

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Taisto Partanen

LIEKSANJOEN VESIVOIMALAITOSTEN LÄMMITYS- JA JÄÄHDY-  
TYSJÄRJESTELMIEN UUDISTAMINEN

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2019



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Joulukuu 2019**  
**Energia- ja ympäristötekniikan koulu-**  
**tus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)  
Taisto Partanen

Nimeke  
Lieksanjoen vesivoimalaitosten lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien uudistaminen

Toimeksiantaja  
Kemijoki Oy

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyössä selvitettiin vesivoimalaitoksen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien uudistaminen lämpöpumppujärjestelmällä hyödyntämällä generaattorien jäähdytysveteen si-  
toutunutta lämpöenergiaa.

Työssä laskettiin ensin kiinteistön lämmityksen tarvitsema huipputeho ja vuotuinen läm-  
mitysenergian tarve. Lisäksi selvitettiin lämpöpumpun keruupiiriin käytettävissä oleva  
jäähdytysveden virtaus ja lämpötila sekä generaattorien lämmöksi muuttuva häviöteho.  
Näiden tietojen perusteella valittiin käyttöolosuhteisiin soveltuva lämpöpumppujärjestelmä  
ja laskettiin järjestelmän tuottama lämmitysenergia, sen kuluttama sähköenergia sekä li-  
sälämmitysenergian tarve kovimpien pakkasten aikaan.

Saatujen energialaskelmien perusteella vertailtiin valitun järjestelmän taloudellista kan-  
nattavuutta nykyarvomenetelmällä ja vertaamalla sen kustannuksia sähkökattilalla toteu-  
tettuun järjestelmään.

Lämpöpumppujärjestelmän taloudellinen kannattavuus on riippuvainen generaattorien  
hukkalämpötehosta. Mikäli generaattorin kuormitus lämmityskaudella on alle 50 %, on  
hankinta taloudellisesti kannattava 20 vuoden takaisinmaksuajalla laskettuna, muussa ta-  
pauksessa näin ei ole. Lämpöpumppujärjestelmällä saatava energiansäästö on kuitenkin  
niin merkittävä, että suosittelen sen hankintaa pelkän sähkölämmityksen sijaan.

Kieli	Sivuja	42
suomi	Liitteet	5
	Liitesivumäärä	11

**Asiasanat**

Vesivoimalat, lämmitys, lämpöpumput, kannattavuus, Lieksa, Lieksanjoki



**THESIS**  
**December 2019**  
**Degree Program in Energy and Environmental Technology**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author (s)  
Taisto Partanen

Title  
Renewal of Heating and Cooling Systems of Lieksanjoki Hydroelectric Power plants

Commissioned by Kemijoki Oy  
Karelia UAS

Abstract

The purpose of this thesis was to investigate the renewal of the heating and cooling systems of hydropower plant with a heat pump system utilizing the heat energy bounded to generator cooling water.

At first the demand of the heat power and annual energy consumption of the building was calculated. Furthermore, the flow and the temperature of cooling water and the power loss heating the building of the generators was investigated. Based on this information the proper heat pump system was chosen, and the heat energy produced by the pump, the electricity consumed by the pump, and the needed additional heat energy during the coldest hours was calculated.

Based on the calculations the financial profitability was estimated. Also the investment and operating costs based on the present value method with the electric boiler system was estimated.

The profitability of the heat pump system is heavily dependent on the waste heat output of the generators. If the generator load during the heating season is less than 50 %, the investment is profitable with a payback period of 20 years, otherwise it is not. However, the energy savings from a heat pump system are so significant that I recommend purchasing it instead of electric heating.

Language

Finnish

Pages 42

Appendices 5

Pages of Appendices 11

Keywords

Hydropower plants, heating, heat pumps, profitability, Lieksa, Lieksanjoki

## Sisällys

1	Johdanto .....	5
2	Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät .....	7
2.1	Keskuslämmitys .....	7
2.2	Lämpöpumpun toimintaperiaate .....	9
2.3	Vesivoimalaitoksen generaattorin häviöt ja jäähdytys .....	10
2.4	Hybridilämpöpumppu .....	12
2.5	Poistoilmalämpöpumppu.....	13
3	Rakennuksen lämmitystehon ja –energian laskenta .....	13
4	Tavoitteet ja tutkimustehtävät .....	21
5	Tulokset ja laitevalinnat.....	22
5.1	Generaattorien jäähdytystehon tarve ja vuotuinen energiankulutus .....	22
5.2	Kiinteistön lämmitystehon ja energiankulutuksen laskenta.....	24
5.2.1	Lämmitystehon laskenta.....	25
5.2.2	Lämmitysenergian kulutuksen laskenta.....	28
5.3	Lämpöpumpun valinta ja energiantuotanto .....	29
6	Kannattavuustarkastelu .....	33
7	Pohdinta ja johtopäätökset.....	38
	Lähteet.....	41

## Liitteet

- Liite 1 Lieksankosken generaattorien häviöt ja hyötysuhde
- Liite 2 KAIR ECoCounter 6485-EC-VP LTO-ilmanvaihtokoneen suorituskyky-laskelmat mitoitusolosuhteissa
- Liite 3 Lieksankosken vesivoimalaitoksen U-arvot
- Liite 4 Chiller CHT-I lämmöntalteenottolämpöpumpun tekninen valinta
- Liite 5 Lyhenteet

## 1 Johdanto

Kemijoki Oy:n Lieksan- ja Pankakosken vesivoimalaitokset sijaitsevat Lieksanjoessa Lieksan kaupungin alueella. Lieksankosken vesivoimalaitos sijaitsee aivan Lieksanjoen suulla kaupungin keskustaaajaman välittömässä läheisyydessä. Lieksankosken voimalaitoksen kahden generaattorin yhteisteho on 16 MW, ja keskimääräinen vuosienenergia on noin 75 000 MWh. Laitoksen putouskorkeus on noin 11 m, ja laitos läpäisee vettä enimmillään noin 160 m<sup>3</sup>/s. Laitos on rakennettu vuosina 1958 - 1960. Se on Alvar Aallon suunnittelema, ja siksi kulttuurihistoriallisesti arvokas rakennus. Rakennuksen julkisivu on peruskorjattu vuonna 2018 ja on nyt lähes alkuperäisessä kunnossaan.

Pankakosken vesivoimalaitos sijaitsee noin 5 km ylävirtaan Lieksankoskelta Pankakosken kartonkitehtaan vierellä. Pankakosken voimalaitoksen kahden generaattorin yhteisteho on 15 MW ja keskimääräinen vuosienenergia on noin 65 000 MWh. Laitoksen putouskorkeus on n. 10 m, ja myös Pankakoski läpäisee vettä enimmillään noin 160 m<sup>3</sup>/s. Laitos on rakennettu vuosina 1961 - 1964.

Laitosten lämmitettyjen tilojen lämmitysjärjestelmänä on vesikiertoinen keskuslämmitysjärjestelmä. Energianlähteenä järjestelmissä on sähkökattila. Järjestelmät ovat alkuperäiset ja yli 50 vuotta vanhat. Lieksankosken lämmityskattilan vai-passa on havaittu alkavaa vuotoa, ja kattila on käyttöikänsä lopussa. Myös patteriverkoston kunto on kyseenalainen. Lämmitysveden kierto jakautuu epätasaisesti pattereille ja aiheuttaa suuria lämpötilaeroja eri huonetilojen välillä.

Varsinaiset tuotantotilat, joissa turbiinit ja generaattorit sijaitsevat, lämmitetään generaattorien tuottamalla lämpöhäviöenergialla. Lämpö puhalletaan erillisillä ilmapuhaltimilla tuotantotiloihin. Muuta lämmitystä tiloille ei ole. Pakkaskauden aikaan pelkkä generaattorien hukkalämpö ei riitä tuotantotilojen lämmittämiseen, ja lämpötila laskee n. +10 - +15 asteen välille. Kesähelteiden aikaan lämpötila taas

nousee lähemmäs +30 astetta, mikä on seurausta puutteellisesta ilmanvaihdosta. Lieksankosken konesalissa ei ole lainkaan ilmanpoistoa, ei edes painovoimaista tuuletusventtiiliä, joten ilmanvaihto tapahtuu pelkästään rakenteiden ilma-  
vuotojen kautta. Kesällä osa julkisivun ikkunoista avataan, ja sillä tavalla saadaan osa lämpökuormasta johdettua ulos rakennuksesta. Puutteellinen lämmitys lämmityskaudella ja heikko ilmanvaihto kesäaikaan aiheuttavat suurta lämpötila- ja kosteusrasitusta rakenteille, joka lisää kiinteistön ylläpitokorjauskustannuksia ja heikentää kulttuurihistoriallisesti arvokkaan rakennuksen kuntoa.

Generaattorien staattorikämmityksiä jäähdytetään jäähdytyspatterien läpi puhallettavalla ilmalla. Patterien jäähdytysaineena toimii jokivesi, joka virtaa hydrostaattisen paineen vaikutuksesta putkiripapatterien läpi. Veteen sitoutunut lämpöenergia johdetaan suoraan vesistöön hyödyntämättä sitä kiinteistön lämmityksessä. Laitoksen automaatio säätelee jäähdytysveden virtausta halutun lämpötilan saavuttamiseksi staattorikämmityksessä. Jäähdytykseen käytetty vesi virtaa turbiinien ohi ja on siten poissa sähköntuotannosta. Kesällä veden lämpötila nousee ja patterien jäähdytysteho heikkenee, ja se lisää jäähdytysveden tarvetta ja generaattorien häviötehoja. Lisäksi jokiveden sisältämä humus tukkii patterien putkistoja, mikä osaltaan heikentää niiden tehoa.

Monissa tiloissa, kuten sähkö- ja akkulaitetilat, valvomot ja toimistot, on kesäaikaan jäähdytystarvetta, joka on nykyisin hoidettu erillisillä jäähdytyskoneilla tai ilmalämpöpumpuilla. Ne ovat käyttökänsä lopussa ja osassa niistä kylmäaineena on käytössä vuoden 2015 alusta saakka käyttökiellossa ollut R22-kylmäaine. Kaikissa jäähdytystä tarvitsevilla tiloilla ei ole nykyisin lainkaan jäähdytysmahdollisuutta.

Työn tavoitteena oli laskea Lieksankosken vesivoimalaitoksen lämmityksen huipputehon tarve ja vuotuinen energiankulutus, generaattorien jäähdytysvedestä saatava energia, ja niiden perusteella mitoittaa käyttötarkoitukseen sopiva kustannus- ja energiatehokas ja laitteistoltaan yhteneväinen järjestelmä, joka huolehtii tilojen ja prosessin lämmitys- ja jäähdytystarpeista. Uuden lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän myötä tavoitteena on saavuttaa parempi energiatehokkuus, käyttömukavuus, ulkoasun siisteys ja huollon keskittäminen.

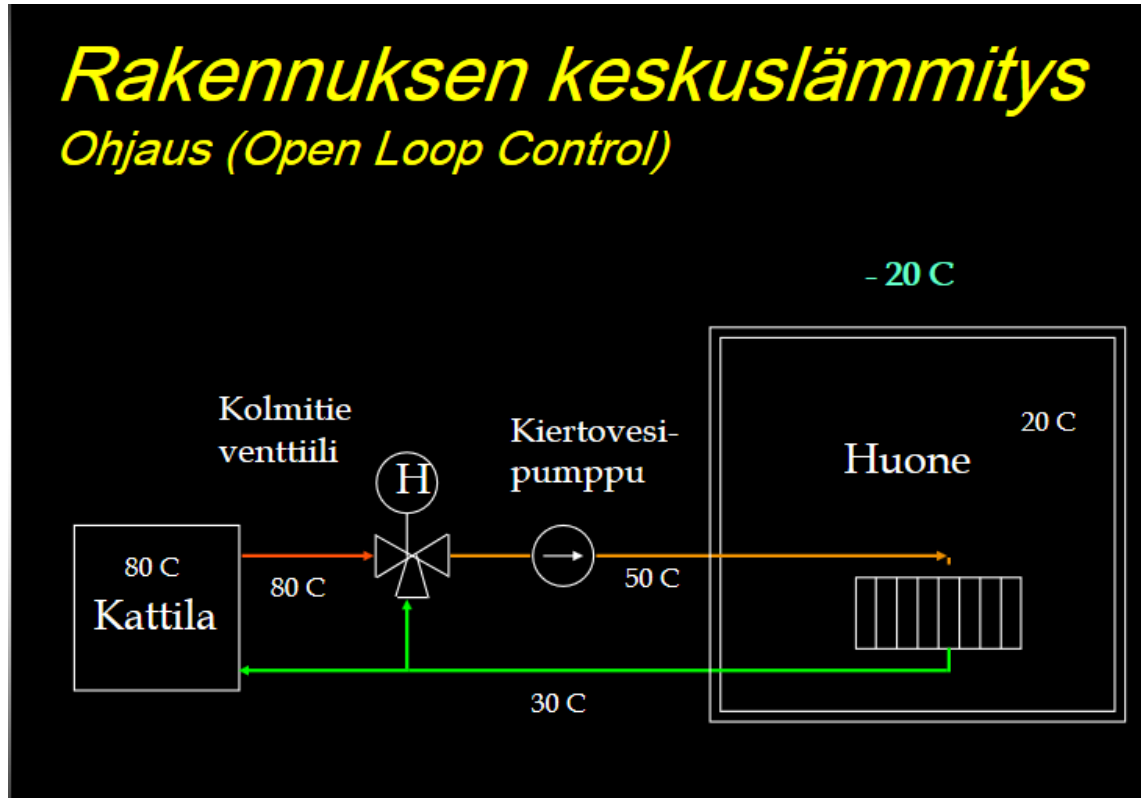
Lähestymistapana oli perehtyä vaihtoehtoihin lämpöpumpputekniikoihin ja tekniisiin ratkaisuihin, valita niistä joku tai jotkut tavoitteet täyttävä ratkaisu, selvittää niiden tekniset toteutusmahdollisuudet, tehdä kustannusarvio toteutuksesta ja laskea ratkaisulle takaisinmaksuaika.

## **2 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät**

### **2.1 Keskuslämmitys**

Laitosten nykyisten keskuslämmitysjärjestelmien toimintaperiaate on esitetty kuvassa 1. Lämmitysvesi kuumennetaan sähkövastuksilla kattilassa, josta se pumpataan kiertovesipumpulla patteriverkostoon. Patteriverkostossa kiertävän veden lämpötila säädetään haluttuun lämpötilaan kolmitieventtiin avulla. Kattilasta lähtevän veden lämpötila säädetään lämmitystermostaatilla, joka ohjaa sähkövastuksia päälle ja pois päältä. Huonekohtaista lämpötilaa säädetään patteriventtiileillä, joilla säädetään patterien läpi kulkevan veden virtausta. Patterit lämmittävät

huoneilmaa säteilemällä (lämpöä säteilee patterin pinnoista) ja konvektiolla (kylmä ilma kiertää patterin pintojen kautta ja lämpiää).

