

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma

**Mikko Jokela**

**Koulurakennuksen kalliojäähdytys**

Insinööritö 8.5.2009

Ohjaaja: LVI-insinööri Mika Eloranta

Ohjaava opettaja: yliopettaja Jukka Yrjölä

Tekijä Otsikko	Mikko Jokela Koulurakennuksen kalliojäähdytys
Sivumäärä Aika	69 sivua 8.5.2009
Koulutusohjelma	talotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	LVI-insinööri Mika Eloranta yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinööriyön aiheena on koulurakennuksen kalliojäähdytyksen vaihtoehtoratkaisujen vertailu. Työn tarkoituksena oli kehittää vaihtoehtoinen kalliooperää hyödyntävä jäähdytysjärjestelmä jo suunnitellun lämpöpumpun hyödyntävän vaihtoehdon rinnalle. Kehitetyn järjestelmän ja lämpöpumpun järjestelmän välillä tehtiin vertailu, jossa huomioitiin järjestelmien erot investointikustannusten, energiankulutuksen, primäärienergiankulutuksen ja käyttökustannusten välillä.</p> <p>Lähtökohtana kehitetylle järjestelmälle oli se, että järjestelmän avulla pyritään tuottamaan lämpöenergiaa jäähdytysenergian lisäksi. Kehitetystä järjestelmästä lämpöpumpun ei ole, vaan haluttu lämmitysenergia pyritään tuottamaan muulla tavoin.</p> <p>Energiankulutusta järjestelmien välillä tutkittiin laskemalla järjestelmän eri laitteiden energiankulutukset käyttöajat huomioiden. Energiankulutuksia varten mitoitettiin tarvittavat laitteet. Tämän lisäksi laskennat suoritettiin myös erilaisilla käyttöajoilla.</p> <p>Työn tuloksena kehitettiin kalliooperää hyödyntävä jäähdytysjärjestelmä, jonka avulla voidaan tuottaa lämpöenergiaa koulun keittiön tuloilmakoneen lämmöntalteenottojärjestelmään. Samalla saavutetaan tilanne, jossa kalliopiirin kiertonestettä voidaan jäähdyttää talviaikana.</p> <p>Energiankulutuksia tarkasteltaessa lämpöpumpun hyödyntävä järjestelmä osoittautui enemmän kuluttavaksi, mutta samalla myös kyseisestä järjestelmästä saadaan lämpöenergiaa merkittävästi enemmän hyödyksi. Investointikustannuksissa erot osoittautuivat varsin pieneksi. Lämpöpumpun lisää toisen järjestelmän investointikustannuksia, mutta ilman lämpöpumpun toimiva järjestelmä puolestaan vaatii suuremman kallioerikäärän, joka aiheuttaa kustannuksia. Tutkittujen seikkojen perusteella voidaan todeta, että lämpöpumpulla varustettu järjestelmä on suunniteltua ilman lämpöpumpun toimivaa järjestelmää parempi.</p>	
Hakusanat	kalliojäähdytys, lämpöpumpun, energiankulutus

Author	Mikko Jokela
Title	Bedrock-based cooling system in a school building
Number of Pages	69
Date	8 May 2009
Degree Programme	Building Services Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Mika Eloranta, Building Services Engineer Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The subject of the final year project was to compare bedrock-based alternative cooling systems in a school building. The purpose was to plan a solution comparable to the system with a heat pump, taking into account the differences in investment costs, energy consumption, primary energy consumption and operating costs. The goal was to plan a system to produce heat energy and cooling energy without a heat pump.</p> <p>The main components for each system were dimensioned in the beginning. The energy consumption between the various systems was examined by calculating the energy consumption for each system device according to the operating times.</p> <p>The outcome was a bedrock-based cooling system, which produces heat energy at the same time. The energy is put into use in the heat recovery system of the school kitchen air handling unit. This will allow chilling of the fluid circuit in the bedrock during wintertime.</p> <p>The results of examining the energy consumption showed that the heat pump system uses more energy, but at the same time the system provides more heat energy than the system without a heat pump. The difference between investment cost shows that the heat pump system is more expensive because of the heat pump cost. On the other hand the system without a heat pump requires more bore holes, which increases costs. In the end the difference between the investment costs is rather small. In conclusion, the developed bedrock-based cooling system without a heat pump is not as good as the system with a heat pump, when cooling and heating energy are needed alike.</p>	
Keywords	bedrock-based cooling system, heat pump, energy consumption

## Sisällys

Tiivistelmä

Abstrack

1	Johdanto.....	6
2	Maalämpö Suomessa.....	8
3	Maalämpötekniikka.....	9
3.1	Maalämpöpumppu.....	9
3.2	Lämpöpumpun toimintaperiaate.....	10
3.3	Lämpökerroin.....	11
4	Kallioperän käyttö energianlähteenä.....	12
4.1	Kallioperä Suomessa.....	12
4.2	Kallioenergian mahdollisuudet.....	12
4.3	Kallioenergian kehittäminen.....	13
5	Saunalahden koulun vaihtoehtoiset kalliojäähdytysratkaisut.....	15
5.1	Saunalahden koulu tutkimuskohteena.....	15
5.2	Kalliojäähdytys ilman lämpöpumppulaitteistoa.....	16
5.3	Kalliojäähdytys lämpöpumppulaitteistoa hyödyntäen.....	17
6	Saunalahden koulun lämmitys- ja jäähdytystehojen laskenta.....	22
6.1	Laskennan lähtökohdat.....	22
6.2	Huonetilojen lämmitystehon laskenta.....	22
6.3	Huonetilojen jäähdytystehon laskenta.....	23
6.3	Valmistuskeittion tuloilmakoneen lämmitys- ja jäähdytystehon laskenta.....	24
6.4	Mitoituksissa käytettävät lämmitys- ja jäähdytystehot.....	26
7	Saunalahden koulun kalliojäähdytysratkaisu ilman lämpöpumppulaitteistoa.....	28
7.1	Järjestelmän valinnassa huomioidut tekijät.....	28
7.2	Järjestelmän pääkomponentit.....	28
7.2.1	Kalliopiirin kiertopumpun mitoitus.....	28
7.2.2	Kallioreikien mitoitus.....	29
7.2.3	Kalliopiirin säätöventtiileiden mitoitus.....	32
8	Saunalahden koulun kalliojäähdytysratkaisu lämpöpumppua hyödyntäen.....	33
8.1	Järjestelmän valinnassa huomioidut tekijät.....	33

8.2 Järjestelmän pääkomponenttien mitoitus .....	33
8.2.1 Lämpöpumppu .....	33
8.2.2 Kallioreikien mitoitus.....	34
8.2.3 Kalliopiirin kiertopumppujen mitoitus.....	35
8.2.4 Kalliopiirin säätöventtiileiden mitoitus.....	36
9 Vertailtavien järjestelmien energiankulutus ja primäärienergiankulutus.....	37
10 Valittujen järjestelmien teknistaloudellinen tarkastelu .....	40
10.1 Hankintakustannukset .....	40
10.2 Elinkaarikustannukset .....	41
11 Johtopäätökset .....	43
Lähteet.....	46
Liitteet	
Liite 1: IdaIce-tiedot.....	48
Liite 2: Keittiön tuloilmakoneen koneajon tiedot.....	49
Liite 3: Toimintakaavio, kalliojäähdytys ilman lämpöpumppulaitteistoa.....	52
Liite 4: Kallioreikämitoitus ilman lämpöpumppua .....	53
Liite 5: Toimintakaavio, lämpöpumppulaitteistoa hyödyntävä kalliojäähdytys .....	57
Liite 6: Kallioreikämitoitus lämpöpumppua hyödyntävässä ratkaisussa .....	58
Liite 7: Ilman lämpöpumppulaitteistoa olevan järjestelmän vuotuinen energiankulutus .....	62
Liite 8: Lämpöpumppulaitteistoa hyödyntävän järjestelmän vuotuinen energiankulutus .....	65
Liite 9: Vuotuiset energiankulutukset ja energiahyödyt muutetuilla käyttöajoilla ...	69

## 1 Johdanto

Suomessa koneellisen jäädytyksen käyttö virasto-, toimisto- ja liikerakennuksissa on lisääntynyt voimakkaasti viimeisten vuosikymmenien aikana ja kasvaa edelleen. Rakennuksiin sijoitetaan yhä enemmän lämpöä tuottavia ja jäädytystä vaativia laitteita kuten sähkö-, tele-, ATK- ja konttorilaitteita.

Suomessa energiatehokkuuden ja ekologisuuden huomioiminen niin uudis- kuin korjausrakentamiskohteissa on tullut merkittäväksi tekijäksi. Uusiutuvien ja ilmaisenergioiden hyödyntämistä pyritään lisäämään ja kehittämään jatkuvasti.

Espoo on liittynyt Kuntasektorin energiatehokkuussopimukseen vuosiksi 2008–2016 (lyhenne KETS-sopimus). Sopimusosapuolet ovat kauppa- ja teollisuusministeriö ja Espoon kaupunki. KETS-sopimuksella kunnat sitoutuvat toteuttamaan kansallisen energia- ja ilmastostrategian tavoitteita, jotka perustuvat Kioton pöytäkirjan kasvihuonekaasujen rajoittamisveloitteeseen. (1.)

Tämän selvityksen tarkoituksena on kehittää ja laatia vaihtoehtoinen suunnitelma Espoon kaupungille Saunalahden koulun kalliojäädytysratkaisusta. Vertailukohtana olevassa toisessa järjestelmässä hankesuunnitelman mukaan kalliojäädytyspiiriä käytetään tiettyjen tilojen jäädytykseen ja samanaikaisesti hyödynnetään kallioon kertyvää lauhdelämpöä tiettyjen tilojen lämmitykseen lämpöpumpun avulla. Vaihtoehtoisessa järjestelmässä lämpöpumppua ei ole, vaan järjestelmä toimii sekä tiettyjen tilojen jäädytyspiirinä että osana valmistuskeittiön tuloilman lämmitysprosessia.

Tässä selvityksessä vertaillaan järjestelmien eroja energiankulutuksessa ja primäärienergiankulutuksessa ottaen huomioon mahdollisesti muuttuvat laitteistojen käyttöajat. Lisäksi selvityksessä tarkastellaan vaihtoehtojen välisiä eroja teknistaloudellisella tarkastelulla hankintakustannusten ja elinkaarikustannusten avulla. Sekä energioiden että kustannuksien tarkastelut on rajoitettu järjestelmien kalliopiireihin ja niihin liittyviin komponentteihin. Lisäksi kummassakin järjestelmässä

on huomioitu koulun keittiön tuloilmakoneen energiat ja kustannusvaikutukset. Koska tarkasteltu kohde on uudisrakennus, työ perustuu puhtaasti laskennalliseen tarkasteluun.

Vertailtujen järjestelmien kalliopiirit mitoitettiin Earth Energy Designer-ohjelmalla. Rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystarpeet simuloitiin IdaIce-ohjelmalla. Simuloinnin tulokset olivat lähtötietoina tässä työssä. Tuloilmakoneen mitoituksessa käytettiin Acon-valintaohjelmaa, jota käytettiin myös apuna ilman lämpöpumppua toimivan järjestelmän tarkastelussa.

## 2 Maalämpö Suomessa

Maalämpö on maaperään varastoitunutta aurinkoenergiaa. Aurinkolämpöä saadaan Suomessa vuodessa 1 000 kWh/m<sup>2</sup>, ja sitä varastoituu maa- ja kallioperään sekä vesistöihin auringonpaisteen, lämpimän ilman ja sateiden kautta. Talvella auringon lämmittävä vaikutus on Suomen pohjoisilla leveysasteilla niin vähäistä, että joudutaan turvautumaan varastoituneeseen aurinkolämpöön esimerkiksi käyttämällä maalämpöpumppua. (2.)

Maaperä lämmönlähteenä on perinteinen järjestelmä Suomessa. Energianlähteenä maaperän käyttö alkoi Suomessa 1980-luvulla silloisen energiakriisin seurauksena. Ruotsissa nopeasti alkaneen ja voimistuneen lämpöpumppujen yleistymisen tapaan Suomessakin odotettiin voimakasta kysynnän kasvua. Tämä toi markkinoille runsaasti erilaisia lämpöpumppuja tarjonneita yrityksiä. Kuitenkin vain osa näistä hallitsi uuden tekniikan ja paneutui riittävällä panostuksella tuotteiden kehittämiseen, myyjäverkon sekä huollon kouluttamiseen ja organisointiin. Muutamien laadultaan korkeatasoisten laitteiden lisäksi markkinoille ilmestyi useita huonolaatuisia tuotteita, jotka pilasivat lämpöpumpun mainetta yleisemminkin. Lisäksi toimintaongelmien syinä olivat myös liian usein väärä mitoitus tai asiantunteamaton asennus. Nämä ongelmat sekä energian halpeneminen aiheuttivat kysynnän nopean hiipumisen. (3.)

1990-luvun puolivälissä alkanut energian hinnan nousu herätti uudelleen kiinnostuksen maalämmön ja lämpöpumppujen käyttöön energian tuotannossa (3.). Maalämpö on ympäristön kannalta edullinen energiantuotantotapa erityisesti verrattuna suoraan sähkölämmitykseen, ja tämän vuoksi sen käyttöä on pyritty suosimaan. Uusiutuvana energianlähteenä maalämmön käyttö on lisääntynyt ja kasvu jatkuu edelleen. Jatkuva kasvu on aikaansaanut kiinnostuksen maalämmön käytössä käytettävän tekniikan kehittämiseen. (2.)



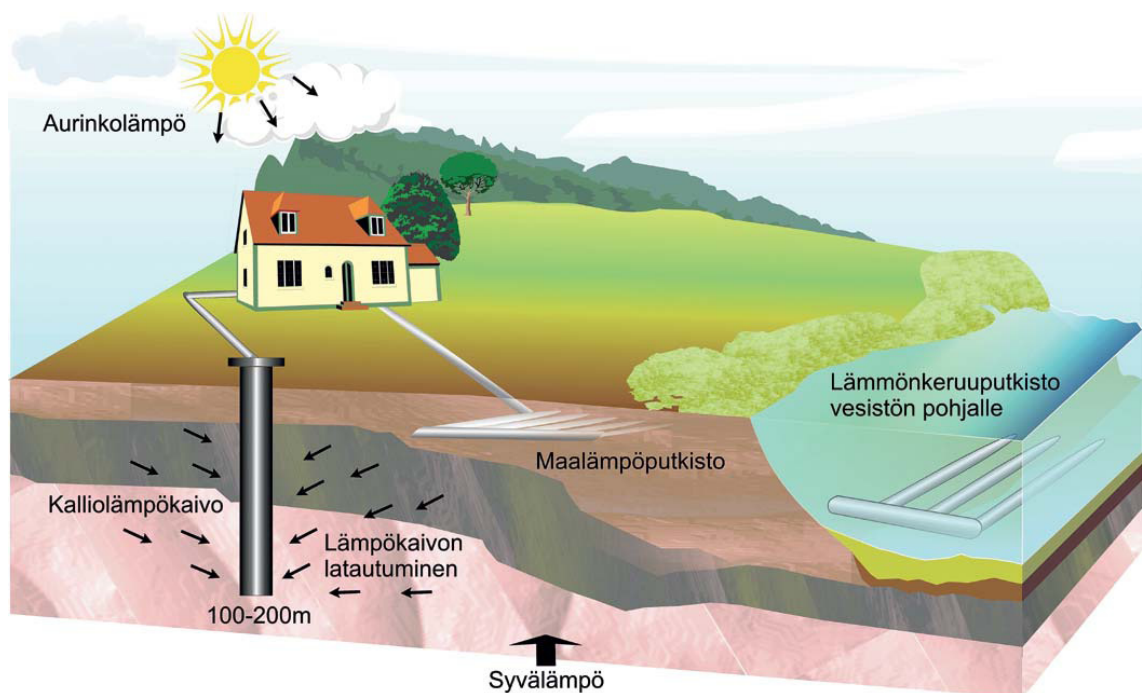
### 3 Maalämpötekniikka

#### 3.1 Maalämpöpumppu

Lämpöä voidaan ottaa maasta kahdella tavalla: vaakasuuntaan noin 1 metrin syvyyteen asennetulla putkikilillä tai kallioon porattuun reikään upotetulla putkistolla.

Molemmissa tavoissa putkissa kiertää veden ja jäätymispistettä alentavan lisäaineen liuos. Tavallisimmat lisäaineet ovat alkoholi tai kaliumformiaatti. (4.)

Lämpöä maasta ottava lämpöpumppu on ollut Suomessa tavallisin tyyppi. Koska maaperän laadulle ja käytettävissä olevalle pinta-alalle asetettavat vaatimukset rajoittavat käyttömahdollisuuksia, on viime vuosina lämpökaivo nopeasti yleistynyt ratkaisu (kuva 1). Aivan vastaavalla tavalla voidaan ottaa lämpöä järvestä. Lämmönottoputkisto sijoitetaan järven pohjalle ja lämpöä siirtyy pohjasedimentistä sekä vedestä liuokseen. Maasta tulevan liuoksen lämpötila laskee keskitalvella vain hieman alle 0 °C:n. (5.)

