

---

# **Rakennuksen työaikainen lämmitys**

Lämmitysjärjestelmän valinta



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Visamäki kevät 2017

Jere Niemi



VISAMÄKI

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Rakennesuunnittelu

---

<b>Tekijä</b>	Jere Niemi	<b>Vuosi</b> 2017
<b>Työn nimi</b>	Rakennuksen työaikainen lämmitys	

---

TIIVISTELMÄ

Olin YIT:llä työjohtoharjoittelussa Nummen palvelukeskuksen työmaalla Hämeenlinnassa ja kysyin mahdollisia opinnäytetyön aiheita. Minulle ehdotettiin, että aihe voisi liittyä rakennuksen työaikaiseen lämmitykseen. Rakennuksessa on paljon lämmitettäviä kuutioita, ja lämmitys oli aikataulun mukaan tarkoitus aloittaa keskellä talvea. Tämän takia lämmitys oli syytä suunnitella hyvin etukäteen, ja siksi aiheeksi valittiin rakennuksen työaikainen lämmitys.

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia vaihtoehtoja lämmitykseen ja valita niistä työmaalle sopivin tai sopivimmat. Perehdyin sähkö-, kaukolämpö-, kaasu- ja öljylämmitysjärjestelmiin, sillä kaikkia neljää lämmönlähdettä käytetään työmailla lämmittämiseen. Tietoa lämmitysjärjestelmistä löytyi paljon eri laitevalmistajien ja energiantuottajien sivuilta. Keskustelin työmaan lämmityksestä myös rakennuskonevuokraamojen työntekijöiden kanssa, joilta löytyi paljon kokemuseräistä tietoa työmaan lämmityksen suunnittelusta.

Perehdyin myös siihen, millaisia olosuhteita eri työvaiheet vaativat, koska se määrittelee lämmityksen tarpeen työmaalla. Työmaalla pyritään lämmittämään vain siellä, missä lämpöä tarvitaan, ja näin pyritään säästämään lämmityskustannuksissa. Lämmöllä ja muilla olosuhteilla on suuri vaikutus työn laatuun ja rakenteiden kuivumiseen, joten lämmitys on toteutettava laadukkaasti. Tähän kohteeseen valikoitui päälämmitysmuodoksi kaukolämpö. Kaukolämpö on toimintavarma ja sitä käytettäessä työmaaliikenne on vähäisempää. Työmaalla käytetään kaukolämmön lisäksi myös öljylämmitystä sekä pienissä määrin myös sähkölämmittimiä.

Tässä työssä arvioitiin myös tulevaa lämmitysenergian kulutusta rakentamisen aikana ja seurattiin sen toteutumista. Kulutuksen arvioiminen oli vaikeaa, mutta tarkoitus oli oppia tekemään sitä tulevaisuudessa paremmin kulutusta seuraamalla. Työtä vaikeutti suunnitelmien ja aikataulun muuttuminen työn edetessä sekä sääolosuhteiden vaihtelevuus.

**Avainsanat** työmaan lämmitys, lämmitysjärjestelmät, lämmitysenergian kulutus

**Sivut** 32 s. + liitteet 1 s.

Visamäki  
Degree Programme in Building and Construction Engineering  
Structural Engineering

---

<b>Author</b>	Jere Niemi	<b>Year</b> 2017
<b>Subject of Bachelor's thesis</b>	Heating of a building under construction	

---

## ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's thesis was to examine various alternatives for heating on a building site of Nummen Palvelukeskus which was under construction. The building is large with plenty of space to be heated. The heating was planned to be started in winter, which requires careful planning. The aim was to choose the most suitable system or systems for the site.

Electric, gas, oil and district heating systems were studied because all systems are used as a heating method on construction sites. Plenty of information on the various systems was found on the websites of device manufacturers and energy producers. The employees of construction machinery rental companies were interviewed as they have experience in heating. It was also studied what kind of conditions different working stages need, because that determines the need for heating. It is intended to heat only there, where the heat is needed and to save the heating costs. The temperature and other conditions have a major impact on the quality of work and on the drying out of the structures. Therefore, heating has to be carried out with high quality.

District heating system was chosen as the main heating method for this construction site. It was possible because the final heating system in the building will be district heating. District heating is reliable and when it is used the traffic on the site is minor. On this construction site oil and electric heaters were also used.

The consumption of heating energy during construction was also assessed and monitored after the heating had started. The assessment of consumption was difficult because of changes in plans, schedules and the weather conditions. One purpose of monitoring was to learn to estimate energy consumption better in the future.