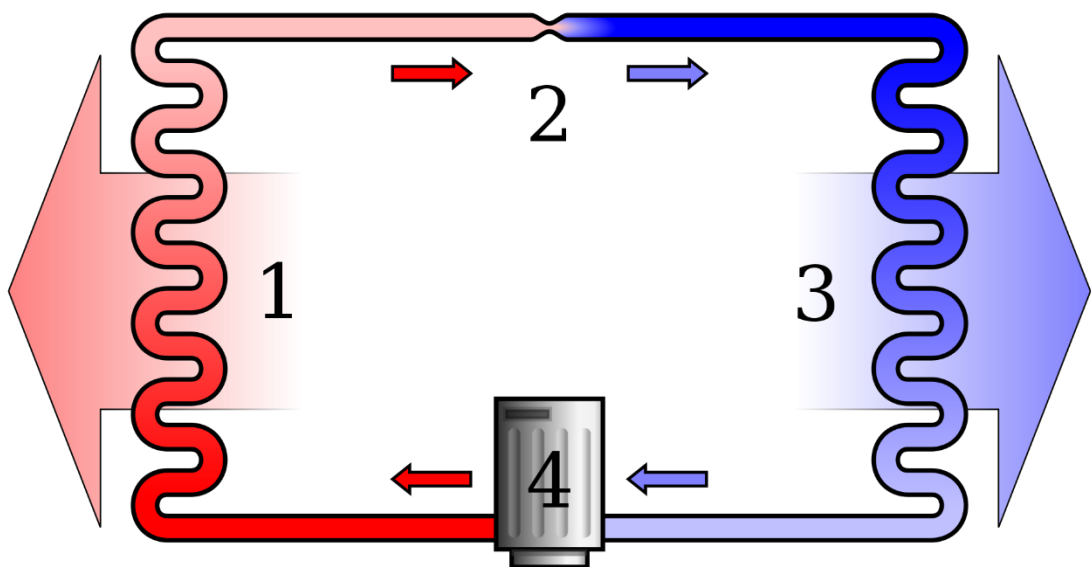


Kuva 1. Keskuslämmityksen periaate [4].

## 2.2 Lämpöpumpun toimintaperiaate

Jäähdytyslaitteiden ja lämpöpumppujen kylmäainepiirin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 2. Kylmäainepiirin osat ovat:

1. lauhdutin
2. paisuntaventtiili
3. höyrystin
4. kompressor



**Kuva 2. Kylmäainepiiri [15].**

Nykyaikaisissa jäähdytyslaitteissa ja lämpöpumpuissa kylmäaineena käytetään tyypillisesti HFC-yhdisteitä eli fluorihilivetyjä.

Kylmäainepiirin toiminta on seuraavan lainen:

- Kompressor (4) pumppaa kaasumaisessa olomuodossa ja matalassa paineessa olevaa kylmäainetta kohti lauhdutinta (1). Kaasun paine ja lämpötila putkistossa nousevat.
- Lauhduttimen läpi kulkiessaan kylmäaine luovuttaa lämpöä ympäristöön ja muuttuu samalla korkeapaineiseksi alijäähtyneeksi nesteeksi.

- Nestemäinen kylmäaine johdetaan paisuntaventtiilin (2) läpi höyrystimeen (3), jolloin sen paine laskee ja samalla lämpötila putoaa alle jäähdytettävän ympäristön lämpötilan. Kylmäaine on tällöin matalapaineista ja -lämpöistä nestettä.
- Höyrystimessä matalapaineinen kylmäaine absorboi itseensä ympäristön lämpöä ja höyrystyy matalapaineiseksi kaasuksi. Kaasu virtaa takaisin kompressorille ja kylmäaineen kierto alkaa jälleen alusta.

Lämpöpumpuissa kylmäainekierto voidaan kääntää ja valita joko lämmitys tai jäähdytys. Lauhduttimessa ja höyrystimessä voidaan käyttää lämmönsiirtoon ilman lisäksi nestettä, ja tällöin lämpö tai kylmä voidaan siirtää kauemmas kulkuskohteeseen. [3.]

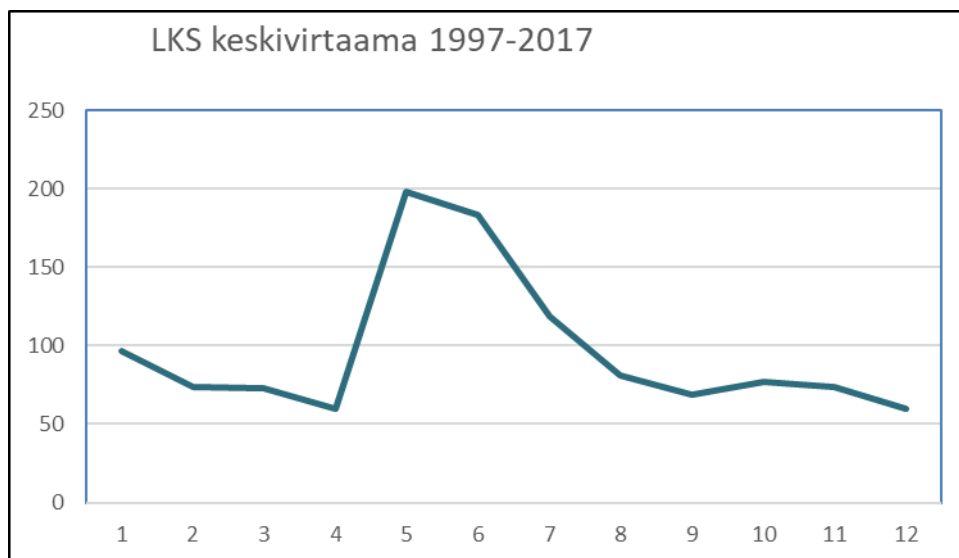
Vesikiertoisissa lämmitysjärjestelmissä lämpöpumpun etuna mm. sähkö- tai öljylämmitykseen verrattuna on, että sillä voidaan tuottaa hyvällä hyötysuhteella matalammassa lämpötilassa olevasta energialähteestä, kuten vedestä, maasta tai ilmasta, lämmitysjärjestelmän tarvitsemaa lämmintä kiertovettä. Lämpöpumpun hyötysuhdetta mitataan sen tuottaman lämpöenergian suhteella tuottamiseen kulutetun sähköenergian määrään. Hyötysuhteesta käytetään yleensä nimitystä lämpökerroin.

### **2.3 Vesivoimalaitoksen generaattorin häviöt ja jäähdytys**

Sähköntuotantoon käytettävissä generaattoreissa muodostuu merkittäviä häviötehoja, ja vaikka nykyisten generaattorien hyötysuhteet ovat korkeita (Lieksankoskella n. 97%, liite 1), suurista sähkötehoista johtuen myös häviötehot ovat suhteellisen suuria. Häviötehot muuttuvat käytännössä lämmöksi, joka on johdettava pois generaattorista ylikuumenemisen estämiseksi.

Suurin osa häviötehosta saadaan siirrettyä jäähdytysveden mukana pois generaattorista, mutta roottorin magnetoinnissa syntyvät häviöt siirtyvät lämpönä ympäröivään sisäilmaan. Magnetoinnin häviöteho on riippuvainen generaattorin ko-

konaistehosta. Tämä generaattorien magnetoinnin häviöteho lämmittää tuotantotiloja aina koneiden ollessa käynnissä. Kuvassa 3 on esitetty Lieksanjoen keskimääräinen virtaama tammi-joulukuussa vuosina 1997 – 2017. Kuvaajasta nähdään, että lämmityskaudella loka-huhtikuussa virtaama on vaihdellut välillä 60 – 90 m<sup>3</sup>/s. Yhden koneiston maksimivirtaaman ollessa n. 90 m<sup>3</sup>/s, on suhteellinen virtaama ollut n. 67 - 100% koneiston tehosta.



**Kuva 3. Lieksanjoen keskivirtaama 1997 – 2017.**

Kuvassa 4 olevassa kaaviossa on kuvattu Lieksankosken generaattorien, kannatuslaakerien ja säätö-öljyn nykyinen jäähdytysjärjestelmä, joka on tyypillinen vesivoimalaitosten prosessin jäähdytyksessä. Molemmilla generaattoreilla on identtinen järjestelmä.

**Kuva on poistettu sen sisältämien luottamuksellisten tietojen vuoksi.**

**Kuva 4. Vesivoimakoneiden jäähdytysjärjestelmä [1].**

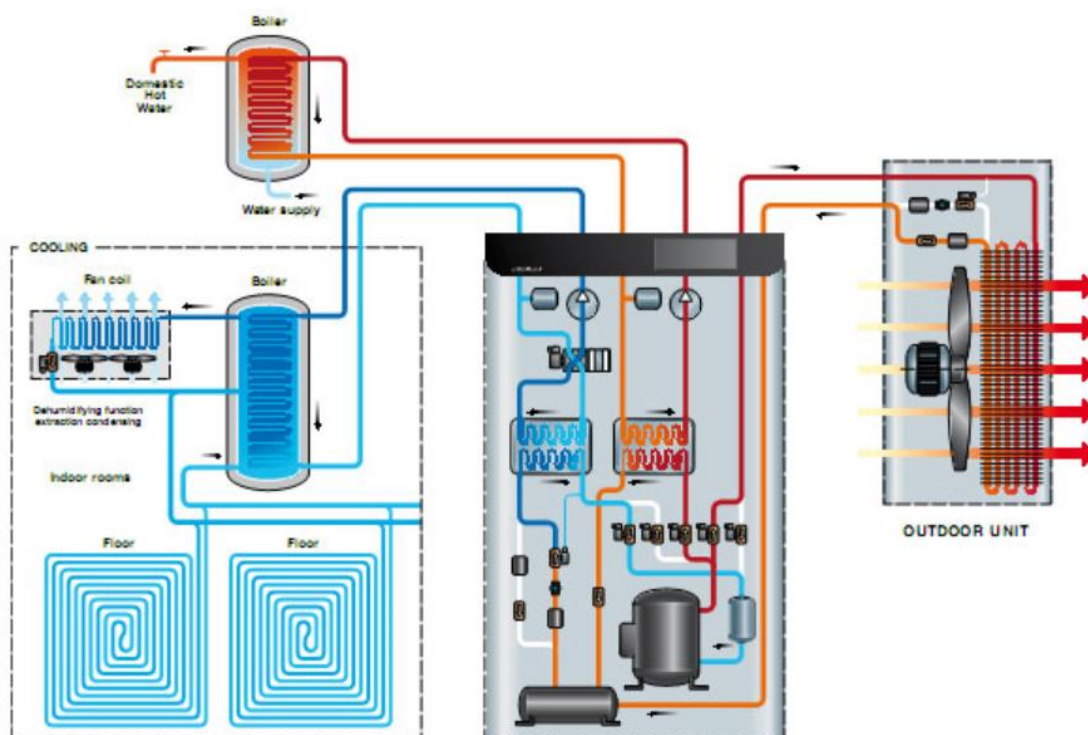
Laitosten yläpuolelta otettava jäähdytysvesi johdetaan suodattimien kautta jäähdytyspattereihin sekä kannatuslaakerin ja paineöljyn jäähdytyskierukoihin. Jäähdytysveden virtausta jäähdytyspattereissa ja kannatuslaakerin jäähdytyskierukoissa säädetään generaattorin staattorin ja kannatuslaakerin öljyn lämpötilojen mukaan jäähdytysputkistossa sijaitsevilla säätöventtiileillä. Jäähdytysveden vir-

taukselle paineöljyn jäähdytyksessä ei ole säätöä, ja sen merkitys kokonaisjäähdytystehossa on mitätön. Lisäksi pieni määrä jäähdytysvettä käytetään turbiinin akselitiivisteiden huuhteluun. [1.]

Jäähdytykseen käytetty vesi johdetaan suoraan laitoksen alaveteen, eikä siihen sitoutunutta energiaa hyödynnetä laitoksen lämmitykseen. Järjestelmän jäähdytysveden paineeksi muodostuu ylä- ja alaveden välinen hydrostaattinen paine.

## 2.4 Hybridilämpöpumppu

Hybridi- tai monikäyttölämpöpumput mahdollistavat yhtäaikaisen lämmön ja kylmän tuotannon. Monikäyttölämpöpumpun toimintaperiaate yhtäaikaisessa lämmön ja kylmän tuotannossa on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Monitoimilämpöpumpun toimintaperiaate [2].

Monikäyttölämpöpumpussa on omat piirit lämmitys- ja jäähdytyskäyttöön ja toisen piirin tuottama lauhdutuslämpöteho voidaan hyödyntää toisen piirin lämmitykseen. Jos kylmä- ja lämpötehon tarve ovat epätasapainossa, voidaan tarvittava tai luovutettava lämpö siirtää maalämpöpiiriin tai ulkoilmaan. [5.]

## 2.5 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu ottaa lämmitysenergiaa talosta poistettavasta ilmasta. Pumppu siirtää lämmön tuloilmaan, lämpimään käyttöveteen tai vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Poistoilmalämpöpumpulla voidaan myös viilentää sisäilmaa. Järjestelmä vaatii, että ilmaa vaihdetaan aina riittävästi (0,5 kertaa talon ilmatilavuus tunnissa). [6.]

Kun huonelämpöinen poistoilma ohittaa höyrystimen, kylmäaine höyrystyy alhaisen kiehumispisteen vuoksi. Huoneilman energia siirtyy siten kylmäaineeseen. Kylmäaine puristetaan sitten kompressorissa, jolloin lämpötila kohoaa voimakkaasti. Lämmin kylmäaine johdetaan kattilaveteen sijoitettuun lauhduttimeen. Kylmäaineesta saadaan energiaa kattilaveteen, jolloin höyrystynyt kylmäaine nesteytyy. Sen jälkeen kylmäaine johdetaan edelleen suodattimen kautta paisuntaventtiin, missä paine ja lämpötila laskevat. Kylmäaine on nyt päättänyt kiertonsa ja ohittaa taas höyrystimen. [7.]

## 3 Rakennuksen lämmitystehon ja –energian laskenta

Tässä luvussa esitetyt kaavat on poimittu ympäristöministeriön ylläpitämästä Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeesta **Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta** [7].

Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve saadaan laskettua vähentämällä tilojen lämmitysenergian tarpeesta tilojen sisäiset lämpökuormat (kaava 3.1). Sisäiset lämpökuormat muodostuvat ihmisistä ja lämpöä, yleensä hukkalämpöä, tuottavista laitteista.

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}} \quad (3.1)$$

jossa

$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$	tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh
$Q_{\text{tila}}$	tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
$Q_{\text{sis.lämpö}}$	lämpökuormat, joka hyödynnetään lämmityksessä, kWh.

Tilojen lämmitysenergian tarve muodostuu johtumislämpöhäviöistä rakennusvai-  
pan läpi, rakenteiden epätiiviyksien kautta tulevan vuotoilman lämpenemisen  
energiantarpeesta sekä ilmanvaihdon kautta tulevan tuloilman ja korvausilman  
lämpenemisen energiantarpeesta.