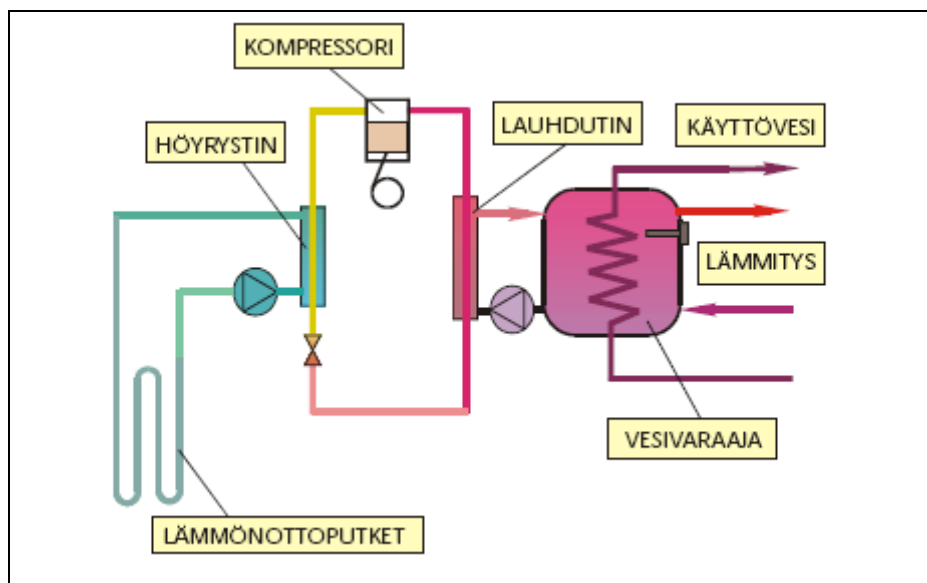


Kuva 1. Auringon energian hyödyntäminen maaperästä (6).

Maalämpöpumpputerjestelmällä voidaan myös jähdyttää sisätiloja kierrättämällä maasta tulevaa viileää liuosta tuloilmavirrassa sijaitsevan jähdytyspatterin läpi (5).

### 3.2 Lämpöpumpun toimintaperiaate

Lämpöpumpukoneiston toimintaperiaatekaavio on esitetty kuvassa 2. Toiminta perustuu koneistossa kiertävän aineen, niin sanotun kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Höyrystyminen vaatii lämpöä, mikä otetaan *höyrystimessä* matalassa lämpötilassa esimerkiksi maahan sijoitetussa putkistossa kiertävästä liuoksesta. Näin syntyvä höyry puristetaan kompressorilla korkeampaan paineeseen, jolloin se myös lämpenee. Korkeapaineinen lämmin höyry jähdytetään *lauhduttimessa*, jossa se nesteytyy. Vapautuva lämpö lämmittää lauhduttimen läpi virtaavan veden tai ilman. Neste palautetaan höyrystimeen laskemalla sen paine *paisuntaventtiilissä*. Puristus vaatii kompressorissa työtä, mikä saadaan sähkömoottorista. Lisäksi esimerkiksi maalämpöpumppu kuluttaa sähköä liuosta kierrättävässä pumpussa sekä hiukan säätölaitteissa. (4.)



Kuva 2. Lämpöpumpukoneiston toiminta (5).

### 3.3 Lämpökerroin

Lämpöpumpun tehokkuutta mitataan *lämpökertoimella*  $\varepsilon$ , joka on saadun lämmitysenergian  $Q_L$  suhde tarvittavaan sähköenergiaan  $W$ , kaava 1. (7.)

$$\varepsilon = \frac{Q_L}{W} \quad (1)$$

Esimerkiksi lämpökertoimella 3 saadaan jokaista 1 kWh:n sähköenergiaa kohti lämpöenergiaa 3 kWh. Vastaavasti tehossa mitattuna saadaan jokaista kulutettua 1 kW:n sähkötehoa kohti 3 kW lämpötehoa.

Lämpökerroin riippuu lämpöpumpun ominaisuuksien takia melko voimakkaasti lämpötiloista lämmönoton (lämmönlähteen) puolella ja lämmön käytön (lämmitysjärjestelmä) puolella. Edullista on mahdollisimman korkea lämmönoton lämpötila ja mahdollisimman matala lämmön käytön lämpötila. Lämpöpumpun kannalta parhaat lämmönjakotavat ovat siten lattialämmitys ja ilmalämmitys. (5.)

## 4 Kallioperän käyttö energianlähteenä

### 4.1 Kallioperä Suomessa

Suomessa kallioperä koostuu pääasiassa kiteisistä kivilajeista, joiden huokoisuus on hyvin pieni. Kivilajien lämmönjohtavuus vaihtelee välillä 1,7...7 W/Km. Eri kivilajien lämmönvarastointikapasiteetteja on esitetty taulukossa 1. Kiteisistä kivilajeista muodostuneessa kalliiossa on normaalisti rakoilua ja halkeamia. Näin on mahdollista, että porakaivotekniikalla saadaan yhteys laajoihin pohjavesialueisiin. (8.)

Syvällä kalliiossa on geolämpöä, jota voidaan hyödyntää porakaivon kautta. Lämpötila on suhteellisen vakio jo 15 metrin syvyydessä kallioperässä. Sadan metrin syvyydessä Suomen kallioperässä lämpötila on noin 7–8 astetta. (9.)

*Taulukko 1. Eri kivilajien lämmönvarastointikapasiteetteja (10).*

Väliaine	Lämmönjohtavuus W/Km	Lämpökapasiteetti kJ/kg °C	Tilavuuden lämpökapasiteetti kWh/m <sup>3</sup> °C
Graniitti	2,9-4,2	830	0,62
Hiekkakivi	3,0-5,0	730	0,55
Saviliuske	1,7-3,5	850	0,66
Kalkkikivi	1,7-3,0	840	0,63
Kvartsiitti	5,0-7,0	890	0,58

### 4.2 Kallioenergian mahdollisuudet

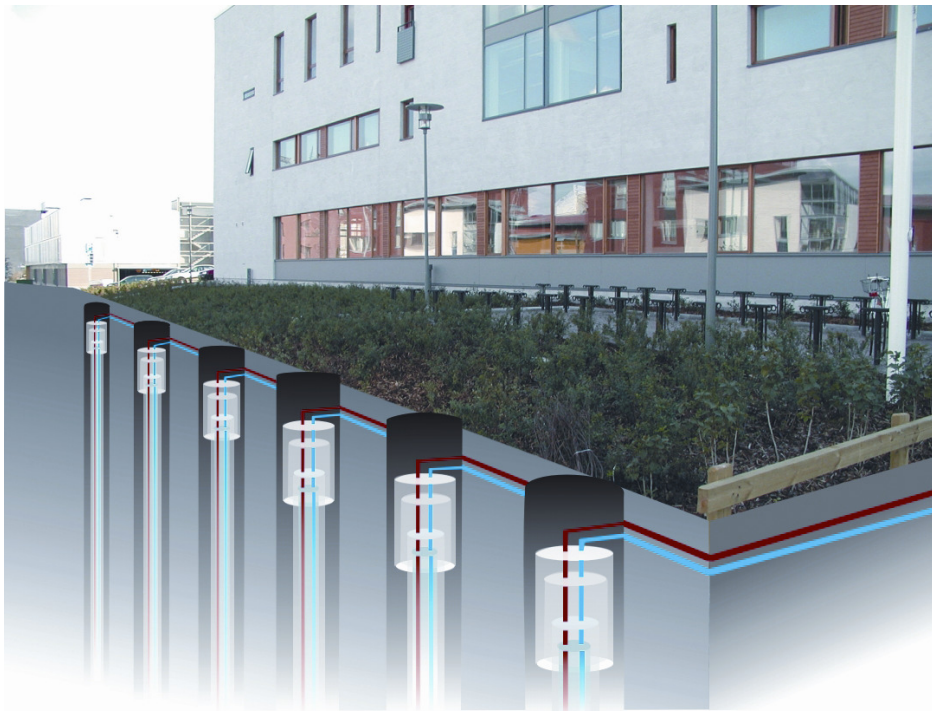
Viime vuosien aikana kallioperän käyttö lämmitysenergian tuottamiseen on yleistynyt. Yhtenä syynä tähän voidaan pitää energiantuotantotavan ympäristönäkökohtia, joiden huomioiminen on tullut yhä tärkeämmäksi. Toisaalta myös käytettävän tekniikan kehittyminen on herättänyt suurempaa kiinnostusta kallioperän hyödyntämiseen.

Ympäristönäkökohtia on huomioitu etenkin julkisten rakennusten osalta, joissa on pyritty ottamaan huomioon energiansäästö aiempaa paremmin. Oma osansa on kauppa- ja teollisuusministeriön vuonna 2000 antamassa suosituksessa julkisten hankintojen energiatehokkuuden huomioimisessa. Suosituksen mukaan rakennuksen ilmanvaihdon tarpeenmukaista ohjausta ja lämmön talteenottoa sekä matalalämpötilaisia lämmitysjärjestelmiä tulisi hyödyntää. Passiivisen ja aktiivisen aurinkoenergian

käyttömahdollisuuksia tulee selvittää ja hyödyntää mahdollisuuksien mukaan. Lisäksi suosituksen mukaan rakennuksen suunnittelussa pyritään välttämään koneellisen jäähdytyksen tarvetta ensisijaisesti arkkitehtonisin keinoin ja vapaajäähdytyksiä hyödyntämällä. Jos koneellista jäähdytystä käytetään, hyödynnetään siinä lauhdelämmön talteenottoja. (11.)

### 4.3 Kallioenergian kehittäminen

Rakennusten energiatehokkuuteen kohdistuvien vaatimusten kasvu on herättänyt kiinnostusta kehittämään uusiutuvien energiamuotojen käyttöä. Näin on käynyt myös kallioenergian kohdalla. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT on tutkinut ja kehittänyt kallioenergiaan perustuvia jäähdytysjärjestelmiä vuodesta 2000 alkaen. Kehitystä on jatkettu kokeellisella rakennusprojektilla ja seurantatutkimuksilla vuosina 2000–2005 VTT:n omissa toimitiloissa ja Ruusutorpan ala-asteen koulussa (kuva 3) Espoossa. (12.)



*Kuva 3. Ruusutorpan ala-asteen kalliojäähdytysjärjestelmän havainnekuva (12).*

Kalliojäähdytyksen seurantalukimusten tulokset ovat olleet lupaavia. Kalliojäähdytysjärjestelmä on osoittautunut pilot-kohteista saatujen tulosten perusteella huoltovapaaksi ja ekologiseksi energialähteeksi. Sähkönkulutuksen säästön vuoksi myös rakennuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt pienenevät verrattuna perinteisen jäähdytysjärjestelmän käyttöön. Hyvien tulosten johdosta tutkimuksia jatketaan myös tulevaisuudessa. (12.)

## **5 Saunalahden koulun vaihtoehtoiset kalliojäähdytysratkaisut**

### **5.1 Saunalahden koulu tutkimuskohteena**

Espeen kaupungin Saunalahden koulu on yhtenä jatkokehittelyn kohteena olevan uuden sukupolven jäähdytys- ja lauhdutusenergiaa hyödyntävän järjestelmän kohteesta. Tässä järjestelmässä ajatuksena on se, että samaa kalliopiiriä käytetään lämpöpumpun avulla lämmittämiseen ja samanaikaisesti tiettyjen tilojen jäähdyttämiseen. Etuna tämänkaltaisessa järjestelyssä on se, että näin voidaan vähentää tarvittavien kallioreikien määrää merkittävästi, koska lämmönotto ja jäähdytys osittain kompensoivat toisiaan. Kallioreikien määrän vähentyminen lyhentää järjestelmän takaisinmaksuaikaa ja näin ollen mahdollistaa kannattavamman järjestelmäratkaisun.

Tässä työssä pohditaan vaihtoehtoista jäähdytysratkaisua edellä mainitulle jäähdytys- ja lauhdutusenergiaa hyödyntävälle järjestelmälle. Vaihtoehtoisessa ratkaisussa tutkitaan mahdollisuutta hyödyntää kalliopiirin käyttämistä koulun keittiön ilmanvaihtokoneen tuloilman lämmittämiseen. Näin saadaan vähennettyä tarvittavien kallioreikien määrää ja samalla hyödynnettyä kalliopiiriä lämmitysenergian tuottamiseen. Vaihtoehtojen tarkemmat järjestelmäkuvauksen on esitetty alajaksoissa 5.2 ja 5.3.

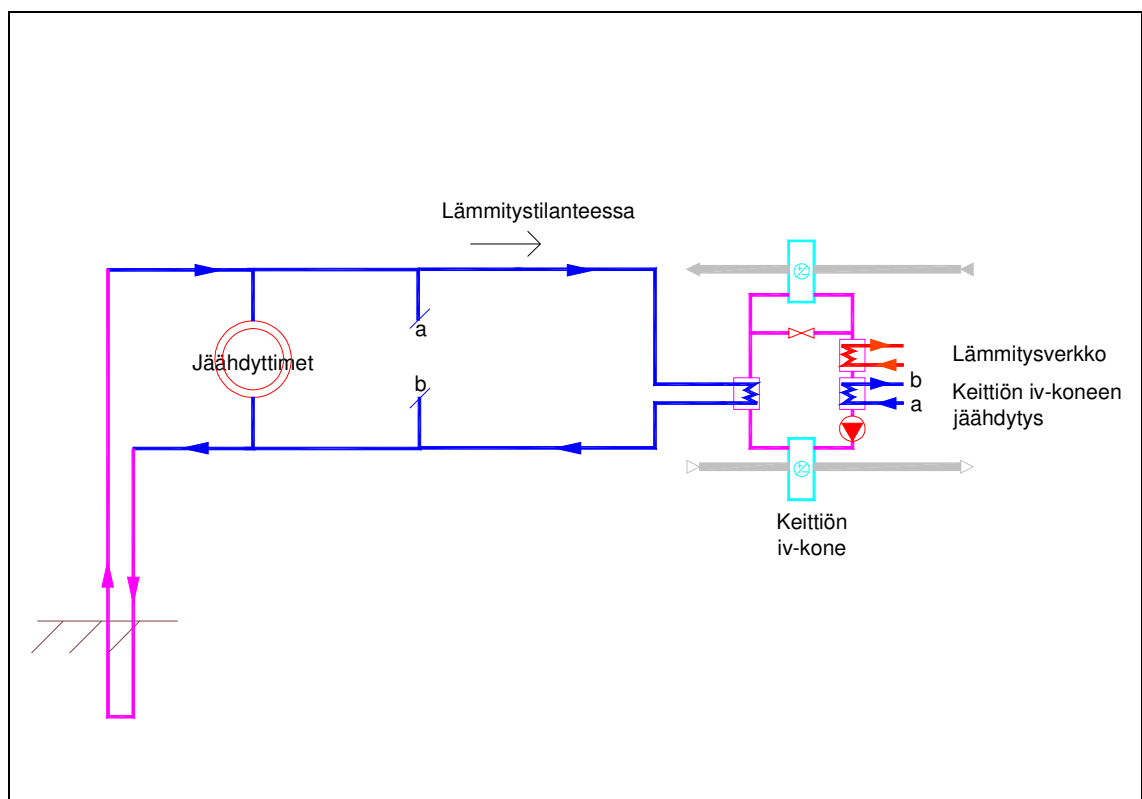
Saunalahden koulun tuloilmakoneeksi on tilaajan toimesta valittu Fläktwoods Econet-järjestelmään perustuva ilmanvaihtokone, jossa on parempi lämmöntalteenoton hyötysuhde verrattuna tavanomaiseen ilmanvaihtokoneeseen. Tästä johtuen tätä vertailua tehtäessä on molemmissa järjestelmissä käytetty saman Econet-toimintaperiaatteen ilmanvaihtokonetta.

## 5.2 Kalliojäähdytys ilman lämpöpumppulaitteistoa

Järjestelmä kattaa seuraavat jäähdytystä käyttävät laitteet (jatkossa jäähdyttimet):

- paikalliset jäähdyttimet
- keittiön tuloilmakojeen jäähdytyksen
- keittiökylmiöiden lauhduttimien jäähdyttämisen

Lisäksi järjestelmää käytetään lämmityskaudella keittiön tuloilman osittaiseen lämmitykseen. Järjestelmän toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Kalliojäähdytyksen periaate ilman lämpöpumppua.