**Keywords** Construction site heating, heating system, heating energy consumption

**Pages** 32 p. + appendices 1 p.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Tutkimuskysymys .....	1
1.2	Työn tavoite.....	2
2	LÄMMITYSTARVE .....	3
2.1	Aikataulun vaikutus.....	3
2.2	Työvaiheiden vaatimukset.....	3
2.3	Rakenteiden kuivuminen.....	6
3	TARVITTAVAN LÄMMITYSTEHON MÄÄRITTÄMINEN .....	7
3.1	Lähtökohtia lämmitystehon laskemiseen .....	7
3.2	Lämmitystehon mitoitus.....	8
3.3	Ulkolämpötilan vaikutus lämmitystehoon .....	9
4	VAIHTOEHDOT LÄMMITYKSEEN .....	10
4.1	Sähkö.....	10
4.2	Kaukolämpö .....	11
4.3	Kaasu.....	14
4.4	Öljy.....	16
5	LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN VALINTA .....	18
5.1	Lämmitysjärjestelmien vertailu.....	18
5.2	Arvioidut kuukausikustannukset lämmitysjärjestelmille .....	19
5.3	Lämmitysjärjestelmän valinta .....	21
6	TYÖMAAN LÄMMITYSSUUNNITTELU.....	21
6.1	Lämmityssuunnitelma .....	21
6.2	Lämmityksen riskit.....	23
6.3	Arvioidut lämmityskustannukset.....	25
6.4	Lämmitysenergian kulutuksen seuranta.....	27
6.5	Lämmitysenergian kulutuksen vertailu arvioituun.....	29
7	POHDINTA.....	30
	LÄHTEET .....	31

Liite 1 Nummen palvelukeskuksen lohkojako

---

# 1 JOHDANTO

Kun lähdin kyselemään opinnäytetyöaihetta, tuli työmaalta ehdotus, että se liittyisi rakennuksen työaikaiseen lämmitykseen. Näin ollen opinnäytetyöstä saisi hyötyä työmaalle pohdittaessa, miten lämmitys toteutetaan. Tarkoituksena on myös ennakoida lämmityksestä aiheutuvia kustannuksia ja seurata toteutuneita kustannuksia, jolloin seuraavissa kohteissa kustannusten arviointi olisi helpompaa.

Kohteena on Hämeenlinnaan rakennettava Nummen palvelukeskus, joka toimii 1–9-luokkalaisten kouluna sekä iltaisin seudun asukkaiden harrastus- ja vapaa-ajan toimintatilana. Kuvassa 1 esitellään havainnekuva tulevasta rakennuksesta. Lämmitettävää pinta-alaa rakennuksessa on yli 10 000 m<sup>2</sup> ja tilavuutta yli 40 000 m<sup>3</sup>. Kohteessa on lämmityksen haasteena avoimet tilat sekä runkovaiheessa huonosti eristävä betoninen sisäkuorielementtirunko. Lämmitys aloitetaan keskellä talvea ja rakennuksen tilavuus on suuri, joten kustannuksia lämmityksestä kertyy runsaasti. Näiden asioiden takia ennakkosuunnittelu on tärkeää.

Lämmityksellä on tärkeä rooli, jotta työvaiheet pystytään tekemään laadukkaasti sopivissa olosuhteissa ja rakenteet kuivuvat aikataulun mukaisesti. Tutkin ensimmäiseksi työvaiheiden vaatimuksia lämmityksen osalta, jotta tiedetään, millaiset olosuhteiden tulisi olla. Toisena vaiheena tässä työssä on selvittää lämmitystehon suuruus, jotta kyseiset olosuhteet saadaan toteutettua. Tämän jälkeen tutkin sähkö-, kaukolämpö-, öljy- ja kaasulämmitysvaihtoehtoja, joista valitaan sopivin kyseiselle työmaalle. Tarkoituksena on myös seurata ja dokumentoida lämmitysenergian kulutusta.

## 1.1 Tutkimuskysymys

Tutkimuskysymyksenä on, millä järjestelmällä työmaan työaikainen lämmitys on järkevin toteuttaa. Valintaan vaikuttaa monta asiaa, eikä pelkästään laskelmien mukaan halvin vaihtoehto ole välttämättä paras. Huomioon täytyy ottaa kokonaiskustannukset, joihin vaikuttavat lämmittimien vuokra- ja energiahintojen lisäksi muitakin asioita. Toimintavarmuus sekä ylläpito- ja huoltokustannukset ovat myös merkittäviä kustannustekijöitä. Myös järjestelmän muuntuminen eri tarpeisiin on tärkeää, sillä lämmitystarpeet muuttuvat työmaan edetessä. Kallein vaihtoehto lämmitykseen on lämmitysjärjestelmä, joka ei toimi. Tällöin aikataulu voi venyä ja laatu heikentyä.

Työn edetessä voidaan nähdä toteutunut lämmitysenergian kulutus verrattuna arvioituun. Energiankulutukseen vaikuttavat sääolosuhteet, minkä takia ulkolämpötilan seuraaminen tarkasti on tärkeää vertailun kannalta.

Lämmitysjärjestelmän valintaan voi vaikuttaa myös eri järjestelmien saataavuus. Rakennusyhtiöllä voi olla omassa kalustossaan laitteita, joita halutaan hyödyntää. Yleistä on kuitenkin käyttää rakennuskonevuokraamoita, joilla on yleensä vuokrattavanaan kaikenlaisia lämmittimiä.

## 1.2 Työn tavoite

Ennen kuin mietitään millä lämmitetään, täytyy miettiä mitä, milloin ja kuinka paljon tarvitsee lämmittää. Jotta nämä tekijät saataisiin selville, täytyy perehtyä aikatauluun. Aikataulusta nähdään, missä ja milloin tehdään sen kaltaista työtä, jossa tarvitaan lämmitystä. On tiedettävä siis myös eri työvaiheiden olosuhdevaatimukset.