Lämmitysenergian tarve saadaan laskettua kaavalla (3.2)

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoi}} + Q_{\text{iv,tuloi}} + Q_{\text{iv,korvausi}} \quad (3.2)$$

jossa

$Q_{\text{tila}}$	tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
$Q_{\text{joht}}$	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
$Q_{\text{vuotoi}}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{iv,tuloi}}$	tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{iv,korvausi}}$	korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh.

Johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi muodostuvat häviöistä ulkoseinien,  
yläpohjan, alapohjan, ikkunoiden, ulko-ovien ja kylmäsiltojen läpi sekä häviöistä  
tiloihin, jotka poikkeavat ulkolämpötilasta. Lämpöhäviöt saadaan laskettua kaa-  
valla (3.3).

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{muu}} + Q_{\text{kylmäsilta}} \quad (3.3)$$

jossa

$Q_{\text{joht}}$	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
$Q_{\text{ulkoseinä}}$	johtumislämpöhäviö ulkoseinien läpi, kWh
$Q_{\text{yläpohja}}$	johtumislämpöhäviö yläpohjien läpi, kWh

$Q_{alapohja}$	johtumislämpöhäviö alapohjien läpi, kWh
$Q_{ikkuna}$	johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi, kWh
$Q_{ovi}$	johtumislämpöhäviö ulko-ovien läpi, kWh
$Q_{muu}$	johtumislämpöhäviö tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, kWh
$Q_{kylmäsilta}$	kylmäsiltojen johtumislämpöhäviö, kWh.

Ulkoilmaan rajoittuvien ulkoseinien, yläpohjien, alapohjien, ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöt lasketaan rakennusosittain kaavalla (3.4).

$$Q_{rakosa} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (3.4)$$

jossa

$Q_{rakosa}$	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, kWh
$U_i$	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
$A_i$	rakennusosan i pinta-ala, m <sup>2</sup>
$T_s$	sisäilman lämpötila, °C
$T_u$	ulkoilman lämpötila, °C
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Laskettaessa johtumishäviötä muuhun tilaan ( $Q_{muu}$ ), kaavassa (3.3) käytetään ulkolämpötilan  $T_u$  tilalla kyseessä olevan muun tilan suunnittelulämpötilaa [7, 18].

Rakennusosien välisten liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen lämpöhäviöt lasketaan kaavalla (3.5).

$$Q_{kylmäsilta} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (3.5)$$

jossa

$Q_{kylmäsilta}$	johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi, kWh
$l_k$	viivamaisen kylmäsilan pituus, m

$\Psi_k$	viivamaisen kylmäsillan lisäkonduktanssi, W/(m K)
$T_s$	sisäilman lämpötila, °C
$T_u$	ulkoilman lämpötila, °C
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Rakenteiden epätiiviyksien kautta tulevan vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia lasketaan kaavalla (3.6). Vuotoilmavirta syntyy tuulen ja lämpötilaerojen synnyttämistä paine-eroista.

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1\,000 \quad (3.6)$$

jossa

$Q_{vuotoilma}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
$\rho_i$	ilman tiheys, 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/(kg K)
$q_{v,vuotoilma}$	vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$T_s$	sisäilman lämpötila, °C
$T_u$	ulkoilman lämpötila, °C
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h
1 000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Vuotoilmavirta lasketaan kaavalla (3.7)

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaippa} \quad (3.7)$$

jossa

$q_{v,vuotoilma}$	vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$q_{50}$	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )
$A_{vaippa}$	rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m <sup>2</sup>

- x kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille ja sitä korkeimmille rakennuksille 15 kerroskorkeuden ollessa noin 3 m. Vain maapinnan yläpuoliset kerrokset otetaan huomioon.
- 3 600 kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksiköstä m<sup>3</sup>/h yksikköön m<sup>3</sup>/s.

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  voidaan laskea ilmanvuotoluvusta  $n_{50}$  kaavalla (3.8)

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaippa}} V \quad (3.8)$$

jossa

- $q_{50}$  rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>)
- $n_{50}$  rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h
- $V$  rakennuksen ilmatilavuus, m<sup>3</sup>
- $A_{vaippa}$  rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m<sup>2</sup>.

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve eli ilmanvaihtokoneessa tapahtuva tuloilman lämmittäminen lasketaan kaavalla (3.9)

$$Q_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} \left( (T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto} \right) \Delta t / 1\,000 \quad (3.9)$$

jossa

- $Q_{iv}$  ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
- $\rho_i$  ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>
- $c_{pi}$  ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/(kg K)
- $q_{v,tulo}$  tuloilmavirta, m<sup>3</sup>/s
- $T_{sp}$  sisäänpuhalluslämpötila, °C
- $\Delta T_{puhallin}$  lämpötilan nousu puhaltimessa, °C
- $T_{lto}$  lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C
- $\Delta t$  ajanjakson pituus, h
- 1 000 kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilmalämpötila lasketaan kaavalla (3.10). Jos laskennassa saadaan kaavasta (3.10) lukuarvoksi negatiivinen, niin  $Q_{iv}$  arvona käytetään nollaa.

$$T_{lto} = T_u + \frac{\phi_{lto}}{\rho_i c_{pi} q_{v,tulo}} \quad (3.10)$$

jossa

$T_{lto}$  lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C

$T_u$  ulkoilman lämpötila, °C

$\phi_{lto}$  lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W

$\rho_i$  ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_{pi}$  ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/(kg K)

$q_{v,tulo}$  tuloilmavirta, m<sup>3</sup>/s.

Lämmöntalteenotolla talteenotettu teho lasketaan kaavalla (3.11)

$$\phi_{lto} = \eta_{a,ivkone} \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} (T_s - T_u) \quad (3.11)$$

jossa

$\phi_{lto}$  lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W

$\eta_{a,ivkone}$  ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde

$\rho_i$  ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_{pi}$  ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/(kg K)

$q_{v,poisto}$  poistoilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$T_s$  sisälämpötila, °C

$T_u$  ulkolämpötila, °C.

Ilmanvaihdosta talteenotettu energia voidaan laskea kaavalla (3.12)

$$Q_{lto} = \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_{lto} - T_u) \Delta t / 1\,000 \quad (3.12)$$

jossa

$Q_{lto}$	ilmanvaihdosta talteenotettu energia, kWh
$\rho_i$	ilman tiheys, 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/(kg K)
$q_{v,tulo}$	tuloilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$T_{lto}$	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C
$T_u$	ulkolämpötila, °C
$\Delta t$	ajanjakson pituus, hSPF
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve ( $Q_{\text{lämmitys,tilat}}$ ) lasketaan kaavalla (3.13)

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}}{\eta_{\text{lämmitys,tilat}}} + Q_{\text{jakelu,ulos}} + Q_{\text{varastointi,ulos}} \quad (3.13)$$

jossa

$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, joka katetaan laskettavalla lämmön jakelujärjestelmällä, kWh/a
$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$	tilojen lämmitysenergian nettotarve, joka katetaan laskettavalla lämmön jakelujärjestelmällä, kWh/a
$Q_{\text{jakelu,ulos}}$	lämmön jakelujärjestelmän lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan, kWh/a
$Q_{\text{varastointi,ulos}}$	laskettavan lämmön jakelujärjestelmän varastoinnin lämpöhäviö, kWh/a
$\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$	laskettavan lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde.

Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus lasketaan lämmön tuottojärjestelmittäin kaavalla (3.14)

$$Q_{\text{lämmitys}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat}}}{\eta_{\text{tuotto}}} \quad (3.14)$$

jossa

$Q_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/a
$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a

$\eta_{tuotto}$  lämmitysenergian tuoton hyötysuhde tilojen lämmityksessä, -.

Lämpöpumpulla tuotettava tilojen lämmitysenergia lasketaan ottamalla lisälämmitykseen tarvittava energiankulutus huomioon kaavan (3.15) mukaisesti

$$Q_{LP,lämmitys,tilat} = Q_{lämmitys,tilat} - Q_{lisälämmitys,tilat} \quad (3.15)$$

jossa

$Q_{LP,lämmitys,tilat}$  lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh  
 $Q_{lämmitys,tilat}$  tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh  
 $Q_{lisälämmitys,tilat}$  tilojen lisälämmityksen energiantarve, kWh.

Lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun sähköenergiankulutus voidaan laskea kaavalla (3.16)

$$W_{LP,lämmitys} = \frac{Q_{LP,lämmitys,tilat}}{SPF_{tilat}} \quad (3.16)$$

jossa

$W_{LP,lämmitys}$  lämpöpumpujärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh  
 $Q_{LP,lämmitys,tilat}$  lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh  
 $SPF_{tilat}$  lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä, -.

Lämmityksen huipputehon tarve saadaan laskettua edellä kuvatuilla kaavoilla käyttämällä ulkolämpötilan arvona paikkakunnan mitoittavaa ulkoilman lämpötilarvoa, joka on esitetty energiatehokkuus-asetuksen liitteessä 1 [8, 17].

Auringon säteilylämpöä ei oteta huomioon tehontarpeen laskennassa. Sisäisten lämmönlähteiden vaikutus tehontarpeeseen otetaan huomioon vain niiden ollessa merkittäviä ja jatkuvia [7, 64]. Lämmityskaudella myöskin auringon säteilylämmön vaikutus lämmitysenergian tarpeeseen on merkityksetön.

## 4 Tavoitteet ja tutkimustehtävät

Työn ensimmäisessä vaiheessa tarkasteltiin generaattorien jäähdytykseen kulu-  
van veden energiamäärää, joka menee vesivoimaturbiinin ohi ja on täten poissa  
sähköntuotannosta. Menetetyn sähköenergian kustannusta verrattiin vedenjääh-  
dyttimellä toteutetun suljetun jäähdytysjärjestelmän investointi- ja käyttökustan-  
nuksiin ja näin arvioitiin suljetun järjestelmän järkevyyttä nykyisen vapaajähdy-  
tykseen verrattuna.

Varsinaisessa työssä laskettiin voimalaitoksen lämmityksen huipputehon ja läm-  
mitysenergian tarve perustuen olemassa oleviin tietoihin kiinteistön mitoista, ra-  
kennusosien lämmönläpäisykertoimista ja ilmanvaihdon suunnittelutiedoista.  
Laskenta suoritettiin ympäristöministeriön rakentamismääräyskokoelman ener-  
giatehokkuusosiossa julkaiseman ohjeen Rakennuksen energiankulutuksen ja  
lämmitystehontarpeen laskenta [7] mukaisesti.

Lämmitysenergian kulutuksen laskennassa huomioitiin generaattorien lämmöksi  
muuttuva häviöteho, josta magnetoinnin häviöteho lämmittää tuotantotiloja. Ener-  
giankulutus laskettiin generaattorin neljällä eri tehoarvolla.

Lämpöpumppujärjestelmän tehon ja lämmönkeruupiirin lämmönvaihdinten mitoi-  
tusta varten selvitettiin laitosautomaation käyttödatasta generaattorien jäähdytys-  
veden virtaus- ja lämpötilatiedot lämmityskauden ajalta.

Laskennasta saatujen lähtöarvojen perusteella valittiin valmistajan mitoitusohjel-  
malla käyttötarkoitukseen soveltuva lämpöpumppukokoonpano. Valitun lämpö-  
pumpun lämpötehon ja lämpökertoimen perusteella laskettiin sen lämmityskau-  
den aikana tuottama lämmitysenergia ja kuluttama sähköenergia, sekä kovim-  
pien pakkasten aikaan tarvittava lisälämmitysenergia, joka on tuotettava sähkö-  
kattilalla.

Mitoitustietojen pohjalta LVI-suunnittelutoimisto teki alustavan hankesuunnitelman ja kustannusarvion lämpöpumpputekniikan toteutuksesta. Vaihtoehtoisena toteutustapana oli uusi sähkökattilakeskuslämmitysjärjestelmä.

Lämpöpumpulla tuotetun lämpöenergian, lämpöpumpun kuluttaman sähköenergian, sähkökattilalla tuotettavan lisälämmitysenergian ja järjestelmän investointikustannuksen perusteella tehtiin hankinnan kannattavuustarkastelu tuottojen ja kustannusten nykyarvoja vertaamalla. Kannattavuuslaskelmat tehtiin generaattorien neljällä eri tehoarvolla. Lisäksi vertailtiin lämpöpumppu- ja sähkökattilajärjestelmien kustannusten nykyarvoja.

## **5 Tulokset ja laitevalinnat**

### **5.1 Generaattorien jäähdytystehon tarve ja vuotuinen energiankulutus**

Generaattorien jäähdytystehon tarve saadaan arvioitua laitetoimittajan antamasta generaattorin hyötysuhteen mittauspöytäkirjasta (liite 1). Siinä on annettu takuukokeessa mitattujen häviötehojen arvot generaattorin eri tehoilla. Arvot on mitattu eristämällä generaattori ympäristöstä ja mittaamalla häviötehot kalorimetrisesti.

Jäähdytysteho on mitoitettava generaattorin suurimman häviötehon mukaan. Mittauspöytäkirjasta (liite 1) havaitaan, että suurin häviöteho 100 %:n teholla on 218 kW (total generator losses). Vähentämällä kokonaishäviötehosta magnetoinnin aiheuttama häviöteho (total excitation losses) 44 kW, saadaan jäähdytyksen huipputehon tarpeeksi 174 kW. Tästä saadaan laitoksen kahden generaattorin jäähdytyksen yhteiseksi huipputehon tarpeeksi 348 kW.