Järjestelmä toimii siten, että kalliopiiri jäähdyttää tarvittavat jäähdyttimet. Talviaikana kalliopiiri toimii osana keittiön tuloilmakojeen lämmöntalteenottoapiiriä. Käytettävän Econet-koneen lämmöntalteenoton glykolipiiriin lisätään lämmönsiirrin myös kalliopiirin puolelle. Kalliopiirin lämmönsiirtimen avulla voidaan lämmittää glykolipiirin nestettä ulkolämpötilan ollessa riittävän matala. Tämän lämmönsiirtimen lämmitys ei kuitenkaan riitä yksin kattamaan aina riittävää tuloilman lämmitystä, vaan tuloilmaa lämmitetään lisäksi tuloilmakoneeseen liitettävällä lämmitysverkon



lämmönsiirtimellä. Tuloilmakone on Econet-tyypin kone, joten lämmönsiirtimeen tulevan lämmitysveden lämpötila voidaan pitää matalana. Kalliopiirin puoleisella lämmönsiirtimellä on tuloilman lämmittämisen lisäksi tarkoitus myös viilentää kalliopiirin kiertonesteen lämpötilaa. Näin kylmällä ulkoilman lämpötilalla saadaan samalla ”varastoitua kylmää” kallioreikiin. Tuloilmaa jäähdytetään erillisellä ilmanvaihtokoneeseen tulevalla lämmönsiirtimellä.

Kalliopiirin mitoituksessa huomioidaan jäähdyttimien vaikutus, tarvittavan jatkuvan jäähdytyksen sekä jäähdytyksen huipputehot huomioiden. Tämän lisäksi huomioidaan kalliopiirin mitoituksessa tuloilmakoneen kalliopiirin kiertonestettä jäähdyttävä vaikutus talviaikana. Sen ansiosta kalliopiirissä on hieman pienempi poranreikien määrä kuin järjestelmässä, jossa piiri toimisi pelkästään jäähdytysverkkona. Kalliopiiri mitoitetaan siten, että jäähdytystarvetta ei oleteta olevan kesä- ja heinäkuussa jolloin koulu on suljettuna.

Järjestelmän etuna voidaan pitää sitä, että tuloilmakojeen talviaikaisella käytöllä voidaan pienentää tuloilman lämmityksen tarvetta, ja näin ollen pienentää lämmittämässä käytettävää energiaa. Lisäksi kalliopiiriä voidaan jäähdyttää talviaikana, joka mahdollistaa pienemmän kallioreikäpituuden, ja näin pienentää investointikustannuksia verrattuna järjestelmään, jossa kalliopiiriä käytetään pelkästään jäähdyttämiseen.

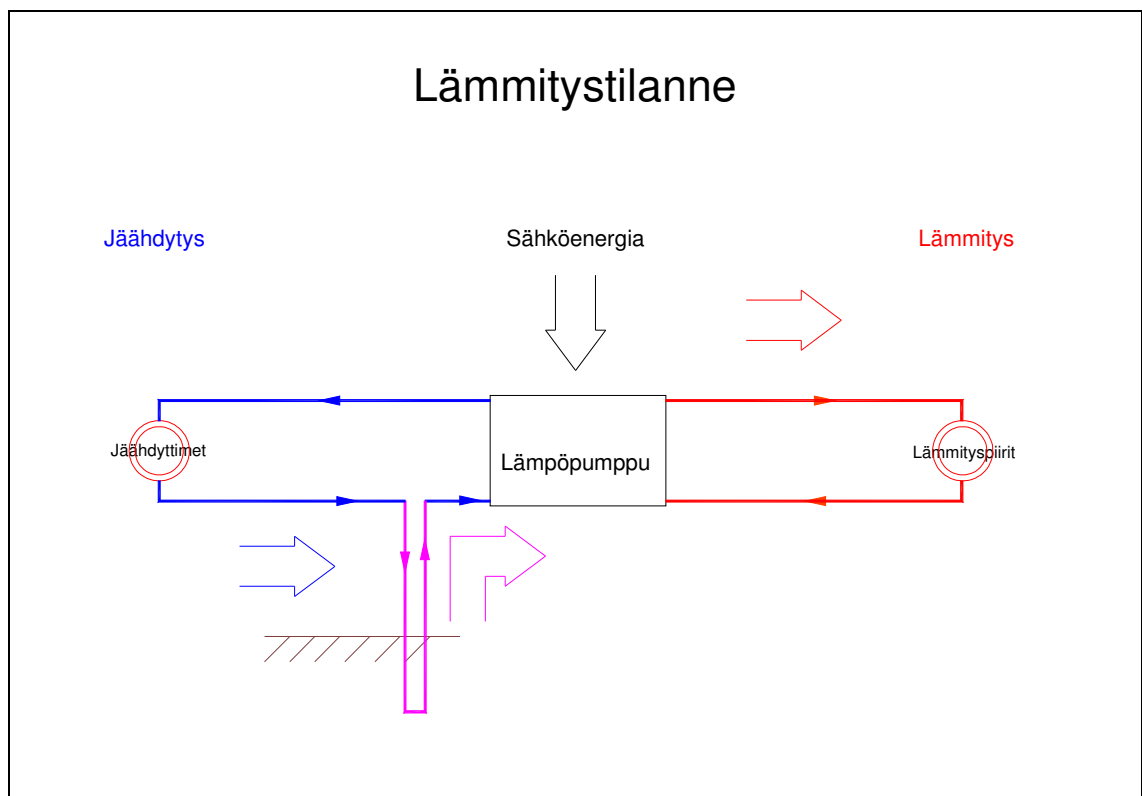
### **5.3 Kalliojäähdytys lämpöpumppulaitteistoa hyödyntäen**

Järjestelmä kattaa seuraavat jäähdytystä käyttävät laitteet (jatkossa jäähdyttimet):

- paikalliset jäähdyttimet
- keittiön tuloilmakojeen jäähdytyksen
- keittiökylmiöiden lauhduttimien jäähdyttämisen

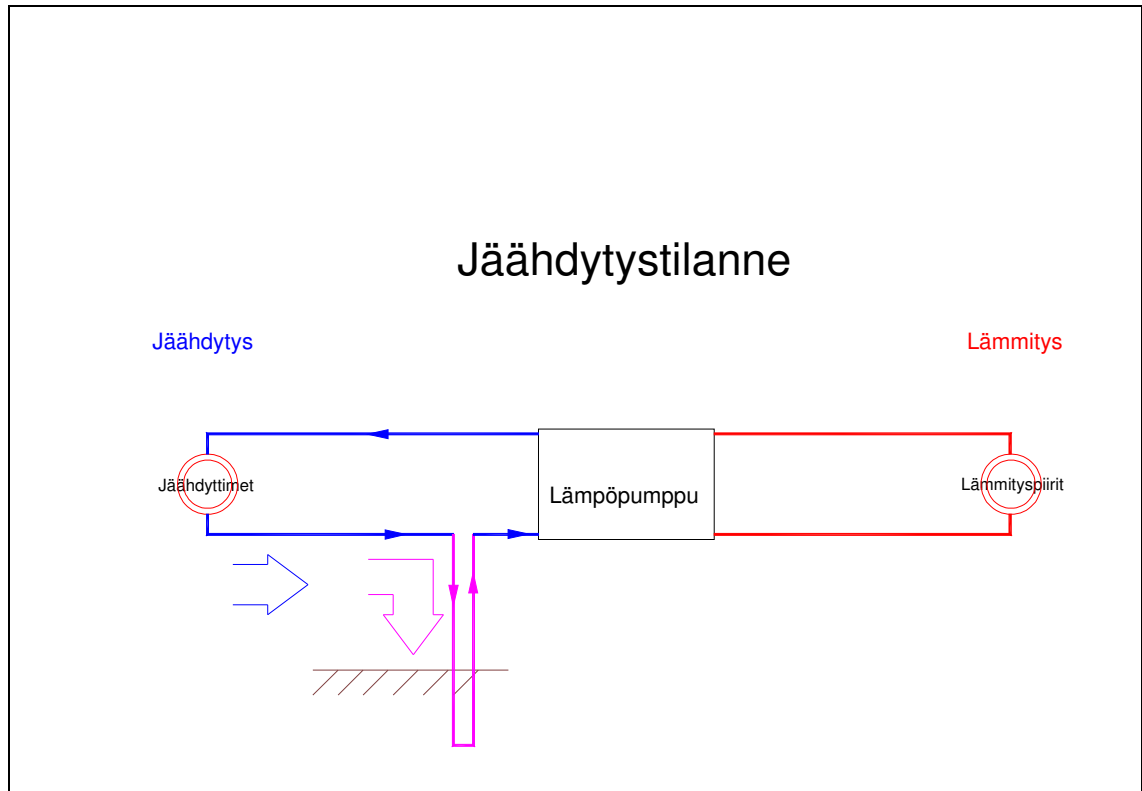
Lisäksi järjestelmää käytetään talviaikana (= lämmityskautena) rakennuksen lämmityspiirien osittaiseen lämmöntuottoon.

Järjestelmä toimii siten, että lämmityskautena (lokakuu–huhtikuu) järjestelmä tuottaa sekä jäähdytystä että lämmitystä yhtä aikaa (kuva 5). Lämmitystilanteessa lämpöpumpulla tuotetaan lämmitysenergiaa matalalämpöisenä, mikä voidaan hyödyntää sekä tuloilman että rakennuksen lämmityksessä. Lämpöpumppu käyttää lämmönlähteenä kallioon kertyvää lauhdelämpöä ja kalliolämpöä. Jäähdytys tuotetaan lämmityskaudella lämpöpumpun kylmäpuolelta kalliopiiristä.



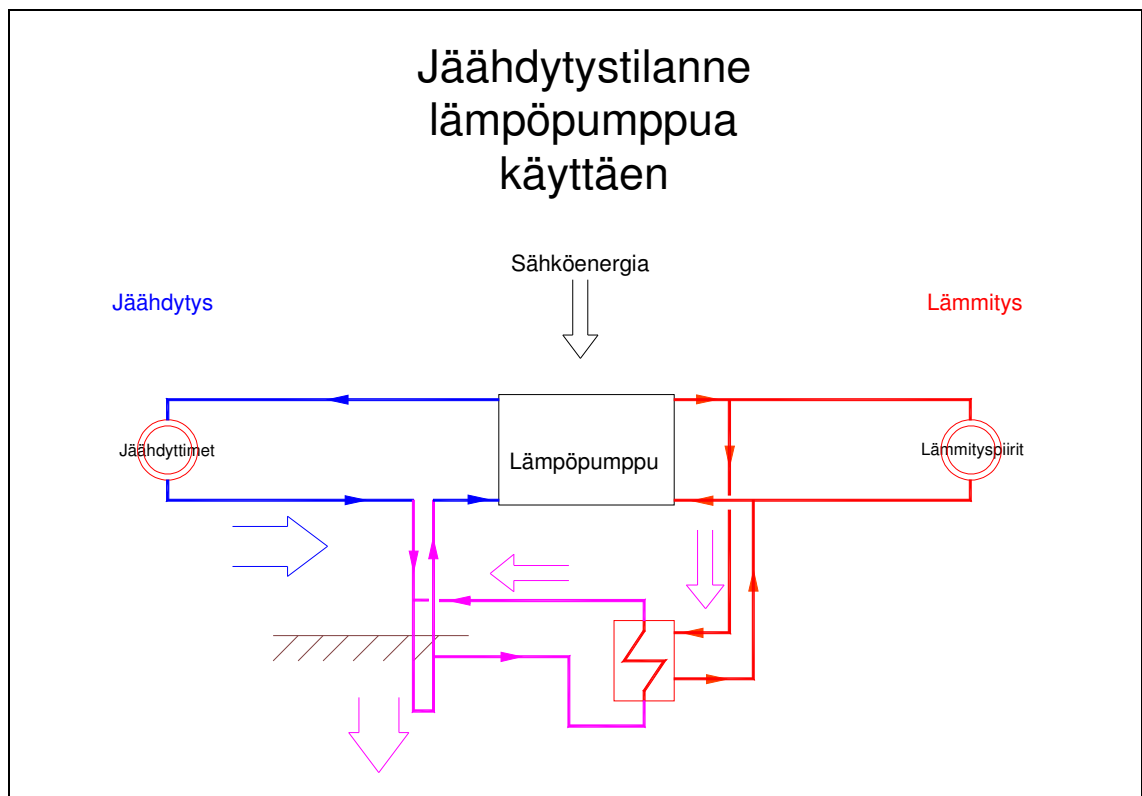
*Kuva 5. Lämpöpumppuratkaisun lämmitystilanne.*

Lämmityskauden ulkopuolella jäähdytys tuotetaan vapaajäähdytyksenä kalliopiiristä (kuva 6). Tällöin lämpöpumpulle ei syötetä sähköä eikä huonetiloissa ole lämmitystarvetta.



*Kuva 6. Lämpöpumppuratkaisun jäähdytystilanne.*

Mikäli vapaajäähdytyksellä ei saada aikaan riittävää jäähdytystehoä, voidaan tarvittaessa käyttää lämpöpumppua apuna tarvittavan jäähdytystehon takaamiseksi (kuva 7). Tässä vertailussa ei tätä mahdollisuutta kuitenkaan ole, koska kytkentä on suunniteltu siten, että lämpöpumpulla otettua lämpöä ei saada ajettua takaisin kallioperään.



*Kuva 7. Lämpöpumppuratkaisun jäähdytystilanne lämpöpumpun avulla.*

Kalliopiirin mitoituksessa huomioidaan jäähdyttimien vaikutus, tarvittavan jatkuvan jäähdytyksen sekä jäähdytyksen huipputehot huomioon ottaen. Tämän lisäksi huomioidaan kalliopiirin mitoituksessa lämpöpumpun tuottama jatkuva lämmitysteho lämmityskauden aikana. Kalliopiirin mitoitetaan siten, että jäähdytystarvetta ei oleteta olevan kesä- ja heinäkuussa jolloin koulu on suljettuna. Jatkovaa lämmitystä ei ole toukokuun ja syyskuun välisenä aikana.

Järjestelmän etuna voidaan pitää sitä, että lämpöpumppua apuna käyttäen voidaan tuottaa lisälämmitysenergiaa lämmityskaudella, ja näin ollen pienentää ostettavan energian määrää. Lämmityskauden aikana voidaan myös tuottaa samalla lämmityksen lisäksi haluttu jäähdytysteho tarvittaviin tiloihin.

## 6 Saunalahden koulun lämmitys- ja jäähdytystehojen laskenta

### 6.1 Laskennan lähtökohdat

Espoon kaupungin Saunalahden koulun lämmitys- ja jäähdytyslaskenta on tehty huomioiden koko rakennuksen hankesuunnitteluvaiheen mukaiset tilat.

Kallioreikämitoitusta varten laskennassa on huomioitu seuraavat tilat (jatkossa huonetilat):

- atk-tilat
- toimistot
- kylmiö
- valmistuskeittiö.

Saatujen tilakohtaisten lämmitys- ja jäähdytystehontarpeiden tiedot syötettiin IdaIce-ohjelmaan, jonka avulla suoritettiin simuloinnit, joiden avulla saatiin tiedot järjestelmien mitoittamista varten. Simuloinnin tuloksista huomioidaan sekä vuosittaiset tehontarpeet kuukausittaisen keskiarvon perusteella että kuukausittaiset huipputehontarpeet.

### 6.2 Huonetilojen lämmitystehon laskenta

Huonetilojen lämmityksen tehontarve voidaan laskea kaavalla 2 (13):

$$\phi_{\text{huonelämmitys}} = \phi_{\text{joht}} + \phi_{\text{vuotoilma}} + \phi_{\text{iv}} - \phi_{\text{tuloilmapatteri}} \quad (2)$$

jossa

$\phi_{\text{huonelämmitys}}$  on huonelämmityksen tehontarve, W

$\phi_{\text{joht}}$  on tilojen johtumisteho, W

$\phi_{\text{vuotoilma}}$  on vuotoilman lämmitysteho tilassa, W

$\phi_{\text{iv}}$  on ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho, W

$\phi_{\text{tuloilmapatteri}}$  on tuloilman jälkilämmityspatterin tehontarve, W

Laskennan tarkempi kulku on esitetty lähteessä 12.

Laskennan perusteella saadut huonetilojen lämmityksen tehontarpeet on esitetty taulukossa 2.

*Taulukko 2. Lämmitystehon tarpeet.*

Huonetila	Lämmitystehon tarve, kW
Atk-tilat	14
Toimistot	17
Kylmiö	0
Valmistuskeittiö	8

### 6.3 Huonetilojen jäähdytystehon laskenta

Huonetilojen jäähdytystehon tarve voidaan laskea kaavalla 3 (14):

$$\phi_{\text{jäähdytys}} = \phi_{\text{henk}} + \phi_{\text{kone}} + \phi_{\text{val}} + \phi_{\text{viv}} + \phi_j + \phi_{\text{aur}} \quad (3)$$

jossa

$\phi_{\text{jäähdytys}}$  on huoneen jäähdytystehontarve, W

$\phi_{\text{henk}}$  on henkilökuorma, W

$\phi_{\text{kone}}$  on konekuorma, W

$\phi_{\text{val}}$  on valaistuskuorma, W

$\phi_{\text{viv}}$  on vuotoilmanvaihdon vaikutus, W

$\phi_j$  on johtumisesta aiheutuva lämpökuorma, W

$\phi_{\text{aur}}$  on auringon suoran säteilyn aiheuttama lämpökuorma, W

Huonetilojen jäähdytystehontarve laskettiin IdaIce-ohjelmalla, joka huomioi laskennassa edellä mainitut tilaa kuormittavat tekijät sekä rakenteiden massoihin varastoituvat lämpökuormat. Jäähdytystehontarpeen laskennassa käytetyt IdaIce-ohjelmaan syötetyt lähtötiedot on esitetty liitteessä 1.

