

Samuel Videnoja

KAUKO- JA MAALÄMMÖN KYTKENTÄVAIHTOEHDOT

KAUKO- JA MAALÄMMÖN KYTKENTÄVAIHTOEHDOT

Samuel Videnoja
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma, Lvi-insinööri

Tekijä(t): Samuel Videnoja
Opinnäytetyön nimi: Kauko- ja maalämmön kytkentävaihtoehdot
Työn ohjaaja(t): Mikko Niskala
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2014 Sivumäärä: 30+6 liitettä

Tämän opinnäytetyön lähtökohtana on arvioida maakylyn käyttöä liikerakennuksen jäähdytykseen sekä kalliolämmön käyttöä kaukolämmön rinnalla. Arvioiden pohjalta pyritään löytämään käytännöllinen ratkaisu kaukolämmön ja maalämmön kytkemiseksi yhtenäiseksi kokonaisuudeksi.

Työssä esitellään yleisimmät vaihtoehdot rakennuksen viilentämiseksi ja arvioidaan olemassa olevan rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysenergian tarpeet CADS-ohjelmistolla. Energioiden perusteella mallinnettiin lämpökaivon lämpötilat EED-ohjelmalla. Työssä esitellään keskeisimmät kauko- ja maalämpölaitteiden kytkentävaihtoehdot.

Työssä esimerkkikohteena käytettiin Kokkolassa sijaitsevaa liikerakennusta. Työtä tehtäessä ei ollut mahdollista suorittaa tarkempia mittauksia lämpökaivolle, joten arviot porakaivon ominaisuuksista ovat viitteellisiä. Porakaivon todettiin riittävän tarvittavien tilojen viilennykseen. Tilojen lämmitystarpeesta maalämpöpumppu kattoi vain pienen osan. Laitteiston kytkennässä päädyttiin sivuvirtakytkentään.

Asiasanat: kaukolämpö, kalliolämpö, maalämpö, maakylymä, ilmaiskylymä

ALKULAUSE

Kiitän Heikki Kumpulaa CADS-ohjelmiston lämpöhäviölaskentaa koskevasta ohjeistuksesta.

Oulussa 23.5.2014

Samuel Videnoja

SISÄLLYS

| | |
|--------------------------------------|----|
| TIIVISTELMÄ | 3 |
| ALKULAUSE | 4 |
| SISÄLLYS | 5 |
| 1 JOHDANTO | 6 |
| 2 HYBRIDILÄMMITYS | 7 |
| 2.1 Lämmönmyyjän näkökulma | 7 |
| 2.2 Kaukolämpöliittymän kustannukset | 7 |
| 2.3 Kytkevävaihtoehdot | 8 |
| 2.3.1 Sarjakytkentä | 8 |
| 2.3.2 Rinnankytkevä | 9 |
| 2.3.3 Sivuvirtakytkentä | 10 |
| 2.4 Esimerkkikytkentöjä | 11 |
| 3 JÄÄHDYTYS | 15 |
| 3.1 Kaukokylmä | 15 |
| 3.2 Aktiivijäähdytys | 16 |
| 3.3 Ilmaiskylmä | 16 |
| 3.4 Lämpökaivon ominaisuudet | 18 |
| 4 ESIMERKKIKOHDE | 20 |
| 4.1 Ilmanvaihto | 20 |
| 4.2 Lämmitys | 20 |
| 4.3 Käyttövesi | 21 |
| 4.4 Jäähdytys | 21 |
| 4.5 Porakaivon mitoitus | 22 |
| 4.6 Kytkennän valinta | 25 |
| 5 POHDINTA | 27 |
| LÄHTEET | 28 |
| LIITTEET | 30 |

1 JOHDANTO

Rakennusten lämmittämiseen taajama-alueella on tarjolla useita vaihtoehtoja. Lämmitysmuodon valinnassa pohditaan usein perustamis- ja käyttökustannusten lisäksi muun muassa käyttömukavuutta ja ekologisuutta. Saneerausrakentamisessa tulee huomioida myös jo olemassa olevat järjestelmät, tarvikkeet sekä resurssit.

Nykyaikainen rakennus koostuu lukuisista rinnakkaisista taloteknisistä järjestelmistä. Yhä useammin rakennusten lämmitykseen käytetään useampia lämmitysjärjestelmiä, kuten aurinkolämpöä, maalämpöä, puulämmitystä tai kaukolämpöä. Rakennuksen käyttömukavuutta voi olla tarpeen myös parantaa jäähdyttämällä sisäilmastoa kesäaikaan. Näiden järjestelmien järkevä yhteensovittaminen asettaa haasteensa niin suunnittelijoille, urakoitsijoille kuin käyttäjillekin.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä olemassa olevan kalliolämmön ja kaukolämmön yhdistämiseen kustannustehokkaasti kiinteistön lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Esimerkkikohteena toimii Kokkolassa sijaitseva LVI-Rahkola Oy:n omistama liikerakennus, jossa kaukolämmön lisäksi tullaan käyttämään lämpökaivoa lämmön ja jäähdytysenergianlähteenä. Työssä arvioidaan rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysenergian tarpeita sekä käydään läpi kytkentäesimerkkejä lämmityslaitteistojen kytkemiseksi yhtenäiseksi kokonaisuudeksi.

2 HYBRIDILÄMMITYS

Hybridilämmityksellä tarkoitetaan useamman kuin yhden lämmönlähteen käyttöä rakennuksen lämmitykseen. Näitä voivat olla esimerkiksi tulisijat, lämpöpumput, aurinkokeräimet, öljy ja sähkö. Hybridilämmityksessä valitaan aina sen hetken edullisin lämmönlähde. Esimerkiksi aurinkokeräintä voidaan käyttää lämmitykseen ja käyttövedentuottoon kesäkuukausina ja öljyä lämmityskaudella. Tässä työssä keskitytään kaukolämmön ja maalämmön hybridiratkaisuun.

2.1 Lämmönmyyjän näkökulma

Kaukolämmönmyyjän kannalta lämpöpumpun ja kaukolämmön hybridiratkaisu, jossa kaukolämpöä käytetään vain lämmityksen huippu- ja varatehona, on varsin huono. Maalämpöpumpun mitoitukselta riippuen lämpöpumppu kattaa osan rakennuksen energiantarpeesta, jolloin kaukolämpöyhtiön energiamaksu jää pieneksi (1). Lisäksi järjestelmä kuormittaa kaukolämpöverkkoa juuri silloin, kun kaukolämpöverkon kuormitus on suurimmillaan (2).

2.2 Kaukolämpöliittymän kustannukset

Kaukolämmön laskutus perustuu yleensä komponenttitariffiin, jonka mukaan kaukolämpöasiakkaalta laskutetaan kiinteä kuukausittainen maksu sekä muuttuva energiamaksu.

Kiinteä kuukausimaksu on energiankulutuksesta riippumaton maksu, jolla pyritään kattamaan lämmönmyyjälle kaukolämpöliittymästä aiheutuvia energiankulutuksesta riippumattomia kustannuksia. Tällaisia voivat olla esimerkiksi verkoston huoltotyöt. (3.)

Energiamaksun asiakas maksaa toteutuneen energiankulutuksen mukaan. Näin ollen esimerkiksi kaukolämpöä varatehona käyttävä kaukolämpöasiakas maksaa kesäkuukausina kuukausimaksun vaikka ei käyttäisi energiaa laisinkaan. Käytettäessä varatehona esimerkiksi sähköä voitaisiin säästää kaukolämpöliittymän kiinteissä kustannuksissa.

Kaukolämpöliittymän kiinteiden kustannusten vuoksi tulee hybridilämmityksestä herkästi taloudellisesti kannattamaton ratkaisu. Kaukolämpöverkostosta ostetun energian vähentyessä kasvaa myös ostetusta energiasta maksettu keskihinta. Mikäli maalämmön osuus vuotuisesta energiantuotosta kasvaa merkittäväksi, voi täysin maalämpöön siirtyminen olla kannattavampaa.

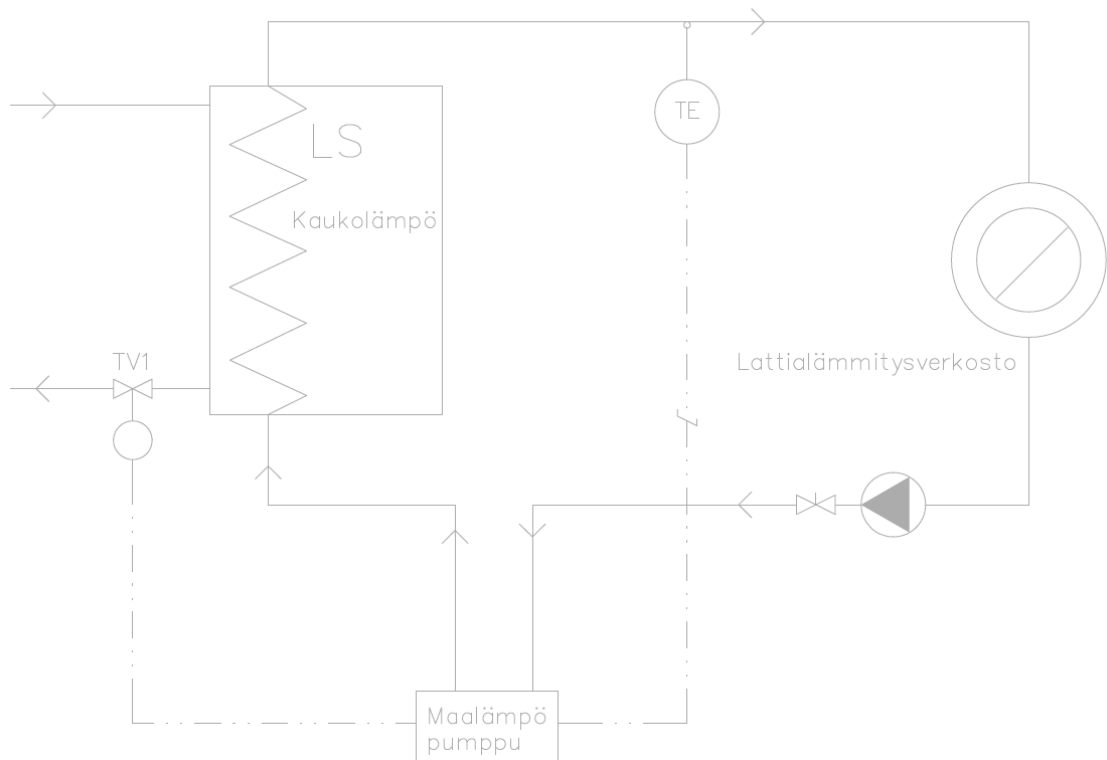
2.3 Kytkevävaihtoehdot

Kaukolämpö ja maalämpö voidaan kytkeä usealla eri tavalla yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Kytkevä tulisi tehdä maalämpöpumpun ehdoilla parhaan hyötysuhteen saavuttamiseksi. Yleisesti voidaan todeta, että maalämmön keuruunesteen sekä lämmönjakojärjestelmän menoveden välisen lämpötilaeron tulisi olla mahdollisimman pieni.