Jäähdytyksen vuotuinen energiankulutus on riippuvainen tuotetun sähköenergian määrästä, mikä taas riippuu sateisuudesta ja sitä kautta Lieksanjoen virtaamasta. Jonkinlaisen arvion energiankulutuksesta saa käyttämällä tuotetun säh-

köenergian arvona pitkän aikavälin keskimääräistä lukemaa, joka on Lieksankoskella 75 000 MWh, ja generaattorin hyötysuhteen (efficiency) arvona 97,5 %. Tällöin jäähdytysenergian kulutukseksi vuodessa saadaan

$$75\,000\text{ MWh} \cdot ((1-0,975)/0,975) = 2\,000\text{ MWh}.$$

Keskimääräisen jäähdytysenergian kulutuksen perusteella saadaan laskettua keskimääräinen jäähdytystehon tarve

$$2\,000\,000\text{ kWh} / 8\,760\text{ h} = 228\text{ kW}.$$

Tyypillinen tulevan ja lähtevän jäähdytysveden lämpötilaero kesäaikaan on noin 5 astetta, josta jäähdytysveden virtaama keskimääräisellä jäähdytysteholla saadaan laskettua kaavalla 5.1

$$\phi_{\text{jäähd}} = \rho_v \dot{V} c_{pv} \Delta T \quad (5.1)$$

jossa

$\phi_{\text{jäähd}}$	generaattorin jäähdytysteho, (kW)
$\rho_v$	veden tiheys, 1 000 kg/m <sup>3</sup>
$\dot{V}$	jäähdytysveden virtaama, (m <sup>3</sup> /s)
$c_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,18 kJ/kgK
$\Delta T$	lähtevän ja tulevan jäähdytysveden lämpötilaero, (K).

$$\dot{V} = 228\,000\text{ W} / (1\,000\text{ kg/m}^3 \cdot 4\,180\text{ J/kgK} \cdot 5\text{ K}) = 0,0109\text{ m}^3/\text{s} = 10,9\text{ l/s}$$

Keskimääräisestä jäähdytysveden virtaamasta puolestaan voidaan laskea vuositasolla menetetty vesienergian määrä kaavalla 5.2

$$E_{\text{pot}} = \rho_v \dot{V} g h t / 10^6 \quad (5.2)$$

jossa

$E_{\text{pot}}$	veden potentiaalienergia, (MWh)
$\rho_v$	veden tiheys, 1000 kg/m <sup>3</sup>
$\dot{V}$	jäähdytysveden virtaama, (m <sup>3</sup> /s)
$g$	maan vetovoimakiikkyvyys, 9,81 m/s <sup>2</sup>
$h$	veden keskimääräinen putoamiskorkeus, (m)
$t$	aika tunteina, (h)
$10^6$	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos megawattitunneiksi.

$$E_{\text{pot}} = \rho_v \dot{V} g h t = 1000 \text{ kg/m}^3 * 0,0109 \text{ m}^3/\text{s} * 9,81 \text{ m/s}^2 * 10,5 \text{ m} * 8 \text{ 760h} = 9,8 \text{ MWh}$$

Menetetyn vesienergian määrä voidaan muuttaa euroiksi kertomalla saatu energiamäärä keskimääräisellä sähkön pörssihinnalla 46,8 €/MWh (Nordpool SPOT Suomen aluehinta 2018)

$$46,8 \text{ €/MWh} * 9,8 \text{ MWh} = 459 \text{ €}.$$

Todellisuudessa jäähdytykseen menetetty sähköenergian määrä on vieläkin pienempi, kun huomioidaan generaattorin ja turbiinin häviöt.

Jäähdytysjärjestelmien vuosittaiset käyttö- ja kunnossapitokustannukset muodostuvat lämmönvaihtimien pesuista, joihin kuluu arvion mukaan noin 1 000 euroa vuodessa.

Edellä laskettujen jäähdytystehojen, energiankulutusten sekä nykyisen järjestelmän käyttökustannusten perusteella voidaan ilman tarkempia laskelmia päätellä, ettei generaattorien jäähdytysjärjestelmän uudistaminen lämpöpumpputeknikalla toimivaksi ole kustannusten kannalta millään tavalla laskennallisesti perusteltua. Uuden jäähdytysjärjestelmän investointikustannukseksi tulisi satoja tuhansia euroja, ja sen käyttökustannukset vuodessa olisivat järjestelmän sähkönkulutuksen takia monikymmenkertaiset nykyiseen verrattuna.

## 5.2 Kiinteistön lämmitystehon ja energiankulutuksen laskenta

Lieksankosken vesivoimalaitoksen lämmityksen huipputehon ja vuotuisen energian kulutuksen tarve on laskettu käyttäen luvussa 2.6 annettuja kaavoja, Ilmatieteenlaitoksen energialaskennan testivuosien tuntiaineistoja [9], LVI-suunnittelutoimistolta saatuja koneellisen ilmanvaihdon suunnittelutietoja (liite 2), rakennussuunnittelutoimistolta saatuja U-arvoja (liite 3), ja laitoksen rakennuspiirustuksista saatuja tilojen mittatietoja. Laskennassa käytetyt arvot ovat epätarkkoja johdettujen osin puutteellisista lähtötiedoista, mutta ne ovat parhaat käytettävissä olevat tiedot kohteesta.

### 5.2.1 Lämmitystehon laskenta

Lämmitystehon laskenta on tehty tilakohtaisesti, jolloin saatuja arvoja voi hyödyntää lämmitysjärjestelmän jatkosuunnittelussa.

Laskennassa on käytetty seuraavia lähtötietoja:

Rakennusosien ulkovaipparakenteiden lämmönläpäisykertoimet (liite 3)

Ulkoseinä / rapatut pitkät julkisivut:  $U \sim 0,86 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ulkoseinä / rapatut päätyjulkisivut,

uittokanavan puoleinen pääty:  $U \sim 0,68 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ulkoseinä / rapatut päätyjulkisivut,

kytkentäkentän puoleinen pääty:  $U \sim 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Yläpohja:  $U \sim 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$

Aurinkosäleikköjen kohdalla olevat ikkunat,

puurakenteiset, 2-lasiset:  $U \sim 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$

Aurinkosäleikköjen alapuolella olevat ikkunat,

teräsrakenteiset, 2-lasiset:  $U \sim 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ylävirran puoleiset ikkunat,

puurakenteiset, lämpölasi:  $U \sim 2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$

Alapohja:  $U \sim 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$

Mitoituslämpötilat

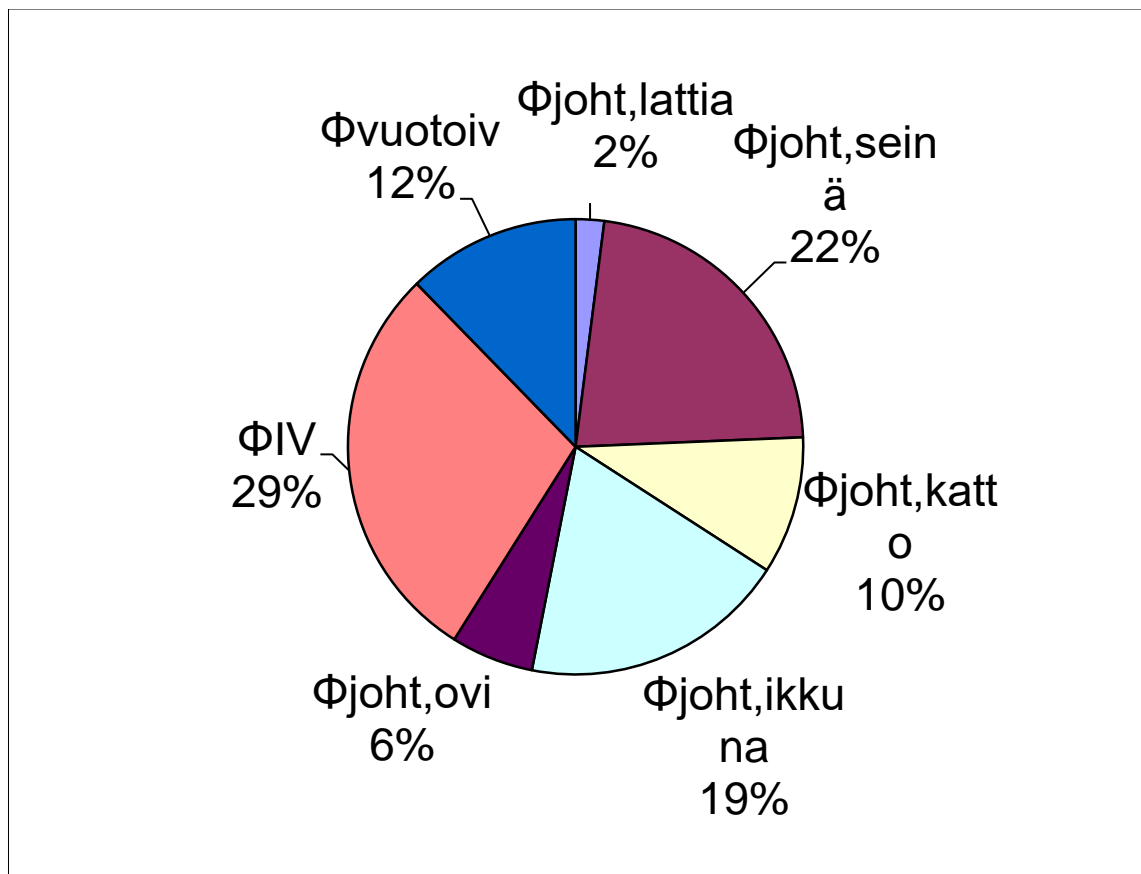
Sisälämpötila aputiloissa ( $T_{\text{sisä}}$ )	+20 °C
Konesalin lämpötila ( $T_{\text{konesali}}$ )	+17 °C
Alapohjan alapuolisen maan lämpötila ( $T_{\text{lattia}}$ )	+8,4 °C
Säävyöhykkeen III mitoittava ulkolämpötila ( $T_u$ )	-32 °C
Ilmanvaihdon sisäänpuhalluslämpötila ( $T_{\text{sp}}$ ) (liite 2)	+18 °C
Ilmanvaihdon poistoilman jäteilman lämpötila ( $T_{\text{jäte}}$ ) (liite 2)	+2 °C
rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla ( $n_{\text{vuoto}}$ ) [7, 21 - 22]	0,16 1/h

Edellä olevien lähtötietojen ja rakennuspiirustuksista mitattujen mittatietojen pohjalta laskettu kiinteistön lämmityksen huipputehon tarve on noin **166 kW**. Tämä arvo on lähtötietona soveltuvan lämpöpumpun valinnalle. Tehon tarve rakennusosittain ja huonetiloittain on esitetty taulukossa 1, ja kokonaistehontarpeen jakauma rakennusosittain kuvassa 6.

**Taulukko 1. Tehon tarve rakennusosittain ja huonetiloittain.**

Rakennusosa	$\Phi$ [W]
$\Phi_{\text{joht,lattia}}$	3 355
$\Phi_{\text{joht,seinä}}$	36 994
$\Phi_{\text{joht,katto}}$	16 219
$\Phi_{\text{joht,ikkuna}}$	31 435
$\Phi_{\text{joht,ovi}}$	9 736
<b>Ilmanvaihto</b>	
$\Phi_{\text{IV}}$	47 678
$\Phi_{\text{vuotoiv}}$	20 380
<b>Koko rakennus</b>	165 796
Tila	$\Phi$ [W]
Luukkusali	22 831
Lastaustaso	13 225
Konesali	73 435
Työhuone	2 022
Kaapelitila	2 150

Valvomo	6 897
OKK	9 930
10 kV asema	14 157
Rappukäytävä	4 889
YK käytävä	2 566
Varaosavarasto	4 308
Kompr.huone	2 486
Erotinhuone	1 188
Akkutila	5 711
<b>Koko rakennus</b>	165 796



**Kuva 6. Kokonaistehontarpeen jakauma rakennusosittain.**

Laskennassa ei ole otettu huomioon lämpimän käyttöveden lämmitystä, koska sen tehonkulutus on merkityksetön tilojen lämmitykseen verrattuna, ja se kannattaa jatkossakin lämmittää tarkoitukseen soveltuvalla lämminvesivaraajalla.

Myöskään kylmäsiltojen osuutta ei ole laskettu puutteellisten lähtötietojen vuoksi.

## 5.2.2 Lämmitysenergian kulutuksen laskenta

Lämmitysenergian laskennassa ulkolämpötilan arvona on käytetty Ilmatieteenlaitoksen julkaisemaa Suomen III lämpötilavyöhykkeen energialaskennan testivuosi-  
sien tuntiaineistoa [9] ja kulutus on laskettu lämmityskaudelle tuntitasolla. Läm-  
mityskauden ajanjaksoksi valittiin lokakuun alusta huhtikuun loppuun kestävä  
aika. Tänä aikana nykyinen lämmitysjärjestelmä on ollut käytössä.

Alapohjan alapuolisen maan lämpötilan arvoina on käytetty kuukausittaista kes-  
kilämpötilan arvoa, joka on laskettu ympäristöministeriön Suomen rakentamis-  
määräyskokoelmassa julkaiseman rakennuksen energiankulutuksen ja lämmi-  
tystehontarpeen laskentaa koskevan ohjeen kaavojen 3.5 ja 3.6 ja taulukosta 3.4  
saatavien arvojen mukaan [7, 20]. Ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan arvona  
on käytetty Ilmatieteen laitoksen julkaisemaa III lämpötilavyöhykkeen keskimää-  
räistä arvoa, joka on +3,4 °C [10]. Alapohjan alapuolisen maan lämpötila-arvoina  
on käytetty seuraavia arvoja:

$T_{\text{maa,vuosi}}$	+8,4 °C
$T_{\text{maa,tammikuu}}$	+8,4 °C
$T_{\text{maa,helmikuu}}$	+7,4 °C
$T_{\text{maa,maaliskuu}}$	+6,4 °C
$T_{\text{maa,huhtikuu}}$	+5,4 °C
$T_{\text{maa,lokakuu}}$	+11,4 °C
$T_{\text{maa,marraskuu}}$	+11,4 °C
$T_{\text{maa,joulukuu}}$	+10,4 °C.

Sisälämpötilan arvoina laskennassa on käytetty tuotantotiloissa +17 °C ja aputi-  
loissa +20 °C.

Kokonaisenergiantarpeesta on vähennetty generaattorin magnetoinnin tuottama  
häviöenergia, joka lämmittää konesalia. Koska häviöenergian määrä on riippu-  
vainen generaattorin tehosta, on se laskettu generaattorin neljällä eri teholla.

Magnetoinnin häviöenergia on vähennetty rakennuksen kokonaisenergiatarpeesta, jolloin on saatu laskettua lämmitysjärjestelmällä tuotettavan lämmitysenergian määrä. Todellisuudessa lämpöpumpulla tuotettavan energian määrä voi olla laskennassa esitettyjä lukuja pienempikin, jos Lieksanjoen virtaama on niin suuri (yli 80 m<sup>3</sup>/s), että molemmat koneet ovat tuotannossa samaan aikaan. Tällöin magnetoinnin häviöiden tuottama lämmitysenergia muodostuu kahden koneen häviöistä.

Lämmitysenergian tarpeeksi lämmityskaudella saatiin **451 MWh**.

Lämmitysjärjestelmällä tuotettavan lämmitysenergian määrät generaattorin eri tehoalueilla on esitetty taulukossa 2.