On myös tiedettävä, miten lämmitystehon tarve määritellään. Lämmitystehon tarpeeseen vaikuttaa lämmitettävän alueen tilavuus, joka on suurin tekijä. Myös lämmitettävän alueen muoto ja seinien eristävyys vaikuttavat lämmitystehon tarpeeseen merkittävästi. Lämmönhukan määrään vaikuttaa lisäksi ilmanvaihtuvuus, jonka suuruus riippuu tiiveydestä sekä läpikulun määrästä.

Kun yllä mainitut asiat tiedetään, täytyy perehtyä erilaisiin lämmitysjärjestelmiin sekä niiden heikkouksiin ja vahvuuksiin. Sen jälkeen vertaillaan näitä lämmitysjärjestelmiä ja valitaan niistä työmaalle sopivin tai sopivimmat. Tavoitteena on löytää kyseiselle työmaalle kokonaisvaltaisesti sopivin vaihtoehto.



Kuva 1. Havainnekuva Nummen palvelukeskuksesta (Linja-arkkitehdit 2016).

---

## 2 LÄMMITYSTARVE

### 2.1 Aikataulun vaikutus

Lämmitystarpeeseen vaikuttaa merkittävästi rakentamisen aikataulun sijoittuminen eri vuodenaikoihin. Optimaika olisi aloittaa heti keväällä ja saada runko ja vesikatto ennen talvea tiiviiksi. Tällä tavalla runkovaiheessa säästettäisiin runsaasti lämmitysenergiakustannuksia verrattuna tilanteeseen, jossa esimerkiksi betonirakenteista runkoa jouduttaisiin lämmittämään talvella. Rakentamisen aloittamisajankohta määräytyy rakennusliikkeillä kuitenkin yleensä muiden tekijöiden toimesta. Esimerkiksi alueella, johon rakennetaan useimpia samankaltaisia asuintaloja, aloitetaan rakentaminen vaiheittain, kun rakennetaan samaan aikaan useampaa kohdetta edellisen ollessa kesken. Voi olla myös tilanne, jossa odotetaan työvoiman vapautumista edellisestä kohteesta tai odotetaan, että tietty määrä kiinteistöstä on myyty tai vuokrattu. Rakennus voi olla myös niin suuri, ettei runkoa ehditä tekemään ennen talvea valmiiksi.

Kun kokonaisaikataulu on tehty kohteelle, voidaan alkaa tutkia, mitä työvaiheita on tarkoitus tehdä missäkin kuussa ja mahdollisesti voidaan muokata aikataulua lämmityksen kannalta järkeväksi. Aikataulun muutoksien mahdollisuuksiin vaikuttavat tilaaja, kohde ja sen urakkamuoto. Omarahoitteisissa kohteissa, esimerkiksi asuintuotannossa, rakentaja voi vaikuttaa aikatauluun paljon. Kilpailu-urakassa rakentajan mahdollisuudet vaikuttaa kokonaisaikatauluun voivat olla pienet, mutta työvaiheita voi rytmittää järkevästi, kunhan tavoiteaika saavutetaan.

### 2.2 Työvaiheiden vaatimukset

Tässä työssä keskityn lähinnä työaikaiseen lämmitykseen siinä vaiheessa, kun rakennuksen runko on pystytetty ja rakennuksen sisäilmaa lämmitetään väliaikaisella lämmitysjärjestelmällä. Tutkin myös rakentamisen aikaisempien työvaiheiden lämmitysvaatimuksia. Lämmittämisellä on myös suuri vaikutus rakenteiden kuivumiseen, sillä lämmin ilma pystyy sitomaan paljon kosteutta itseensä ja näin kuivaamaan rakenteita. Kosteus on laaja aihe, joten tässä työssä keskityn siihen vain lämmittämisen näkökulmasta.

Talvella kaivettaessa perustuksia voi routa olla ongelma. Työmaan sijainti, pakkanen ja lumipeitteen paksuus ovat merkittäviä tekijöitä routaan. Perusmaan ei tule antaa jäätyä, joten on syytä kaivaa vain sen kokoinen alue, joka pystytään täyttämään ennen perusmaan jäätymistä. Laajoissa kaivuutöissä kaivetaan kerroksittain, jotta perusmaa ei ehdi jäätyä. Roudan sulattaminen on kallista johtuen suuresta tehon tarpeesta. Vaihtoehdot roudan sulattamiseen ovat kaasulla tai höyryllä sulattaminen. Pienemmissä kohteissa sähkö-

---

lämmitteinen routamatto voi olla mahdollinen roudan sulatuskeino. Sulatetun maan eristäminen on kannattavaa, jottei sitä jouduta sulattamaan uudelleen.

