroin riippuu vain lämpövarastojen lämpötilaeroista. /10/

Käänteinen Carnot'n kiertoprosessi

$$\eta_C = \frac{T_L}{T_L - T_K} \quad (9)$$

Jossa,

η_C = Paras mahdollinen lämpökerroin

T_L = Poistuva lämpöenergia

T_K = Viety lämpöenergia

4 KAIVOKENTÄN MITOITUS

Kaivokenttä mitoitettiin käyttämällä Earth Energy Designer (EED) -ohjelmaa ja mitoituksen pohjana käytettiin kiinteistöstä tehtyä energiankäyttöprofiilia. Kaivokentästä saatavan energian määrä tuli vastata kiinteistön lämmöntarvetta ja se olikin yksi tärkeimpiä mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä. Muita tekijöitä kaivokentän mitoituksessa olivat maaperän ominaisuudet, kaivoihin ladattavan energian määrä sekä kiinteistön tontin rajat.

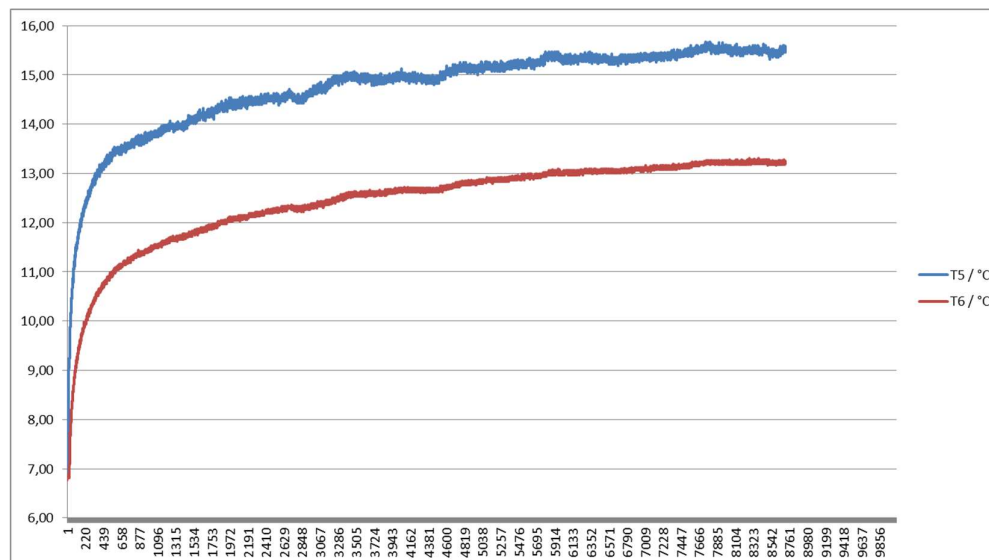
Maalämpökaivojen asetelma kaivokentässä on tavanomaisesta poikkeava, johtuen järjestelmän erityispiirteistä hyödyntää vapaajäähdytystä ja varastoida hukkalämpöä. Kaivokentässä on yhteensä 18 kappaletta kaivoja, joista 6 on sijoitettu tiheämpään kenttään ja 12 laajempaan kenttään.

4.1 TRT-mittaus

Tehtaan alueen soveltuvuus kaivokentän asentamiseen varmistettiin TRT (Terminen vastetestti) -mittauksen avulla. TRT-mittaus on välttämätön osa kaivokentän optimaalista mitoitusta, sillä se tarjoaa hyödyllistä dataa kohteen maaperän peruslämpötiloista ja lämmönjohtavuuksista. Tiivistettynä testissä mitataan maan kykyä vastaanottaa lämpöä, kun sinne ohjataan lämpöä tätä tarkoitusta palvelevilla vastuksilla. Mittaus suoritettiin asentamalla keruuputket porattuun testikaivoon. Testikaivoon lisättiin mittauslaitteisto, kun kaivon lämpötila on palautunut normaaliksi porauksen jälkeen. Testi suoritettiin projektin alkuvaiheessa ja mittauksessa käytettävä testikaivo hyödynnettiin myöhemmin kaivokentässä. TRT-mittaus suoritettiin Vaasan yliopiston toimesta. (liite1). /11/

Tulokset TRT-mittauksesta:

Taulukko 7. TRT-mittaus, lämpötila ja vastuksien kuumennusaika.



Lämmönjohtavuus = 3,53 W/mK

Diffuusiokerroin = $1,68 \times 10^{-6}$

Terminen vastus = 0,073 mK/W

Yllä olevassa kuvaajassa Y-akselilla lämpötila celsiusasteina ja X-akselilla vastuksien kuumennusaika minuutteina. T5/ °C ollessa kaivoon menevän putken lämpötila ja T6/ °C kaivosta palaavan putken lämpötila. Vastuksien teho 9 kW. Lämpötilan suhteellisen hitaan muutoksen perusteella alueella ei vaikuttaisi olevan pohjavesivirtauksia, jotka kuljettaisivat lämpöä alueelta pois. Lämmönjohtavuuden arvo viittaa hyvään lämmönjohtavuuteen. Mittaustulosten perusteella alueen katsottiin soveltuvan hyvin lämmön varastointiin. (liite1).

4.2 Earth Energy Designer

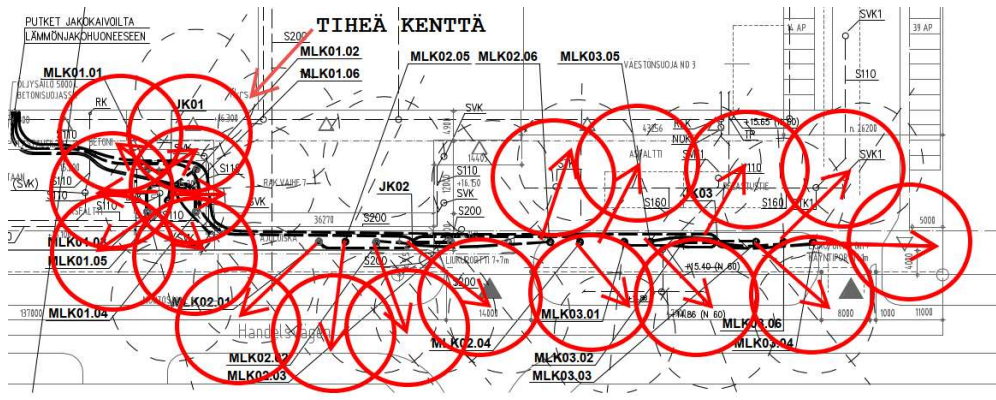
Earth Energy Designer -ohjelma simuloi optimaalisen kokoisen kaivokentän perustuen sille syötettyyn dataan. Ohjelmalle syötettiin tiedot tehtaan lämmitysenergian tarpeesta, kaivoihin ladattavista ylijäämäenergiasta sekä TRT-mittauksesta saadut

tulokset. Ylijäämäenergialla tarkoitetaan muovikoneista saatavaa lämpöenergiaa tai muuta jäädytyksen hukkaenergiaa.