**Taulukko 2. Lämmitysjärjestelmällä tuotettavan energian määrä vuodessa.**

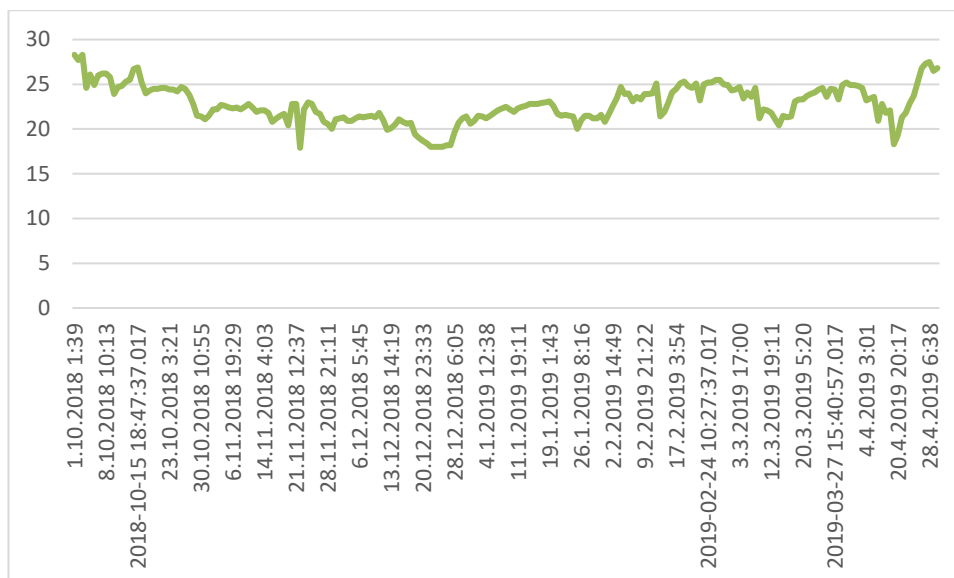
Kokonaisenergian tarve lämmityskaudella, MWh	Lämmitysjärjestelmällä tuotettavan energian määrä generaattorin eri kuormituksilla, MWh			
	40 %	60 %	80 %	100 %
451	239	189	132	65

### 5.3 Lämpöpumpun valinta ja energiantuotanto

Lämpöpumpun valinnassa lähtötietoina olivat laskennasta saatu rakennuksen huipputehon tarve 166 kW, generaattorin magnetoinnin häviöiden tuottama lämpöteho sekä generaattorin jäähdytysveden lämpötila ja virtaama. Generaattorin jäähdytysveden lämpötila ja virtaamatiedot lämmityskaudella saatiin Kemijoki Oy:n käyttödatasta, johon ne kerätään laitoksen automaatiojärjestelmästä.

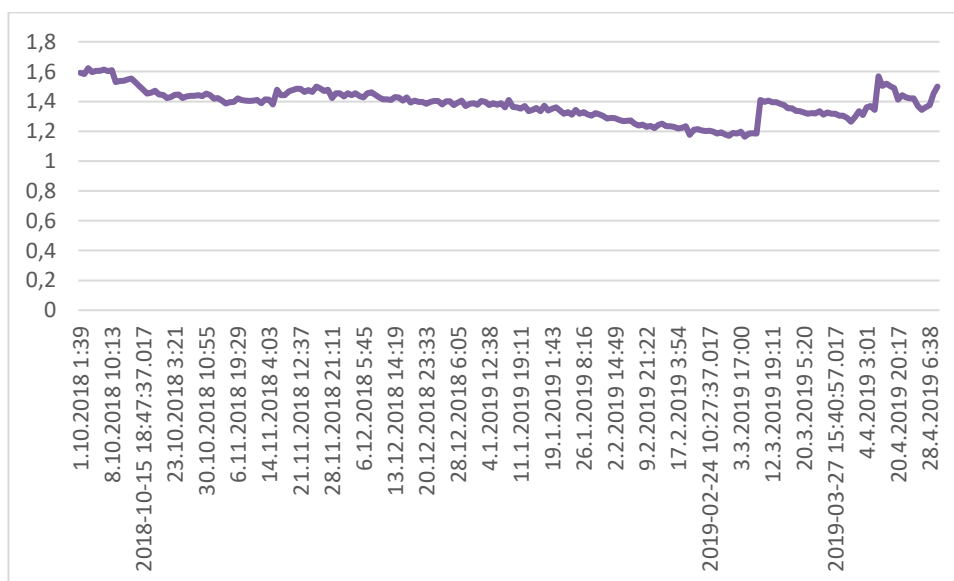
Jäähdytysveden lämpötilojen, virtaaman ja jäähdytystehon arvot lämmityskaudella 1.10.2018 – 30.4.2019 on esitetty kuvaajissa 7, 8 ja 9.

Mittaustietojen perusteella jäähdytysveden lämpötila on vaihdellut pääsääntöisesti välillä 20 – 25 °C-astetta (kuva 7). Lämpöpumpun keruupiirin lämmönvaihtimen tulevan veden mitoituslämpötilaksi valittiin +20 °C-astetta.



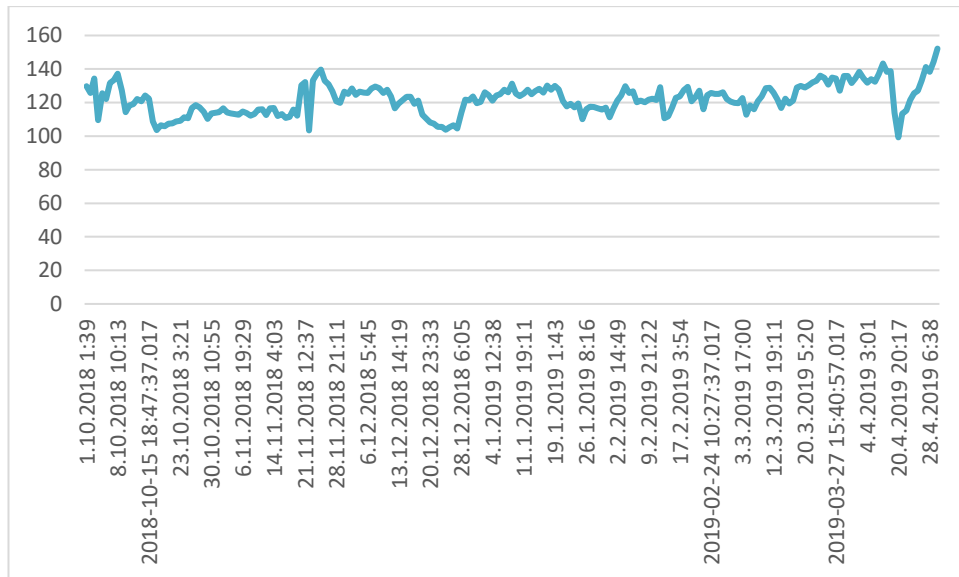
**Kuva 7. Generaattorin jäähdytysveden lämpötila.**

Jäähdytysveden virtaus on vaihdellut välillä 1,2 – 1,6 kg/s (kuva 8). Lämpöpumpun keruupiirin lämmönvaihtimen tulevan veden mitoitusvirtaamaksi valittiin 1,2 kg/s.



**Kuva 8. Generaattorin jäähdytysveden virtaus (l/s).**

Jäähdytysteho on vaihdellut välillä 100 – 140 kW (kuva 9).



**Kuva 9. Generaattorin jäähdytysteho (kW).**

Yllä oleviin laskenta- ja mittaustietoihin perustuen tehtiin sopivan kokoonpanon valinta käyttäen lämpöpumppuvalmistaja Chillerin valintaportaalia osoitteessa <https://portaali.chiller.fi/>. Valinta tehtiin osatehomitoituksella ottaen huomioon generaattorien magnetoinnin häviöteho, joka on generaattorin kuormituksesta riippuen 24 – 44 kW / generaattori (liite 1). Valitun kokoonpanon periaatekaavio on esitetty kuvassa 9. Lämmöntalteenotto- ja lämmityspiirien lämpötiloja on mahdollista muuttaa yksityiskohtaisen teknisen suunnittelun yhteydessä. Niillä on vaikutusta keruupiirien nestevirtauksiin ja lämpöpumpun tehoihin. Kuvassa 10 olevilla mitoitusiedoilla saadaan lämpöpumpun lämpötehoksi 83,8 kW ja kompressorin ottamaksi sähkötehoksi 19,5 kW, jolloin COP-arvoksi mitoitusasteessa tulee 4,3. Valitun kokoonpanon tekniset tiedot ovat liitteessä 4.

	Lämpöpumppu	
	Höyrystin	Lauhdutin
Teho (kW)	65,30	83,79
Nestevirta (l/s)	1,20	1,35
Painehäviö (kPa)	4,83	3,66

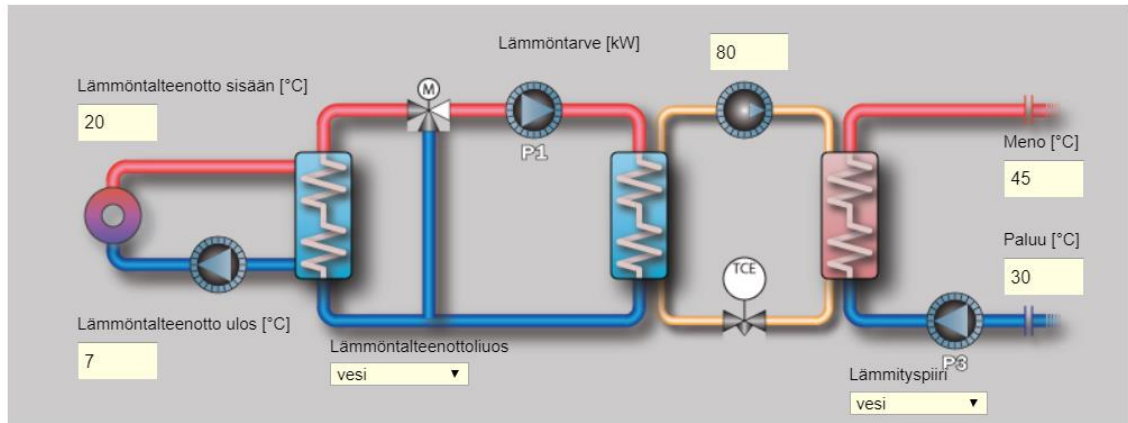
Valitse / päivitä koneikko

Valitse / päivitä lämmönsiirtimet

Valitse / päivitä nestejäähdytyn

Valitse lisävarusteet

Tee raportti



**Kuva 10 Chillerin valintaohjelmalla valittu lämpöpumppukokoonpano.**

Valitun kokoonpanon arvoilla voitiin laskea lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia, lisälämmitysenergian tarve ja kompressorin kuluttama sähköenergia vuodessa Suomen III lämpötilavyöhykkeen testivuoden lämpötila-arvoilla. Laskenta suoritettiin erikseen jokaiselle neljälle generaattorin tehoalueelle, olettaen että vain toinen generaattori on tuotannossa. Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 3.

**Taulukko 3. Lämpöenergian tuotanto- ja sähkönkulutustiedot valitulla kokoonpanolla.**

	Generaattorin kuormitus			
	40 %	60 %	80 %	100 %
<b>Lämpöpumpun tuottama energia, MWh</b>	232,7	184,8	129,4	63,9
<b>Lisälämmitysenergia, MWh</b>	6,4	4,3	2,4	1,0
<b>Lämpöpumpun kuluttama sähköenergia, MWh</b>	61,1	48,5	34,0	16,8

Tuloksista nähdään, että valitulla kokoonpanolla rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta saadaan katettua 97-98%.

Lämpöpumpun rinnalle lisäenergian lähteeksi tarvitaan sähkökattila, jolla voidaan tuottaa huipputehojen aikana tarvittava lisälämmitysenergia, ja joka toimii varalämmönlähteenä sellaisten tilanteiden varalta jolloin kumpikaan vesivoimakoneista ei ole tuotannossa. Sähkökattilan tehoksi riittää 40 kW, koska sillä saadaan katettua huipputehon tarpeet, ja se riittää tarvittaessa aputilojen lämmittämiseen ainoana lämmönlähteenä. Nykyinen sähkökattila on teholtaan 30 kW.

## 6 Kannattavuustarkastelu

Koska voimalaitos on sähköenergian kulutuksen suhteen omavarainen, on sähkön hintana laskelmissa käytetty pohjoismaisen sähköpörssin Nordpoolin Suomen SPOT-hintaa vuodelta 2018, joka oli 46,8 €/MWh [11, 27].

Lämpöpumpun tuottaman lämmitysenergian, lisälämmitysenergian ja lämpöpumpun sähkönkulutuksen euromääräiset vuosihinnat on esitetty taulukossa 4.

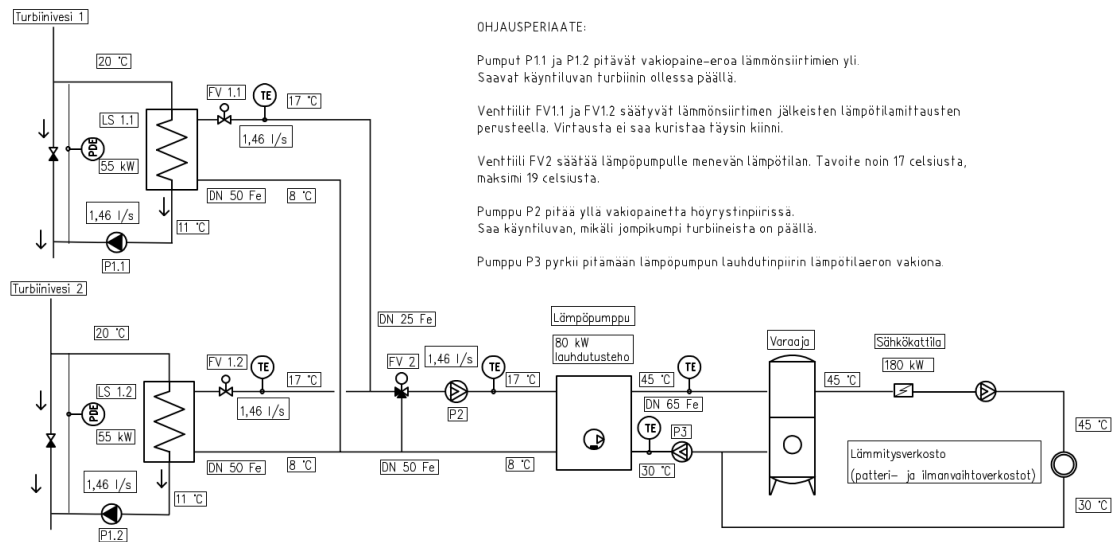
**Taulukko 4 Lämmitysenergian ja sähkönkulutuksen euromääräiset summat laskettuna generaattorin eri kuormituksilla**

	Generaattorin kuormitus			
	40 %	60 %	80 %	100 %
<b>Lämpöpumpun tuottaman energian hinta, €</b>	10 888 €	8 650 €	6 058 €	2 989 €
<b>Lisälämmitysenergian hinta, €</b>	300 €	201 €	112 €	47 €
<b>Lämpöpumpun kuluttaman sähköenergia hinta, €</b>	2 859 €	2 271 €	1 590 €	785 €

Lämpöpumppujärjestelmän investoinnin kokonaishinnaksi arvioitiin n. 133 000 € [12]. Hinta muodostuu lämmöntalteenottolämpöpumpusta, tarvittavista generaattorien jäähdytysveden lämmönsiirtimistä, lisä- ja varaenergianlähteenä toimivasta sähkökattilasta, lämminvesiverkoston varaajasta, putkistoista, pumpuista, venttiileistä, mittalaitteista, automaatiosta ja asennuksesta. Kytkenäkaavio on esitetty kuvassa 11 [12]. Koska Kemijoki Oy on liittynyt energiatehokkuussopimukseen [13], lämpöpumppuinvestointiin on mahdollista saada 15 % suuruinen investointituki [14]. Kannattavuuslaskelmissa investoinnin kokonaishinnasta on

vähennetty investointituen osuus, jolloin hankintakustannuksena laskelmissa on käytetty 110 000 €.