Laskennan perusteella saadut huonetilojen maksimijäähdytystehontarpeet on esitetty taulukossa 3.

*Taulukko 3. Maksimijäähdytystehontarpeet.*

Huonetila	Jäähdytystehon tarve, kW
Atk-tilat ja toimistot	20
Kylmiö	20
Valmistuskeittiö	60

### 6.3 Valmistuskeittiön tuloilmakoneen lämmitys- ja jäähdytystehon laskenta

Valmistuskeittiön osalta sisäilmanlaatuvaatimus on sisäilmastoluokituksen luokka S2.

Vaatimustason tavoitearvot on esitetty taulukossa 4.

*Taulukko 4. Lämpötilojen tavoitearvot sisäilmastoluokka S2 (15).*

		Yksikkö	Sisäilmastoluokka S2
Huonelämpötila	Talvi	°C	20-22
Huonelämpötila	Kesä	°C	23-26
Huonelämpötilan tilapäinen poikkeama asetusarvosta		°C	± 1
Lattian pintalämpötila		°C	19-29
Lämpötilaero pystysuunnassa		°C	3
Ilman nopeus	Talvi (20 °C)	m/s	0,16
Ilman nopeus	Kesä (24 °C)	m/s	0,25
Ilman suhteellinen kosteus	Talvi	%	-

Sisäilmastoluokka S2 vaatimuksen takia tulee valmistuskeittiön tuloilmakone varustaa jäähdytyksellä. Tuloilmakoneen jäähdytys toteutetaan osana kalliojäähdytyspiiriä, eikä näin ollen käytetä koneellista jäähdytystä. Koneen käyttöaika on arkisin 7–18.

Laskennassa koneen oletetaan käyvän täydellä teholla sen käyttöaikana. Koneella hoidetaan valmistuskeittiön jäähdytys, eli tilassa ei ole muita erillisiä jäähdyttimiä.

Valmistuskeittiön jäähdytystehon laskennassa käytetyt mitoitusarvot on esitetty taulukossa 5.

*Taulukko 5. Valmistuskeittiön iv-koneen jäähdytyksen mitoitusarvot.*

Lämpötila ennen jäähdytystä	26 °C / 60 %RH
Lämpötila jäähdytyksen jälkeen	18 °C / 70 %RH
Ilman tiheys	1,0 kg/m <sup>3</sup>
Ilman ominaislämpökapasiteetti	1,2 kJ/kgK

Tuloilman jäähdytyksentehontarve voidaan laskea kaavalla 4 (16):

(4)

$$\dot{\phi}_{\text{ivjäähdytys}} = \rho_{\text{ilma}} \times q_{\text{vilma}} \times (h_2 - h_1)$$

jossa

$\dot{\phi}_{\text{ivjäähdytys}}$  on tuloilman jäähdytyksen tehontarve, kW

$\rho_{\text{ilma}}$  on ilman tiheys, kg/m<sup>3</sup>



$q_{\text{ilma}}$  on ilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$h_1$  on ilman entalpia ennen jäädytystä, kJ/kg

$h_2$  on ilman entalpia jäädytyksen jälkeen, kJ/kg

Jäädytystehon laskennassa on huomioitu valmistuskeittiön laitekuorma, valaistus ja henkilökuorma. Yhteensä jäädytystehon mitoitusarvoksi on saatu 60 kW.

Tuloilmakoneeksi valitaan tilaajan haluama Fläktwoods Econet-energiantalteenottojärjestelmällä varustettu kone. Ilmanvaihtokone on molemmissa vertailua koskevissa järjestelmissä samantyyppinen. Kyseisen konetyypin lämmöntalteenottojärjestelmän (lyhenne LTO-järjestelmä) hyötysuhde on valmistajan mukaan 10...20 % perinteistä neste-LTO-järjestelmää parempi. Koneen tarkempi toimintakuvaus on esitetty lähteessä 17.

Valmistuskeittiön tuloilman lämmitystehontarve voidaan laskea kaavalla 5

$$\phi_{\text{ivlämmitys}} = c_{\text{pilma}} \times \rho_{\text{ilma}} \times q_{\text{vilma}} \times (t_2 - t_1) \quad (5)$$

jossa

$\phi_{\text{ivlämmitys}}$  on tuloilman lämmityksen tehontarve, kW

$c_{\text{pilma}}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

$\rho_{\text{ilma}}$  on ilman tiheys, kg/m<sup>3</sup>

$q_{\text{vilma}}$  on ilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$t_1$  on ilman lämpötila ennen lämmitystä, °C

$t_2$  on ilman lämpötila lämmityksen jälkeen, °C

Tuloilman lämmitystehontarve lämmöntalteenoton lisäksi on saatu Fläktwoods Acon-valintaohjelman avulla. Koneajosta saadut lämmöntalteenottotiedot ja tarvittava lisälämmitys on esitetty liitteissä 2. Mitoitustieto on vain lämpöpumpulla varustetusta järjestelmästä, koska valintaohjelmassa ei ole mahdollisuutta valita kytkentää, jossa olisi kolme lämmönsiirrintä.

Tarvittavat ulkopuolisella energialla tuotetut lämmitystehontarpeet poikkeavat toisistaan, koska ilman lämpöpumppulaitteistoa toimivassa järjestelmässä Econet-koneen glykolipiiri esilämmitetään ilmaisenergialla ennen LTO-laitetta kalliopiirin nestevirran avulla.

#### 6.4 Mitoituksissa käytettävät lämmitys- ja jäähdytystehot

Kallioreikämitoitusta varten edellä mainittujen lämmitys- ja jäähdytystehojen perusteella suoritettiin simulointi IdaIce-ohjelmalla, johon mallinnettiin koulurakennus. Rakennukseen sijoitettiin jäähdytyspiiriä kuormittavat huonetilat. Näihin tiloihin sijoitettiin tarvittavat tiedot tilojen koosta, ikkunoista, lämpöpattereista, jäähdytyslaitteista sekä tiloihin kohdistuvista muista lämpökuormista. Lämpökuormien osalta huomioitiin myös tilojen käyttöajat. Simuloinnin perusteella saatiin määritettyä tilojen kuukausittaisten lämpö- ja jäähdytystarpeiden keskiarvot, jotka on esitetty taulukossa 7. Simuloinnissa käytettiin rakennusmallin tyyppinä energiamallia, jossa tehdään dynaaminen simulointi käyttäen säätietoina vuoden 1979 Helsingin tietoja.

*Taulukko 7. Saunalahden koulun kuukausittaiset lämmitys- ja jäähdytystarpeet keskiarvoina.*

<b>Kuukausittaiset keskiarvot</b>				
	Paikalliset jäähdyttimet W	Tuloilmakoneen jäähdytys W	Tuloilmakoneen lämmitys W	Patterilämmitys W
Tammikuu	21018	0	17615	5196
Helmikuu	21406	0	19300	4386
Maaliskuu	21162	0	3638	2762
Huhtikuu	22504	0	1556	1462
Toukokuu	23701	2599	259	443
Kesäkuu	24046	2441	11	73
Heinäkuu	23679	710	0	60
Elokuu	24020	1729	0	47
Syyskuu	22573	0	252	494
Lokakuu	21844	0	1670	1858
Marraskuu	21250	0	1433	3030
Joulukuu	20874	0	8247	4373

Kuukausittaisten keskiarvojen lisäksi määritettiin kuukausittaiset lämmityksen ja jäähdytyksen huipputehot, jotka on esitetty taulukossa 8. Huipputehojen simuloinnissa

rakennusmallin tyyppinä käytettiin jaksottaista simulointia ja säätietona synteettistä säätä, jossa ulkolämpötila noudattaa sinikäyrää. Synteettisessä säässä ulkolämpötila vaihtelee yölämpötilan 14 °C ja päivälämpötilan 25 °C välillä.

*Taulukko 8. Saunalahden koulun lämmityksen ja jäähdytyksen huipputehot kuukausittain.*

<b>Kuukausittaiset huipputehot</b>				
	Paikalliset jäähdyttimet W	Tuloilmakoneen jäähdytys W	Tuloilmakoneen lämmitys W	Patterilämmitys W
Tammikuu	36160	0	127300	14400
Helmikuu	41970	0	173574	14868
Maaliskuu	44398	0	98947	12387
Huhtikuu	45751	0	24709	8784
Toukokuu	48087	44714	7289	5840
Kesäkuu	48318	47239	1602	1794
Heinäkuu	48189	34380	0	1546
Elokuu	48751	49355	528	1566
Syyskuu	47458	0	7106	5336
Lokakuu	44766	0	27536	9636
Marraskuu	39003	0	42838	8424
Joulukuu	37584	0	89157	12034

Kallioreikämitoituksissa ei oteta huomioon kesä- ja heinäkuun jäähdytystarpeita, koska koulu ei ole tänä aikana käytössä ja näin ollen ei myöskään ole jäähdytystarvetta.

Tuloksissa on myös syytä huomioida se, että tuloilmakoneen lämmitys sisältää kaikkien tilojen yhteensä tarvitseman lämmitystehon. Tämän vuoksi on laskettava valmistuskeittiön tuloilmakoneen lämmitystehontarve, jotta saadaan selville, kuinka paljon kalliopiirin nesteellä voidaan saada ilmaisenergiaa tuloilman lämmitykseen, kun käsitellään järjestelmää, jossa kalliopiiri on osana tuloilmakonetta.

Lämpöpumpputarkaisussa tuloilma lämmitetään kokonaan ulkopuolisella energialla.

## 7 Saunalahden koulun kalliojäähdytysratkaisu ilman lämpöpumppulaitteistoa

### 7.1 Järjestelmän valinnassa huomioidut tekijät

Saunalahden koulun vaihtoehtoisessa kalliojäähdytysratkaisussa huomioitiin useita eri seikkoja. Selvitystyön ja pohdinnan avulla pyrittiin saavuttamaan mahdollisimman tarkasti mitoitettu ja ennen kaikkea toimiva jäähdytysratkaisu. Erityisen lisähuomion valinnan tekemisessä aiheutti tuloilman lämmitykseen käytettävä kalliopiirin kiertonesteen lämpötilojen mahdollinen vaihtelu. Tämän vuoksi kallioreikien mitoituksessa kalliopiirin kiertonesteen lämpötila on pidetty varsin matalana.

Toimintakaavio Saunalahden koulun kalliojäähdytysratkaisusta ilman lämpöpumppulaitteistoa on esitetty liitteessä 4.

### 7.2 Järjestelmän pääkomponentit

#### 7.2.1 Kalliopiirin kiertopumpun mitoitus

Kalliopiirin kallioreikien mitoituksessa yhden poranreiän virtaamaksi asetettiin 0,7 l/s. Kiertopiirin pumpun PU1 mitoitus on suoritettu siten, että pumpun mitoittava lämpötilaero  $\Delta t$  on 7 °C. Pumpun virtaama lasketaan kaavalla 6

$$q_{vpumppu1} = \frac{\phi}{\Delta t \times c_p} \quad (6)$$

jossa

$q_{vpumppu}$  on pumpun virtausnopeus, m/s

$\phi$  on pumpun teho, kW

$\Delta t$  on mitoittava lämpötilaero °C

$c_p$  on etanolin ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

Pumpun mitoitusvirtaamaksi saadaan 8,4 dm<sup>3</sup>/s.

## 7.2.2 Kallioreikien mitoitus

Kallioreikien mitoituksessa huomioitiin taulukossa 7 esitetty jatkuva jäähdytystarve, sekä taulukossa 8 esitetty jäähdytyksen huipputehontarve. Tämän lisäksi mitoituksessa huomioitiin tuloilmakoneen Econet-glykolipiirin jäähdyttävä vaikutus kalliopiiriin talviaikana. Vaikutus on otettu huomioon laskemalla kuukausittaisen keskilämpötilan ja ilmanvaihtokoneen käyttöajan mukaan tuloilman lämmittämiseen hyödyksi saatava teho. Tuloilman lämmityksessä hyödynnettävä teho madaltaa kalliopiirin kiertonesteen lämpötilaa tilanteessa, jossa kalliopiiriä voidaan käyttää tuloilman lämmittämiseen.

Apuna laskennassa on käytetty Fläktwoods Acon -mitoitusohjelmaa, jonka avulla ratkaistiin kunkin kuukauden keskilämpötilojen avulla Econet-glykolipiirin kiertonesteen lämpötila tuloilmapatterin jälkeen. Tämän lämpötilan ja glykolipiirin virtaaman, sekä kalliopiirin kiertonesteen lämpötilan ja virtaaman avulla voitiin laskea kunkin kuukauden keskimääräinen teho, joka voidaan hyödyntää tuloilman lämmittämiseen ja kalliopiirin kiertonesteen jäähdyttämiseen. Laskentaa varten määritettiin lämmönsiirtimen konduktanssi. Se voidaan laskea kaavalla 7

$$G = \frac{\phi}{\theta_{ln}} \quad (7)$$

jossa

$\phi$  on lämmönsiirtimen teho

$\theta_{ln}$  on logaritminen lämpötilaero

Konduktanssi on laskettu Acon-valintaohjelman antamien glykolilämpötilojen perusteella jäähdytyslämmönsiirtimen tietojen perusteella mitoitusilanteessa. Laskennassa sekä kalliopiirin että glykolipiirin virtaamat pysyvät vakiona, jolloin myöskään konduktanssi ei muutu. Glykolipiirin lämpötila tuloilmapatterin jälkeen saatiin valintaohjelman avulla syöttämällä tuloilman lämpötilaksi kunkin kuukauden keskilämpötila. Kalliopiirin menolämpötilaksi on oletettu mitoituksessa 9 °C. Puuttuvat lämpötilatiedot, glykolipiirin kiertonesteen paluulämpötila esilämmönsiirtimen ja kalliopiirin paluulämpötila on ratkaistu Excel-ohjelman ratkaisin toiminnon avulla. Saadut tulokset on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Esilämmönsiirtimen energiahyödyn laskenta

Kuukausi	Ulkoilma	Glykoli Econet-piiri	Glykoli Econet-piiri	Teho	Käyttö- aika, h	Etanoli Kalliopiiri	Etanoli Kalliopiiri	Energia
	Keskilämpö- tila, °C	Menolämpö- tila, °C	Paluulämpö- tila, °C	kW	(ark 7-18)	Menolämpö- tila, °C	Paluulämpö- tila, °C	kWh
Tammikuu	-8,53	-1,2	6,6	40,2	220	9	2,8	8844
Helmikuu	-9,75	-2,1	6,4	43,8	220	9	2,3	9636
Maaliskuu	-1,68	3,6	7,7	21,3	220	9	5,7	4686
Huhtikuu	1,8	6,0	8,3	11,8	220	9	7,2	2596
Toukokuu	10,8	12,5						
Kesäkuu	16,0							
Heinäkuu	14,7							
Elokuu	16,0							
Syyskuu	9,69	11,7						
Lokakuu	3,95	7,6	8,6	5,5	220	9	8,2	1210
Marraskuu	1,42	5,8	8,3	12,6	220	9	7,1	2772
Joulukuu	-3,85	2,0	7,3	27,6	220	9	4,8	6072

Saatujen energiatietojen perusteella voitiin suorittaa kallioreikien mitoitus Earth Energy Desinger-mitoitusohjelman avulla käyttämällä taulukon 10 lähtötietoja.

Taulukko 10. Kallioreikämitoituksen lähtötiedot.

Kuukausi	Jatkuva jäähdytys kW	Jatkuva lämmitys kW	Kalliopiirin jäähdytys kW	Jäähdytyksen huipputeho kW
Tammikuu	25	40,2	40,2	
Helmikuu	25	43,8	43,8	
Maaliskuu	25	21,3	21,3	45
Huhtikuu	25	11,8	11,8	45
Toukokuu	25			90
Kesäkuu				
Heinäkuu				
Elokuu	25			90
Syyskuu	25			45
Lokakuu	25	5,5	5,5	45
Marraskuu	25	12,6	12,6	
Joulukuu	25	27,6	27,6	

Keittiön ilmanvaihkokoneen glykolipiirillä ei oleteta saatavan jäähdytysteho kalliopiiriin toukokuun ja syyskuun välisenä aikana. Taulukon 10 jatkuva jäähdytys kuvaa jatkuvasti tarvittavaa jäähdytystä. Nämä arvot on saatu IdaIce-ohjelman avulla (ks. taulukko 7). Jatkuva jäähdytys sisältää sekä jäähdyttimet että keittiön kylmiöiden

lauhduttimet. Taulukossa 10 oleva jatkuvan lämmityksen arvo kuvaa keittiön ilmanvaihtokoneen hyödyksi saamaa lämmitystehoa, joka siis jäädyttää kalliopiiriä vastaavalla teholla. Arvot ovat taulukosta 9. Jäähdytyksen huipputeho kuvaa jäähdytyksen tarvitsemaa huipputehoa kussakin tilanteessa. Touko- ja elokuun teho sisältää jäädyttimien, keittiön kylmiöiden lauhduttimien ja keittiön tuloilman jäädytystarpeet. Maalis- ja huhtikuun sekä syys- ja lokakuun teho ei sisällä keittiön tuloilman jäädytystä. Arvot on laskettu IdaIce-ohjelmalla, ja ne on esitetty taulukossa 8.