Kaivokenttää simuloitiin muutamilla eri variaatiolla. Laajemman kentän simulointi erikseen, tiheä kenttä erikseen ja koko kaivokenttä yhdessä. Näin saatiin parempi profiili kuvaamaan vapajäädytyksen ja hukkalämpöjen varastoinnin mahdollisuuksia ja pystyttiin hahmottamaan lopullisen kaivokentän koko, joka on esitetty taulukossa 8 ja kuvassa 6.

Taulukko 8. kaivokentän koko.

Kaivon nro	Syvyys metreinä
Laaja kenttä	
1	300
2	300
3	280
4	290
5	300
6	300
7	250
8	300
9	270
10	300
11	300
12	300
Tiheä kenttä	
13	300
14	300
15	300
16	300
17	300
18	250



Kuva 5. Kaivojen sijoitus ympyröitynä kaivokentässä.

Kuvassa 6 on esitetty kaivojen sijoitus toisiinsa nähden. Tiheämmän kentän tarkoitus on varastoida tuotantoprosessin hukkalämpöä tehostetusti ja kun porakaivot ovat sijoiteltuna lähelle toisiaan saadaan tiheä kenttä ja sitä ympäröivä maaperä ja kallio pidettyä mahdollisimman lämpimänä.

5 JÄRJESTELMÄN TOIMINTAPERIAATE

Kiinteistön maalämpöjärjestelmä on suunniteltu toimimaan kaikissa eri tilanteissa ja eri vuodenaikoina mahdollisimman energiatehokkaasti. Järjestelmän toiminta käytännössä vaatii laajat automaatio- ja putkitusratkaisut. Järjestelmässä on runsaasti erilaisia komponentteja kuten pumppuja, lämmönsiirtimiä, säiliöitä, moottoriventtiilejä ja erilaisia mittareita, joten jokaisen komponentin tarkoitusta järjestelmän toiminnassa ei tässä yhteydessä ole tarkoituksenmukaista käsitellä. Järjestelmän toimintaperiaate kuitenkin avataan yleisesti ja tärkeimpien komponenttien toiminta selitetään hieman tarkemmin, jotta saadaan mahdollisimman tarkka käsitys siitä, kuinka järjestelmä toimii eri tilanteissa.

5.1 Kiinteistön lämpöpumppu

Kohteeseen valittiin Carrierin 30XWP 1012 nestelauhdutteinen vedenjäähdytin ruuvikompressorilla. Laitteen tekniset tiedot tiivistettynä alla (liite 2):

- Jäähdytysteho 584 kW
- Lauhdetehto 801 kW
- Kylmäaine R134a
- Kompressorien lukumäärä 2
- SCOP 5,79 (30/35°C).



Kuva 6. Kohteen lämpöpumppu ennen asennusta.

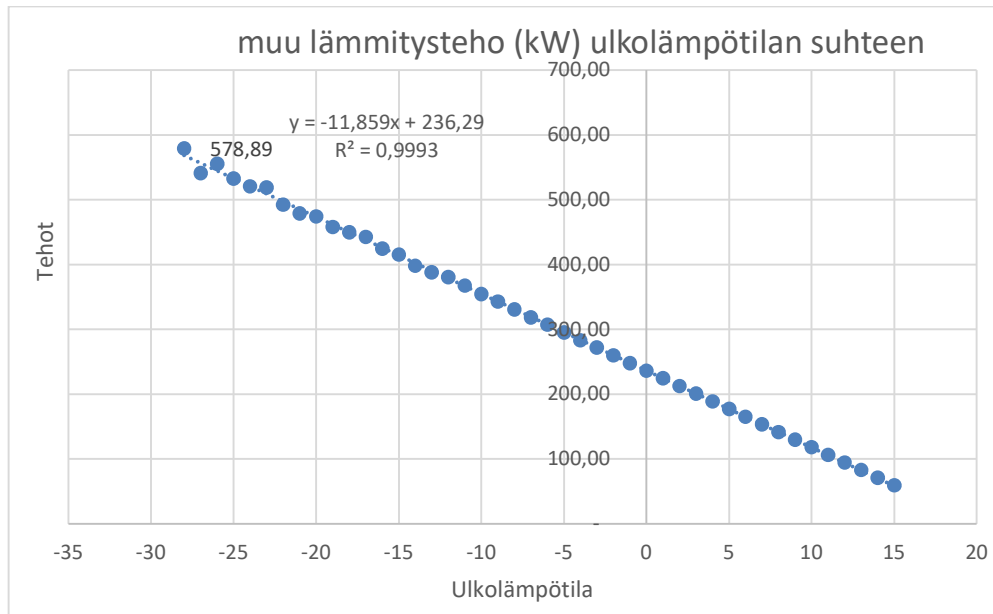
5.2 Lämmityksen tehot ja muovikoneiden hyödyntäminen