Järjestelmän vuosikustannukseksi laskettiin lämpöpumpun kuluttaman sähköenergian ja lisälämmitysenergian hinta. Vuosituotoksi laskettiin lämpöpumpun tuottaman energian hinta.



**Kuva 11. Lämpöpumppujärjestelmän kytkentäkaavio ja ohjausperiaate [12].**

Nykyisen sähkölämmitysjärjestelmän korvaaminen uudella sähkölämmityksellä arvioitiin maksavan 32 000 € [12].

Lämmitysjärjestelmän uusimisen investointilaskelmat ja alustava toteutussuunnittelu on saatu suunnittelutoimistolta heille annettujen lähtötietojen perusteella [12].

Seuraavissa taulukoissa (taulukot 4, 5, 6 ja 7) on esitetty lämpöpumppujärjestelmän investointiin liittyvien kustannusten ja tuottojen nykyarvot. Laskentakorkona on käytetty 2 %, takaisinmaksuaikana 20 vuotta ja sähkön hintana 46,8 €/MWh. Takaisinmaksulaskelmat on tehty generaattorin kuormituksilla 40 %, 60 %, 80 % ja 100 %.

**Taulukko 5. Nykyarvot generaattorin teholla 40 %.**

laskentakorko	2,00 %	
investointiaika vuosina	20	
		Nykyarvo
Hankintakustannukset	110 000 €	110 000 €
Vuotuiset kustannukset	-3 158 €	51 639 €
Vuotuiset tuotot	10 888 €	178 040 €
Jäännösarvo	0 €	0 €
Tuottojen nykyarvo		178 040 €
Kustannusten nykyarvo		161 639 €
<b>Erotus</b>		<b>16 402 €</b>

**Taulukko 6. Nykyarvot generaattorin teholla 60%.**

laskentakorko	2,00 %	
investointiaika vuosina	20	
		Nykyarvo
Hankintakustannukset	100 000 €	110 000 €
Vuotuiset kustannukset	-2 472 €	40 419 €
Vuotuiset tuotot	8 650 €	141 442 €
Jäännösarvo	0 €	0 €
Tuottojen nykyarvo		141 442 €
Kustannusten nykyarvo		150 419 €
<b>Erotus</b>		<b>-8 977 €</b>

**Taulukko 7. Nykyarvot generaattorin teholla 80%.**

laskentakorko	2,00 %	
investointiaika vuosina	20	
		Nykyarvo
Hankintakustannukset	110 000 €	110 000 €
Vuotuiset kustannukset	-1 702 €	27 837 €
Vuotuiset tuotot	6 058 €	99 054 €
Jäännösarvo	0 €	0 €
Tuottojen nykyarvo		99 054 €
Kustannusten nykyarvo		137 837 €
<b>Erotus</b>		<b>-38 784 €</b>

**Taulukko 8. Nykyarvot generaattorin teholla 100%.**

laskentakorko	2,00 %	
investointiaika vuosina	20	
		Nykyarvo
Hankintakustannukset	110 000 €	110 000 €
Vuotuiset kustannukset	-831 €	13 592 €
Vuotuiset tuotot	2 989 €	48 868 €
Jäännösarvo	0 €	0 €
Tuottojen nykyarvo		48 868 €
		123 592
Kustannusten nykyarvo		€
Erotus		-74 725 €

Laskelmista havaitaan, että vain generaattorin 40 %:n kuormituksella investoinnin tuottojen ja kustannusten nykyarvojen erotus on positiivinen valitulla laskentakorolla ja takaisinmaksuajalla. Jos hankintakustannuksesta vähennetään sähkökattilainvestoinnin hinta 32 000 €, joka on vähintään tehtävä vanhan järjestelmän uusimiseksi, silloin myös generaattorin 60 %:n kuormituksella nykyarvojen erotuksesta tulee positiivinen.

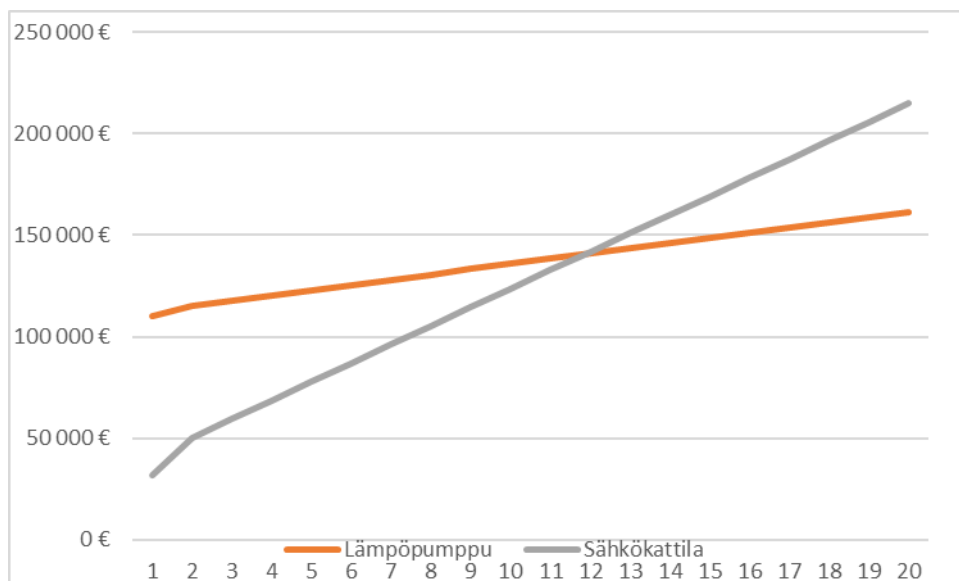
Suoran takaisinmaksuajan tulokset on esitetty taulukossa 9. Tuottojen ja kustannusten laskennassa on käytetty sähkön hintana 46,8 €/MWh.

**Taulukko 9. Suora takaisinmaksuaika.**

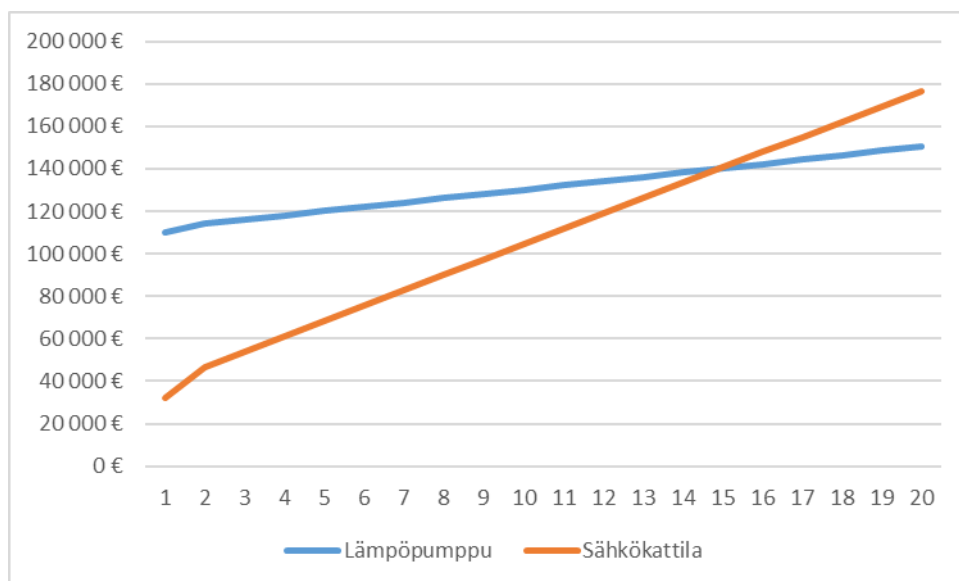
	Teho 40 %	Teho 60 %	Teho 80 %	Teho 100 %
Investointikustannus, €	110 000	110 000	110 000	110 000
Tuotot, €	10 888	8 650	6 058	2 989
Kustannukset, €	3 158	2 472	1 702	831
Takaisinmaksuaika, a	14	18	25	51

Jos verrataan lämpöpumppu- ja sähkökattilajärjestelmien nykyarvojen kustannuksia jaettuna 20 vuoden aikajaksolle nähdään, että lämpöpumppujärjestelmän kustannusten nykyarvo muuttuu generaattorin 40 %:n teholla edullisemmaksi 12 vuoden (kuva 12) ja generaattorin 60 %:n teholla 15 vuoden (kuva 13) jälkeen. Tätä suuremmilla generaattorin häviötehoilla lämpöpumppujärjestelmän nykyarvojen kustannukset eivät tule sähkökattilaa edullisemmiksi 20 vuoden aikana.

Sähkökattilan vuosikustannukseksi laskettiin sen lämmitykseen kuluttaman sähköenergian hinta.



**Kuva 12. Kustannusten nykyarvot generaattorin teholla 40 %.**



**Kuva 13. Kustannusten nykyarvot generaattorin teholla 60 %.**

## 7 Pohdinta ja johtopäätökset

Olemassa olevien lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien heikon teknisen kunnan takia Kemijoki Oy:n täytyy tehdä hyvin lähiaikoina päätöksiä järjestelmien uusimisesta. Kemijoki Oy on lisäksi liittynyt elinkeinoelämän energiatehokkuussopimukseen vuosille 2017 - 2025, ja sitoutunut sitä kautta energiansäästötavoitteisiin, sekä tunnistamaan ja toteuttamaan energiatehokkuustoimenpiteitä [13].

Laskennan aluksi tarkasteltiin lyhyesti generaattorien jäähdytysjärjestelmien uudistamista suljetuksi järjestelmäksi. Sen etuna olisivat tarkempi generaattorin lämmönsäätö, vähäisempi lämmönvaihdinten likaantuminen ja sitä kautta pienemmät kunnossapitokustannukset, sekä jäähdytykseen käytetyn vesien energian hyödyntäminen sähköntuotantoon. Laskelmat kuitenkin osoittavat selkeästi ettei se ole kannattava hanke taloudellisesti eikä energiatehokkuuden kannalta. Myöskään generaattorien käytettävyys ja kunnossapidolliset syyt eivät riitä perusteeksi suljetun järjestelmän hankinnalle, koska nykyisellä järjestelmällä on pärjätty vuosikymmeniä ilman merkittäviä tuotannon menetyksiä.

Lieksankosken vesivoimalaitoksen lämmitystehontarpeen laskeminen oli varsin monimutkainen tehtävä, johtuen tilojen monimutkaisesta rakenteesta, erilaisista käyttötarkoituksesta riippuvaisista sisälämpötiloista ja rakennusosien erilaisista lämmönläpäisykerroimista. Laitoksen iästä johtuen myöskään yksityiskohtaisia rakennesuunnitelmia ei ollut käytettävissä, joista rakenteiden lämmönläpäisykerroimet olisi voinut tarkistaa. Laskennassa olivat käytettävissä rakennussuunnittelutoimiston laskemat noin arvot. Edellä mainituista syistä johtuen myös saatu tehon tarve on noin arvo. Tehon laskentaan käytettiin kuitenkin paljon aikaa jatko-suunnittelun helpottamiseksi, ja tehontarpeet laskettiin tilakohtaisesti rakennuksen sisäiset lämpötilaerot huomioiden parhaita saatavilla olevia lähtö- ja suunnittelutietoja käyttäen.

Huipputehon laskennasta saatuja tuloksia hyödyntäen laskettiin rakennuksen vuotuinen kokonaisenergiantarve. Tuloksista nähdään, että generaattorien häviöteholla saadaan katettua merkittävä osa lämmityksen kokonaisenergiantarpeesta, jopa 85 % jos generaattorin sähköteho on lähellä 100 %. Tällaista tilannetta on kuitenkin harvoin pakkaskaudella, koska tällöin myös joen virtaama on yleensä pienimmillään, joten lisäksi tarvitaan jokin muu lämmitysjärjestelmä. Lämpöpumppujärjestelmän etuna pelkkään sähkölämmitykseen verrattuna on, että siinä voidaan hyödyntää generaattorien jäähdytykseen käytettävään veteen sitoutunutta lämpöenergiaa.

Lämpöpumpun valinnassa käytettiin mitoitustietoina generaattorin jäähdytysveden virtaamaa ja lämpötilaa, ja rakennuksen lämpötehon tarvetta vähennettynä generaattorin magnetoinnin 40 %:n häviöteholla kuormitustilanteessa. Valinta tehtiin osatehomitoituksella, että mahdollisimman suuri osa lämmitysenergiasta saadaan tuotettua lämpöpumpulla ja että sillä ja varalämmitysjärjestelmänä käytettävällä sähkökattilalla saadaan katettua kovimpien pakkasten aikainen huipputehontarve. Valitulla lämpöpumppukokoonpanolla rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta saadaan katettua 97 – 98 %. Lämpöpumpun ja 40 kW sähkökattilan yhteinen lämpöteho riittää -26 °C-asteeseen saakka generaattorin 40 % sähköteholla.

Lämpimän käyttöveden tarve laitoksella on hyvin vähäinen, koska laitos on miehittämätön ja lämmintä vettä tarvitaan lähinnä käsien pesuun, tiskaamiseen ja siivoamiseen. Tästä syystä lämmin käyttövesi kannattaa kuumentaa erillisellä varaajalla, jolloin varsinaisen lämmitysjärjestelmän kiertoveden lämpötila voidaan mitoittaa lämpöpumpun hyötysuhteen kannalta optimaaliseksi.

Investoinnin taloudellisen kannattavuuden kannalta merkittävin tekijä on generaattorien häviöteholla tuotetun lämpöenergian määrä. Vain generaattorin 40 %:n sähköteholla laskettuna hanke on selkeästi taloudellisesti kannattava 2 %:n korralla ja 20 vuoden käyttöajalla laskettuna. Jos käyttöaikaa pidennetään 25 vuoteen, myös 60 %:n sähköteholla laskettuna hankkeesta tulee taloudellisesti kan-

nattava. Toisaalta jos verrataan lämpöpumpun ja sähkökattilan kustannusten nykyarvoja 2 %:n korolla ja 20 vuoden käyttöajalla, niin lämpöpumppu on edullisempi vaihtoehto generaattorien 40 %:n ja 60 %:n sähkötehoilla.

Jos tarkastellaan hankkeen kannattavuutta energiansäästön näkökulmasta, sillä voidaan saavuttaa enimmillään noin 170 MWh:n energiansäästö vuodessa laskeuttaessa lämmitysenergian tarvetta generaattorin 40 % sähköteholla. Säästynyt lämmitysenergia vastaa noin 10 sähkölämmitteisen omakotitalon vuotuista energiankulutusta. Kyseessä olisi siis merkittävä energiansäästöhanke, joka auttaisi Kemijoki Oy:tä täyttämään energiatehokkuussopimuksen tavoitteet, varsinkin jos tulevaisuudessa on tarkoitus lämmitellä myös tuotantotilat, koska se lisää merkittävästi voimalaitoksen kokonaisenergiatarvetta verrattuna nykyiseen tilanteeseen.