Kallioreikämitoituksessa mitoitusohjelman avulla saadut tulokset lähtöarvoineen on esitetty taulukossa 11.

*Taulukko 11. Kalliopiirin mitoitus tulokset.*

	Laskentatulokset
Kivilaji	graniitti
Lämmönjohtavuus	3,4 W/Km
Porareivät, reikähalkaisija	12 kpl, 3x4 ryhmä, 127 mm
Reikäväli	20 m
Reikäsyvyys	215,3 m
Kokonaisreikäpituus	2583 m
Nesteen (etanoli) virtaama poranreiässä	0,7 l/s
Kalliopiirin keskim. maksimilämpötila 5. käyttövuosi	11,01
Kalliopiirin keskim. maksimilämpötila 10. käyttövuosi	11,39
Simuloitu jäädytysenergia kalliosta/vuosi	182,4 MWh

Kalliopiirin mitoituksessa kiertonesteen maksimilämpötilaksi asetettiin 15 °C.

Kalliopiirin kylmäaineeksi valittiin etanoli (25 %), jonka alin käyttölämpötila on -15 °C.

Mitoitusohjelman tarkempi laskentatuloste on liitteessä 4.

### 7.2.3 Kalliopiirin säätöventtiileiden mitoitus

Kalliopiirin säätöventtiileiden mitoitusarvot on esitetty taulukossa 12. Mitoitus on tehty säätöventtiilin virtaaman perusteella.

*Taulukko 12. Järjestelmän säätöventtiilit.*

Venttiili	Virtaama, dm <sup>3</sup> /s	Paine-ero, kPa
TV1 (3-tie)	8,4	25
TV2 (2-tie)	1,5	20
TV3 (2-tie)	1,5	20



## **8 Saunalahden koulun kalliojäähdytysratkaisu lämpöpumppua hyödyntäen**

### **8.1 Järjestelmän valinnassa huomioidut tekijät**

Lämpöpumppujärjestelmän toiminnan kannalta merkittävät tekijät oli valittu jo ennen tämän selvityksen tekoa. Lämpöpumppuun perustuvan jäähdytysratkaisun valinnassa on huomioitu lämpöpumpulla tuotetun lämmitysenergian tarve. Lisäksi valinnassa on huomioitu rakennuksen lämmitysjärjestelmän muut lämmönlähteet.

Tässä selvityksessä huomioidaan se, että valmistuskeittiön tuloilman lämmitys tässä järjestelmässä hoidetaan osittain ulkopuolisella energialla. Tästä johtuen järjestelmien energiankulutusvertailuissa on lämpöpumppujärjestelmän energiankulutukseen laskettava lisäksi keittiön tuloilman lämmitykseen tarvittavan ulkopuolisen energian määrä.

Toimintakaavio Saunalahden koulun lämpöpumppulaitteistoa hyödyntävästä kallioeräjäähdytysratkaisusta on esitetty liitteessä 6.

### **8.2 Järjestelmän pääkomponenttien mitoitus**

#### **8.2.1 Lämpöpumppu**

Lämpöpumpulla tuotetaan jatkuvaa peruslämmitystehoa kylmimpänä aikana 135 kW. Lämmitystehoa alennetaan lämmitystarpeen pienentyessä. Jatkuvan lämmitystarpeen arvot on esitetty taulukossa 13. Lämpöpumpun valinta suoritetaan myöhemmin järjestelmän toteutuksen yhteydessä.

Taulukko 13. Kallioreikämitoituksen lähtötiedot.

Kuukausi	Jatkuva jäähdytys kW	Jatkuva lämmitys kW	Huipputeho jäähdytys kW
Tammikuu	25	135	
Helmikuu	25	135	
Maaliskuu	25	90	45
Huhtikuu	25	45	45
Toukokuu	25		90
Kesäkuu			
Heinäkuu			
Elokuu	25		90
Syyskuu	25		45
Lokakuu	25	45	45
Marraskuu	25	90	
Joulukuu	25	135	

### 8.2.2 Kallioreikien mitoitus

Kallioreikien mitoitus suoritettiin Earth Energy Designer -mitoitusohjelman avulla. Ohjelmaan syötetyt lähtöarvot jäähdytys- ja lämmitystarpeiden osalta on esitetty taulukossa 13. Saadut tulokset lähtöarvoineen on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. Kalliopiirin mitoitustulokset.

	Laskentatulokset
Kivilaji	graniitti
Lämmönjohtavuus	3,4 W/Km
Porareivät, reikähalkaisija	15 kpl, 3x5 ryhmä, 127 mm
Reikäväli	15 m
Reikäsyvyys	123,6 m
Kokonaisreikäpituus	1854 m
Nesteen (etanoli) virtaama poranreiässä	0,7 l/s
Kalliopiirin keskim. maksimilämpötila 5. käyttövuosi	11,02
Kalliopiirin keskim. maksimilämpötila 10. käyttövuosi	10,55
Simuloitu jäähdytysenergia kalliosta/vuosi	182,4 MWh

Kalliopiirin kiertonesteen maksimilämpötilaksi asetettiin 17,5 °C, koska kohteessa halutaan käyttää ainoastaan vapaajäähdytystä, silloin kun lämpöpumppu ei ole käytössä. Mikäli kiertonesteen lämpötila on korkeampi, ei voida taata sitä, että riittävä

jäähdytysteho saadaan tuotettua. Kalliopiirin kylmäaineeksi valittiin etanoli (25 %), jonka alin käyttölämpötila on  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Mitoitusohjelman tarkempi laskentatuloste on liitteessä 7.

### 8.2.3 Kalliopiirin kiertopumppujen mitoitus

Kalliopiirin kallioreikien mitoituksessa yhden poranreiän virtaamaksi asetettiin 0,7 l/s. Kiertopiirin pumpun PU1 mitoitus on suoritettu siten, että lämpöpumpun mitoittava lämpötilaero  $\Delta t$  on  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pumpun P1 teho on määritetty siten, että lämpöpumpulla tuotettava lämmitysteho 135 kW saadaan aikaiseksi. Tarvittava sähköteho on 35 kW ja tarvittava lisäteho 100 kW tuotetaan kalliopiirillä. Pumpun P2 tehontarve on jäähdyttimien (20 kW) ja keittiön kylmiöiden lauhduttimien (20 kW) summa. Pumppu P2 käy ainoastaan lämmitystilanteessa, jolloin tuloilmaa ei jäähdytetä. Alimmillaan lämpöpumpulta tulevan nesteen lämpötila on  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Lämmönsiirtimelle ei kuitenkaan voida tuoda nestettä, joka on liian kylmää vaan sen sekaan tuodaan lämmönsiirtimen paluupuolen lämpimämpää nestettä. Alarajana lämmönsiirtimelle tulevalle nesteelle on käytetty nesteen lämpötilaa  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Muiden pumppujen lämpötilaerot ovat laskelmissa liitteen 6 toimintakaavion mukaiset. Pumppujen virtaamat on laskettu kaavalla 6. Saadut tulokset on esitetty taulukossa 15.

*Taulukko 15. Kallioperäjäähdytysjärjestelmän pumppujen mitoitus.*

Pumppu	Teho, kW	Lämpötilaero, $^{\circ}\text{C}$	Virtaama, $\text{dm}^3/\text{s}$
PU1	100	3	10,5
PU2	40	23	0,73 (=0,43+0,3)
PU3	100	7	3,4

### 8.2.4 Kalliopiirin säätöventtiileiden mitoitus

Kalliopiirin säätöventtiileiden mitoitusarvot on esitetty taulukossa 16. Mitoitus on tehty säätöventtiilin virtaaman perusteella.

*Taulukko 16. Järjestelmän säätöventtiilit.*

Venttiili	Virtaama, dm <sup>3</sup> /s	Paine-ero, kPa
TV1.1(2-tie)	10,5	25
TV1.2 (2-tie)	0,74	20
TV2 (2-tie)	0,44	20

## 9 Vertailtavien järjestelmien energiankulutus ja primäärienergiankulutus

Saunalahden koulun vuotuinen energiankulutus ilman lämpöpumppulaitteistoa olevasta järjestelmästä on esitetty taulukossa 17. Laskennassa on huomioitu kunkin laitteen oletetut käyttöajat sekä laitteen teho. Tarkempi laskenta kunkin laitteen energiankulutuksesta ja laitteiden käyttöajoista on esitetty liitteen 7 taulukoissa.

*Taulukko 17. Energiankulutus ilman lämpöpumppua.*

<b>Vuotuinen energiankulutus</b>	MWh
Jäähdytyspumppu PU1	5,1
Tuloilmapuhallin	14,5
Poistoilmapuhallin	13,4
Econet-glykolipiirin pumppu	4,8
Tuloilman lisäenergia kaukolämpö	4,4
<b>Yhteensä</b>	<b>42,2</b>

Taulukossa 18 on esitetty ilman lämpöpumppulaitteistoa olevan järjestelmän hyödyksi saatavat vuotuiset energiamäärät. Lämmitykseen hyödyksi saatava energiamäärä tarkoittaa sitä energiamäärä, joka saadaan käyttämällä kalliopiiriä keittiön tuloilmakoneen glykolipiirin esilämmitykseen. Määrä kuvaa lisäenergiana tulevan kaukolämmön käytön vähentynyttä energiamäärää. Kalliopiirin jäähdytyksen määrä kuvaa energiaa, joka viilentää kalliopiiriä. Jäähdytyksen hyödyksi tulevan energian määrä saadaan kallioperästä käytetyn mitoitusohjelman mukaan.

*Taulukko 18. Hyödyksi saatava energia ilman lämpöpumppua.*

<b>Vuotuinen energia hyödyksi</b>	MWh
Hyödyksi lämmitykseen	6,7
Hyödyksi jäähdytykseen	182,4
Hyödyksi kalliopiirin jäähdytykseen	35,8

Saunalahden koulun vuotuinen energiankulutus lämpöpumppulaitteistoa hyödyntävästä järjestelmästä on esitetty taulukossa 19. Laskennassa on huomioitu kunkin laitteen oletetut käyttöajat sekä laitteen teho. Tarkempi laskenta kunkin laitteen energiankulutuksesta ja laitteiden käyttöajoista on esitetty liitteen 8 taulukoissa.

*Taulukko 19. Energiankulutus lämpöpumppuratkaisussa.*

<b>Vuotuinen energiankulutus</b>	MWh
Lämpöpumppu LP1	145,0
Kiertopumppu PU1	10,0
Jäähdytyspumppu PU2	0,3
Jäähdytyspiirin pumppu PU3	1,7
Tuloilmapuhallin	14,5
Poistoilmapuhallin	13,4
Econet-glykolipiirin pumppu	4,8
Tuloilman lisäenergia lämmitysverkosta	10,0
<b>Yhteensä</b>	<b>203,4</b>

Taulukossa 20 on esitetty lämpöpumppua hyödyntävän ratkaisun lämmityksen ja jäähdytyksen energiahyödyt. Lämmitykseen saatava hyöty kuvaa lämpöpumppulla lattialämmitykseen tuotetun energian määrää ja jäähdytykseen hyödyksi saatava energia kalliopiirin tuottamaa jäähdytyksen energiamäärää.

*Taulukko 20. Hyödyksi saatava energia lämpöpumppuratkaisussa.*

<b>Vuotuinen energiahyödyksi</b>	MWh
Hyödyksi lämmitykseen	489,2
Hyödyksi jäähdytykseen	182,4

Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että vertailuissa vaihtoehtoissa energian kulutuksissa on selkeä ero, kuten on myös hyödyksi saatavissa energiamäärissä lämmitysenergian kohdalla. Lämpöpumppua hyödyntävä järjestelmä kuluttaa selvästi enemmän energiaa, mutta toisaalta sillä saadaan tuotettua selkeästi enemmän lämmityksessä käytettävää energiaa.

Energiankulutuksen lisäksi verrataan primäärienergiankulutuksen eroja. Primäärienergia on laskettu siten, että uusiutuvalla energialla tuotetun energian laskentakertoimena on käytetty 0,25. Käytetty kerroin perustuu Espoon kaupungin laskennassa käyttämiin kertoimiin. Laskennassa on siis kaikessa yksinkertaisuudessaan kerrottu vuotuinen käytetty energiamäärä kertoimella 0,25. Ilman lämpöpumppua toimivan järjestelmän primäärienergiakulutus on esitetty taulukossa 21.

*Taulukko 21. Primäärienergia ilman lämpöpumppua olevassa järjestelmässä.*

Ilman lämpöpumppua	
Primäärienergia/vuosi, MWh	Energiankulutus/vuosi, MWh
11,7	42,2

Primäärienergiankulutus on selvästi suurempaa lämpöpumppua hyödyntävässä järjestelmässä, jonka tiedot on esitetty taulukossa 22.

*Taulukko 22. Primäärienergia lämpöpumppujärjestelmässä.*

Lämpöpumppujärjestelmä	
Primäärienergia/vuosi, MWh	Energiankulutus/vuosi, MWh
54,3	203,4

## 10 Valittujen järjestelmien teknistaloudellinen tarkastelu

### 10.1 Hankintakustannukset

Hankintakustannuksia laskettaessa on järjestelmissä otettu huomioon kustannukset jotka liittyvät kalliojärjestelmiin. Tiloihin tulevia jäähdytys- ja lämmityslaitteita ei ole otettu laskelmissa huomioon. Kaikki taulukoissa esiintyvät hinnat alv 0 %. Hankintakustannukset ilman lämpöpumppua toimivalle jäähdytysratkaisulle on esitetty taulukossa 23.

*Taulukko 23. Hankintakustannukset, kallioeräjäähdytysjärjestelmä ilman lämpöpumppua.*

	Määrä	Kustannus	Yhteensä €
Energiakaivot: poraus, putkitus, kylmäneste	2583 m	28 €/m	72 300
Kalliopiirin runkolinjat: materiaalit, asennus, täyttö	700 m	20 €/m	14 000
Kiertopiirin pumput	1 kpl	1000 €/kpl	1 000
Lämmönsiirrin IV-kone	3 kpl	2000 €/kpl	6 000
IV-kone	1 kpl		25 000
Rakennusapu- ja sähkötyöt			10 000
Ohjaus- ja säätöautomaatiikka			5 000
Laitetilalaajennus			15 000
Muut kulut 15 %			22 300
<b>Yhteensä</b>			<b>170 600</b>

Hankintakustannukset lämpöpumppua hyödyntävästä jäähdytysratkaisusta on esitetty taulukossa 24.

*Taulukko 24. Hankintakustannukset, lämpöpumppua hyödyntävä järjestelmä.*

	Määrä	Kustannus	Yhteensä €
Energiakaivot: poraus, putkitus, kylmäneste	1872 m	28 €/m	53 000
Kalliopiirin runkolinjat: materiaalit, asennus, täyttö	500 m	20 €/m	10 000
Kiertopiirin pumput	3 kpl	1000 €/kpl	3 000
Vapaan jäähdytyksen lämmönvaihdin	1 kpl		3 000
Lämpöpumppu			95 000
Lämmönsiirrin IV-kone	2 kpl	2000 €/kpl	4 000
IV-kone	1 kpl		25 000
Rakennusapu- ja sähkötyöt			10 000
Ohjaus- ja säätöautomaatiikka			5 000
Laitetilalaajennus			30 000
Muut kulut 15 %			31 200
<b>Yhteensä</b>			<b>239 200</b>



## 10.2 Elinkaarikustannukset

Elinkaarilaskenta on suoritettu nykyarvomenetelmällä, jossa elinkaarikustannukset voidaan laskea kaavalla 8 (18):

$$LCC_{TOT} = \text{Investointi} + \text{energiakustannusten nykyarvo} + \text{huoltokustannusten nykyarvo} + \text{jäännösarvokustannusten nykyarvo} \quad (8)$$

Kaavassa energiakustannusten nykyarvo lasketaan kaavalla 9 (18):

$$\text{energiakust.nykyarvo} = Q \times q \times \left( \frac{1}{i - p} \right) \times \frac{[1 + (i - p)]^n - 1}{[1 + (i - p)]^n} \quad (9)$$

jossa

$Q$  on vuotuinen energiankulutus, MWh/vuosi

$q$  on nykyinen energiahinta, €/MWh

$p$  on odotettavissa oleva energian reaali-hinnan nousu, %/100

$i$  on reaali-korkokanta, %/100

$n$  on laskentajakson pituus, vuosi

Laskelmassa huoltokustannukset on arvioitu vuosittain samoiksi, joten niiden nykyarvo voidaan laskea myös kaavalla 9, jossa kertoimet  $Q$  ja  $q$  on korvattu vuotuisella huoltokustannuksella. Laskelmassa jäännösarvokustannusten arvoa ei ole otettu huomioon. Elinkaarikustannusten laskentajaksoksi on asetettu 30 vuotta, nykyinen energianhinta 47,83 €/MWh. Reaali-korkokantaa ja odotettavissa olevaa energian hinnan nousua ei laskelmissa tilaajan pyynnöstä ole otettu huomioon. Huoltokustannuksiksi on arvioitu ilman lämpöpumppua olevalle järjestelmälle 400 €/vuosi ja lämpöpumppujärjestelmässä 600 €/vuosi. Kaikki hinnat alv 0 %. Saadut tulokset on esitetty taulukossa 25.