Yksinkertaisen kytkennän voidaan olettaa lisäävän toimintavarmuutta sekä helpottavan laitteiston säätöä ja vianetsintää. Parhaan tuloksen saavuttamiseksi lämmönjakojärjestelmän tulee olla tasapainotettu japaaluv veden lämpötilan mahdollisimman alhainen.

2.3.1 Sarjakytkentä

Mahdollisimman korkean lämpökertoimen saavuttamiseksi lämmitetään maalämpöpumpulla usein lämmitysverkosta palaavaa vettä, jolloin sarjaan kytketyn kaukolämpölaitteiston näkökulmasta lämmitysverkoston paaluv veden lämpötila nousee. Tämä johtaa kaukolämpöverkon pienempään jäähtymään ja kaukolämmön paluv veden lämpötilan nousuun. Sarjaan kytkennässä myös peräkkäiset lämmönsiirtimet aiheuttavat korkeamman painehäviön, jolloin pumppauskustannukset kasvavat. (Kuva1.)



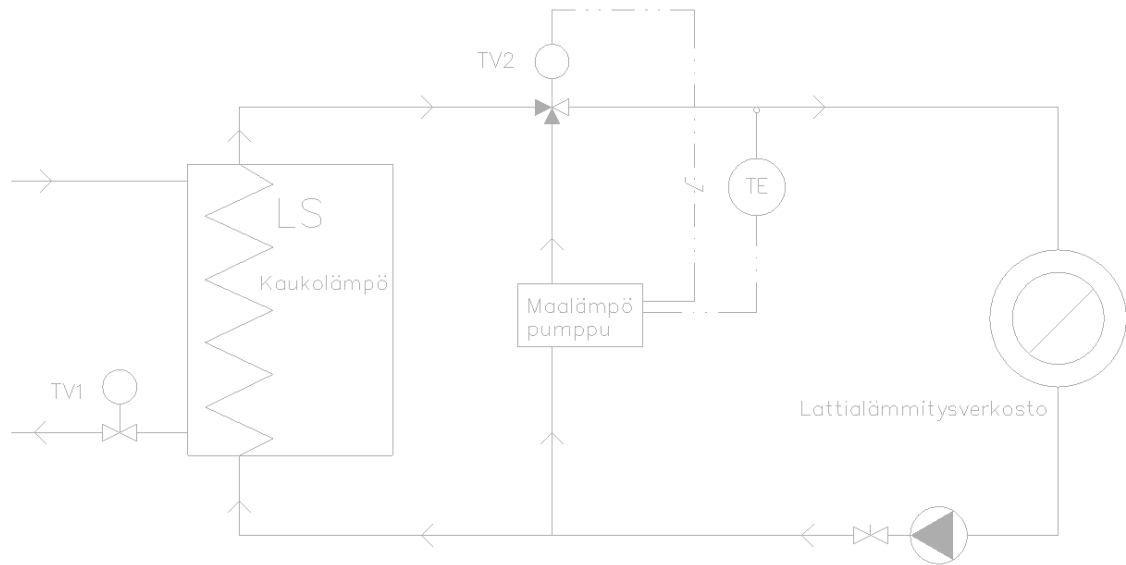
KUVA1. Sarjakytkentä

Kuva 1 esittää maalämpöpumpun ja kaukolämpövaihtimen sarjakytkentää. Kytkenässä kaikki neste virtaa sekä maalämpöpumpun sisäisen lämmönvaihtimen että kaukolämpövaihtimen läpi.

2.3.2 Rinnankytkentä

Kuvassa 2 on rinnankytkennän kytkentäkaavio. Rinnankytkennässä osa nestevirrasta siirretään ajoittain virtaamaan varatehona käytetyn lämmönlähteen kautta. Näin vältetään peräkkäisiltä lämmönsiirtimiltä ja kaukolämpölaitteistolla saadaan aikaan kaukolämpöveden parempi jäähtymä verrattuna sarjakytkentään. Lisälämmölle siirtyminen voidaan suorittaa esimerkiksi kolmitieventtiilillä.

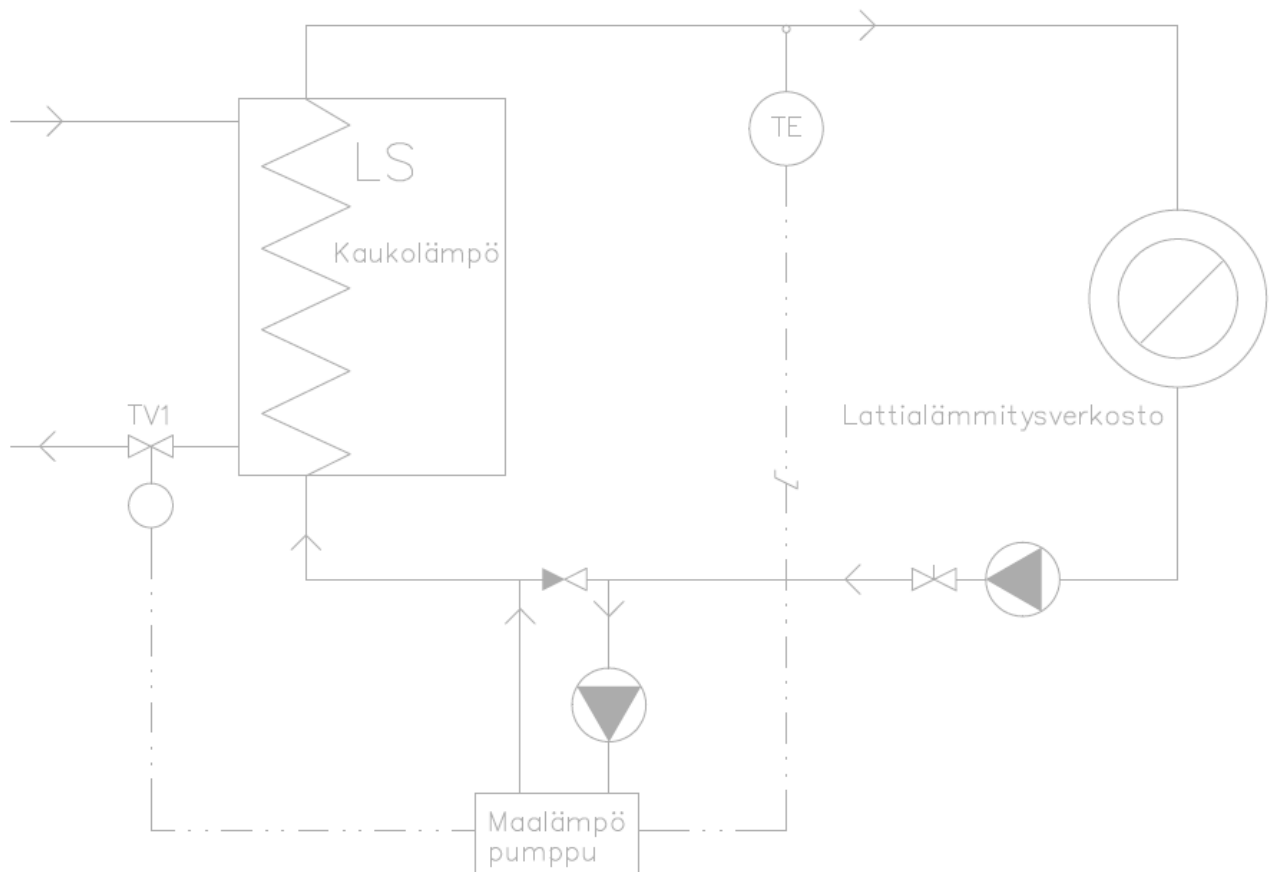
Rinnankytkennän mitoituksessa tulee huomioida, että kesäaikaan kulkee lämmityspiirin virtaama täysin maalämpöpumpun sisäisen lämmönsiirtimen läpi, jolloin painehäviöt on tarkistettava.