Tuotantotilojen jäähdytystarpeen tarkastelu jäi tällä kertaa tämän työn ulkopuolelle, koska se on suunniteltu toteutettavan tehokkaalla koneellisella ilmanpoistolla, joka on käytössä vain kesäaikaan. Lämpöpumpun käyttöä aputilojen jäähdytystarpeisiin koneellisen ilmavaihdon kautta kannattaisi kuitenkin selvittää mahdollisen lämpöpumppujärjestelmän toteutussuunnittelun yhteydessä.

Vaikka Lieksankosken lämmitystehontarpeen laskentaan liittyy epätarkkuustekijöitä, eikä saatuja tuloksia voida helposti todentaa, niin työn tuloksena saatu laskentatyökalu mahdollistaa helposti erilaisten skenaarioiden simuloinnin jatkopäästösten tueksi. Työkalua voidaan käyttää seuraavaksi Pankakosken vesivoimalaitoksen tehon- ja energiakulutuksen laskennassa sekä kannattavuustarkastelussa.

## Lähteet

1. Kemijoki Oy. 2013. Jäähdytysvesiputkiston PI-kaavio.  
Piir. no. K 1 LKS 45006 A.
2. MV-Jäähdytys Oy. 2016. Lämmitys.  
<http://www.mv-jaahdytys.fi/lammitys/>. 29.12.2016.
3. Rauman Kylmä rakenne Oy. 2016. Kylmäainepiiri.  
<http://www.kylmarakenne.fi/Sivusto/Kylmaainepiiri.html>. 29.12.2016.
4. Slideplayer.biz. 2016. Prosessiautomaatio.  
<http://slideplayer.biz/slide/2285216/>. 29.12.2016.
5. Motiva. 2019. Lämmitysmuodot. Poistoilmalämpöpumppu.  
[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/poistoilmalampopumppu](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/poistoilmalampopumppu).  
3.12.2019.
6. A-energia. 2019. Poistoilmalämpöpumppu. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate.  
<https://www.a-energia.fi/poistoilmalampopumppu>. 3.12.2019
7. Ympäristöministeriö. 2018. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta.  
<https://www.ym.fi/download/noname/%7B4332AA81-75E1-4CA0-B208-B0ACB60A267F%7D/133692>. 3.12.2019.
8. Ympäristöministeriö. 2017. 1010/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Suomen säädöskokoelma.  
<https://www.ym.fi/download/noname/%7BFD99E48D-F28B-452E-8175-29EA77ABD4CA%7D/133872>. 3.12.2019.
9. Ilmatieteen laitos. Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. Energialaskennan testivuodien tuntiaineisto. Vyöhyke III.  
[https://ilmatieteenlaitos.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=0d201128-e913-4709-b806-310e31858fe0&groupId=30106](https://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=0d201128-e913-4709-b806-310e31858fe0&groupId=30106). 19.11.2019.
10. Ilmatieteen laitos. Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. Sääsuureiden keskimääräiset arvot kuukausittain. Vyöhyke III.  
[https://ilmatieteenlaitos.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=9729aa95-0c10-437f-933e-eca9da9e3320&groupId=30106](https://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=9729aa95-0c10-437f-933e-eca9da9e3320&groupId=30106). 19.11.2019.
11. Energiateollisuus ry. 2019. Sähkötillastot. Esitys Energiavuosi 2018 – Sähkö.  
<https://www.slideshare.net/energiateollisuus/energiavuosi-2018-shk-140563388>. 3.12.2019.
12. Granlund Oy. 2019. Lieksankosken voimalaitosgeneraattoriveden lämmöntalteenottojärjestelmä. 23.10.2019.
13. Motiva. 2019. Energiatehokkuussopimukset 2017 – 2025.  
<http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/energiatehokkuussopimukset/#energiatehokkuussopimukset-2017-2025>.  
3.12.2019.
14. Työ- ja elinkeinoministeriö. 2019. Energiatuki. Tuettavat hankkeet ja tuen enimmäismäärä.  
<https://tem.fi/tuettavat-hankkeet>. 3.12.2019.
15. Wikipedia. 2019. Lämpöpumppu.  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4mp%C3%B6pumppu>.  
18.12.2019

**Liite on poistettu sen sisältämien luottamuksellisten tietojen vuoksi.**

Kohde

Lisätiedot

Konetunnus

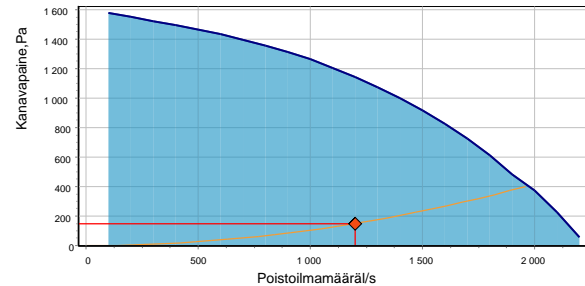
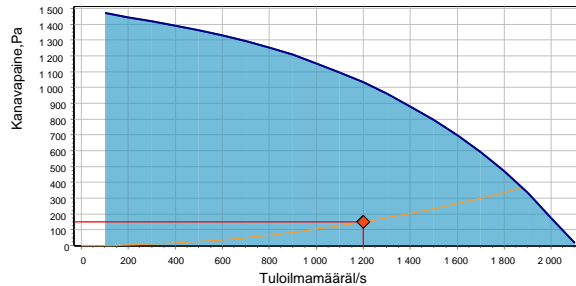


**Tuloilmamäärä**  
**Poistoilmamäärä**

1200 l/s  
1200 l/s

**Kanavapaine**  
**Kanavapaine**

150 Pa  
150 Pa



**Ominais sähköteho SFP**

1,25 kW / (m<sup>3</sup>/s)

**LTO:n lämpötilahyötysuhde**

92,5% Alue 3 (-32 °C)

**Äänitiedot**

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz	Lw	LwA
	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB(A)
Tuloilma	66	66	72	70	73	71	67	64	79	77
Poistoilma	54	55	60	59	52	46	32	27	64	59
Ulkoilma	60	61	64	63	59	57	48	42	69	65
Jäteilma	66	68	69	69	72	69	66	62	77	76
Vaipan läpi	58	53	50	48	51	43	39	36	61	53

**Tuloilmasuodatin**

Malli  
Koko  
Suodatusluokka  
Alkupainehäviö (puhdas)  
Painehäviömitoitus (0% likaantunut)  
Loppupainehäviö (liikainen)

Pussisuodatin  
2kpl 590x842-450/8  
F7 (PM1, 60%)  
67 Pa  
67 Pa  
134 Pa

**Poistoilmasuodatin**

Malli  
Koko  
Suodatusluokka  
Alkupainehäviö (puhdas)  
Painehäviömitoitus (0% likaantunut)  
Loppupainehäviö (liikainen)

Pussisuodatin  
2kpl 590x842-450/5  
M5 (PM10, 60%)  
31 Pa  
31 Pa  
78 Pa

**Jälkilämmityspatteri**

Haluttava teho  
Patterin teho  
Putkiliitäntä  
Ilma  
Otsapintanopeus  
Painehäviö  
Tuloilma LTO:n jälkeen  
Laskenta (sis. turvarajan 4 °C)  
Lämpötila patterin jälkeen  
Neste  
Menovesi  
Paluuvesi  
Nestevirta  
Nesteen painehäviö  
Virtausnopeus

54,72 kW  
54,72 kW  
2x DN32 UK  
1,5 m/s  
18 Pa  
-16,0 °C  
-20,0 °C  
18 °C  
60 °C  
40 °C  
0,65 l/s  
12,8 kPa  
0,81 m/s

Kohde

Lisätiedot

Konetunnus



<b>Tuloilmamäärä</b>	1200 l/s	Kanavapaine	150 Pa
<b>Poistoilmamäärä</b>	1200 l/s	Kanavapaine	150 Pa

### Vastavirtakenno

Lämpötilahyötysuhde	88,6 %
LTO:n laskennallinen poistoilmavuosihyötysuhde	69,7 % Alue 3 (-32 °C)
LTO:n sulatus	Ohitus
Kennon teho mitoituspisteessä	54,23 kW
Lämpötilahyötysuhde, kuiva EN308	86,2 %
<b>Tuloilma</b>	
Painehäviö	117,9 Pa
Ulkoilmanlämpötila	-32,0 °C
Tuloilma LTO:n jälkeen	-16,0 °C
Ulkoilman suhteellinen kosteus	20,0 %
LTO:n huurteenesto	2 °C
<b>Poistoilma</b>	
Painehäviö	168,4 Pa
Poistoilman lämpötila	18 °C
Jäteilmanlämpötila	2 °C
Poistoilman suhteellinen kosteus	40,0 %

### Tuloilmapuhallin

Tasavirtakammio puhallin -EC, portaattomalla säädöllä	
Ottoteho	824 W
Kokonaispaineenkorotus	408 Pa
Pyörimisnopeus	1 624 rpm
Tyyppi	K3G400
Ohjausjännite	6,0 V
K-arvo	188 m³/h

### Poistoilmapuhallin

Tasavirtakammio puhallin -EC, portaattomalla säädöllä	
Ottoteho	682 W
Kokonaispaineenkorotus	412 Pa
Pyörimisnopeus	1 527 rpm
Tyyppi	K3G400
Ohjausjännite	5,6 V
K-arvo	188 m³/h

### Sähkö tiedot

Ottoteho	6,7 kW
Syöttösulake	3x16 A

### Paino

821 kg

Kohde

Lisätiedot

Konetunnus



<b>Tuloilmamäärä</b>	1200 l/s	Kanavapaine	150 Pa
<b>Poistoilmamäärä</b>	1200 l/s	Kanavapaine	150 Pa

**Tuloilmasuodatin**

Suodatusluokka	EU7
Painehäviömitoitus (0% likaantunut)	67 Pa

**Poistoilmasuodatin**

Suodatusluokka	EU5
Painehäviömitoitus (0% likaantunut)	31 Pa

**Tuloilmapuhallin**

Tasavirtakammiopuhallin -EC, portaattomalla säädöllä	
Ottoteho	824 W
Kokonaispaineenkorotus	408 Pa
Pyörimisnopeus	1 624 rpm

**Poistoilmapuhallin**

Tasavirtakammiopuhallin -EC, portaattomalla säädöllä	
Ottoteho	682 W
Kokonaispaineenkorotus	412 Pa
Pyörimisnopeus	1 527 rpm

**Ominais sähköteho SFP** 1,3 kW / (m<sup>3</sup>/s)

**Tehostusvara** 56,4 %

**Täyttää uudet ekosuunnitteludirektiivit 1.1.2018 (2009/125/EY)**

Kohde

Lisätiedot

Konetunnus



<b>Tuloilmamäärä</b>	1200 l/s	Kanavapaine	150 Pa
<b>Poistoilmamäärä</b>	1200 l/s	Kanavapaine	150 Pa

LTO:n tuloilmahyötysuhde	89 %
Poistoilman suhteellinen kosteus	40 %
Poistoilman lämpötila	18 °C
Tuloilman lämpötila	18 °C
Ulkoilmanlämpötila	-32 °C
Käyttöaika	24 h/vrk
ilman ominaispaine	roo 1,2 kg/m <sup>3</sup>
astepäiväluku	5 313 Alue 3 (-32 °C)
LTO:n huurteeneston jäteilman lämpötila	2 °C

ilman lämmitysenergian tarve ilman LTO:ta (A)	183 612 kWh/a
LTO:lla talteenotettu lämmitysenergia (A-B)	128 037 kWh/a

**Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde 69,7 %**

$$\eta_a = \frac{R_T S_T}{S_S} = \frac{1,00 * 3\,705}{5\,313} = 69,7$$

Liite 1

ST ja SS:n arvot on kuvattu liitteessä 1.

Kohde

Lisätiedot

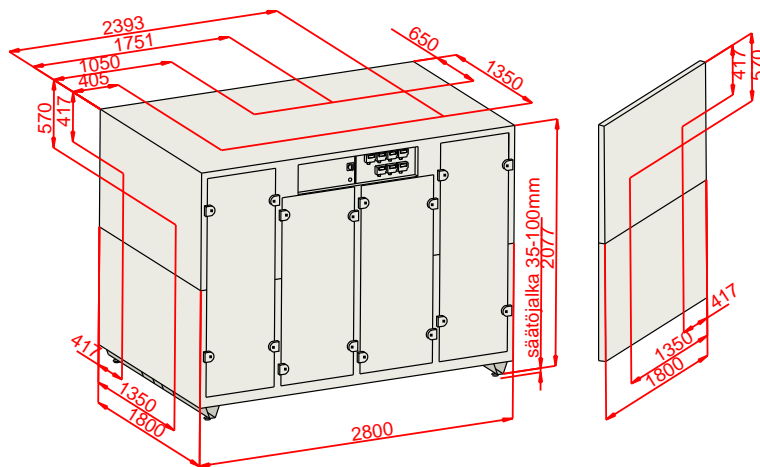
Konetunnus



<b>Tuloilmamäärä</b>	1200 l/s	Kanavapaine	150 Pa
<b>Poistoilmamäärä</b>	1200 l/s	Kanavapaine	150 Pa

## Mittakuva 6485-EC

## Kanavalähdöt



Kohde

Lisätiedot

Konetunnus



**Tuloilmamäärä** 1200 l/s Kanavapaine 150 Pa  
**Poistoilmamäärä** 1200 l/s Kanavapaine 150 Pa

tu	Aika	ttLto, C	tj, C	ts	tj	ttLTO	RLTO	ηt	ηp	SS, Kd	ST, Kd
°C	vuodesta, %	maks.	min	°C	°C	°C					
-34	0,057	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,31	0,31	11	3
-33	0,080	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,31	0,31	4	1
-32	0,091	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,32	0,32	2	1
-31	0,171	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,33	0,33	14	5
-30	0,263	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,33	0,33	16	5
-29	0,377	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,34	0,34	20	7
-28	0,548	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,35	0,35	29	10
-27	0,753	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,36	0,36	34	12
-26	0,902	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,36	0,36	24	9
-25	1,210	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,37	0,37	48	18
-24	1,553	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,38	0,38	53	20
-23	1,975	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,39	0,39	63	25
-22	2,432	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,40	0,40	67	27
-21	2,911	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,41	0,41	68	28
-20	3,368	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,42	0,42	63	27
-19	3,984	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,43	0,43	83	36
-18	4,749	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,44	0,44	101	45
-17	5,731	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,46	0,46	125	57
-16	6,963	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,47	0,47	153	72
-15	7,740	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,48	0,48	94	45
-14	8,402	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,50	0,50	77	39
-13	9,064	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,52	0,52	75	39
-12	9,680	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,53	0,53	67	36
-11	10,450	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,55	0,55	82	45
-10	11,950	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,57	0,57	153	88
-9	13,320	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,59	0,59	135	80
-8	14,510	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,62	0,62	113	69
-7	15,960	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,64	0,64	132	85
-6	17,710	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,67	0,67	153	102
-5	19,900	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,70	0,70	184	128
-4	22,910	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,73	0,73	242	176
-3	26,290	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,76	0,76	259	197
-2	29,100	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,80	0,80	205	164
-1	32,930	17	0	18	2,0	18,0	1,0	0,84	0,84	266	224
0	38,180	17	0	18	2,8	18,0	1,0	0,85	0,85	345	291
1	45,470	17	0	18	3,6	18,0	1,0	0,85	0,85	452	383
2	50,210	17	0	18	4,4	18,0	1,0	0,85	0,85	277	235
3	54,030	17	0	18	5,3	18,0	1,0	0,85	0,85	209	177
4	56,950	17	0	18	6,1	18,0	1,0	0,85	0,85	149	127
5	59,390	17	0	18	6,9	18,0	1,0	0,85	0,85	116	99
6	62,070	17	0	18	7,8	18,0	1,0	0,85	0,85	117	100
7	63,950	17	0	18	8,6	18,0	1,0	0,85	0,85	75	64
8	65,960	17	0	18	9,5	18,0	1,0	0,85	0,85	73	63
9	68,370	17	0	18	10,3	18,0	1,0	0,86	0,86	79	68
10	70,880	17	0	18	11,1	18,0	1,0	0,86	0,86	73	63
11	73,740	17	0	18	12,0	18,0	1,0	0,86	0,86	73	63
12	76,390	17	0	18	12,8	18,0	1,0	0,86	0,86	58	50
								Yhteensä		5 313	3 705

10.10.2017

## Lieksankosken voimalaitos

### Ulkovaipparakenteiden U-arvot

Seuraavassa esitettyjen U-arvojen arvioinnissa on käytetty kuntotutkimusraportissa esitettyjen ulkovaipparakenteiden materiaaleja ja rakennepaksumuksia. Esitetyt U-arvot ovat suuntaa antavia.