*Taulukko 25. Vertailtujen järjestelmien elinkaarikustannukset.*

<b>Kallioperäjähdytys ilman lämpöpumppulaitteistoa</b>	€	<b>Kallioperäjähdytys lämpöpumppulaitteistoa hyödyntäen</b>	€
Investointi	170 600	Investointi	239 200
Energiakustannukset 30 v.	61 000	Energiakustannukset 30 v.	292 000
Huoltokustannukset 30 v.	12 000	Huoltokustannukset 30 v.	18 000
Jäännösarvokustannukset	0	Jäännösarvokustannukset	0
<b>Yhteensä</b>	<b>243 600</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>549 200</b>

Taulukon 25 tuloksista on syytä huomioida se, että energia- ja huoltokustannukset on laskettu ilman odotettuja hinnannousuja. Saadut tulokset ovat suuntaa antavia, mutta niiden perusteella selviää kuitenkin se, että lämpöpumpulla varustettu järjestelmä on elinkaarikustannuksiltaan selvästi korkeampi.

## 11 Johtopäätökset

Taulukossa 26 on esitetty vertailun tulokset. Vertailuissa vaihtoehtoisissa vuosittainen tuotettu jäähditysenergia on sama. Järjestelmien investointikustannuksista lämpöpumpulla toimiva järjestelmä on jonkin verran kalliimpi. Ero johtuu lämpöpumpun hinnasta, joka muodostaa merkittävän osan investointikustannuksista. Huomioitavaa on kuitenkin se, että kallioreikien määrä ja porattavan reikäpituuden määrä on lämpöpumppujärjestelmässä pienempi, mikä pienentää hintaeroa.

*Taulukko 26. Vertailtujen järjestelmien tulokset.*

	Kalliojäähdytysjärjestelmä ilman lämpöpumppua	Kalliojäähdytysjärjestelmä lämpöpumppua hyödyntäen
Primäärienergiankulutus, MWh/vuosi	11,7	54,3
Energiankulutus, MWh/vuosi	42,2	203,4
Jäähditysenergia, MWh/vuosi	182,4	182,4
Lämmitysenergia, MWh/vuosi	35,8	489,2
Investointikustannus, €	171 000	239 000
Elinkaarikustannus, €	222 000	438 000
Lämmityksen lisäenergia €/vuosi	15 900	0
Kokonaisvaikutus €/30 vuotta	870 000	677 000

Energiakulutuksien osalta erot vertailtujen järjestelmien välillä ovat selkeät. Ilman lämpöpumppua toimivan järjestelmän energiankulutus, ja tämän vuoksi myös primäärienergiankulutus on merkittävästi pienempi kuin verratussa lämpöpumpulla varustetussa järjestelmässä. Ero johtuu pääosin lämpöpumpun tarvitsemasta sähköenergiasta. Lämpöpumpulla voidaan toisaalta tuottaa huomattavasti suurempi määrä lämmitysenergiaa rakennuksen lämmitykseen. Jos havainnollistetaan tätä seikkaa taloudellisesti, voidaan laskea lämmitysenergiasta saatava hyöty. Jos oletetaan, että ilman lämpöpumppua toimivassa järjestelmässä puuttuva lämmitysenergia 453,4 MWh, ostetaan kaukolämpönä, saadaan vuotuisesti ostokaukolämmön hinnaksi 15 900 euroa. Tässä tapauksessa kaukolämmön hintana on käytetty 35 €/MWh. Tästä seuraa siis lähes 476 000 euron lisälasku 30 vuodessa, kun hinnan nousuja ei huomioida. Tämä lasku on otettava huomioon vertailussa, joten kokonaisvaikutuksiltaan

lämpöpumpulla toimiva järjestelmä muodostuu selvästi paremmaksi vaihtoehdoksi, mikäli lämmitysenergioiden välinen erotus tuotetaan kaukolämmöllä.

Taulukon 26 tuloksissa on huomioitava, että järjestelmään kuuluvan keittiön ilmanvaihtokoneen käyttöaikana kone kävisi täydellä teholla. Vertailun vuoksi laskettiin myös käytetyt ja hyödyksi saadut energia siten, että koneen oletetaan käyvän puolella teholla kaksi ensimmäistä ja kaksi viimeistä vuorokautista käyttötuntia. Samalla myös oletettiin, että jäähdystarvetta olisi kaksi tuntia vähemmän vuorokaudessa.

Vähentynyt käyttöaika pienentää energiankulutusta molemmissa järjestelmissä.

Lasketut tulokset osoittavat, että ilman lämpöpumppua toimivan järjestelmän lämmitykseen hyödyksi tuottama energia vähenee, kun taas lämpöpumpulla toimivalla järjestelmällä pystytään tässäkin tapauksessa lämpöenergiaa kuten suuremallakin käyttöajalla. Lasketut tulokset on esitetty liitteessä 9. Koska tuloilman lämmitystarve vähenee ilman lämpöpumppua toimivassa järjestelmässä, samalla myös kalliopiirin jäähditys vähenee. Tämä puolestaan vaikuttaa kalliopiirin käyttöikäen. Kalliopiirin jäähditys vähenee, ja tämän vuoksi kalliopiiri lämpenee nopeammin. Muuttunut käyttöaika tosin vertailussa kompensoituu siinä, että myös jäähdystarve pienenee vähentyneen käyttöajan mukana. Näin ollen aiemmin mitoitettu kalliopiiri riittää myös tässä tapauksessa jäähdyttämiseen. Mikäli jäähdityksen käyttöaika olisi pidempi ja tuloilmakone kävisi edellä mainitun ajan puolitetulla ilmavirralla, tilanne muuttuu. Jos kalliopiiri mitoitetaan näillä arvoilla havaitaan se, että kallioreikäpituus kasvaa, mikäli mitoituksen arvot muutoin säilyvät samana. Tästä voidaan todeta se, että kalliopiiriä mitoittaessa on erittäin tärkeää, että jäähdytystä palvelevien laitteiden käyttöajat ovat mahdollisimman tarkoin tiedossa, varsinkin jos järjestelmässä ei käytetä lämpöpumppua.

Työn tuloksena saatiin kehiteltyä ilman lämpöpumppua toimiva järjestelmä, jonka avulla voidaan tuottaa lämpöenergiaa tuloilmakoneen lämmöntalteenoton glykolipiiriin. Kalliopiirin liittäminen glykolipiiriin on mahdollista ilman että lämmöntalteenoton hyötysuhde heikkenee (19). Näin kehiteltyä järjestelmää voidaan käyttää jäähdityksen lisäksi myös lämmitykseen.

Kokonaisuudessa työn tuloksena voidaan todeta, että tutkituista ratkaisuista lämpöpumpulla varustettu järjestelmä osoittautuu paremmaksi ratkaisuksi tilanteessa, jossa kalliopiiriä halutaan käyttää sekä jäähdytykseen että lämmitykseen.

Lämpöpumpulla varustettu järjestelmä alkuinvestoinniltaan hieman kalliimpi, mutta sen avulla voidaan tuottaa selvästi enemmän lämmitysenergiaa, joka on tuotettava ilman lämpöpumppua toimivassa järjestelmässä muulla tavoin. Lisäksi lämpöpumpulla varustettu järjestelmä on toiminnaltaan vakaampi kuin ilman lämpöpumppua toimiva järjestelmä.

## Lähteet

- 1 Toimintasuunnitelma energiankäytön tehostamiseksi. Espoon kaupunki, talotuotanto.
- 2 Maaperä lämmönlähteenä. (WWW-dokumentti.) Suomen lämpöpumppuyhdistys Ry. <[http://www.sulpu.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=20&Itemid=77#maaper%C3%A4](http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=77#maaper%C3%A4)>. Luettu 14.3.2009.
- 3 Aittomäki Antero, Haapalainen Heimo, Kianta Jani, Simppala Matti. Pientalolämpöpumppujen toiminta käyttökohteissa. (WWW-dokumentti.) Tampereen teknillinen korkeakoulu. <<http://www.tut.fi/units/me/ener/julkaisut/LP-Rap.pdf>>. Luettu 14.3.2009.
- 4 Aittomäki Antero. Lämpöpumppulämmitys. (WWW-dokumentti.) Tampereen teknillinen korkeakoulu. <<http://www.tut.fi/units/me/ener/julkaisut/LP-opas.PDF>>. Luettu 14.3.2009.
- 5 Yleistä lämpöpumpuista. (WWW-dokumentti.) Suomen lämpöpumppuyhdistys Ry. <[http://www.sulpu.fi/images/stories/pdf/files/yleista\\_lampopumpuista.pdf](http://www.sulpu.fi/images/stories/pdf/files/yleista_lampopumpuista.pdf)>. Luettu 14.3.2009.
- 6 Maa- ja kalliolämpö -uusiutuvaa energiaa. (WWW-dokumentti.) Geologian tutkimuskeskus. <<http://www.gtk.fi/Media/painotuotteet/esitteet/MessuEsite.pdf>>. Luettu 16.3.2009.
- 7 Hakala Pertti, Kaappola Esko. Kylmälaitoksen suunnittelu. Gummerus kirjapaino Oy, 2005.
- 8 Ritola Jouko. Kalliotilojen energiatalous ja lämmön varastointi kallioon. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). Tiedotteita 216. Espoo: VTT Offsetpaino, 1983.
- 9 Blomqvist R., Breilin O., Engström J., Kallio J., Tiensuu K., Valpola S. Maa- ja kalliolämmön mahdollisuuksista. (WWW-dokumentti.) Geologian tutkimuskeskus. <[http://www.greenetfinland.fi/attachment/ee246cbb04c1da363116122aebb56633/6102aea89d3e8802516f40cc9127fdef/KALLIO\\_Kalliolampo\\_kokkola\\_tulevaisuuden\\_mahdollisuus.pdf](http://www.greenetfinland.fi/attachment/ee246cbb04c1da363116122aebb56633/6102aea89d3e8802516f40cc9127fdef/KALLIO_Kalliolampo_kokkola_tulevaisuuden_mahdollisuus.pdf)>. Luettu 14.3.2009.
- 10 Alanen Raili, Hukari Sirpa, Koljonen Tiina, Saari Pekka. Energian varstoinnin nykytila. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). Tiedotteita 2199. Espoo 2003. (WWW-dokumentti.) <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf>>. Luettu 16.3.2009.
- 11 Kauppa- ja teollisuusministeriön suositukset julkisten hankintojen energiatahokkuudesta. (WWW-dokumentti.) Kauppa- ja teollisuusministeriö. <<http://www.tem.fi/files/18311/suosituksset.pdf>>. Luettu 21.3.2009.

- 12 Hyviä tuloksia kallioenergiaan perustuvalla jäähdytyksellä. (WWW-dokumentti) Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT).  
<[http://www.vtt.fi/uutta/2009/130109\\_kallioenergia.jsp](http://www.vtt.fi/uutta/2009/130109_kallioenergia.jsp)>. Päivätty 13.1.2009.  
Luettu 20.3.2009.
- 13 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö, 2007.
- 14 Jalonen Olli. Jäähdytystehontarpeen käsinlaskentaesimerkki. Ilmastointiteknikka 2. Luentomoniste. EVTEK-ammattikorkeakoulu, 2008.
- 15 Sisäilmastoluokitus 2000. Rakennustietosäätiö ja LVI-Keskusliitto. Espoo 2001.
- 16 Seppänen, Olli (toim.). Ilmastoinnin suunnittelu, s. 93. Suomen LVI-liitto. Forssan kirjapaino Oy, 2004.
- 17 Econet energijärjestelmä. Ilmankäsittelykoneet, suunnittelu, mitoitus. Fläktwoods Oy.
- 18 Talotekniikan elinkaaritarkastelut. Talotekniikan käsikirja 1, s. 57–60. (WWW-dokumentti.) Suomen Talotekniikan Kehityskeskus Oy  
<<http://www.esprojects.net/attachment/f884d384a217c98c4bfa49875a2f02d9/88af69eb6ff6debf97ae734c8f184143/Talotekniikan+elinkaaritarkastelut.pdf>>. Luettu 10.4.2009.
- 19 Kanerva, Tapio. Tuotepäällikkö. Fläktwoods Oy. Puhelinkeskustelu 25.3.2009.

IdaIce-ohjelman simulointia varten syötetyt tiedot.

Rakennuksen muoto

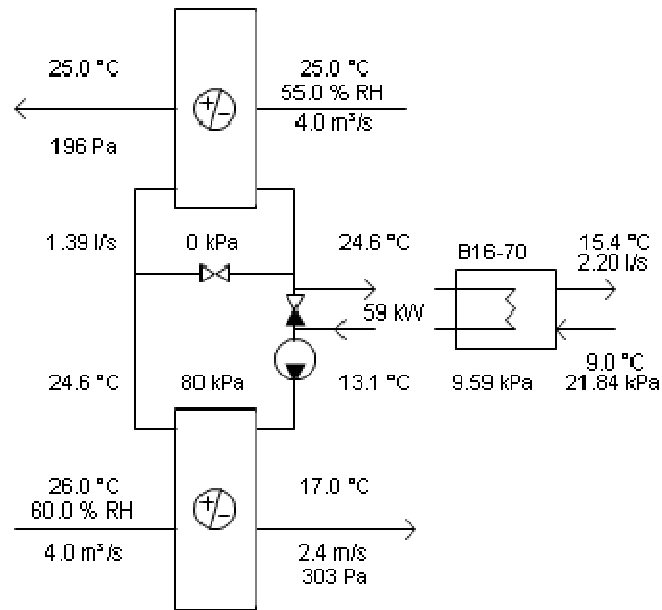
Ilmansuuntatieto

Vyöhyketiedot

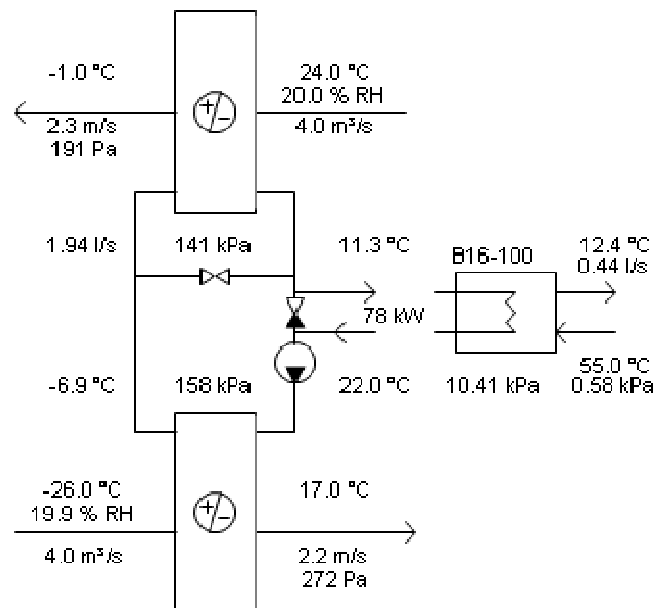
- huonekorkeus
- tiedot ympäröivistä pinnoista (lattia, katto, seinät)
- tilan ilmanjakotapa
- ikkunatiedot
- ikkunoitten sisäpuolinen suojaus
- tilojen henkilömäärä ja oleskeluaika
- tilojen valaisimien tiedot ja käyttöaika
- tilojen laitekuormat ja käyttöaika
- tilojen kalustetiedot



Econet kaavio - Kesä



Econet kaavio - Talvi



**Lämmönsiirtojärjestelmä ECONET**

Putkikoko	32
Mitoittava painehäviö	272 Pa
Otsapintanopeus	2.2 m/s
Teho	207.6 kW
Ilman lämpötila	-26.0 / 17.0 °C
Suhteellinen kosteus	19.9 / 0.6 %
Nesteen lämpötila	22.0 / -6.9 °C
Nestepuolen painehäviö	158 kPa