KUVA 2. Rinnankytkentä

2.3.3 Sivuvirtakytkentä

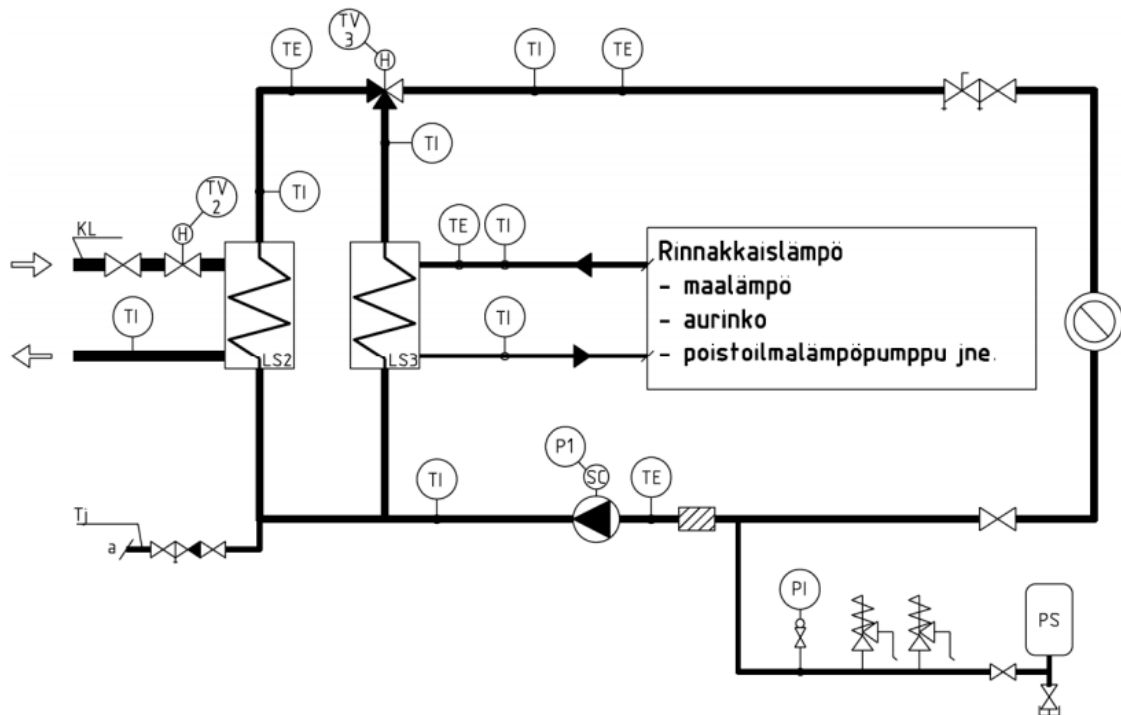
Sivuvirtakytkennässä maalämpöpumpun lämmönsiirtimen läpi virtaa vain osa lämmönjakojärjestelmän virtaamasta. Kytkentä soveltuu järjestelmiin, joissa virtaama on suuri ja maalämpöpumpun osuus kokonaisvirtaamasta vähäinen. Mikäli maalämpöpumpulla lämmitetään menovesi haluttuun lämpötilaan ilman lisälämpöä, tulee lämpöpumpulta lähtevän veden lämpötila olla huomattavasti menoveden lämpötilaa korkeampi, koska lämpöpumpulta lähtevä vesi sekoittuu lämmitysjärjestelmän paluuveteen. (Kuva 3.)



KUVA 3 Sivuvirtakytkentä

2.4 Esimerkkikytkentöjä

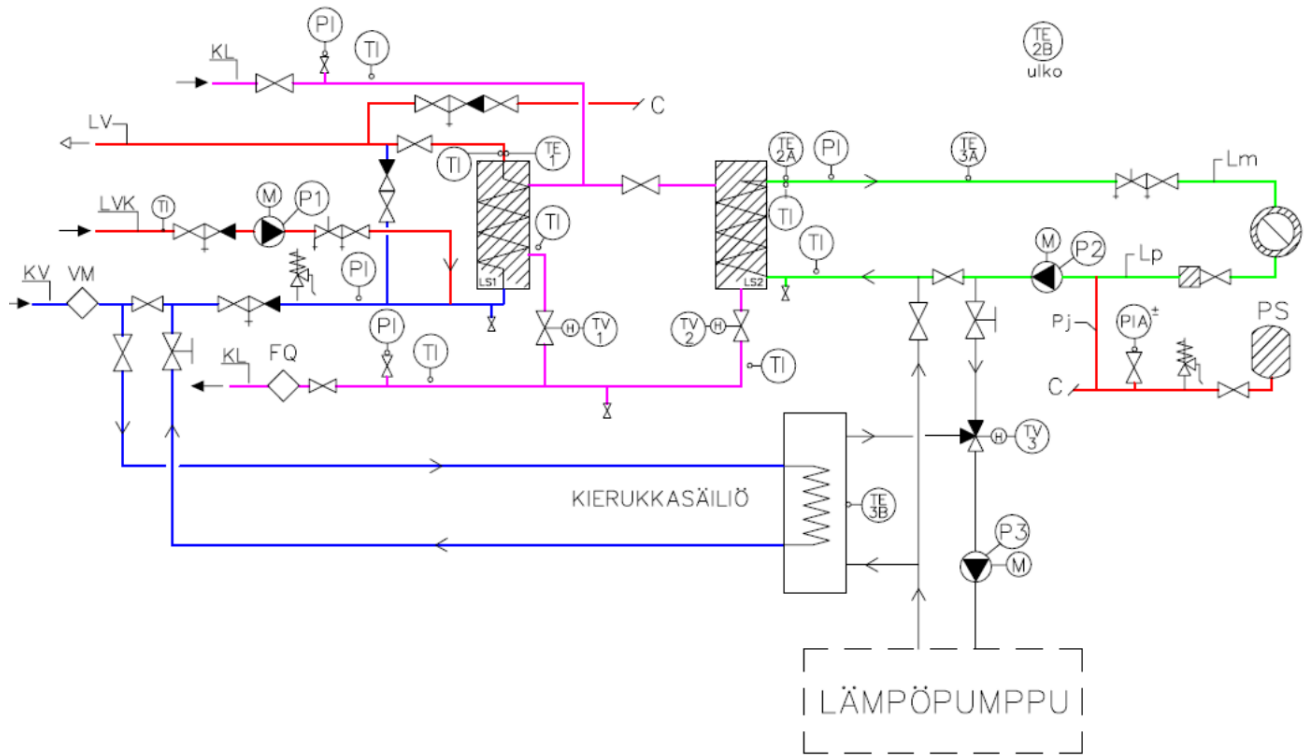
Energiateollisuuden julkaiseman K1:n esimerkkikytkennässä rinnakkaislämmönlähde on kytketty rinnan kaukolämmönsiirtimen kanssa. Rinnakkaislämmönlähde ei huononna kaukolämmön jäähtymää eikä kasvata lämmönjakojärjestelmän painehäviötä. Lämmitystehontarve katetaan ensisijaisesti lämmönsiirtimellä LS3. Mikäli lämmönsiirtoteho ei riitä, ohjaa kolmitieventtiili (TV3) osan virtaamasta lämmönsiirtimen LS2 läpi. Lämmönsiirtimen LS2 mitoituksessa tulee huomioida, että sen tulee tuottaa lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötilaa kuumempaa lämpötilaa. Kytkentätapa on toimintavarma, mutta lämmönsiirtimen LS3 asteisuudesta johtuen lämpöpumpun hyötysuhde heikkenee. Kytkentäkaaviosta ei käy ilmi säätöventtiilin TV2 ohjaustapa. (Kuva 4.)



KUVA 4. K1:n mukainen esimerkkikytkentä (4, s. 89)

Kuvassa 5 on vaihtoventtiilillä varustettu maalämpöpumppu kytkettynä käyttöveden esilämmitykseen sekä lämmitysverkostoon. Mikäli maalämpöpumppu ei kykene pitämään yllä lämmitysverkoston menolämpötilaa (TE3A), alkaa maalämpöpumppu avata kaukolämpöventtiiliä TV2 automaattisesti.

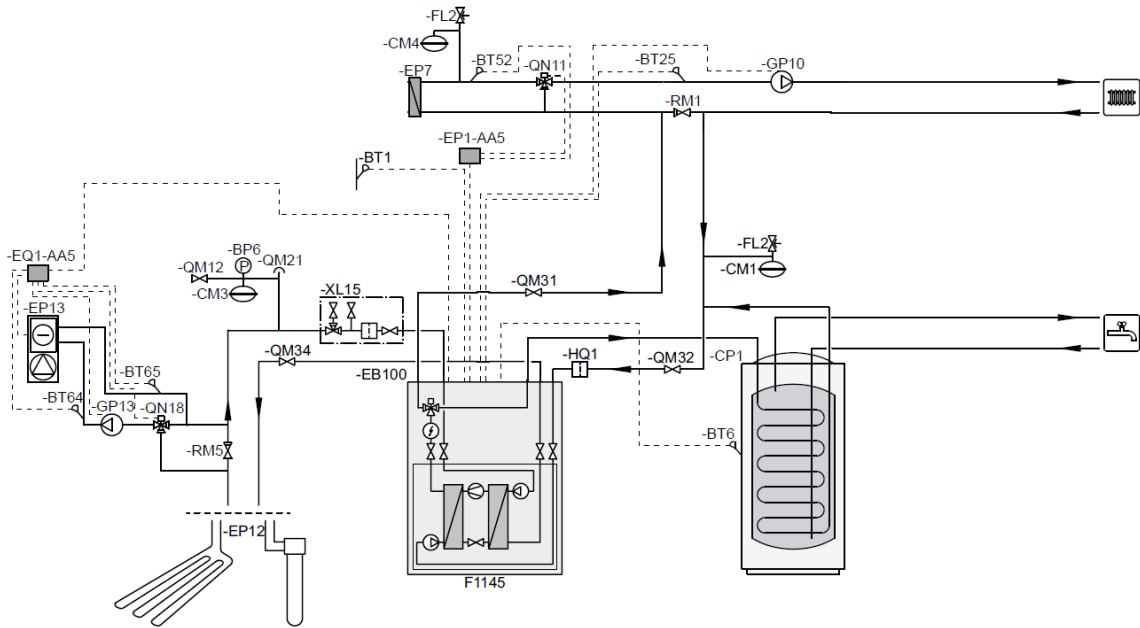
Kun lämpötila kierukkasäiliössä alittaa asetusarvon, ohjaa TV3 lämminvesivirran kierukkasäiliöön. Kierukkasäiliön lämpötilan saavutettua asetusarvon ohjaa TV3 kierron takaisin lämmitysjärjestelmään. Koska lämmitysverkostossa on erillinen kiertovesipumppu, (P2) kierto lämmitysverkostossa jatkuu myös käyttöveden lämmityksen aikana.



KUVA 5. Maalämpöpumppu jonka varatehona kaukolämpö. (2, s. 25)

Kuvassa 6 on maalämpöpumppu kytkettynä sekä käyttöveden että patteriverkoston lämmitykseen. Maalämpöpumppu ohjaa kolmitieventtiiliä QN11 ja kierto-vesipumppua GP10. Lisälämmönlähteen lämpötilan (BT52) ollessa yli 55 °C voidaan kolmitieventtiili QN11 ohjata käyttämään lisälämpöä, ellei maalämpöpumppu kykene pitämään lämmitysverkoston menolämpötilaa (BT25) riittävän korkealla.

Vaihtventtiilillä varustettu lämpöpumppu ei lämmitä käyttövettä sekä lämmitysverkostoa samanaikaisesti. Lämpöpumpun lämmittäessä käyttövettä jatkuu kierto lisälämmönlähteen läpi. Kytchentäkaaviosta ei käy ilmi kaukolämpövaihtimen ensiöpuolen säätötapa.