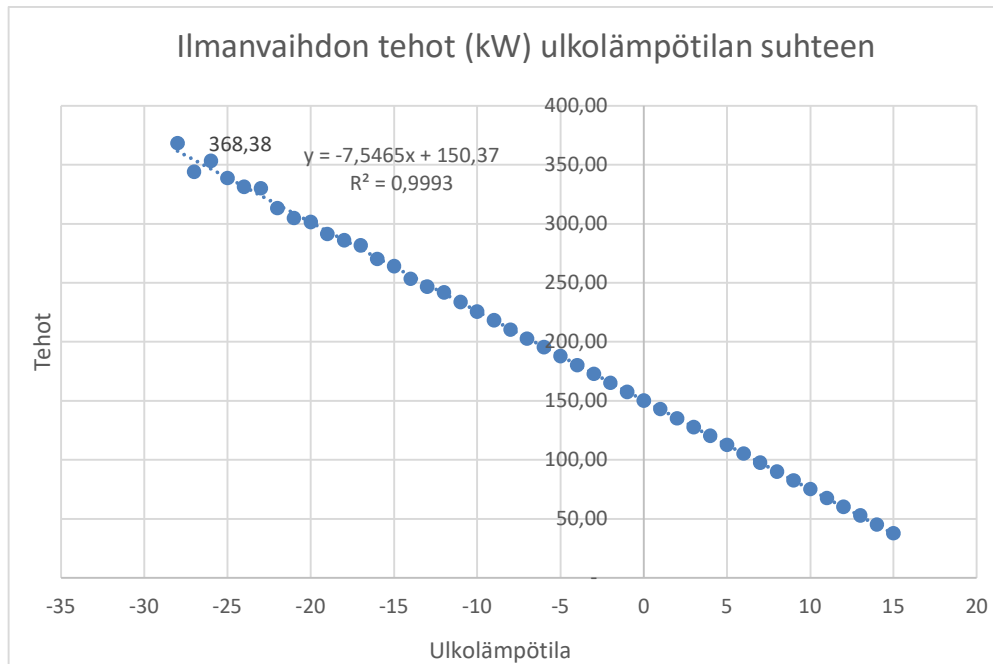
Yksinkertaisuuden vuoksi kohteen lämmitysjärjestelmän tehokalkelmissa lämmitysjärjestelmä eriteltiin kahteen osaan. Ilmanvaihdon lämmitykseen ja muuhun lämmitykseen. Jälkimmäisellä tarkoitetaan kaikkia muita rakennuksen lämmityksen jakotapoja paitsi ilmanvaihdon lämmitystä. LVI-suunnittelija toimitti suunnitelmat lämmitysjärjestelmän tehoista, joita käytettiin apuna laskemissa. Laskelmat tehtiin käyttämällä Microsoft Exceliä.

LVI-suunnittelijan toimittamista lämmitysjärjestelmän tehoista huomattiin niiden olevan liian suuret verrattuna kiinteistön toteutuneeseen energiankulutukseen, joten tehojen pääteltiin olevan hieman ylimitoitettut, mutta suhteessa toisiinsa oikeat. Taulukoissa 8 ja 9 verrattiin laskelmissa saatuja lämmitysjärjestelmien huipputehoja ulkolämpötiloihin ja taulukkoon lisättiin trendiviiva. Trendiviivan kaavaa

käytettiin avuksi, kun tehoja verrattiin energianlaskennan testivuosiin tarkoituksena selvittää kaivokentästä otettava ja sinne ladattava lämpöenergia. Muun lämmitysjärjestelmän huipputehoksi tuli noin 578 kW (taulukko 8) ja ilmanvaihdon lämmityksen huipputehoksi tuli noin 368 kW (taulukko 9).

Taulukko 9. Muu lämmitysteho ulkolämpötilan suhteen.



Taulukko 10. Ilmanvaihdon tehot ulkolämpötilan suhteen.

Muovikoneita käytetään yrityksen tuotteiden valmistamiseen. Muovikoneiden prosessissa sulanutta muovia ruiskutetaan ja puristetaan muottiin ja se jäähdytetään nopeasti, jolloin tuote asettuu lopulliseen muotoonsa. Prosessista palaavan jäähdytysveden lämpötila nousee ja tätä lämpöenergiaa hyödynnetään tehtaan lämmityksessä tai sitä varastoidaan kaivokenttään. Prosessin jäähdytyksessä hyödynnetään joko kaivokentästä saatavaa lämpöenergiaa tai lämpöpumpulla tuotettua jäähdytystä. Muovikoneille menevän jäähdytysnesteen lämpötila on noin 15°C ja palaavan nesteen lämpötila on 20°C–25°C. Ennen uuden järjestelmän asennusta muovikoneiden jäähdytykseen käytettiin vedenjäähdytyskoneita.

Luvussa 2 esitettiin muovikoneiden tehoksi 350 kW. Tätä lukua käytettiin laskelmissa, kun haluttiin tietää, kuinka paljon kohteen lämmitystarpeesta voidaan kattaa muovikoneiden hukkalämpöjen avulla. Laskelmien tarkoituksena oli selvittää kaivoista saatavan lämpöenergian määrä, jota tullaan käyttämään kiinteistön lämmityksessä. Laskelmissa selvitettiin myös, kuinka paljon kaivoihin tulee ladattavaksi lämpöenergiaa, kun kiinteistössä ei ole lämmitystarvetta mutta muovikoneista saadaan silti hukkalämpöä.

Laskelmien kulku havainnollistettu taulukoiden ja kaavojen avulla.

Taulukko 11. Kiinteistön lämmitystarve ulkolämpötilan mukaan. Helmikuun 8 päivä.

Kuukausi	Päivä	Kellonaika	Ulkolämpötila	Muu lämmitysteho kW	IV teho kW	LTO IV	Lämmitystarve kW
Helmikuu	8	6.00	-15,9	424,8	270,4	270,4	695,2
Helmikuu	8	7.00	-16	426,0	271,1	271,1	697,1
Helmikuu	8	8.00	-16,2	428,4	272,6	272,6	701,0
Helmikuu	8	9.00	-15,8	423,7	269,6	269,6	693,3
Helmikuu	8	10.00	-15,3	417,7	265,8	265,8	683,6
Helmikuu	8	11.00	-14,9	413,0	262,8	262,8	675,8
Helmikuu	8	12.00	-13,4	395,2	251,5	251,5	646,7
Helmikuu	8	13.00	-11,9	377,4	240,2	240,2	617,6
Helmikuu	8	14.00	-10,4	359,6	228,9	228,9	588,5
Helmikuu	8	15.00	-11,3	370,3	235,6	235,6	605,9

Taulukko 12. Kaivokentästä otettava lämpöenergia. Helmikuun 8 päivä.