Jos kyseessä on isompi kohde, kuten kerrostalo tai liikerakennus, ei yleensä perustuksissa pieni pakkasilma ole ongelma, sillä betoniset anturavalut ovat yleensä massiivisia ja lämmittävät itse itseään betoninkovettumisreaktion käynnistyessä. Lämmittämiseen on kuitenkin vähintään varauduttava. Talvibetonoinnin katsotaan alkavan, kun ulkolämpötila laskee alle viiteen celsiusasteeseen. Betoni saa jäätyä, kun se on saavuttanut 5 MN/m<sup>2</sup>:n lujuuden. Kuitenkin on otettava huomioon, että lujittuminen pysähtyy betonin lämpötilan laskiessa pakkaselle, joten rakenteeseen ei voida kohdistaa siihen suunniteltuja kuormia eikä muottia voi välttämättä purkaa ennen kuin tarvittava lujuus on saavutettu. Lämmitykseen on syytä varautua lanka-, muotti- tai infrapunälämmityksellä. (Kivimäki & Koistinen 2012.)

Samoin kuin perustusvaiheessa, myös runkovaiheessa vuorokauden keskilämpötilan laskiessa alle 5 °C:n on varauduttava talvimenetelmiin betonirakentamisessa. Elementtien saumavalut ovat massaltaan pieniä, joten betoni jäähtyy nopeasti. Ympäröivät rakenteet tuleekin lämmittää niin lämpimiksi, etteivät ne jäähdytä betonimassaa. On myös olemassa talvilaadun betonia, jolla voidaan valaa jopa -15 °C:n lämpötilassa. Pakkasbetoni on huomattavasti kalliimpaa kuin normaali betoni. Paikallavaluissakaan ei voi luottaa pelkästään betonin massan tuomaan lämpöön. Muottien eristäminen ja lämmittäminen voi tulla kyseeseen, ja niihin on ainakin varauduttava paikallavaluissa. Valun liitoskohdissa aikaisemmin tehtyyn rakenteeseen on lämmitettävä liitoskohtaa etukäteen, jotta se ei jäädytä valua.

Siirryttäessä rakennuksen sisäpuolisiin työvaiheisiin olosuhdevaatimukset työvaiheille nousevat. Kun runko saadaan pystytettyä, täytyy aukot suojata, jotta ylimääräinen vesi ja lumi saadaan pysymään rakennuksen ulkopuolella. Monesti käytetään alkuun ikkunoissa muovikalvoja ja avonaisissa seinissä pressuja sääsuojana. Markkinoille on tullut myös uudenlaisia siirrettäviä suojaseiniä, jolla saadaan rajattua lämmitettävää aluetta. Kuvassa 2 nähdään Dust Shelter Finlandin markkinoima säädettävä suojaseinä, joka puristuu katon ja lattian väliin kaasujousen avulla, joten muuta kiinnitystä ei tarvita. Hinta on kalliimpi kuin pressulla toteutettuna, mutta lopputulos on siistimpi eivätkä pressut heilu tuulessa. Suojien tiiveyden vuoksi ilma- vuodot ovat pienempiä kuin pressuissa ja näin voidaan säästää asennus- ja lämmityskustannuksissa.





Kuva 2. Kuvassa on käytössä DS-seinä (Dust Shelter Finland 2015).

Rungon jälkeen seuraava yleinen työvaihe on pintabetonilattioiden tekeminen, joiden laadulla voi kohteesta riippuen olla tarkkoja vaatimuksia. Pintabetonilattioissa alustan lämpötilan suositellaan olevan vähintään kymmenen astetta (Rakennustietosäätiö RTS & Rakennustieto Oy 2012). Huonelämpötilan ei tarvitse kuitenkaan olla kymmentä astetta. Ylempiä kerroksia voidaan lämmittää alemmasta kerroksesta, sillä lämpö nousee ylöspäin. Alimmassa kerroksessa alapohjassa on yleensä eriste, joka auttaa lämmön varaamisessa. Jos lattiasta halutaan siisti, ei lattiaan saa valua vettä tai lunta, joka vaikuttaa pinnan laatuun. Lämmittäminen on syytä aloittaa muutamaa päivää ennen valua, jotta rakenteet ehtivät varastoimaan lämpöä. Lämpö pidetään päällä myös valun jälkeen.

Väliseinien muuraustöissä voidaan muurattava alue rajata omaksi tilaksi ja lämmittää vain sitä. Muita menetelmiä lämmittämiseen ovat muurattavien kappaleiden lämmitys sekä laastin tekeminen lämpimään veteen. Myös säteilylämmittimiä voidaan käyttää: tällä tavalla energiaa ei mene ilman lämmittämiseen vaan kohdistuu suoraan lämmitettävään pintaan. Julkisivun tai ulkoseinän muurauksen tai rappauksen ollessa kyseessä joudutaan suojaustöihin, jotta satava lumi tai vesi ei vaurioita pintoja.

Tasoitetyöt vaativat tasaiset olosuhteet ennen työn aloittamista sekä sen jälkeen. Alustan, materiaalien ja ilman lämpötilan tulee olla tasoitetyön ajan ja laastin sitoutumisen ajan vähintään yli 5 °C. Hyvä työskentelylämpötila tasoitetyölle on 10–20 °C ja sopiva ilman suhteellinen kosteus on noin 50–80 %. (Rakennustieto Oy 2008.)