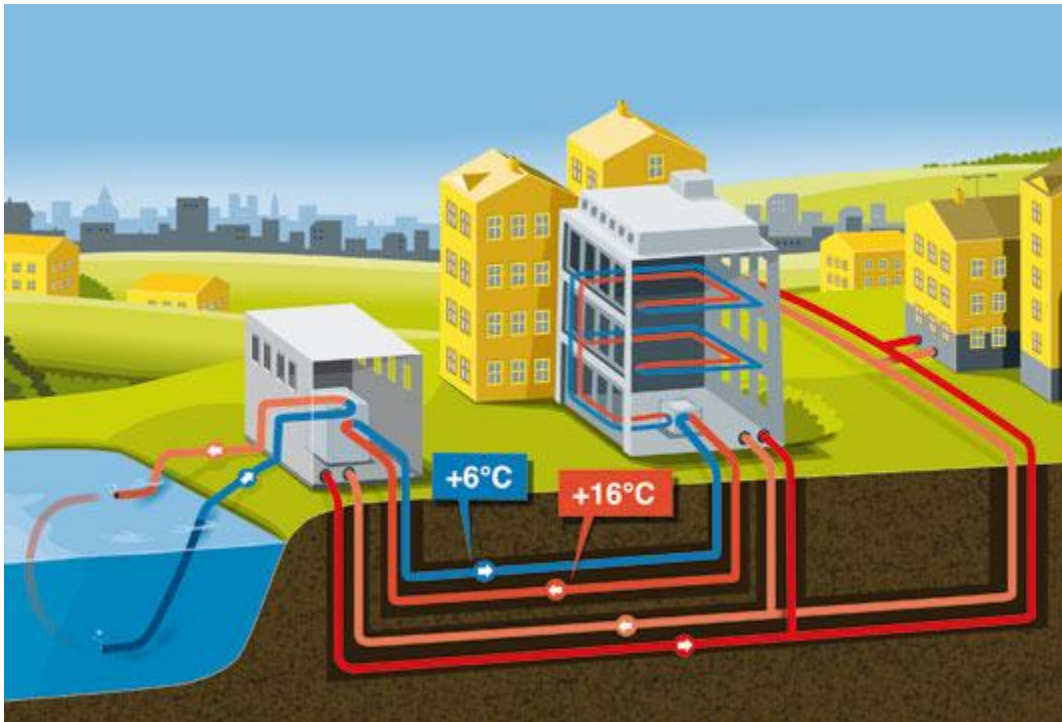
KUVA 6. Maalämpöpumppu shunttiohjatulla lisälämmöllä (5, s. 1)

3 JÄÄHDYTYS

Sisäilman jäähdytyksen tarkoitus on varmistaa, ettei sisäilman lämpötila kohoa hallitsemattomasti. Passiiviset sekä käyttötekniset keinot sisäilman lämpötilan hallitsemiseksi tulee selvittää aina ennen mahdollisen jäähdytyksen suunnittelua. Yksinkertaisia keinoja kesäajan sisälämpötilan hallitsemiseksi ovat esimerkiksi ikkunoiden tehokas auringonsuojaus ja ilmanvaihdon tehostaminen öisin. Sisälämpötilaan vaikuttavat myös sisäiset lämpökuormat, joihin voidaan vaikuttaa valaistusratkaisuilla sekä välttämällä valaistuksen ja sähkölaitteiden tarpeetonta käyttöä. (6, s. 69.)

3.1 Kaukokylmä

Kaukokylmää, jota kutsutaan myös kaukojäähdytykseksi, on tarjolla Suomessa vain suurimmissa kaupungeissa. Toimintaperiaatteeltaan kaukokylmä on verrattavissa kaukolämpöön (kuva 7). Kaukokylmä tuotetaan tuotantolaitoksessa kylmäkoneilla tai vapaana merivesijäähdytyksenä. Kylmäenergia siirretään noin 6 °C:n lämmönsiirtonesteen välityksellä asiakkaan kiinteistön lämmönvaihtimelle, jossa se lämpenee noin 16 °C:seen jäähdyttäen asiakkaan jäähdytysjärjestelmässä kiertävää nestettä. (7.)



KUVA 7. Kaukokylmän toimintaperiaate (7)

3.2 Aktiivijäähdytys

Aktiivijäähdytyksellä tarkoitetaan kylmäkoneella tuotettua sisäilman viilennystä. Energia siirretään sisäilmasta kylmäkoneen höyrystimeen joko suoraan sisäilmassa sijaitsevalla höyrystimellä tai epäsuorasti lämmönsiirtonesteen välityksellä, jolloin sisätiloihin asennetaan esimerkiksi puhallinkonvektori tai jäähdytyspalkki.

Tyypillinen aktiivijäähdytyksen muoto on ilmanlämpöpumpun käyttö jäähdytykseen. Ilmanlämpöpumpulle hyvä kylmäkerroin on 3,5. Tämä tarkoittaa sitä, että yhtä kulutettua kilowattituntia kohti ilmanlämpöpumppu tuottaa 3,5 kWh jäähdytysenergiaa. (8.)

3.3 Ilmaiskylmä

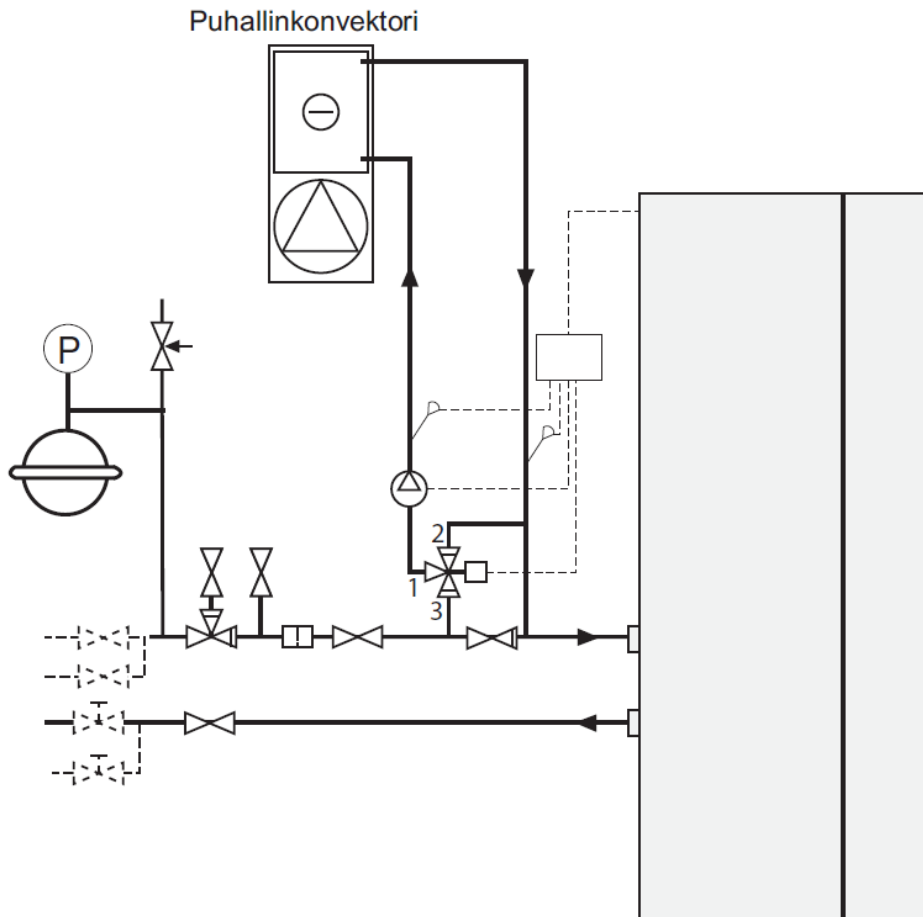
Maaperän lämpötila pysyy suhteellisen tasaisena läpi vuoden. Kalliolämmön keruupiirissä kiertävän nesteen lämpötila vaihtelee tyypillisesti välillä $-5...+5$ °C. Tätä nestettä voidaan käyttää rakennuksen jäähdytykseen sitomalla siihen energiaa sisäilmasta. Sidottu energia kulkee lämmönkeruunesteen mukana lämpökaivoon ja varastoituu maaperään. Näin toteutettua jäähdytystä kutsutaan

muun muassa ilmaiskylmäksi, maakylmäksi, maaviileäksi tai passiivijäähdytykseksi. Ilmaiskylmä tuottaa tällä hetkellä tunnetuista jäähdytysmuodoista vähiten hiilidioksidipäästöjä, sillä energiaa ei tarvita lainkaan varsinaisen jäähdytysenergian tuottamiseen. (9.)

Energian sitomisesta maaperään käytetään nimitystä lämpökaivon regenerointi. Tällöin jäähdytettäessä huoneilmaa lämpökaivon lämpötilataso palautuu edellisestä lämmityskaudesta. Lämmityskaudella osa jäähdytyskaudella maaperään varastoituneesta energiasta saadaan pumpattua takaisin lämmitysenergiaksi. Mikäli jäähdytysenergian määrä on suuri, voi keruupiirin lämpötila kesäkuukausina nousta lähelle huonelämpötilaa.

Lämpö voidaan siirtää sisäilmasta lämmönkeruunesteeseen esimerkiksi jäähdytyspalkilla, puhallinkonvektorilla tai lattialämmitysjärjestelmän välityksellä. Mikäli jäähdytysjärjestelmän tilavuus on vähäinen, voidaan keruuputkistossa kiertävää vesi-etanoliseosta käyttää jäähdytykseen ilman lämmönvaihdinta.

Kuvassa 8 puhallinkonvektori on kytkettynä maalämpöpumpun keruupiiriin. Kolmitieventtiili säätelee puhallinkonvektorille menevän nesteen lämpötilaa. Kompressorin käydessä maalämpöpumpun sisäinen kiertovesipumppu kierrättää keruunesteettä keruupiirissä. Jäähdytyspiirin pumppu kierrättää nestettä puhallinkonvektorilla sekä maalämpöpumpun sisäisen kiertovesipumpun ollessa pysähdyksissä myös keruupiirissä. Tällöin yksisuuntaventtiili estää lämmenneen nesteen kierron takaisin puhallinkonvektoriin pakottaen sen kiertämään keruupiirin kautta. Sähköä tarvitaan vain kiertovesipumpun ja puhallinkonvektorin puhaltimen toimintaan.