**Ulkoseinä / rapatut pitkät julkisivut:** U ~ 0,86 W/m<sup>2</sup>K

**Ulkoseinä / rapatut päätyjulkisivut,  
uittokanavan puoleinen pääty:** U ~ 0,68 W/m<sup>2</sup>K

**Ulkoseinä / rapatut päätyjulkisivut,  
kytkentäkentän puoleinen pääty:** U ~ 1,30 W/m<sup>2</sup>K

**Yläpohja:** U ~ 0,50 W/m<sup>2</sup>K

**Aurinkosäleikköjen kohdalla olevat ikkunat,  
puurakenteiset, 2-lasiset:** U ~ 2,5 W/m<sup>2</sup>K

**Aurinkosäleikköjen alapuolella olevat ikkunat,  
teräsrakenteiset, 2-lasiset:** U ~ 2,7 W/m<sup>2</sup>K

**Ylävirran puoleiset ikkunat,  
puurakenteiset, lämpölasi:** U ~ 2,4 W/m<sup>2</sup>K

Asiakas: Maintpartner Oy  
Kohde: Lieksankosken vesivoimalaitos  
Tunnus: LKS

Valinnan laskija: Taisto Partanen  
Valinta no: 79312

### Lämmöntalteenotto lämpöpumppu CHT-I

Valinta: CHT-I-20-2D-X-F1-F3-RE1-R410A-DR-NS-VI-CE1-PH-PL-SN

Suoritusarvot (Kylmäaine R410a, liikaantumiskerroin 0,044 m<sup>2</sup>K/kW)

Lämmönkeruuteho	65,3	kW
Virtaama	1,20	l/s
Painehäviö	4,8	kPa
Nesteen (vesi) lämpötila (tuleva/lähtevä)	17,0 / 4,0	°C

Lämmitysteho	83,8	kW
Virtaama	1,3	l/s
Painehäviö	3,7	kPa
Nesteen (vesi) lämpötila (tuleva/lähtevä)	30,0 / 45,0	°C

Tehonsäätö	0/50/100	%
------------	----------	---

#### Sähkö tiedot

Liitäntä	400-50-3	V/Hz/Ph
Kompressorien ottoteho valinnan olosuhteissa	19,5	kW
Kompressorien käyntivirta valinnan olosuhteissa	34,8	A
Koneikon maksimi liitäntäteho <sup>4</sup>	32,4	kW
Etusulakkeen koko	63	A

#### Mittatiedot

Erikoiskoneikko, mitat saa Chiller Myynniltä

#### Ääni

Kokonaistehotaso <sup>1</sup>	75							dB(A)
Taajuus	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
Tehotaso	31	48	64	67	70	67	57	dB
Painetaso <sup>2</sup>	23	40	56	59	62	59	49	dB

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

<sup>1</sup>Valinnan mukaiset vaimennukset huomioitu

<sup>2</sup>Painetaso laskettu puoliavaruudessa 1 m etäisyydellä

<sup>4</sup>Suurpainepuolen suunnittelulämpötilassa 65 °C

**Lyhenteet**

$A_i$	rakennusosan $i$ pinta-ala, ( $m^2$ )
$A_{ikk}$	ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen), ( $m^2$ )
$A_{netto}$	rakennuksen lämmitetty nettoala, ( $m^2$ )
$A_{netto, i}$	rakennuksen osan $i$ lämmitetty nettoala, jonka lämmön jakelujärjestelmä kattaa, ( $m^2$ )
$A_{vaippa}$	rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), ( $m^2$ )
$C_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$C_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,18 kJ/(kg K)
$e_{tilat}$	lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähkön ominaiskulutus, (kWh/( $m^2$ a))
$e_{tuotto}$	apulaitteiden ominaiskulutus, (kWh/( $m^2$ a))
$h$	veden putoamiskorkeus, (m)
$H_{tila}$	rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö, (W/K)
$l_k$	viivamaisen kylmäsillan pituus, (m)
$n_{50}$	rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, (1/h)
$P_{apu}$	lämpöpumpun apulaitteiden sähköteho, (kW)
$P_{puh}$	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen sähköteho tehonsäätölaitteineen, (kW)
$P_{lkv, pumpu}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtojohdon pumpun ottoteho, (W)
$P_{muu}$	muiden ilmanvaihtojärjestelmän laitteiden kuin puhaltimien ja puhaltimen tehon säätölaitteiden sähköteho, (W)
$P_{pumpu}$	pumpun teho, (W)
$P_{pumpu, i}$	yksittäisen pumpun $i$ teho, (W)
$ps$	ilmaan siirtyvän lämpötehon ja puhaltimen sähkötehon suhde, -
$q_{50}$	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, ( $m^3/(h \cdot m^2)$ )
$Q_{alapohja}$	johtumislämpöhäviö alapohjien läpi, (kWh)
$Q_{ikkuna}$	johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi, (kWh)
$Q_{iv}$	ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, (kWh)
$Q_{iv, korvausilma}$	korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, (kWh)
$Q_{iv, tuloilma}$	tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, (kWh)

$Q_{\text{jakelu,ulos}}$	lämmön jakelujärjestelmän lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan, (kWh/a)
$Q_{\text{jakeluhäviöt,ulos}}$	lämmön jakelujärjestelmän ominaislämpöhäviö lämmittämättömään tilaan, (kWh/(m a))
$Q_{\text{ji}}$	ilmastointikoneen jäähdytyspatterin käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia, (kWh/a)
$Q_{\text{joht}}$	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, (kWh)
$Q_{\text{kylmäsilat}}$	johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi, (kWh)
$Q_{\text{lisälämmitys,lkv}}$	lämpimän käyttöveden lisälämmityksen energiantarve, (kWh)
$Q_{\text{lisälämmitys,tilat}}$	tilojen lisälämmityksen energiantarve, (kWh)
$Q_{\text{LP}}$	lämpöpumpun tuottama lämpöenergia, (kWh)
$Q_{\text{LP,lämmitys,lkv}}$	lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, (kWh)
$Q_{\text{LP,lämmitys,tilat}}$	lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, (kWh)
$Q_{\text{lto}}$	ilmanvaihdosta talteenotettu energia, (kWh)
$Q_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, (kWh/a)
$Q_{\text{lämmitys,iv}}$	ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve, (kWh)
$Q_{\text{lämmitys,lkv}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, (kWh)
$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, (kWh)
$Q_{\text{lämmitys,tilat,iv,lkv}}$	tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmityksen lämpöenergian tarve, (kWh)
$Q_{\text{lämmitys,tilat,lkv}}$	tilojen ja käyttöveden lämmityksen lämpöenergian tarve, (kWh)
$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$	tilojen lämmitysenergian nettotarve, (kWh)
$Q_{\text{lämpökuorma}}$	rakennuksen lämpökuorma, (kWh)
$Q_{\text{muu}}$	johtumislämpöhäviö tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, (kWh)
$Q_{\text{muu tuotto}}$	muilla mahdollisilla tuottojärjestelmillä tuotettu energia, (kWh)
$Q_{\text{ovi}}$	johtumislämpöhäviö ulko-ovien läpi, (kWh)
$Q_{\text{rakosa}}$	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, (kWh)
$Q_{\text{sis. lämpö}}$	lämpökuormat, joka hyödynnetään lämmityksessä, (kWh)
$Q_{\text{säh}}$	valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma, (kWh)
$Q_{\text{tila}}$	tilojen lämmitysenergian tarve, (kWh)

$Q_{\text{varastointi,ulos}}$	laskettavan lämmön jakelujärjestelmän varastoinnin lämpöhäviö, (kWh)
$Q_{\text{ulkoseinä}}$	johtumislämpöhäviö ulkoseinien läpi, (kWh)
$q_v$	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$q_{v,\text{korvausilma}}$	korvausilmavirta, ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$q_{v,\text{poisto}}$	poistoilmavirta, ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$q_{v,\text{tulo}}$	tuloilmavirta, ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$q_{v,\text{vuotoilma}}$	vuotoilmavirta, ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, (kWh)
$Q_{\text{yläpohja}}$	johtumislämpöhäviö yläpohjien läpi, (kWh)
$R$	tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan, -
$SFP$	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, ( $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ )
$SPF$	lämpöpumpun kausisuorituskykykerroin, SPF-luku, -
$SPF_{\text{Ikv}}$	lämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä, -
$SPF_{\text{tilat}}$	lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä, -
$T_{\text{up}}$	ulospuhallusilman lämpötila, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{liuos}}$	maalämpöpumpun keruupiiriltä tulevan liuoksen lämpötila, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{lto}}$	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{lto,mit}}$	lämmön talteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila mitoitustilanteessa, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{m}}$	korkein menoveden lämpötila, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{maa}}$	maan lämpötila laskentajakson aikana, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{maa,kuukausi}}$	alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{maa,vuosi}}$	alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{s}}$	sisäilman lämpötila, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{sp}}$	sisäänpuhalluslämpötila, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{u}}$	ulkoilman lämpötila, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{u,mit}}$	mitoitettava ulkoilman lämpötila, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{u,vuosi}}$	ulkoilman vuotuinen keskilämpötila, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$U_i$	rakennusosan $i$ lämmönläpäisykerroin, ( $\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$ )
$V$	rakennuksen ilmatilavuus, ( $\text{m}^3$ )
$\dot{V}$	jäähdytysveden virtaama, ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$W_{\text{ilmanvaihto}}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, (kWh)
$W_{\text{iv,mutu}}$	mutu ilmanvaihtojärjestelmän sähkökulutus, (kWh)

$W_{\text{lisälämmitys}}$	tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä tarvittavan lisälämmityksen sähköenergian tarve, (kWh)
$W_{\text{LP,apu}}$	lämpöpumpun apulaitteiden sähköenergian kulutus, (kWh)
$W_{\text{LP,lämmitys}}$	lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus, (kWh)
$W_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus, (kWh)
$W_{\text{puhallin}}$	puhaltimen sähköenergian kulutus, (kWh)
$W_{\text{tilat}}$	lämmön jakelujärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, (kWh)
$W_{\text{tuotto,apu}}$	lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, (kWh)
$x$	kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja neli-kerroksisille 20 ja viisikerroksisille ja sitä korkeimmille rakennuksille 15
$\Delta p_{\text{puhallin}}$	puhaltimen paineen korotus, (Pa)
$\Delta t$	ajanjakson, laskentajakson tai käyttöajan ajallinen kesto, (h)
$\Delta T_{\text{puhallin}}$	lämpötilan nousu puhaltimessa, (°C)
$\Delta T_{\text{maa,kuukausi}}$	alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpö-tilan ero, (°C)
$\Delta T_{\text{maa,vuosi}}$	alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero, (°C)
$\eta_{\text{kenno}}$	kennoston hyötysuhde, -
$\eta_{\text{a,ivkone}}$	ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde, -
$\eta_{\text{iv}}$	ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa, -
$\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$	lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde, -
$\eta_{\text{p,mit}}$	lämmön talteenoton poistoilman lämpötilasuhde mitoitusilanteessa, -
$\eta_{\text{t}}$	lämmön talteenoton lämmönsiirtimen lämpötilasuhde, -
$\eta_{\text{t,mit}}$	lämmön talteenoton tuloilman lämpötilasuhde mitoitusilanteessa, -
$\rho_{\text{i}}$	ilman tiheys, 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{\text{v}}$	veden tiheys, 1000 kg/m <sup>3</sup>
$\phi_{\text{alapohja}}$	johtumislämpöteho alapohjien läpi, (W)
$\phi_{\text{ikkuna}}$	johtumislämpöteho ikkunoiden läpi, (W)

$\Phi_{iv}$	ilmavaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, (W)
$\Phi_i$	johtumislämpöteho rakennusosan i läpi, (W)
$\Phi_{joht}$	johtumislämpöteho rakennusvaipan läpi, (W)
$\Phi_{korvausilma}$	korvausilman lämpenemisen lämpötehon tarve, (W)
$\Phi_{kylmäsiljat}$	johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi, (W)
$\Phi_{LPn}$	lämpöpumpun nimellisteho, (W)
$\Phi_{lto}$	lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, (W)
$\Phi_{lämmitys}$	rakennuksen lämmitystehon tarve, (W)
$\Phi_{muu}$	johtumislämpöteho tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta, (W)
$\Phi_{ovi}$	johtumislämpöteho ulko-ovien läpi, (W)
$\Phi_{tila}$	tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, (W)
$\Phi_{tuloilma}$	tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpötehon tarve, (W)
$\Phi_{ulkoseinä}$	johtumislämpöteho ulkoseinien läpi, (W)
$\Phi_{vuotoilma}$	vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve, (W)
$\Phi_{yläpohja}$	johtumislämpöteho yläpohjien läpi, (W)
$\Psi_k$	viivamaisen kylmäsiljan lisäkonduktanssi, (W/(m K)).