Kuukausi	Päivä	Kellonaika	Ulkolämpötila	Lämmitystarve kW	Muovikoneiden hukkalämpö kW	Kaivoista otettava lämpöteho kW	Kaivoihin ladattava lämpöteho kW
Helmikuu	8	6.00	-15,9	695,2	350	345,2	0
Helmikuu	8	7.00	-16	697,1	350	347,1	0
Helmikuu	8	8.00	-16,2	701,0	350	351,0	0
Helmikuu	8	9.00	-15,8	693,3	350	343,3	0
Helmikuu	8	10.00	-15,3	683,6	350	333,6	0
Helmikuu	8	11.00	-14,9	675,8	350	325,8	0
Helmikuu	8	12.00	-13,4	646,7	350	296,7	0
Helmikuu	8	13.00	-11,9	617,6	350	267,6	0
Helmikuu	8	14.00	-10,4	588,5	350	238,5	0
Helmikuu	8	15.00	-11,3	605,9	350	255,9	0

Taulukoissa 10 ja 11 nähdään kaivoista hyödynnettävän lämpöenergian määrä pak-kaskeleilla. Laskelmissa käytettiin energialaskennan testivuosisidatua, josta saatiin

vallitsevat ulkolämpötilat vuoden jokaiselle tunnille. Nämä ulkolämpötilat sijoitettiin muun lämmitystehojen ja ilmanvaihdon tehojen trendiviivojen kaavaan, jolloin saatiin ulkolämpötiloja vastaavat lämmitystehot. /12/

UT = Ulkolämpötila

Muu lämmitysteho = $-11,859 \cdot UT + 236,29$ (Kaava taulukosta 8)

Ilmanvaihdon lämmitysteho = $-7,5465 \cdot UT + 150,37$ (Kaava taulukosta 9)

Muovikoneiden teho = 350 kW

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) arvioitiin laskelmissa korvaavan ilmanvaihtoon menevän lämmitystehon aina kun ulkolämpötila laskee alle -5 °C . Tämä huomataan selkeämmin taulukoissa 12 ja 13.

Jos ulkolämpötila on kylmempi kuin -5 °C , silloin

Lämmitystarve = Muu lämmitysteho + IV lämmitysteho

Ja kun lämmitystarpeesta osa korvataan muovikoneiden hukkalämmöllä, saadaan tulokseksi kaivoista otettava lämpöenergia.

Kaivoista otettava lämpöenergia = lämmitystarve – muovikoneiden hukkalämpö

Jos lämmitystarve on pienempi kuin muovikoneiden hukkalämpö esimerkiksi keuhkolla, tällöin kaivoihin varastoidaan lämpöenergiaa.

Taulukoissa 12 ja 13 esitetään laskelmat tilanteessa missä ulkolämpötilat ovat pluspuolella.

Taulukko 13. Kiinteistön lämmitystarve ulkolämpötilan mukaan. Toukokuun 3 päivä.

Kuukausi	Päivä	Kellonaika	Ulkolämpötila	Muu lämmitysteho kW	IV teho kW	LTO IV	Lämmitystarve kW
Toukokuu	3	6.00	7,3	149,7	95,3	0,0	149,7
Toukokuu	3	7.00	10,8	108,2	68,9	0,0	108,2
Toukokuu	3	8.00	14,2	67,9	43,2	0,0	67,9
Toukokuu	3	9.00	16,1	45,4	28,9	0,0	45,4
Toukokuu	3	10.00	17,9	24,0	15,3	0,0	24,0
Toukokuu	3	11.00	19,8	1,5	0,9	0,0	1,5
Toukokuu	3	12.00	20,1	-2,1	-1,3	0,0	0,0
Toukokuu	3	13.00	20,5	-6,8	-4,3	0,0	0,0
Toukokuu	3	14.00	20,8	-10,4	-6,6	0,0	0,0
Toukokuu	3	15.00	20,8	-10,4	-6,6	0,0	0,0

Taulukko 14. Kaivoihin ladattava lämpöenergia. Toukokuun 3. päivä.

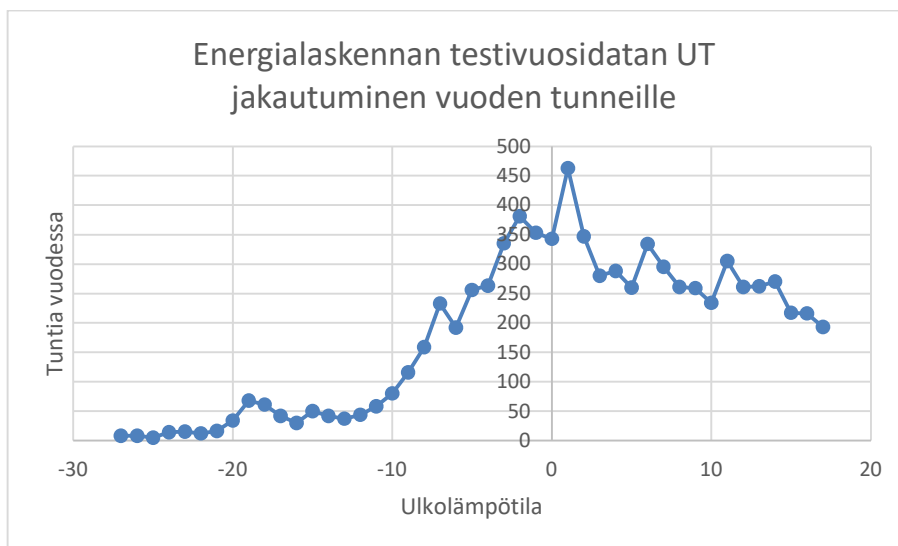
Kuukausi	Päivä	Kellonaika	Ulkolämpötila	Lämmitystarve kW	Muovikoneiden hukkalämpö kW	Kaivoista otettava lämpöteho kW	Kaivoihin ladattava lämpöteho kW
Toukokuu	3	6.00	7,3	149,7	350	0	200,3
Toukokuu	3	7.00	10,8	108,2	350	0	241,8
Toukokuu	3	8.00	14,2	67,9	350	0	282,1
Toukokuu	3	9.00	16,1	45,4	350	0	304,6
Toukokuu	3	10.00	17,9	24,0	350	0	326,0
Toukokuu	3	11.00	19,8	1,5	350	0	348,5
Toukokuu	3	12.00	20,1	0,0	350	0	350,0
Toukokuu	3	13.00	20,5	0,0	350	0	350,0
Toukokuu	3	14.00	20,8	0,0	350	0	350,0
Toukokuu	3	15.00	20,8	0,0	350	0	350,0

Laskelmat tehtiin vuoden jokaiselle tunnille, jolloin saatiin tulokset vuositasolla. Tulokset syötettiin EED-ohjelmaan. Kaivoista hyödynnettävän lämpöenergian määrän tulokseksi tuli 1015 MWh/vuosi ja kaivoihin ladattavan hukkalämmön määräksi tuli 740 MWh/vuosi.