KUVA 8. Ilmaiskylmän kytkentä (10, s. 13)

3.4 Lämpökaivon ominaisuudet

Lämpökaivosta saatavan tehon ja energian määrään vaikuttaa oleellisesti kaivon aktiivisyvyys. Aktiivisyvyydellä tarkoitetaan sitä osuutta kaivosta, jossa lämmönkeruuputket ovat vedessä. Lämpökaivon syvyyden kasvaessa kasvaa myös meno ja paluuputkien välinen terminen oikosulku. Lämpökaivon maksimisyvyytenä pidetään yleensä 200 m:ä. (11.)

Mikäli lämpökaivon todelliset termiset ominaisuudet haluttaisiin selvittää, tulisi lämpökaivolle suorittaa TRT (Thermal Response Test) -mittaus. TRT-mittauksessa jäljitellään maalämpöpumpun toimintaa käänteisesti. Käytännössä mitataan, kuinka paljon kallio pystyy vastaanottamaan lämpöä. Mittaustulosten perusteella lämpökaivolle lasketaan tehollinen lämmönjohtavuus sekä lämpö-

vastus. TRT-mittauksen tulokseen vaikuttavat kallioperän lämmönjohtavuus sekä mahdollinen veden virtaus lämpökaivossa. (12.)

Tämän opinnäytetyön puitteissa ei kuitenkaan ole mahdollista suorittaa TRT -mittausta, vaan porakaivon ominaisuuksia pyritään arvioimaan käyttäen keskimääräisiä kallioperän ominaisuuksia.

4 ESIMERKKIKOHDE

Tässä työssä käsiteltävän kiinteistön alkuperäinen osa on rakennettu 1970-luvulla. Aiemmin rakennus on toiminut puunjalostusverstaana. Vuodesta 2007 kiinteistö on toiminut LVI-Rahkola Oy:n varastona, myymälänä sekä toimistotilana. Rakennuksen laajennusosa valmistui kevään 2014 aikana. LVI-Rahkola toimii sekä laajennustyön rakennuttajana että LVIS-urakoitsijana. Rakennusala kasvoi 324 m²:stä 860 m²:iin.

4.1 Ilmanvaihto

Työn suorittaminen aloitettiin hankkimalla rakennuksesta kaikki mahdolliset piirustukset. Pohjakuviin piirrettiin ilmanvaihtokanavistot ja lämmitys- sekä jäähdytysjärjestelmä MagiCAD-suunnitteluohjelmalla. Piirustuksista mitattiin huoneiden pinta-alat, joiden perusteella määriteltiin mitoitusilmavirrat Excel-taulukkoon Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan (13). Huonekohtaiset ilmavirrat on eritelty liitteessä 1. Ilmavirtoja käytettiin kanavistomitoituksen lisäksi myös ilmanvaihdon energiantarpeen laskentaan.

Ilmanvaihtolaitteisto on jaettu kaikkiaan neljään erilliseen järjestelmään. Vanhaa osaa rakennuksesta palvelleen koneen kapasiteetin todettiin riittävän alakerran tiloihin laajennuksen jälkeenkin.

Laajennusosien ilmanvaihdosta huolehtii kolme erillistä ilmanvaihtokonetta. Kaikki koneet olivat rakennuttajalla aiemmin hankittuna. Yläkerran toimisto- ja sosiaalitiloja palvelee kaksi erillistä konetta malliltaan Vallox 252. Hallitilaa palvelee yksi pyörivällä LTO-kennolla varustettu kone malliltaan Swegon gold RX. Kaikki ilmanvaihtokoneet on varustettu nestekiertoisella jälkilämmityspatterilla. Jälkilämmitykseen käytettävä energia saadaan kaukolämpöverkosta.

4.2 Lämmitys

Rakennuksen vanhoissa osissa on patterilämmitysjärjestelmä. Vaikka laajennuksen myötä rakennukseen tuli yläkerta, jolloin alakerran lämpöhäviöt pienenevät, jäi valtaosa pattereista edelleen toimintaan. Näin ollen patteriverkoston

menolämpötilaa voidaan laskea entisestä sillä pattereiden matalamman yllämpötilan voidaan olettaa riittävän.

Uusissa tiloissa on lattialämmitys. Alakerran sosiaalityö, hallitila ja yläkerta palvelevat omat jakotukit. Lattialämmitysjärjestelmät kattavat valtaosan rakennuksen kerrosalasta.

Lämpöhäviöiden laskentaan käytettiin CADS HepacPro-LVI -suunnitteluohjelmaa. Koska yksittäisten huoneiden lämpöhäviöitä ei ole tarpeen selvittää, piirrettiin pohjakuviin yksi tila vastaamaan koko lämmönjakojärjestelmän osa-alueita. Vanhan rakennusosan U-arvot laskettiin Excel-taulukkoon Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4 mukaan. (14.) Uuden rakennusosan elementtien U-arvot saatiin valmistajan tuotekorteista.

Rakennuksen eteläsivulla oleva lasitettu portaikko aiheuttaa huomattavan suuren, noin 6kW lämpöhäviön. Kattoa lukuun ottamatta kauttaaltaan lasitetun portaikon korkeus on 7,1 m ja ikkuna pinta-ala 94 m². Ikkunat ovat kolminkertaiset, argontäytteiset ja selektiivispinnoitetut.

Portaikkoa ei jäähdytetä. Kesätilanteessa portaikon sisälämpötila tulee auringon aiheuttamasta lämpökuormasta johtuen nousemaan hyvinkin korkealle. Koska portaikossa ei oleskella, portaikon sisälämpötilaksi lämmityskaudella päätettiin 16 °C.

4.3 Käyttövesi

Käyttöveden tarve kiinteistössä on varsin vähäinen. Käyttövesi päätettiin lämmittää kokonaisuudessaan kaukolämmöllä maalämpöpumpun lämpimän käyttövedentuoton heikon hyötysuhteen vuoksi.

4.4 Jäähdytys

Rakennuksen jäähdytykseen on käytetty porakaivosta saatavaa maakylmää. Porakaivon kapasiteetti on kuitenkin loppunut aiemmin kesken. Jatkossa kaivoa jäähdytetään maalämpöpumpulla, jonka tuottama lämpö johdetaan lattialämmi-

tysjärjestelmään. Jäähdytyksestä saatavalla lämmöllä regeneroidaan porakaivoa kesäkuukausina. Toimistotiloihin asennetaan puhallinkonvektorit jäähdytystä varten.

Koska jäähdytysenergia saadaan porakaivosta, jonka jäähdytyskapasiteetti on rajallinen, täytyy jäähdytysenergian määrä arvioida. Lämpökuormia ovat tässä tapauksessa henkilöistä vapautuva lämpökuorma, valaistus, sähkölaitteet sekä ikkunoitten kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia. Porakaivosta käytetään mahdollisuuksien mukaan kaikki käytettävissä oleva ilmaiskylmä. Ensimmäisessä pyritään kuitenkin jäähdyttämään ainakin toimistotilat.

Jäähdytysenergian määrä arvioitiin CADS-ohjelmistolla. Ohjelma käsittää rakennuksen yhtenä jäähdytettävänä kokonaisuutena. Koska kaikkia tiloja ei jäähdytetä, luotiin ohjelmistoon uusi projekti, joka käsitti vain jäähdytettävät tilat. Ohjelman lähtötietoja muutettaessa havaittiin jäähdytysenergian määrän olevan muutosherkkä muutettaessa sisäilman kuukauden keskimääräistä lämpötilaa ($T_{s,lask,keskim}$). Tästä voidaan päätellä, että käyttäjällä on viimekädessä erittäin suuri vaikutus jäähdytysenergian kulutukseen. Keskimääräiseksi sisälämpötilaksi laskettiin 21,3 °C. (5, s. 70.)

4.5 Porakaivon mitoitus

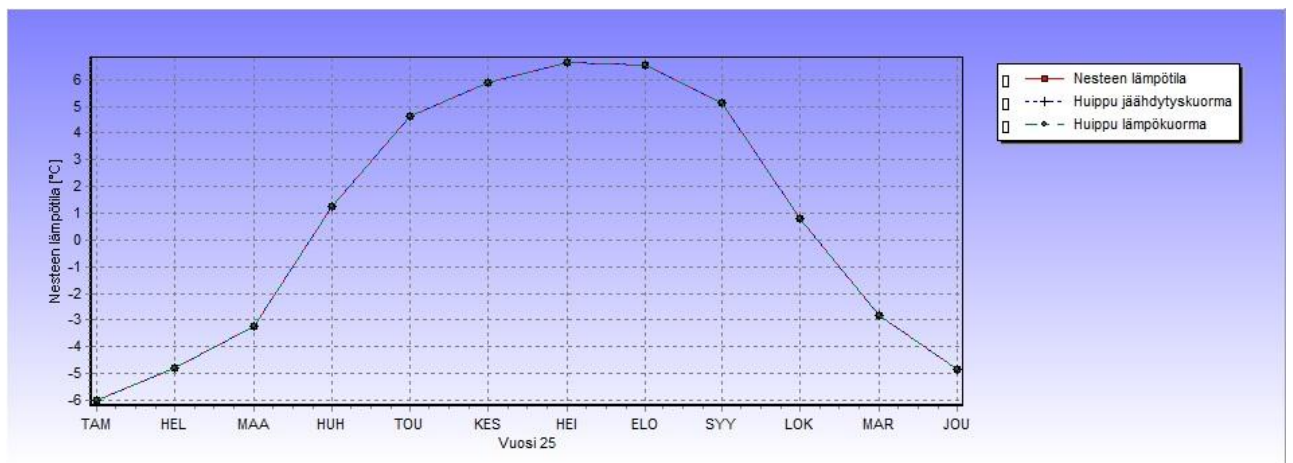
Tässä kohteessa maalämpöpumpun käyttämän lämpökaivon todellinen syvyys on 240 m, ja se sijaitsee kosteassa maaperässä vain muutamia metrejä merenpinnan yläpuolella. Porakaivon aktiivisyvyudeksi arvioitiin 230 m. Porakaivosta saatavana energiana voidaan Kokkolan seudulla arvioida 130...140 kWh/m. Porakaivosta saatavana tehona voidaan pitää 35...40 W/m (10, s. 20). Näin ollen lämpökaivosta saatava energia olisi arviolta 30 000 kWh ja teho 8,1 kW.