Maalaustöissä vaatimukset ovat samankaltaisia kuin tasoitetöissä, ja alustan lämpötilan on oltava vähintään 5 °C. Myös ilman on oltava vähintään 5 °C, ja suhteellisen ilmankosteuden tulee olla 40–60 %. On noudatettava valmistajan ohjeita. (Rakennusteollisuuden keskusliitto 2001.)

Mitä lähemmäksi rakenteet tulevat lopullista pintaa, sitä lähempänä rakentamisen olosuhteiden tulisi olla käyttöolosuhteita. Kun päästään sisäpintojen maalaukseen, tasoitukseen, vedeneristämiseen ja laatoitukseen, tulee olosuhteiden olla työntekemisenkin jälkeen tasaiset. Muussa tapauksessa rakenteet voivat elää ja tästä johtuen halkeilla.

### 2.3 Rakenteiden kuivuminen

Kuten tässä työssä todettiin aiemmin, betonirakenteiden kuivuminen ja kosteuden hallinta ovat laajoja asiakokonaisuuksia, joten tässä työssä keskitytään lähinnä vain siihen, miten lämmitys vaikuttaa kuivumiseen. Olosudehyhallintaan kuuluu lämmityksen lisäksi oleellisena sääsuojaus, jolla suojataan rakenteita ylimääräiseltä kosteusrasitukselta. Paikalla valukohteissa on myös vältettävä turhan suurta veden määrää betonoinnissa. Valmisbetonia tilattaessa on mahdollista tilata tavallista nopeammin kuivuvaa massaa, jota kannattaa harkita vaikeammin kuivuvissa kohdissa. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi delta-palkkien valut, jossa palkin sisällä oleva betoni pääsee kuivumaan heikosti tai tilanne, jossa joku kohta esimerkiksi maanvaraisessa laatussa on muuta laattaa huomattavasti paksumpi. Tällöin näillä alueilla voidaan harkita nopeasti kuivuvan massan käyttöä.

On tärkeää saada rakennus mahdollisimman nopeasti umpeen, jotta sisään ei pääse vettä eikä lunta. Jos sisään pääsee lunta, kannattaa se poistaa mekaanisesti eikä sulattaa, sillä sulamisvedestä muodostuu lisää kuivatettavaa kosteutta rakenteisiin.

Ilman lämpötilalla on suuri vaikutus sen kykyyn sitoa kosteutta. Lämpötilan ollessa kymmenen celsiusastetta pakkasella pystyy yksi kuutio ilmaa sitomaan noin 2 g vettä. Lämpötilan noustessa 15 °C:een on kosteuden sitomiskyky jo lähes 13 g kuutiossa. Rakenteet kuivuvat, kun kosteus haihtuu niiden pinnasta ilmaan, joten lämpötilalla ja suhteellisella kosteudella on suuri merkitys kuivumisaikaan. Kun työmaalla lämmitetään kuivaa pakkasilmaa kuumaksi, sen kyky sitoa rakenteista haihtuvaa kosteutta moninkertaistuu ja kuivuminen tehostuu, kunhan ilmanvaihtuvuus on riittävää.

Talvella riittää kuivattamiseen pelkkä lämmittäminen, sillä ilmanvaihto rakennusvaiheessa olevassa rakennuksessa on yleensä riittävä kuivumiseen. Keväällä ja loppusyksyllä kuivumista voidaan nopeuttaa nostamalla lämpötilaa ja tehostamalla ilmanvaihtoa. Kesällä ja alkusyksystä ilmankosteus voi olla niin suuri, että kosteuden poistuminen sisäilmasta vaatii ilmankuivainten käyttöä. Tällöin on kuivattavan tilan oltava tiivis, jotta ei kerätä kosteutta ulkoilmasta. Ilmankuivaaja ei tehosta rakenteiden kuivumista syvemältä, joten lisäksi on käytettävä myös lämmitystä. (Merikallio n.d.)

Ilman lämpötilan lisäksi myös rakenteiden lämpötila vaikuttaa merkittävästi kuivumisaikaan. Betonin lämpötilan noustessa kymmenellä celsiusasteella

kosteutta siirtävä voima kasvaa 1,5-kertaiseksi eli hyvin merkittävästi. Jos betonin lämpötila nousee kymmenestä celsiusasteesta kolmeenkymmeneen celsiusasteeseen, kuivumisaika puolittuu. (Merikallio n.d.)

Lämmityksellä pystytään tarvittaessa kuivaamaan betonia nopeasti, mutta se vaatii runsaasti lämmitysenergiaa ja on kallista. Sen takia betonin oikea koostumus ja ennen kaikkea rakenteiden suojaus ylimääräiseltä kosteusrasitukselta ovat tärkeitä.