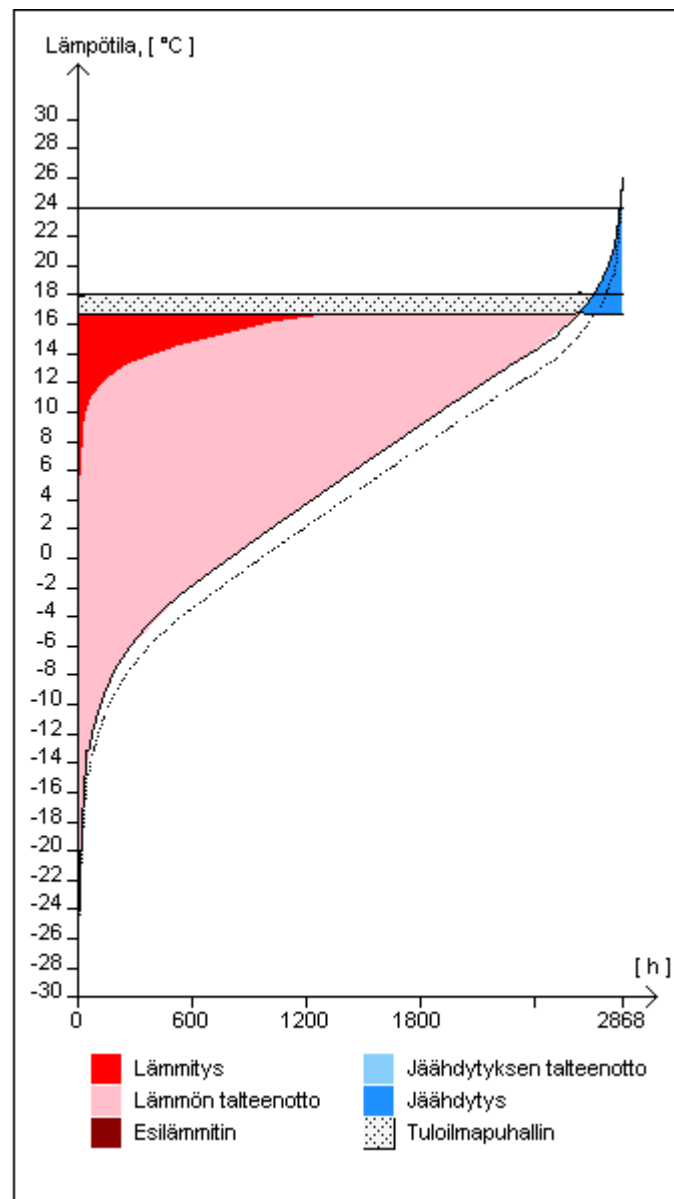
**Lisäenergia**

Teho lisälämpö/jäähdytys	77.6 kW
Nestevirta	1.9 l/s
Nesteen lämpötila	22.0 / 24.6 °C

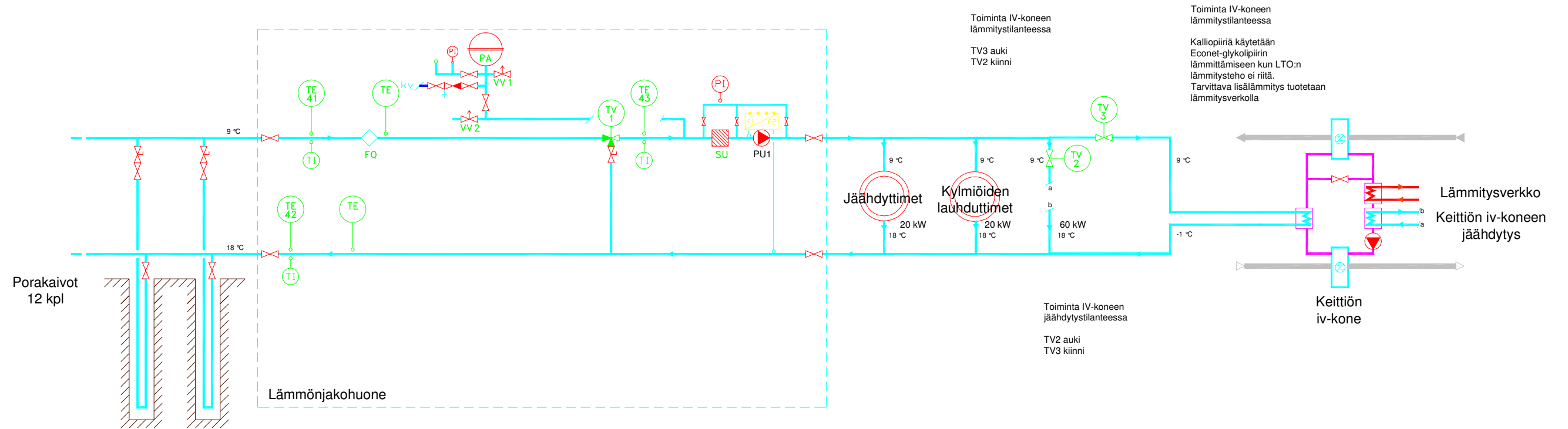
**ECONET pumppuryhmä****Lämmönsiirrinpaketti****Lämmönsiirtojärjestelmä ECONET**

Putkikoko	32
Mitoittava painehäviö	191 Pa
Otsapintanopeus	2.3 m/s
Teho	130.1 kW
Ilman lämpötila	24.0 / -1.0 °C
Suhteellinen kosteus	20.0 / 85.3 %
Nesteen lämpötila	-6.9 / 11.3 °C
Nestepuolen painehäviö	141 kPa

## Energiäkäyrästä



Lämmön talteenotto		
Lämmön talteenotto	146154	kWh
Jäähdytyksen talteenotto	0	kWh
Lämpötilan nousu tulopuhaltimessa	16754	kWh
Energian kulutus		
Lämmitys	13726	kWh
Jäähdytys	3985	kWh
Tuloilmapuhallin	18328	kWh
Poistoilmapuhallin	16449	kWh





Filling thermal conductivity      0.600 W/(m·K)  
 Contact resistance pipe/filling    0.0000 (m·K)/W

**THERMAL RESISTANCES**

Borehole thermal resistances are calculated.  
 Number of multipoles                10  
 Internal heat transfer between upward and downward channel(s) is considered.

**HEAT CARRIER FLUID**

Thermal conductivity                0.4400 W/(m·K)  
 Specific heat capacity                4250.000 J/(Kg·K)  
 Density                                 960.000 Kg/m<sup>3</sup>  
 Viscosity                                0.007600 Kg/(m·s)  
 Freezing point                         -15.0 °C  
 Flow rate per borehole                0.700 l/s

**BASE LOAD**

Monthly energy values [MWh]

Month	Heat load	Cool load	Ground load
JAN	8.84	18.60	-9.756
FEB	9.64	16.80	-7.164
MAR	4.69	18.60	-13.914
APR	2.60	18.00	-15.404
MAY	0.00	18.60	-18.600
JUN	0.00	0.00	0.000
JUL	0.00	0.00	0.000
AUG	0.00	18.60	-18.600
SEP	0.00	18.00	-18.000
OCT	1.21	18.60	-17.390
NOV	2.77	18.00	-15.228
DEC	6.07	18.60	-12.528
	-----	-----	-----
Total	35.82	182.40	-146.586

**PEAK LOAD**

Monthly peak powers [kW]

Month	Peak heat	Duration	Peak cool	Duration [h]
JAN	0.00	0.0	0.00	0.0
FEB	0.00	0.0	0.00	0.0
MAR	0.00	0.0	45.00	2.0
APR	0.00	0.0	45.00	2.0
MAY	0.00	0.0	90.00	6.0
JUN	0.00	0.0	0.00	0.0
JUL	0.00	0.0	0.00	0.0
AUG	0.00	0.0	90.00	6.0
SEP	0.00	0.0	45.00	2.0
OCT	0.00	0.0	45.00	2.0
NOV	0.00	0.0	0.00	0.0
DEC	0.00	0.0	0.00	0.0

Number of simulation years            50  
 First month of operation              JAN

CALCULATED VALUES

=====

Total borehole length                      2582.88 m

THERMAL RESISTANCES

R1: Borehole therm. res. internal            0.5194 (m·K)/W

    Reynolds number                            3180

R2: Thermal resistance fluid/pipe            0.0119 (m·K)/W

R3: Thermal resistance pipe material        0.0463 (m·K)/W

R4: Contact resistance pipe/filling          0.0000 (m·K)/W

R5: Borehole therm. res. fluid/ground      0.1106 (m·K)/W

    Effective borehole thermal res.         0.1142 (m·K)/W

SPECIFIC HEAT EXTRACTION RATE [W/m]

Month	Base load	Peak heat	Peak cool
JAN	-5.17	0.00	-0.00
FEB	-3.80	0.00	-0.00
MAR	-7.38	0.00	-17.42
APR	-8.17	0.00	-17.42
MAY	-9.86	0.00	-34.85
JUN	0.00	0.00	-0.00
JUL	0.00	0.00	-0.00
AUG	-9.86	0.00	-34.85
SEP	-9.55	0.00	-17.42
OCT	-9.22	0.00	-17.42
NOV	-8.08	0.00	-0.00
DEC	-6.64	0.00	-0.00

BASE LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]

Year	1	2	5	10	50
JAN	8.70	9.16	9.61	10.13	11.62
FEB	8.38	8.74	9.18	9.70	11.19
MAR	9.46	9.76	10.20	10.71	12.20
APR	9.77	10.04	10.47	10.98	12.46
MAY	10.34	10.59	11.01	11.52	12.99
JUN	7.52	7.75	8.17	8.67	10.14
JUL	7.42	7.63	8.06	8.56	10.02
AUG	10.26	10.47	10.89	11.38	12.84
SEP	10.30	10.49	10.90	11.39	12.84
OCT	10.28	10.46	10.86	11.35	12.80
NOV	9.90	10.16	10.57	11.05	12.49
DEC	9.59	9.76	10.17	10.65	12.08

BASE LOAD: YEAR 50

Minimum mean fluid temperature            10.02 °C at end of JUL

Maximum mean fluid temperature            12.99 °C at end of MAY

PEAK HEAT LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]

Year	1	2	5	10	50
JAN	8.70	9.16	9.61	10.13	11.62
FEB	8.38	8.74	9.18	9.70	11.19
MAR	9.46	9.76	10.20	10.71	12.20
APR	9.77	10.04	10.47	10.98	12.46
MAY	10.34	10.59	11.01	11.52	12.99
JUN	7.52	7.75	8.17	8.67	10.14
JUL	7.42	7.63	8.06	8.56	10.02
AUG	10.26	10.47	10.89	11.38	12.84
SEP	10.30	10.49	10.90	11.39	12.84
OCT	10.28	10.46	10.86	11.35	12.80
NOV	9.99	10.16	10.57	11.05	12.49
DEC	9.59	9.76	10.17	10.65	12.08

PEAK HEAT LOAD: YEAR 50

Minimum mean fluid temperature 10.02 °C at end of JUL  
 Maximum mean fluid temperature 12.99 °C at end of MAY

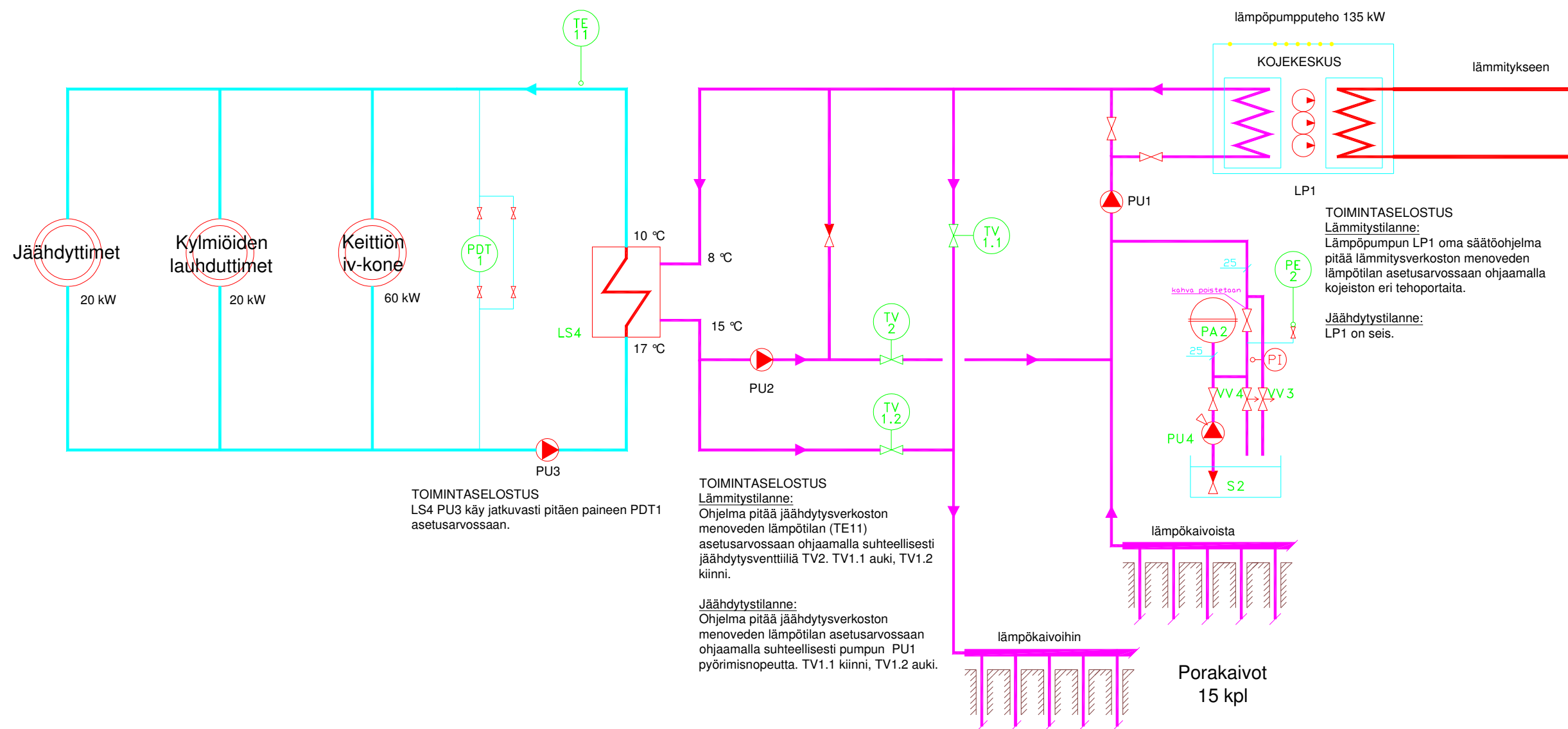
PEAK COOL LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]

Year	1	2	5	10	50
JAN	8.70	9.16	9.61	10.13	11.62
FEB	8.38	8.74	9.18	9.70	11.19
MAR	11.02	11.32	11.76	12.27	13.75
APR	11.21	11.48	11.91	12.41	13.89
MAY	14.85	15.10	15.52	16.03	17.50
JUN	7.52	7.75	8.17	8.67	10.14
JUL	7.42	7.63	8.06	8.56	10.02
AUG	14.77	14.98	15.40	15.89	17.35
SEP	11.52	11.71	12.12	12.61	14.06
OCT	11.55	11.73	12.13	12.62	14.07
NOV	9.99	10.16	10.57	11.05	12.49
DEC	9.59	9.76	10.17	10.65	12.08

PEAK COOL LOAD: YEAR 50

Minimum mean fluid temperature 10.02 °C at end of JUL  
 Maximum mean fluid temperature 17.50 °C at end of MAY





EED Version 3.12, license for JOHANNES HELANDER, KONTERMO OY

## MEMORY NOTES FOR PROJECT

□

## QUICK FACTS

Cost	-
Number of boreholes	15
Borehole depth	123.60 m
Total borehole length	1854.04 m

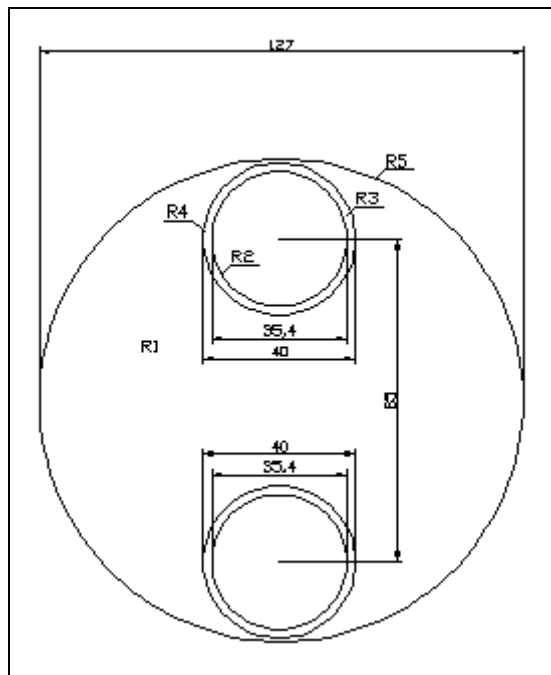
## DESIGN DATA

=====

## GROUND

Ground thermal conductivity	3.400 W/(m·K)
Ground heat capacity	2.400 MJ/(m <sup>3</sup> ·K)
Ground surface temperature	5.60 °C
Geothermal heat flux	0.0500 W/m <sup>2</sup>

## BOREHOLE



Configuration:	284 ("15 : 3 x 5, rectangle")
Borehole depth	123.60 m
Borehole spacing	15.00 m
Borehole installation	SINGLE-U
Borehole diameter	127.00 mm
U-pipe diameter	40.000 mm
U-pipe thickness	2.300 mm
U-pipe thermal conductivity	0.420 W/(m·K)
U-pipe shank spacing	85.000 m

Filling thermal conductivity      0.600 W/(m·K)  
 Contact resistance pipe/filling    0.0000 (m·K)/W

**THERMAL RESISTANCES**

Borehole thermal resistances are calculated.  
 Number of multipoles                10  
 Internal heat transfer between upward and downward channel(s) is considered.