Porakaivon lämpötiloja simuloitiin EED (Earth Energy Designer) -ohjelmalla. EED-ohjelmaan syötetyt kuormitukset on esitelty taulukossa 1. Ohjelmaan syötettiin maalämpöpumpun vuosihyötysuhteeksi (COP) 3. Ensimmäisessä vaiheessa lämpökaivon peruskuormaksi syötettiin arvot sarakkeista $Q_{läm,tilat}$ ja $Q_{jäähd}$. Tässä tulee huomioida, että taulukon arvot ovat maalämpöpumpusta, eivätkä lämpökaivosta saatavia energiamääriä. Näin ollen ohjelmalla laskettu porakaivosta saatava energia on vain 20,8 MWh. Nesteen lämpötilan kuvaaja

on esitetty kuvassa 9.

TAULUKKO 1. EED-ohjelmaan syötetyt kuormitustiedot

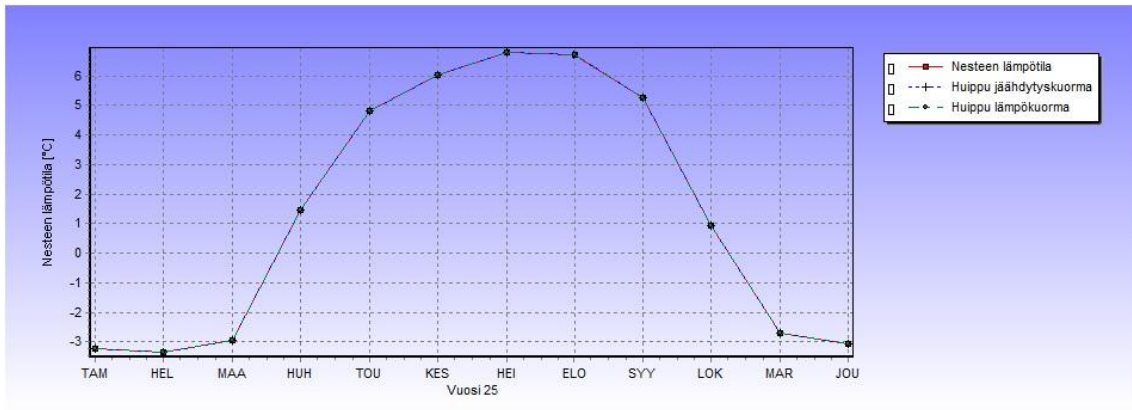
| Kuukausi | $Q_{\text{läm,tilat}}$ | $Q_{\text{jäähd}}$ | Q_{MLP} |
|--------------------------------|------------------------|--------------------|------------------|
| Tammikuu | 7728 | 0 | 5500 |
| Helmikuu | 6481 | 0 | 5500 |
| Maaliskuu | 5023 | 0 | 5023 |
| Huhtikuu | 1287 | 94 | 1287 |
| Toukokuu | 81 | 1148 | 81 |
| Kesäkuu | 17 | 1671 | 17 |
| Heinäkuu | 9 | 1986 | 9 |
| Elokuu | 12 | 1835 | 12 |
| Syyskuu | 203 | 1047 | 203 |
| Lokakuu | 2568 | 109 | 2568 |
| Marraskuu | 5431 | 0 | 5431 |
| Joulukuu | 6948 | 0 | 5500 |
| Vuosi | 35789 | 7891 | 31131 |
| MLP:n osuus kokonaisenergiasta | | | 87 % |



KUVA 9. Lämpökaivon nesteen lämpötila 35,8 MWh vuosikuormalla

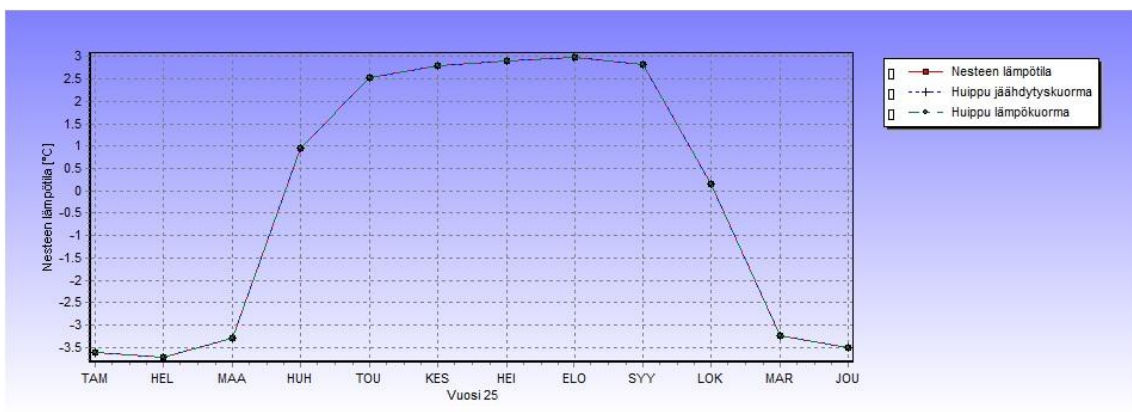
Koska nesteen lämpötila laski talven aikana hyvin alhaiseksi, rajoitettiin lämpöpumpun kuukausittainen kuormitus 5 500 kilowattituntiin. Tämä vastaa noin 7,6

kW:n kuukausittaista keskitehoa. Käytännössä rajoitus voidaan toteuttaa kieroslukuohjatun kompressorin pyörintänopeutta alentamalla keruulämpötilan las-
 kiessa. Rajoitetut energiat on esitetty taulukon 1 sarakkeessa Q_{MLP} . Kuvasta 10
 huomataan, että pienemmän kuormituksen myötä nestein lämpötila pysyy kor-
 keampana.

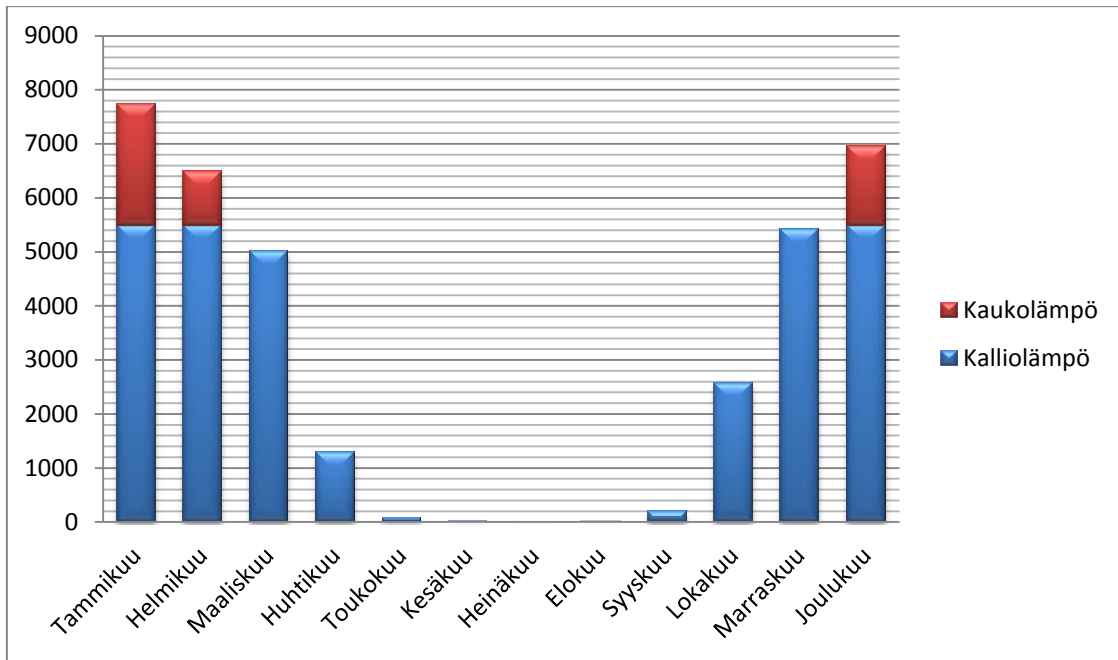


*KUVA 10. Lämpökaivon nestein lämpötila 31,1 MWh vuosikuormalla, kesäai-
 kainen jäähdytys käytössä*

Kuvia 10 ja 11 vertaamalla nähdään jäähdytyksen vaikutus lämpökaivon nes-
 teen lämpötilaan. Porakaivon jäähdytysteho näyttäisi riittävän.



*KUVA 11. Lämpökaivon nestein lämpötila 31,1 MWh vuosikuormalla ilman
 jäähdytystä*



KUVA 12. Lämmitysenergioiden jakautuminen eri kuukausille ja lämmönlähteille.

4.6 Kytkenän valinta

Työn tilaaja valitsi maalämpöpumpuksi taajuusmuuntajaohjatulla kompressorilla varustetun Nibe F1155. Lämpöpumpun lämmitysteho säätty välillä 4...16 kW. Kytkenän valintaan vaikuttaa oleellisesti maalämpöpumpun virtauskapasiteetti. Lämpöpumpun sisäisessä lämmönvaihtimessa aiheutuvan painehäviön laskeminen ei ollut mahdollista, sillä tarvittavia tietoja ei löydetty. Valitun lämpöpumpun nimellisvirtaama on 0,22 l/s. (9)

Järjestelmän mitoitusvirtausvirtaama voidaan laskea kun tiedetään tarvittava teho sekä lämpötilaero. Huonekohtaiset lämpöhäviötehot on eritelty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Huonekohtaiset lämpöhäviötehot.

| TILA | m ² | m ³ | W/m ² | W/m ³ | W |
|---------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-------|
| Lasi eteinen | 24 | 169 | 241,4 | 34,3 | 5794 |
| Hallitila | 163 | 1222,5 | 51,1 | 6,8 | 8336 |
| Sosiaalitilat | 51,5 | 139,5 | 35,5 | 13,1 | 1828 |
| Yläkerta | 323,5 | 1133 | 28,1 | 8 | 9076 |
| Yhteensä | 562 | 2664 | 44,5 | 9,4 | 25034 |