Kosteusaihe tulee myös esiin tutkiessa kaasun palamisreaktiota. Nestekaasua polttaessa syntyy ilmaan hiilidioksidia ja lisäksi vesihöyryä. Kaasun tuottaja Aga kertoo kaasun palamisreaktiosta näin:

*”Nestekaasun palamisessa muodostuu noin 15 tilavuusprosenttia vesihöyryä. Oljekemi-Miljö Konsultin tekemässä tutkimuksessa havaittiin, että kun lämpötila nousee -5 celsiusasteesta +25 asteeseen, nestekaasun palaminen tuottaa noin 2 grammaa vettä kuivaa ilmakiloa kohti. Samanlaisesti ilman kyky sitoa kosteutta nousee noin 3 grammasta 23 grammaan kuutiota kohti. Nestekaasun palamisen tuottama lisäkosteus (2 grammaa) ei siis vaikuta kuivausprosessiin.”*  
(Aga & Ramirent n.d.)

Kaksi grammaa kosteutta kuutiota kohden ei kuulosta paljolta, mutta poltettaessa yksi kilo nestekaasua syntyy 1,6 kg vettä (Aga n.d.). Esimerkiksi 70 kW:n kaasulämmitin kuluttaa maksimissaan noin kuusi kiloa kaasua tunnissa, jolloin vettä muodostuu jopa 9,6 litraa tunnissa. Määrä on suuren kuuloinen, mutta kaasulla lämmittäessä pitää olla hyvä ilmanvaihto, jolloin kosteudesta kaikki ei jää huonetilaan. Tuotteita kauppaavien mielestä kaasun palamisesta muodostuva kosteus ei vaikuta kuivaukseen, mutta asiasta ei löytynyt puolueetonta tutkimustietoa.

### 3 TARVITTAVAN LÄMMITYSTEHON MÄÄRITTÄMINEN

Opinnäytetyön ensimmäisiä asioita oli ruveta miettimään rakennuksen lämmitystehon tarvetta sekä sitä, milloin lämmitetään mitään. Kokemuspohjaisena mitoitusravona minulle kerrottiin hyväksi havaittuja lämmitystehon laskenta-arvoja, joten tutkin, mistä luvut ovat peräisin. Työaikaiseen lämmitykseen ei varsinaisesti teoriaa löydy paljon, mutta rakennusten varsinaisen lämmityksen mitoituserusteita pystyy soveltamaan tähän tarkoitukseen.

#### 3.1 Lähtökohtia lämmitystehon laskemiseen

Kohderakennuksen lämmitettävä tilavuus on kokonaisuudessaan yli 40 000 m<sup>3</sup>, joten valitulla lämmitysteholla kuutiota kohden on suuri merkitys mitoitustehoon näin suurella kiinteistössä. Lämmitystehon tarpeen laskenta perustuu ulkoilman ja sisälämpötilan eroon eli siihen, paljonko ulkoilmaa pitää lämmittää, jotta saadaan haluttu sisälämpötila. Rungon tiiveys ja eristävyys vaikuttavat lämmitystarpeeseen. Kyseisessä kohteessa runkona toi-

mii betoninen sisäkuorielementti, jossa ei ole eristettä. Tästä johtuen lämmitys halutaan aloittaa varsinaisesti vasta, kun eriste on asennettu ulkopuolelle. Jos lämmityksen aloittaa ennen eristeen asentamista, on energian kulutus suuri. Lisäksi ulkopintaan voi muodostua jäätä, kun kosteus tiivistyy lämpimään pintaan. (Koivula 2016.)

Rakennuksessa on myös massiivinen väestönsuoja, jonka paksut seinät ja holvi varaavat lämpöä runsaasti ja betoni itsessään toimii jo hieman eristeenä. Kohteen aulatilassa taas on suuria lasiseiniä, joihin ei heti saada lasseja, vaan luultavasti alussa joudutaan olemaan pressuseinän varassa.

Myös huoneiden muodot vaikuttavat mitoitukseen. Avonaisesta aulasta johtuen lämpö karkaa ylempiin kerroksiin. Siksi alakertaan joudutaan laittamaan tehokkaammat lämmittimet ja puhaltimilla jakaa lämpöä ylempiin kerroksiin. Yläkerroksissa voidaan muutenkin käyttää pienempiä arvoja, koska alemmista kerroksista lämpö johtuu ylöspäin. Suuriin avonaisiin tiloihin, kuten liikuntahalliin, tarvitaan suuren lämmitystehon lisäksi suuri puhallusteho, jotta lämpö leviää tasaisesti. Tarkoitus ei ole myöskään lämmittää pelkkää korkean tilan yläosaa, vaan lämpöä on tarvittaessa puhallettava takaisin ylhäältä alas puhaltimilla.

### 3.2 Lämmitystehon mitoitus

Rakennustiedon kortistosta löytyy uudisrakennuksen lämmitystehon mitoitukseen likimääräisiä arvoja (Taulukko1). Pientaloissa on paljon ulkoseiniä suhteessa kerrostalon huoneistoihin, joten tehon tarve on tästä syystä näissä pienempi. Liikerakennuksissa on usein paljon lasiseiniä ja ilmanvaihtuvuus on suurempi, koska ihmiset liikkuvat ovista usein ja ilmastointi on tehokkaampaa. Koulukeskus on luultavasti rakennustyypiltään lähimpänä liikerakennusta. Nämä viitteelliset mitoitusarvot koskevat valmiita rakennuksia, jotka ovat tiiviitä ja ilmanvaihdosta otetaan talteen hukkalämmöt. Näistä syistä kyseisiä mitoitusarvoja ei voi ottaa suoraan huomioon lämmitystehon laskemisessa. Toisaalta taas nämä arvot ovat sellaisia, että kovimmilla pakkasillakin saadaan huoneilma pysymään halutussa lämpötilassa. Työmaan kannalta ei ole tarvetta saada huonelämpötilaa +20 celsiusasteeseen, kun ulkona on -20 celsiusastetta pakkasta.