5.3 Lämpöpumpun ja sähkökattilan yhteiskäyttö

Lämpöpumpun lauhdetehon ollessa 801 kW se on alhaisempi kuin muun lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmityksen yhteenlasketut huipputehot 946 kW. Lämpöpumpua ei ole mitoitettu vastamaan huipputehon tarpeeseen ja sen lauhdeteho on 145 kW pienempi kuin kohteen lämmityksen huipputehon tarve. Taulukosta 14 huomataan, että ulkolämpötilat ovat kovilla pakkasilla vain pienen osan vuodesta. Toisin sanoen huipputehon tarve on vain pienen osan vuodesta. Vaikka tällaiset olosuhteet vallitsevat vain harvoin tulee kuitenkin varmistaa, että kohteen lämmitystarpeeseen voidaan vastata tällöinkin. /12/

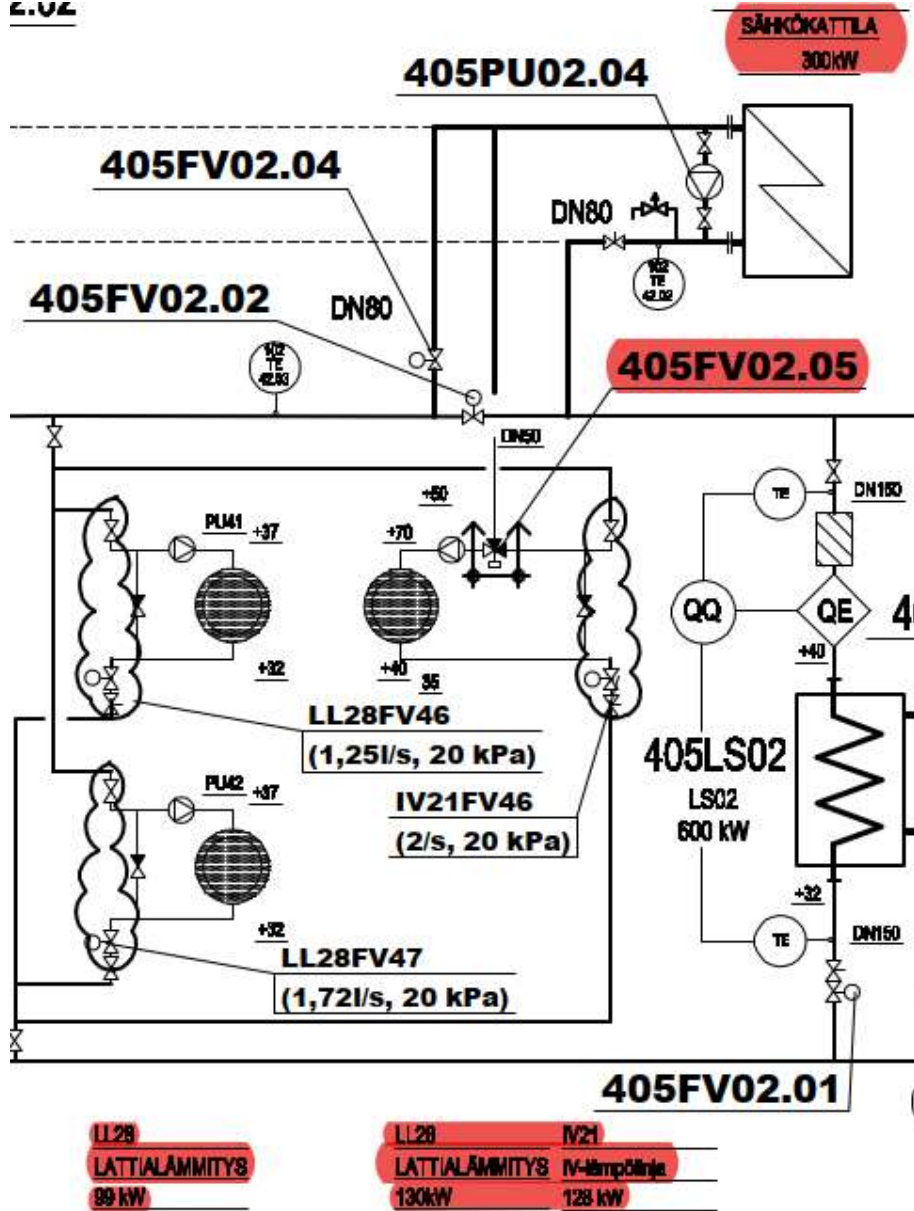
Taulukko 15. Energialaskennan testivuosisidatan ulkolämpötilojen jakautuminen vuoden tunneille. /12/



Kun lämmitystarve kasvaa kovilla pakkasilla tehostetaan tällöin sähkökattilan käyttöä. Sähkökattilan ja lämpöpumpun yhteiskäyttö kasvattaa energiatehokkuutta lämmitysjärjestelmässä. Kuvassa 8 nähdään kaksi lattialämmityspiiriä (lyhenne LL) ja niille menevien nesteiden suunniteltu maksimilämpötila 37 °C ja ilmanvaihdolle (kuvassa lyhenne IV) menevä maksimilämpötila 70°C. Näillä lämpötiloilla havainnollistetaan sähkökattilan ja lämpöpumpun yhteiskäyttöä. Kuvassa näkyvät lämmityspiirit ovat vain yksi osa koko rakennuksen lämmitysjärjestelmää ja tästä syystä

kuvassa näkyvät lämmitystehot ovat alhaisempia kuin edellisessä kappaleessa käsitellyt koko rakennuksen lämmitystehot.

6.04

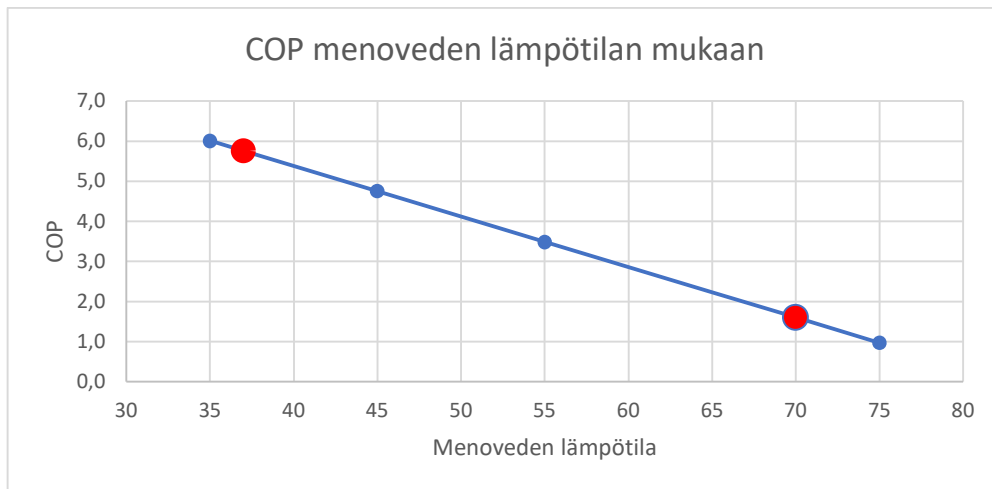


Kuva 7. Kuvakaappaus kytkentäkaavioista. Yksi osa rakennuksen lämmityspiireistä.