Järjestelmän virtaama voidaan laskea kaavalla 1

$$q = \frac{\Phi}{4,2 \cdot \Delta t}$$

KAAVA 1

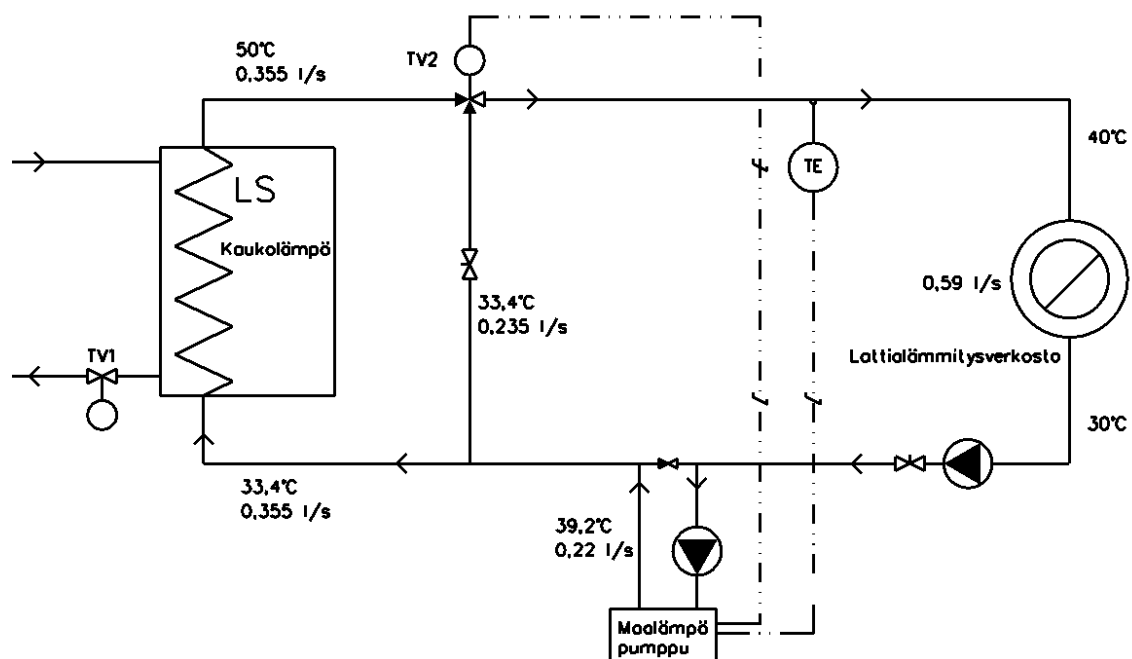
,jossa q = virtaama (l/s)

Φ = järjestelmän teho (kW)

Δt = lämmönsiirtonesteen meno- ja paluuveden välinen lämpötilaero (°C)

4,2 = veden tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin tulon likiarvo

Tässä tapauksessa virtaama laskettiin käyttäen lattialämmitysjärjestelmälle tyy-
pillistä 10 °C:n jäähtymää. Virtaamaksi saatiin 0,6 l/s, joka on lähes kolminker-
tainen verrattuna maalämpöpumpun nimellisvirtaamaan. Tästä voidaan päätel-
lä, että esimerkiksi suoran sarjakytken käyttäminen ei ole järkevää. (Kuva
1.) Lämmönjakojärjestelmän suuresta virtaamasta johtuen tulee sivuvirtakyt-
kenästä varteenotettavin vaihtoehto. Kuvassa 13 on kytkentäkaavioon merkitty
virtaamat ja lämpötilat esimerkkikohteen mitoitustilanteessa. Maalämpöpumpun
tehona on käytetty 8,5 kW.



KUVA 13. Sivuvirtakytkenä esimerkkitapauksessakursivoi kuvateksti

5 POHDINTA

Työssä käytiin läpi keskeisimmät maa- ja kaukolämmön yhdistämisvaihtoehdot. Vaihtoehdoista valittiin toteutuskelpoisin vaihtoehto ja laskettiin toimintapisteiden virtaukset ja lämpötilat mitoitustilanteessa.

Työssä arvioitiin rakennuksen jäähdytys- ja lämmitysenergiankulutuksia. Laskennan yhteydessä todettiin jäähdytysenergian tarpeen olevan voimakkaasti riippuvainen rakennuksen käyttäjän asettamista jäähdytyksen asetusarvoista.

Työssä ei ehditty käsitellä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien perustamisesta sekä käytöstä aiheutuvia kustannuksia. Käytännössä maalämpölaitteiston hankinta jäähdytystarpeen vuoksi voi olla kannattamatonta. Kaukolämpöliittymän ylläpito olisi myös kannattamatonta, mikäli maalämpölaitteisto kattaisi suuremman osan rakennuksen energiantarpeesta.

LÄHTEET

1. Maalämpöinfo. 2014. Nordic Ekolämpö. Saatavissa:
<http://www.nordicekolampo.fi/maalampoinfo>
Hakupäivä 13.2.2014.
2. Lammert, Laura 2011. Kaukolämmön ja lämpöpumpun yhdistämisen kytkentävaihtoehtoja. Insinööriyö.Metropolia Ammattikorkeakoulu, Talotekniikan koulutusohjelma.
3. Kaukolämmön hinnoittelumallit. 2014. Energiateollisuus. Saatavissa:
http://energia.fi/sites/default/files/kaukolammon_hinnoittelumallit_2009.pdf.
Hakupäivä 11.4.2014
4. K1/2013. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. 2013. Energiateollisuus. Saatavissa:
http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1_2013_rakennustenkaukolammitys_2_0.pdf. Hakupäivä 29.4.2014
5. Kytkentäkaaviot. 2014. Nibe. Saatavissa:
<http://www.nibe.fi/upload/haato/Kytkent%C3%A4kaaviot/M10788fi-1.pdf> Hakupäivä 16.4.2014.
6. D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö. Saatavissa: www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf. Hakupäivä 16.4.2014.
7. Näin kaukokylmä toimii. Fortum. Saatavissa:
<http://www.fortum.com/countries/fi/yritysasiakkaat/kaukokylma/nain-kaukokylma-toimii/pages/default.aspx> Hakupäivä 16.4.2014.
8. Energian säästö ja lämpökertoimet. RefGroup OY. Saatavissa:
<http://www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/energiansaasto> Hakupäivä 16.4.2014.

9. Maaviileä. 2014. Senera OY. Saatavissa:
<http://www.senera.fi/Maalampo/Maaviilea/> Hakupäivä 11.4.2014
10. Asentajan käsikirja F1155. 2014. NIBE Energy Systems Oy. Saatavissa:
<http://www.nibe.fi/nibedocuments/9368/231561-1.pdf>. Hakupäivä 10.4.2014
11. Maalämpöpumppu opas. 2013. Nibe. Saatavissa:
<http://www.nibe.fi/upload/haato/Ohjeet/NIBE%20MLP%20OPAS%201335-6.pdf>. Hakupäivä 24.4.2014.
12. Terminen vastetesti eli TRT-mittaus. Geologian tutkimuskeskus. Saatavissa:
<http://www.gtk.fi/tutkimus/tutkimusohjelmat/energia/trtmittaus.html>. Hakupäivä 24.4.2014.
13. D2. 2010. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö. Saatavissa:
www.finlex.fi/data/normit/34164-D2-2010_suomi_22-12-2008.pdf. Hakupäivä 24.4.2014.
14. C4. 2002. Rakennusten Lämmöneristys. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö.
15. Asentajan käsikirja AXC40. 2014. NIBE Energy Systems Oy. Saatavissa:
<http://www.nibe.fi/nibedocuments/9096/231260-2.pdf>. Hakupäivä 10.4.2014