Taulukko 1. Lämmitystehotarpeita (Senewa Oy 1993).

Eri uudisrakennustyyppien likimääräisiä lämmitystehotarpeita

Rakennuksen sijainti	pientalot W/m <sup>3</sup>	kerrostalot W/m <sup>3</sup>	liikerakennukset W/m <sup>3</sup>
Etelä-Suomi	20	16	24
Pohjois-Suomi	25	21	30

Keskustellessani lämmityssuunnitelmia tehneiden lämmityslaitteiden vuokraajien kanssa ymmärsin, että seinän ja ikkunoiden eristävyyksien vaihteluilla ei ole suurta painoarvoa väliaikaisen lämmityksen tehon mitoittamisessa.

Kokemusperusteisesti voidaan työmaalämmityksessä käyttää arvoa 20 W/m<sup>3</sup>, jos halutaan 20 °C:n lämpötilan nousuteho. Kun esimerkiksi halutaan 15 °C:n nousuteho, riittää 15 W/m<sup>3</sup>. (Koivula 2016.)

Opinnäytetyössä on tarkoitus myös tutkia toteutuneita energiankulutuksia ja sitä, miten ne täsmäävät laskettuun kulutukseen. Alustavassa mitoituksessa käytän arvoa 20 W/m<sup>3</sup> eli 0,02 kW/m<sup>3</sup>.

### 3.3 Ulkolämpötilan vaikutus lämmitystehoon

Kuten aikaisemmin on todettu, mitoittaminen perustuu lämpötilaeroon, joten siihen vaikuttaa merkittävästi ulkolämpötila. Taulukossa 2 esitellään Hämeenlinnan kuukausittaiset lämpötilojen keskiarvot vuosina 1981–2010. Tutkittaessa tilastoja voidaan havaita suuriakin muutoksia lämpötiloissa eri vuosina. Lämmitysteho pitäisi mitoittaa kylmimpien pakkaspäivien mukaan, mutta työmaaolosuhteissa tämä ei ole välttämätöntä, koska pieni lämpötilan lasku voidaan sallia. Rakenteet varaavat itseensä lämpöä, mutta kovimman pakkasjakson ollessa pitkä alkavat rakenteetkin viilentyä.

Taulukko 2. Keskilämpötilat 1981–2010 (Ilmatieteen laitos n.d.).

Keskilämpötilat Hämeenlinna	°C
Marraskuu	-4
Joulukuu	-4,2
Tammikuu	-6,1
Helmikuu	-6,7
Maaliskuu	-2,5
Huhtikuu	3,6
Toukokuu	10,1
Kesäkuu	14,3
Heinäkuu	17
Elokuu	14,9
Syyskuu	9,8
Lokakuu	4,7

## 4 VAIHTOEHDOT LÄMMITYKSEEN

Lämmitettäviä kuutioita kohteessa on ilman liikuntahallia 31 100 m<sup>3</sup>, liikuntahallissa 12 700 m<sup>3</sup>. Liikuntahallia ei ole tarkoitus heti lämmittää, koska pintalattia valetaan vasta keväällä. Jos lasketaan valitulla 0,02 kW/m<sup>3</sup>:n mitoitusarvolla 31 100 m<sup>3</sup> x 0,02 kW/m<sup>3</sup>, saadaan tehon tarpeeksi 622 kW. Laskiessa energian kulutusta täydellä teholla esimerkiksi kuukauden aikana eli 622 kW x 720 h saadaan 450 MWh eli nähdään, että energiaa kuluu runsaasti.

Valitsin lämmitysjärjestelmien vertailuun sähkön, kaukolämmön, kaasun ja öljyn. Tein kyseisistä järjestelmistä hinta-arviot kuukausikustannuksista sekä mietin järjestelmien hyviä ja huonoja puolia.

### 4.1 Sähkö

Sähkölämmitteisiä omakotitaloja on paljon Suomessa, ja sähkön hinta ei tällä hetkellä ole kalleimmillaan. Näin ollen sähkölämmitys voisi olla varteenotettava vaihtoehto. Sähkönhinta (alv 0 %) on 26.9.2016 siirtoineen 0,073 e/kWh eli 73 e/MWh (Energiavirasto 2016).

Tutkittaessa työmaalle soveltuvia sähkölämmittimiä huomataan, että oikeastaan yli 20 kW:n lämmittimiä ei ole tarjolla. Tämä johtunee siitä, että virran tarve kasvaa suureksi, joten ei ole mielekästä lämmittää sähköllä kovin isoa alaa. Virran määrä saadaan kaavasta  $I = P/U$ , eli virta on teho jaettuna jännitteellä. Esimerkiksi lasketulla 622 kW:n lämmitystehon tarpeella kolmivaihesähkön 400 V:n jännitteellä on virran määrä jo 1555 ampeeria. Työmaan sähköpääkeskus on 400-ampeerinen. Sähkön syöttökaapeli pitäisi mitoittaa suureksi ja keskuksia pitäisi olla paljon. Lisäksi lämmittimiä ei ole saatavina tehokkaampina, joten sähkölämmitys ei sovellu päälämmitysmuodoksi tässä kohteessa.