Taulukossa 15 nähdään approksimaatio lämpökertoimen suhteesta lämpöpumpulla tuotetun menoveden lämpötilaan, jossa on laskettu mukaan järjestelmään vaikuttavien pumppujen tehot. Tarkemman kuvaajaan kokoamiseen tulisi suorittaa

mittauksia lämpöpumpun toiminnan yhteydessä paikan päällä. Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista opinnäytetyön kirjoitushetkellä. Approksimaation avulla voidaan kuitenkin havainnollistaa lämpöpumpun ja sähkökattilan yhteiskäytön energiatehokkuutta.

Taulukko 16. Approksimaatio lämpökertoimen käyttäytymisestä menoveden lämpötilan mukaan.



Taulukosta 15 huomataan lämpökertoimen laskevan, kun menoveden lämpötila nousee, kuten luvussa 3.2 esitettiin. Punaisella korostetut pallot havainnollistavat lämpökertoimia, kun lämpöpumppu tekee matala-, ja korkealämpöistä nestettä.

Sähkökattilaa hyödynnetään tehtaan lämmityksessä yhdessä lämpöpumpun kanssa, kun lämmöntarve on suuri. Kytentäkaavion kuvakaappauksesta nähtiin ilmanvaihdon lämmityksen olevan mitoitettu + 70°C asteeseen. Mikäli ilmanvaihdon lämmitys tuotettaisiin pelkästään lämpöpumpun avulla, olisi lämpöpumpun hyötysuhde melko alhainen. Energiatehokkaassa järjestelmässä lämpöpumppu tekee hyvällä hyötysuhteella matalalämpöistä nestettä, joka nostetaan tarpeen mukaan haluttuun korkeaan lämpötilaan sähkökattilan avulla. Alla olevassa taulukossa havainnollistetaan lämpöpumpun ja sähkökattilan yhteiskäyttöä.

Taulukko 17. Lämpöpumpun ja sähkökattilan yhteiskäytön energiatehokkuus. Tehot kytkentäkaavion kuvakaappauksesta.

Lämmitystapa	Lämmitystarve kW	Meno LT °C	COP	Ottoteho kW
koko lämmitys MLP	357	70	1,6	223,1
vain lattialämmöt MLP	229	37	5,8	39,8
IV piiri sähkökattilalla	128	70	0,99	129,3
Koko lämmitys MLP ja sähkökattilan yhteiskäytöllä	357	70	2,1	169,1

Jos lämmitysjärjestelmään tehtäisiin 70°C asteista vettä vain lämpöpumpulla tulee tällöin lämpökertoimeksi 1,6 ja ottotehoksi 223,1 kW. Kun hyödynnetään lämpöpumpun ja sähkökattilan yhteiskäyttöä tulee lämpökertoimeksi 2,1 ja ottotehoksi 169,1 kW, jolloin järjestelmä toimii energiatehokkaasti. Vaikka taulukossa on esitetty vain rakennuksen yhden lämmitysalueen lämmityspiirit, on lämpöpumpun ja sähkökattilan yhteiskäytön periaate sama koko rakennuksen lämmityspiireissä. Yhteiskäyttöä ohjataan lämmitysjärjestelmässä automaation avulla.

5.4 Järjestelmän toiminta kesällä

Kesällä pyritään ensisijaisesti hyödyntämään vapaajäähdytystä kiinteistön ja tuotantoprosessien jäähdyttämiseen. Vapaajäähdytyksellä tarkoitetaan tässä yhteydessä tilannetta, jossa kiinteistön ja tuotantoprosessien jäähdytysvesi kylmennetään maassa kiertävän liuoksen avulla eikä maalämpöpumppua käytetä liuoksen kylmentämiseen. Vapaajäähdytystilanteessa sähköä käytetään ainoastaan pumppuihin, joilla maapiirin liuosta ja kiinteistön puolen jäähdytyspiirin vettä kierrätetään. Tällöin kiinteistön ja tuotannon jäähdytystarve katetaan erittäin energiatehokkaasti.

Vapaajäähdytystilanteessa maassa kiertävä liuos ajetaan jäähdytysvaraajan kautta lämmönvaihtimelle, josta viilennyt neste ohjataan edelleen kiinteistön muovikoille ja ilmanvaihdon nestejäähdyttimille. Jäähdytysprosessin jälkeen jäähdytyksen paluuneste ajetaan takaisin maahan päinvastaisessa järjestyksessä. Vapaajäähdytystilanteessa käytetään ensisijaisesti kaivokentän laajaa kenttää. Maassa kiertävä liuos on siis tarpeeksi kylmää käytettäväksi jäähdytykseen eikä koneellista

jäähdytystä tarvita. Maassa kiertävä liuos ja muovikoneissa sekä kiinteistössä jäähdytysnesteenä kiertävä vesi eivät sekoitu keskenään vaan nesteiden välinen lämpöenergian siirto tapahtuu lämmönvaihtimessa.

Vapaajäähdytyksen mahdollisuus loppuu, kun maapiirin liuoksen lämpötila nousee liian suureksi. Tällöin maalämpöpumppu käynnistyy ja jäähdytyksen paluuneste ohjataan jäähdytysvaraajan kautta lämpöpumpun höyrystimelle maapiirin sijaan. Lämpöpumpun käydessä höyrystimeltä saadaan jäähdytystä ja lämpöpumpun lauhdepuolen lämpö, jota kesäaikana ei tarvita ohjataan tiheään kaivokenttään. Tällöin hukkalämpöjä varastoidaan tehostetusti talven lämmitystarvetta varten. Vapaajäähdytystilanteen loppuessa kaivokentästä ei oteta enää jäähdytysenergiaa vaan sinne ladataan muovikoneiden hukkalämpöä.

5.5 Järjestelmän toiminta talvella

Talviaikana kun kiinteistössä on lämmitystarvetta, hyödynnetään lämmityksessä maalämpökenttää ja muovikoneiden hukkalämpöjä lämpöpumpun avulla. Kesäajan lauhdelämmön tehokkaan varastoinnin ansiosta kaivot ovat talviaikaan siirtyessä lämpimät. Maapiirin lämmennyttä liuosta ja muovikoneilta palaavaa nestettä ajetaan lämpöpumpun höyrystimelle, jolloin lämpöpumpun lauhduttimen puolelta saadaan kiinteistöön ajettua lämpöenergiaa ja höyrystimen puolelta jäähdytystä muovikoneille. Tällöin hukkalämpöjä käytetään siis suoraan kiinteistön lämmitykseen.