LIITTEET

Liite 1 Huonekohtaiset ilmavirrat

Liite 2 Pohjakuva, 1. kerros

Liite 3 Pohjakuva, 2. kerros

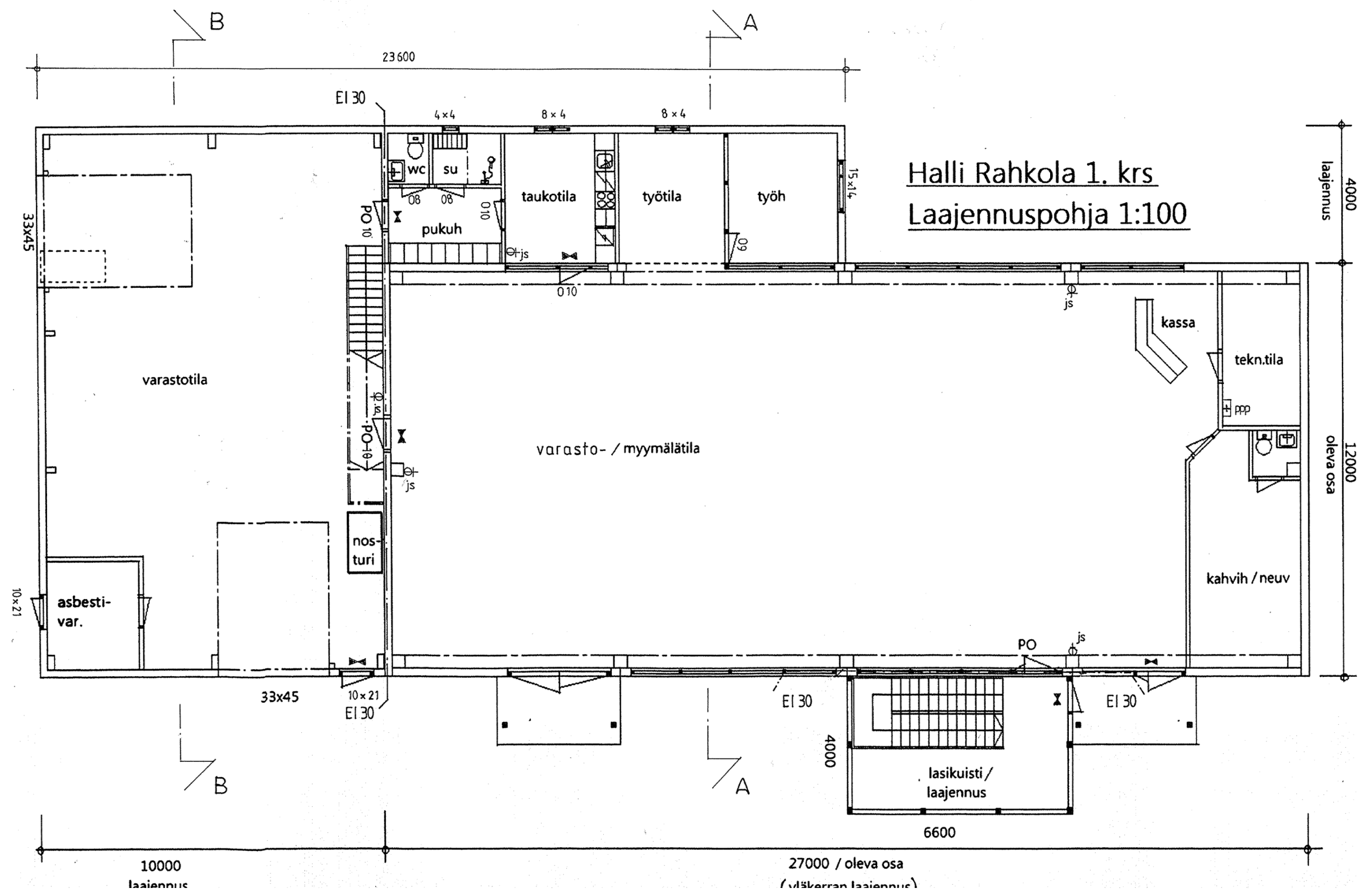
Liite 4 Leikkauskuva

Liite 5 U-arvot

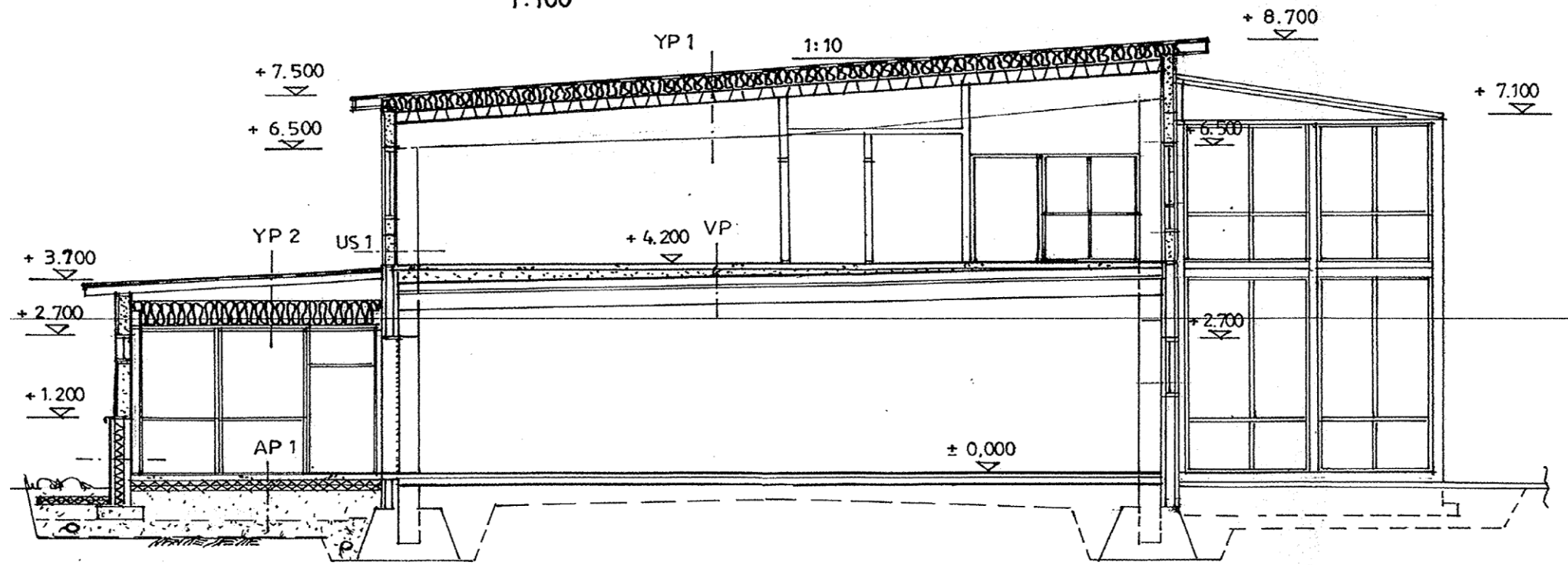
Liite 6 EED-ohjelmaan syötetyt tiedot

| Yläkerta, kone 1 | | Ala | HLÖ | LK hlö | Valot | LK valot | LK Laitteet | LK ikkuna | LK tot | qvJ | D2 Vähimmäisvaatimus | | | Mitoittava | tulo | poisto | IV J.teho | J. palkki |
|-------------------|-----------------|-------|-----|--------|------------------|----------|-------------|-----------|--------|-------------------|----------------------|---------|---------|-------------------|-------|--------|-----------|-----------|
| Käyttötarkoitus | Tila | m2 | kpl | W | W/m ² | W | W | W | W | m ³ /s | l/s/m2 | l/s/hlö | min l/s | m ³ /s | m3/s | m3/s | W | w |
| tyhjä | | 0,0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 | 0 | 0 | 0 | 0,000 | | | 0 | 0 |
| Neuvotteluhuone | Kokoush. | 19,0 | 8 | 640 | 12 | 228 | 0 | 263,25 | 1131 | 0,000 | 4 | 8 | 0 | 0,076 | 0,076 | 0,076 | 638 | 493 |
| Toimistohuone | Aula/esittely | 38,6 | 0 | 0 | 12 | 463,2 | 0 | 0 | | 0,000 | 1,5 | 6 | 0 | 0,058 | 0,058 | 0,058 | 486 | -486 |
| Pukuhuone | pukuh. | 11,0 | | 0 | 12 | 132 | 0 | 0 | | 0,000 | 2 | 6 | 0 | 0,030 | 0,040 | 0,030 | 252 | -252 |
| Toimistohuone | Zos. työh. | 19,0 | 2 | 160 | 12 | 228 | 0 | 0 | | 0,000 | 1,5 | 6 | 0 | 0,029 | 0,029 | | 239 | -239 |
| Pesuhuone | Pesuh. | 6,0 | | 0 | 12 | 72 | 0 | 0 | | 0,000 | 3 | 6 | 10 | 0,018 | | 0,018 | 151 | -151 |
| Saunan löylyhuone | Sauna | 7,0 | | 0 | 12 | 84 | 0 | 0 | | 0,000 | 2 | 6 | 0 | 0,014 | 0,014 | 0,014 | 118 | -118 |
| WC | wc | 0,0 | | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | | 0,000 | 0,5 | 6 | 15 | 0,015 | | 0,015 | 126 | -126 |
| WC | wc | 0,0 | | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | | 0,000 | 0,5 | 6 | 15 | 0,015 | | 0,015 | 126 | -126 |
| tyhjä | | 0,0 | | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | | 0,000 | 0 | 0 | 0 | | | | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 0,216 | 0,226 | Alipaine | -4 % |
| Yläkerta, kone 2 | | Ala | HLÖ | LK hlö | Valot | LK valot | LK Laitteet | LK ikkuna | LK tot | qvJ | D2 Vähimmäisvaatimus | | | Mitoittava | tulo | poisto | IV J.teho | J. palkki |
| Käyttötarkoitus | Tila | m2 | kpl | W | W/m ² | W | W | W | W | m ³ /s | l/s/m2 | l/s/hlö | min l/s | m ³ /s | m3/s | m3/s | W | w |
| Toimistohuone | Vuokrat. | 105,0 | 4 | 320 | 12 | 1260 | 0 | 0 | | 0,000 | 1,5 | 6 | 0 | 0,158 | 0,158 | 0,158 | 1323 | -1323 |
| WC | Vuokrat. WC | | | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | | 0,000 | 0,5 | 6 | 15 | 0,015 | | 0,015 | 126 | -126 |
| tyhjä | | 0,0 | | | | | | | | 0,000 | 0 | 0 | 0 | 0,000 | | | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 0,158 | 0,173 | Alipaine | -10 % |
| Alakerta | | Ala | HLÖ | LK hlö | Valot | LK valot | LK Laitteet | LK ikkuna | LK tot | qvJ | D2 Vähimmäisvaatimus | | | Mitoittava | tulo | poisto | IV J.teho | J. palkki |
| Käyttötarkoitus | Tila | m2 | kpl | W | W/m ² | W | W | W | W | m ³ /s | l/s/m2 | l/s/hlö | min l/s | m ³ /s | m3/s | m3/s | W | w |
| Arkisto, varasto | Varasto/myymälä | 265,0 | 0 | 0 | 12 | 3180 | 0 | 0 | | 0,000 | 0,35 | 6 | 0 | 0,160 | 0,160 | 0,200 | 1344 | -1344 |
| Pukuhuone | Pukuh | 13,0 | 0 | 0 | 12 | 156 | 0 | 0 | | 0,000 | 2 | 6 | 0 | 0,026 | 0,035 | 0,026 | 218 | -218 |
| WC | WC uusi | | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | | 0,000 | 0,5 | 6 | 15 | 0,015 | | 0,015 | | |
| Pesuhuone | Su | | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | | 0,000 | 3 | 6 | 10 | 0,010 | | 0,010 | | |
| Kahvio, taukotila | taukotila | 12,0 | 0 | 0 | 12 | 144 | 0 | 0 | | 0,000 | 5 | 6 | 0 | 0,060 | 0,060 | 0,060 | | |
| Toimistohuone | työtila | 12,0 | 1 | 80 | 12 | 144 | 0 | 0 | | 0,000 | 1,5 | 6 | 0 | 0,018 | 0,018 | | | |
| Toimistohuone | työh. | 12,0 | 1 | 80 | 12 | 144 | 0 | 0 | | 0,000 | 1,5 | 6 | 0 | 0,018 | 0,018 | | | |
| Toimistohuone | Kahvih/neuv. | 20,0 | 3 | 240 | 12 | 240 | 0 | 0 | | 0,000 | 1,5 | 6 | 0 | 0,030 | 0,030 | | | |
| WC | WC vanha | 20,0 | 1 | 80 | 13 | 260 | 0 | 0 | | 0,000 | 0,5 | 6 | 15 | 0,015 | | 0,015 | | |
| Arkisto, varasto | tekn.tila | 20,0 | 1 | 80 | 14 | 280 | 0 | 0 | | 0,000 | 0,35 | 6 | 0 | 0,030 | | 0,020 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | 0,321 | 0,346 | Alipaine | -8 % |

Halli Rahkola 1. krs
Laajennuspohja 1:100



Leikkaus A - A
1:100



Leikkaus B - B
1:100