**HEAT CARRIER FLUID**

Thermal conductivity                0.4400 W/(m·K)  
 Specific heat capacity                4250.000 J/(Kg·K)  
 Density                                 960.000 Kg/m<sup>3</sup>  
 Viscosity                                0.007600 Kg/(m·s)  
 Freezing point                         -15.0 °C  
 Flow rate per borehole                0.700 l/s

**BASE LOAD**

Monthly energy values [MWh]

Month	Heat load	Cool load	Ground load
JAN	100.44	18.60	42.160
FEB	90.72	16.80	38.080
MAR	66.96	18.60	19.840
APR	32.40	18.00	-2.400
MAY	0.00	18.60	-24.800
JUN	0.00	0.00	0.000
JUL	0.00	0.00	0.000
AUG	0.00	18.60	-24.800
SEP	0.00	18.00	-24.000
OCT	33.48	18.60	-2.480
NOV	64.80	18.00	19.200
DEC	100.44	18.60	42.160
	-----	-----	-----
Total	489.24	182.40	82.960

**PEAK LOAD**

Monthly peak powers [kW]

Month	Peak heat	Duration	Peak cool	Duration [h]
JAN	0.00	0.0	0.00	0.0
FEB	0.00	0.0	0.00	0.0
MAR	0.00	0.0	45.00	2.0
APR	0.00	0.0	45.00	2.0
MAY	0.00	0.0	90.00	6.0
JUN	0.00	0.0	0.00	0.0
JUL	0.00	0.0	0.00	0.0
AUG	0.00	0.0	90.00	6.0
SEP	0.00	0.0	45.00	2.0
OCT	0.00	0.0	45.00	2.0
NOV	0.00	0.0	0.00	0.0
DEC	0.00	0.0	0.00	0.0

Number of simulation years            50  
 First month of operation              JAN

CALCULATED VALUES

Total borehole length                      1854.04 m

THERMAL RESISTANCES

R1: Borehole therm. res. internal            0.5144 (m·K)/W  
 Reynolds number                              3180  
 R2: Thermal resistance fluid/pipe          0.0119 (m·K)/W  
 R3: Thermal resistance pipe material      0.0463 (m·K)/W  
 R4: Contact resistance pipe/filling        0.0000 (m·K)/W  
 R5: Borehole therm. res. fluid/ground    0.1074 (m·K)/W  
 Effective borehole thermal res.          0.1086 (m·K)/W

SPECIFIC HEAT EXTRACTION RATE [W/m]

Month	Base load	Peak heat	Peak cool
JAN	31.15	0.00	-0.00
FEB	28.14	0.00	-0.00
MAR	14.66	0.00	-32.36
APR	-1.77	0.00	-32.36
MAY	-18.32	0.00	-64.72
JUN	0.00	0.00	-0.00
JUL	0.00	0.00	-0.00
AUG	-18.32	0.00	-64.72
SEP	-17.73	0.00	-32.36
OCT	-1.83	0.00	-32.36
NOV	14.19	0.00	-0.00
DEC	31.15	0.00	-0.00

BASE LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]

Year	1	2	5	10	50
JAN	-2.45	-3.14	-3.64	-4.15	-5.29
FEB	-2.09	-2.53	-3.02	-3.52	-4.65
MAR	1.53	1.17	0.69	0.20	-0.92
APR	6.27	6.00	5.51	5.01	3.90
MAY	11.28	11.10	10.58	10.09	8.99
JUN	6.42	6.28	5.75	5.28	4.17
JUL	6.39	6.21	5.72	5.25	4.15
AUG	11.66	11.42	10.95	10.48	9.38
SEP	11.76	11.47	11.02	10.55	9.45
OCT	7.28	7.02	6.58	6.11	5.02
NOV	2.49	2.26	1.83	1.36	0.27
DEC	-2.71	-2.92	-3.35	-3.82	-4.90

BASE LOAD: YEAR 50

Minimum mean fluid temperature            -5.29 °C at end of JAN  
 Maximum mean fluid temperature            9.45 °C at end of SEP

**PEAK HEAT LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]**

Year	1	2	5	10	50
JAN	-2.45	-3.14	-3.64	-4.15	-5.29
FEB	-2.09	-2.53	-3.02	-3.52	-4.65
MAR	1.53	1.17	0.69	0.20	-0.92
APR	6.27	6.00	5.51	5.01	3.90
MAY	11.28	11.10	10.58	10.09	8.99
JUN	6.42	6.28	5.75	5.28	4.17
JUL	6.39	6.21	5.72	5.25	4.15
AUG	11.66	11.42	10.95	10.48	9.38
SEP	11.76	11.47	11.02	10.55	9.45
OCT	7.28	7.02	6.58	6.11	5.02
NOV	2.49	2.26	1.83	1.36	0.27
DEC	-2.71	-2.92	-3.35	-3.82	-4.90

**PEAK HEAT LOAD: YEAR 50**

Minimum mean fluid temperature -5.29 °C at end of JAN  
 Maximum mean fluid temperature 9.45 °C at end of SEP

**PEAK COOL LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]**

Year	1	2	5	10	50
JAN	-2.45	-3.14	-3.64	-4.15	-5.29
FEB	-2.09	-2.53	-3.02	-3.52	-4.65
MAR	8.55	8.19	7.71	7.21	6.10
APR	10.84	10.57	10.08	9.58	8.47
MAY	19.40	19.22	18.70	18.21	17.11
JUN	6.42	6.28	5.75	5.28	4.17
JUL	6.39	6.21	5.72	5.25	4.15
AUG	19.78	19.54	19.07	18.60	17.50
SEP	13.94	13.66	13.20	12.73	11.64
OCT	11.83	11.58	11.14	10.67	9.58
NOV	2.49	2.26	1.83	1.36	0.27
DEC	-2.71	-2.92	-3.35	-3.82	-4.90

**PEAK COOL LOAD: YEAR 50**

Minimum mean fluid temperature -5.29 °C at end of JAN  
 Maximum mean fluid temperature 17.50 °C at end of AUG

Jäähdytyspumppu PU1						
Jäähdytystilanne + iv käytössä						
	Käyttöaika (klo 8–16, 5 pv/viikko)	Teho, kW	1/2 teho, kW	iv+yö, h	Energia, kWh	MWh
Tammikuu	160	1,05	0,2625	584	321,3	0,3213
Helmikuu	160	1,05	0,2625	512	302,4	0,3024
Maaliskuu	160	1,05	0,2625	584	321,3	0,3213
Huhtikuu	160	1,05	0,2625	560	315	0,315
Toukokuu	160	1,05	0,2625	584	321,3	0,3213
Kesäkuu						
Heinäkuu						
Elokuu	160	1,05	0,2625	584	321,3	0,3213
Syyskuu	160	1,05	0,2625	560	315	0,315
Lokakuu	160	1,05	0,2625	584	321,3	0,3213
Marraskuu	160	1,05	0,2625	560	315	0,315
Joulukuu	160	1,05	0,2625	584	321,3	0,3213
Yhteensä	1600					3,1752

Econet-glykolipiirin pumppu				
Kuukausi	Käyttöaika, h	Teho, kW	Energia, kWh	Energia, MWh
Tammikuu	220	2,2	484	0,484
Helmikuu	220	2,2	484	0,484
Maaliskuu	220	2,2	484	0,484
Huhtikuu	220	2,2	484	0,484
Toukokuu	220	2,2	484	0,484
Kesäkuu				
Heinäkuu				
Elokuu	220	2,2	484	0,484
Syyskuu	220	2,2	484	0,484
Lokakuu	220	2,2	484	0,484
Marraskuu	220	2,2	484	0,484
Joulukuu	220	2,2	484	0,484
Yhteensä	2200			4,84

**Liite 7: Ilman lämpöpumppulaitteistoa olevan järjestelmän vuotuinen energiankulutus (2/3)**

Tuloilmapuhallin				
Kuukausi	Käyttöaika, h	Teho, kW	Energia, kWh	Energia, MWh
Tammikuu	220	6,6	1452	1,452
Helmikuu	220	6,6	1452	1,452
Maaliskuu	220	6,6	1452	1,452
Huhtikuu	220	6,6	1452	1,452
Toukokuu	220	6,6	1452	1,452
Kesäkuu				
Heinäkuu				
Elokuu	220	6,6	1452	1,452
Syyskuu	220	6,6	1452	1,452
Lokakuu	220	6,6	1452	1,452
Marraskuu	220	6,6	1452	1,452
Joulukuu	220	6,6	1452	1,452
Yhteensä	2200			14,52

Poistoilmapuhallin				
Kuukausi	Käyttöaika, h	Teho, kW	Energia, kWh	Energia, MWh
Tammikuu	220	6,1	1342	1,342
Helmikuu	220	6,1	1342	1,342
Maaliskuu	220	6,1	1342	1,342
Huhtikuu	220	6,1	1342	1,342
Toukokuu	220	6,1	1342	1,342
Kesäkuu				
Heinäkuu				
Elokuu	220	6,1	1342	1,342
Syyskuu	220	6,1	1342	1,342
Lokakuu	220	6,1	1342	1,342
Marraskuu	220	6,1	1342	1,342
Joulukuu	220	6,1	1342	1,342
Yhteensä	2200			13,42

IV-lämmitys kallioon hyödyksi jäähdytystehona				
Kuukausi	Käyttöaika, h	Teho, kW	Energia, kWh	Energia, MWh
Tammikuu	220	40,2	8844	8,844
Helmikuu	220	43,8	9636	9,636
Maaliskuu	220	21,3	4686	4,686
Huhtikuu	220	11,8	2596	2,596
Toukokuu				
Kesäkuu				
Heinäkuu				
Elokuu				
Syyskuu				
Lokakuu	220	5,5	1210	1,21
Marraskuu	220	12,6	2772	2,772
Joulukuu	220	27,6	6072	6,072
Yhteensä	1540			35,816



Kiertopumppu PU1					
	Lämmitys ja jäähdytys tilanteet				
	Käyttöaika, h	Moot. teho, kW	1/2 teho, kW	Energia, kWh	Energia, MWh
Tammikuu	744	2,5	0,25	1860	1,86
Helmikuu	672	2,5	0,25	1680	1,68
Maaliskuu	744	2,5	0,25	1860	1,86
Huhtikuu	720	2,5	0,25	720	0,18
Toukokuu	744	2,5	0,25	744	0,186
Kesäkuu					
Heinäkuu					
Elokuu	744	2,5	0,25	744	0,186
Syyskuu	720	2,5	0,25	720	0,18
Lokakuu	744	2,5	0,25	744	0,744
Marraskuu	720	2,5	0,25	1800	1,8
Joulukuu	744	2,5	0,25	1860	1,86
Yhteensä	7296				9,978

Jäähdytispumppu PU2				
	Jäähdytystilanne + lämpöpumppu käytössä			
	Käyttöaika, h	Moot. teho, kW	Energia, kWh	Energia, MWh
Tammikuu	160	0,2	32	0,032
Helmikuu	160	0,2	32	0,032
Maaliskuu	160	0,2	32	0,032
Huhtikuu	160	0,2	32	0,032
Toukokuu	160	0,2	32	0,032
Kesäkuu				
Heinäkuu				
Elokuu	160	0,2	32	0,032
Syyskuu	160	0,2	32	0,032
Lokakuu	160	0,2	32	0,032
Marraskuu	160	0,2	32	0,032
Joulukuu	160	0,2	32	0,032
Yhteensä	1600			0,32

Jäähdytyspiirin pumppu PU3				
Palkkiipiiri ym.				
	Käyttöaika, h	Moot. teho, kW	Energia, kWh	Energia, MWh
Tammikuu	160	1,05	168	0,168
Helmikuu	160	1,05	168	0,168
Maaliskuu	160	1,05	168	0,168
Huhtikuu	160	1,05	168	0,168
Toukokuu	160	1,05	168	0,168
Kesäkuu				
Heinäkuu				
Elokuu	160	1,05	168	0,168
Syyskuu	160	1,05	168	0,168
Lokakuu	160	1,05	168	0,168
Marraskuu	160	1,05	168	0,168
Joulukuu	160	1,05	168	0,168
Yhteensä	1600			1,68

Lämpöpumppu LP1				
	Lämpöpumpun kuluttama energia			
	Käyttöaika, h	Moot. teho, kW	Energia, kWh	Energia, MWh
Tammikuu	744	40	29760	29,76
Helmikuu	672	40	26880	26,88
Maaliskuu	744	26,7	19864,8	19,8648
Huhtikuu	720	13,4	9648	9,648
Toukokuu				
Kesäkuu				
Heinäkuu				
Elokuu				
Syyskuu				
Lokakuu	744	13,3	9895,2	9,8952
Marraskuu	720	26,7	19224	19,224
Joulukuu	744	40	29760	29,76
Yhteensä	5088			145,032

Econet-glykolipiirin pumppu				
	Käyttöaika, h	Moot. teho, kW	Energia, kWh	Energia, MWh
Tammikuu	220	2,2	484	0,484
Helmikuu	220	2,2	484	0,484
Maaliskuu	220	2,2	484	0,484
Huhtikuu	220	2,2	484	0,484
Toukokuu	220	2,2	484	0,484
Kesäkuu				
Heinäkuu				
Elokuu	220	2,2	484	0,484
Syyskuu	220	2,2	484	0,484
Lokakuu	220	2,2	484	0,484
Marraskuu	220	2,2	484	0,484
Joulukuu	220	2,2	484	0,484
Yhteensä	2200			4,84

Tuloilmapuhallin				
	Käyttöaika, h	Moot. teho, kW	Energia, kWh	Energia, MWh
Tammikuu	220	6,6	1452	1,452
Helmikuu	220	6,6	1452	1,452
Maaliskuu	220	6,6	1452	1,452
Huhtikuu	220	6,6	1452	1,452
Toukokuu	220	6,6	1452	1,452
Kesäkuu				
Heinäkuu				
Elokuu	220	6,6	1452	1,452
Syyskuu	220	6,6	1452	1,452
Lokakuu	220	6,6	1452	1,452
Marraskuu	220	6,6	1452	1,452
Joulukuu	220	6,6	1452	1,452
Yhteensä	2200			14,52

**Liite 8: Lämpöpumppulaitteistoa hyödyntävän järjestelmän vuotuinen energiankulutus (4/4)**

Poistoilmapuhallin	Käyttöaika, h	Moot. teho, kW	Energia, kWh	Energia, MWh
Tammikuu	220	6,1	1342	1,342
Helmikuu	220	6,1	1342	1,342
Maaliskuu	220	6,1	1342	1,342
Huhtikuu	220	6,1	1342	1,342
Toukokuu	220	6,1	1342	1,342
Kesäkuu				
Heinäkuu				
Elokuu	220	6,1	1342	1,342
Syyskuu	220	6,1	1342	1,342
Lokakuu	220	6,1	1342	1,342
Marraskuu	220	6,1	1342	1,342
Joulukuu	220	6,1	1342	1,342
Yhteensä	2200			13,42

**Liite 9: Vuotuiset energiankulutukset ja energiahyödyt muutetuilla käyttöajoilla**

Vuotuinen energiankulutus ilman lämpöpumpua., MWh	Täydet tunnit	iv-puolitus+vähentynyt käyttöaika jäähdytyksessä)*
Jäähdytyspumppu PU1	3,2	2,9
Tuloilmapuhallin	14,5	10,6
Poistoilmapuhallin	13,4	9,7
Econet-glykolipiirin pumppu	4,8	3,5
Tuloilman lisäenergia	4,4	3,7
Yhteensä	40,4	30,4

Vuotuinen energia hyödyksi ilman lämpöpumpua, MWh	Täydet tunnit	iv-puolitus+vähentynyt käyttöaika jäähdytyksessä)*
Hyödyksi lämmitykseen	6,7	5,6
Hyödyksi jäähdytykseen	182,4)**	182,4)**
Hyödyksi kalliopiirin jäähdytykseen	35,8	29,1

Vuotuinen energiankulutus lämpöpumppujärjestelmä	Täydet tunnit	iv-puolitus+vähentynyt käyttöaika jäähdytyksessä)*
Lämpöpumppu LP1	145,0	145,0
Kiertopumppu PU1	10,0	10,0
Jäähdytyspumppu PU2	0,3	0,2
Jäähdytyspiirin pumppu PU3	1,7	1,3
Tuloilmapuhallin	14,5	10,5
Poistoilmapuhallin	13,4	9,8
Econet-glykolipiirin pumppu	4,8	3,5
Tuloilman lisäenergia	10,0	10,0
Yhteensä	203,4	190,4

Vuotuinen energiahyödyksi lämpöpumppujärjestelmä	Täydet tunnit	iv-puolitus+vähentynyt käyttöaika jäähdytyksessä)*
Hyödyksi lämmitykseen	489,2	489,2
Hyödyksi jäähdytykseen	182,4)**	182,4)**

)\* IV-koneen käyttöaika arkisin kello 7-18. Puolitettu ilmavirta kello 7-9 ja 16-18. Jäähdytyksen käyttöaika arkisin kello 9-15.

)\*\* Kalliopiirin mitoitettu jäähdytysenergia