Talven aikana kaivokentästä otettava lämpöenergia aiheuttaa hiljalleen kaivokentän jäähtymisen ja kesäaikaan tultaessa kaivot ovat jäähtyneet hyödynnettäväksi uudelleen vapaajäähdytyksessä, jolloin sykli alkaa uudestaan. Järjestelmän komponentit ja automaatio säätelevät järjestelmän toimintaa olosuhteiden mukaan.

6 YHTEENVETO

Projektin tavoitteena oli lopettaa fossiilisten polttoaineiden käyttö tehtaan lämmityksessä ja asentaa tilalle uusiutuvalla energialla toimiva maalämpöjärjestelmä. Uudessa järjestelmässä käytetään maalämpöä tehtaan lämmitykseen tai jäähdytykseen sekä kierrätetään tuotantoprosessien energiaa lämpöpumpun ja kaivokenttien avulla. Tuotannon prosessit jatkuvat ennallaan, mutta niistä hyödynnettävä energia voidaan aina käyttää suoraan tehtaan lämmitykseen tai sitä varastoidaan. Järjestelmän ominaisuus hyödyntää hukkalämpöä ja vapaajäähdytystä lyhentää hankkeen investoinnin takaisinmaksuaikaa ja vähentää hiilidioksidipäästöjä. Suurimmat päästövähennykset tulevat kuitenkin siitä, kun öljynkäytöstä luovutaan. Tehtaan energiatehokkuutta lisättiin merkittävästi projektin yhteydessä.

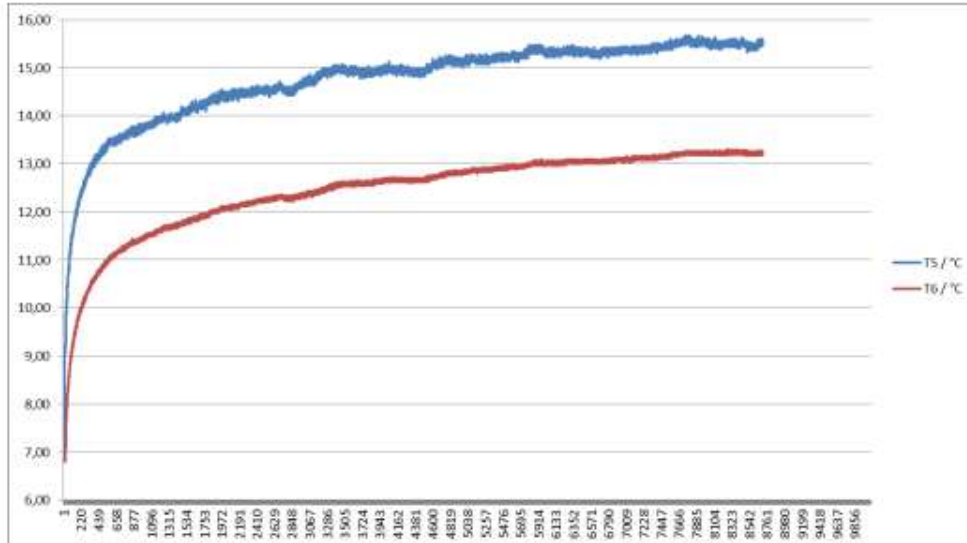
Opinnäytetyön tavoitteena oli kuvata projektin eri työvaiheita ja tuoda esille järjestelmän mitoitukseen käytettyjä työkaluja ja työmenetelmiä. Työssä avattiin energiantehokkuushankkeen ympäristövaikutuksia ja innovatiivisia ratkaisuja yhdistää uusiutuvan energian käyttöä ja energian kierrätystä. Opinnäytetyö oli erittäin opettavainen ja mielenkiintoinen ja se antoi tekijälleen valtavasti tietoa energiateknikasta ja sen soveltamisesta käytäntöön.

LÄHTEET

- /1/ Ilman lämpötila, Ilmatieteen laitos, 2021, Viitattu 2.3.2021. [Lataa havainnot \(fmi.fi\)](#)
- /2/ Muovikone, Engel, Viitattu 2.3.2021. <https://www.engelglobal.com/en/fi/products/injection-molding-machines/high-performance-injection-moulding-machine-e-motion.html>
- /3/ Lämmitystarveluvut, Ilmatieteen laitos, 2021, Viitattu 2.3.2021. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>
- /4/ Kulutuksen normitus, Motiva, 9.9.2019, Viitattu 2.3.2021. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/kulutuksen_normitus
- /5/ Ilmastolaskuri, laskentaperusteet, Suomi, 2019, Viitattu 2.3.2021. <http://www.ilmastolaskuri.fi/fi/calculation-basis?country=2&year=10746>
- /6/ CO₂- päästökertoimet, Motiva, 26.1.2021, Viitattu 2.3.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-paastokertoimet
- /7/ lämpöä omasta maasta, Motiva, 2012. Viitattu 2.3.2021. https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumpu.pdf
- /8/ Maalämmön osuus lämmönlähteenä kasvussa, Tilastokeskus, 25.11.2016, Viitattu 2.3.2021. https://www.stat.fi/til/ras/2016/09/ras_2016_09_2016-11-25_kat_001_fi.html
- /9/ Maalämpöpumpun toimintaperiaate, kuva, Viitattu 2.3.2021. <https://www.suomela.fi/lampopumpun-toimintaperiaate-tutustu/>
- /10/ Inkinen, P. & Tuohi, J. 2009. Momentti 1 insinöörifysiikka. 457–465. Otava Oy.
- /11/ TRT-mittaus, Lapon, Viitattu 2.3.2021. <https://www.lapon.fi/trt-mittaus>
- /12/ Ilmatieteen laitos, Energialaskennan testivuositiedot, Viitattu 2.3.2021. https://www.ilmatieteenlaitos.fi/documents/30106/359229/Jyvaskyla_TRY2012.pdf/0d201128-e913-4709-b806-310e31858fe0

Liite 1

Vilpe Oy / TRT -mittaus, Lintuvuori (tulokset korjattu 250 m syvälle kaivolle)



Kuva 1: TRT -mittaus / Vilpe Oy: Vaaka-akselilla kuumennusaika min. T5 = lämpökaivoon menevän virtauksen lämpötila, T6 = lämpökaivosta palaavan virtauksen lämpötila. Vastusten teho 9 kW.

Laskentaan liittyvät alkuarvot

Tr = 6.90	Peruskallion lämpötila (C)
Hb = 250	Porakaivon syvyys (m)
Rb = 0.140/2	Porakaivon reiän SÄDE (m) yleensä (0.115/2)m
Pe = 9000	Vakio keskimääräinen syöttöteho (W)
Lr = 3.40	Peruskallion lämmönjohtavuus (arvio), Graniitti 3.4 W/(m*K)
rho = 2700	Peruskallion tiheys (kg/m3), Graniitti 2700 kg/m3
Cp = 750	Peruskallion ominaislämpökapasiteetti, Gran. 750 J/(kg*K)
Eu = 0.5772156	Eulerin vakio (0.5772156)

Perustiedot lämmönjohtumiskertoimen Le laskemiseksi

t1 = 2002*60	Tarkasteluhetki, kuumennettaessa suoran osan alkuaika (s)
t2 = 7765*60	Tarkasteluhetki, kuumennettaessa suoran osan loppuaika (s)
T1 = 12.10	Palaavan lämmönsiirtonesteen lämpötila ajanhetkellä t1
T2 = 13.20	Palaavan lämmönsiirtonesteen lämpötila ajanhetkellä t2

Perustiedot termisen vastuksen Rb laskemiseksi

t = 7471*60	Tarkasteluhetki, kuumennusjakson suoran osan lopusta (s)
Ti = 15.46	Lähtevän lämmönsiirtonesteen lämpötila ajanhetkellä t (s)
To = 13.11	Palaavan lämmönsiirtonesteen lämpötila ajanhetkellä t (s)

Laskettu Matlab -ohjelmalla :

Tulokset:Lämmönjohtavuus $L_0 = 3.53 \text{ W/mK}$ Diffuusiokerroin $D_k = 1.68e-06$ Terminen vastus $R_t = 0.073 \text{ mK/W}$

Kaksi vrk lämmitysjakson jälkeen lämpökaivon keskilämpötila oli vielä $7,85 \text{ }^\circ\text{C}$. Keskimääräinen lämpötila oli ennen kuumennusjaksoa $6,90 \text{ }^\circ\text{C}$ ja kuumennusjakson jälkeen (lämmönsiirtonesteen keskilämpötilan ja lämpökaivon seinämän lämpötila-eron perusteella arvioituna) $8,85 \text{ }^\circ\text{C}$. Lämpötilajakauma mitattiin porakaivossa olevan putken sisältä upotettavalla lämpötilaloggerilla (RBR solo).







Mittaustuloksena saatu lämmönjohtavuuden arvo viittaa hyvään lämmönjohtavuuteen, Graniitin lämmönjohtavuus on juuri tuota luokkaa. Lämpötilan suhteellisen hitaan muutoksen perusteella vaikuttaa siltä että alueella ei olisi juurikaan pohjavesivirtauksia tai muita syitä, jotka kuljettaisivat lämpöä alueelta pois. Tällä perusteella näkisin alueen soveltuvan hyvin lämmön varastointiin.

GTK:n mukaan alueella vallitsevan kallioperän kivilaji on Vaasan graniitti.



Tapio Syrjä, VY

Liite 2

		Standard Report	
Date: 08/27/20 11:27		Prepared By: Timo Ahvenainen	
30XWP 1012			
Water-cooled screw chiller			
Performance Information			
Mode		Cooling	
Cooling Capacity (1)	kW	584	
Heating Capacity to Reject (1)	kW	801	
Cooling Efficiency (EER) (1)	kW/kW	2.42	
Unit Power Input (1)	kW	241	
Sound Power Level (LwA) (1)	dBA	102	
Sound Pressure Level at 1.0 m (LpA) (1)	dBA	83	
Minimum Capacity (2)	kW	50.6	
Maximum Capacity	kW	584	
(1) All performances are compliant with EN14511 - 3 : 2018. Sound power level according to ISO9614 - 1. (2) Due to the minimum flow rate allowable, a lower inlet water temperature might have to be specified to achieve this performance.			
Operating Conditions			
System element		Cooling	
Evaporator		Ethylene Glycol 30%	
Fluid Type		Ethylene Glycol 30%	
Fouling Factor	(sqm-K)/kW	0	
Leaving Temperature	°C	-5.0	
Entering Temperature	°C	-1.0	
Fluid Flow	l/s	38.4	
Total Pressure Drop	kPa	82.4	
Condenser		Fresh Water	
Fluid Type		Fresh Water	
Fouling Factor	(sqm-K)/kW	0	
Leaving Temperature	°C	51.0	
Entering Temperature	°C	40.0	
Fluid Flow	l/s	17.6	
Total Pressure Drop	kPa	15.0	
Altitude	m	0	
Unit Configuration			
149B	Modbus over IP and RS485		
156	Energy Management Module		
158A	7 user interface		
266	Welded evaporator connection kit		
267	Welded condenser water connection kit		
5	Medium-temperature brine solution		
EU	Europe Compliance		
			
Non contractual picture			
Seasonal Efficiency (3)			
Allowed applications for CE mark:			
Comfort Cooling : T _a 2°C	SEER _{cool} E _{sp,cool}	5.95 235	
High Temp. Process Cooling : T _a 2°C	SEPR _{cool}	6.24	
Low Temp. Comfort Heating : T _c SCOP _{heat} E _{sp,heat}		5.79 224	
* ECODSIGN Compliant per (EU) N°2016/2281			
(3) All data related to seasonal efficiency are given for standard units and main options (Brine, pump, energy efficiency...).			
Unit Information			
Manufacturing Source	Montvel		
Refrigerant Type	R134a		
Refrigerant Weight	kg	260	
Tonnes CO2 Equivalent	Tonnes	372	
Number of Refrigerant Circuit	2		
Number Of Passes (Evaporator / Condenser)	2 / 2		
Number Of Compressor	2		
Operating / Shipping Weight	kg	6872/6218	
Unit Dimensions (LxWxH)	mm	4795x1039x1997	
Electric Information			
Unit Voltage	V-Ph-Hz	400-3-50	
Standby Power	kW	0.0500	
Power Factor	0.860		
		Circuit 1	Circuit 2
Maximum Current	A	217	217
Start Up Current	A	414	414
Current at Eurovent Conditions	A	144	144
Documentation			
	PSD		
	IOM		
	Technical Drawing		
	Revit File		