Sähkölämmitintä voidaan hyödyntää kuitenkin pienien alueiden lämmityksessä ja sitä on helppo siirrellä, joten sähkölämmitys toimii täydentävänä lämmitysmuotona esimerkiksi kohdelämmittimenä työkohteessa tai pesuhuoneen laatoitustyössä. Tälläkin työmaalla niitä tullaan varmasti hyödyntämään. Huonona puolena sähkölämmittimissä on sulakkeiden kestävyys. Jos monta lämmitintä kytkee samaan sähkökeskukseen, voi virta loppua kesken ja sulakkeet laueta. Kuvassa 3 esitellään 9 kW:n sähkölämmitin, joka on sähkölämmittimeksi tehokas. Sähkölämmittimet ovat hyvin helppoja asentaa. Virran riittävyys ja sähköjohtojen asennus ovat niiden suurimmat haasteet.



Kuva 3. 9 kW:n sähkölämmityspuhallin (Cramo 2016).

## 4.2 Kaukolämpö

Kohteeseen on tulossa lopulliseksi lämmitysmuodoksi kaukolämpö, joten lämmitysmuoto on mahdollinen myös rakennusvaiheessa. Kaukolämpöputket tuodaan tontille joka tapauksessa, joten tästä ei aiheudu ylimääräisiä kustannuksia. Lämmitysenergia tulee kiinteää linjaa pitkin, joten sitä ei tarvitse tuoda polttoöljyn ja kaasun tavoin kuorma-autolla tontille, vaan energiaa on jatkuvasti saatavilla. Isossa kohteessa, jossa energiaa kuluu paljon, tämän liikenteen poisjäänti on hyvä puoli logistiikan kannalta. Kaukolämpöenergian hinta on myös edullisinta vertailussa olevista eli 52 e/MWh (alv 0 %) (Elenia 2016). Hintaan tulee vielä kaukolämmön kuukausittainen perusmaksu, joka riippuu rakennuksen kaukolämmön sopimusvirtaamasta.

Energian hinnan lisäksi kustannuksiin vaikuttavat lämmityskaluston vuokra- tai hankintahinta sekä huolto- ja asennuskustannukset. Kaukolämmön huonona puolena on suuri vesiletkujen määrä ja siitä aiheutuvat kustannukset sekä riskit. Paineellisessa letkussa kulkee kuuma vesi, joten hajotessaan se aiheuttaa vaaraa työntekijöille. Lisäksi vesivuodot voivat aiheuttaa rakenteellisia vahinkoja ja hidastaa kuivumista, jos vettä pääsee rakenteisiin runsaasti.

Kaukolämpö vaatii aina lämmönvaihtimen, jolla saadaan kuuma vesi kiertämään lämpöpuhaltimille. Vaihdin ei eroa suuresti lopullisesta, vaan yleensä väliaikaiset vaihtimet ovat vain hieman riisutumpia ja yksipiirisiä. Tähän kohteeseen tarvittaisiin 800 kW:n tehoinen lämmönvaihdin. Kuvassa 4 näkyy Cramon tarjoama ELBJORN TFUC800B. Kooltaan se on (2000 x 176 x 760 mm) eli lämmönvaihdin vaatii hieman tilaa ja mielellään paikan, jossa on mahdollisuus laskea vettä viemäriin.



Kuva 4. 800 kW:n väliaikainen lämmönvaihdin (Cramo 2016).

Lämmönvaihtimelta lämpö siirretään kuumavesiletkuja pitkin puhaltimelle, joka puhaltaa lämmitettyä ilmaa. Kuumavesipuhaltimia on saatavilla 15 kW:sta aina jopa 200 kW:iin asti. Kuvassa 5 on esimerkkinä teholtaan 50 kW:n ELBJORN TF 50HV-F. Lämpöpuhaltimet vaativat voimavirtaa puhaltimen pyörittämiseen, joten myös sähköä kuluu jonkin verran. Lisäksi suodatin täytyy puhdistaa tasaisin väliajoin, jotta koneet toimivat kunnolla. Laitteet vaativat huoltoa toimiakseen kunnolla ja pysyäkseen ehjinä.





Kuva 5. 50 kW:n lämminvesipuhallin (Cramo 2016).

Kaukolämpölämmitys vaatii myös meno- ja paluuletkut, ja niitä tarvitsee monta metriä isossa rakennuksessa. On työlästä asettaa letkut siten, että ne eivät ole tiellä. Letkujen koot täytyy myös mitoittaa niin, että tarvittava energiamäärä saadaan kulkemaan letkuissa. Taulukossa 3 esitellään kuumavesiletkujen tehon siirtokapasiteetti, kun lämmityspiiriin tulevan ja lähtevän veden lämpötila ero on 30 °C.

Taulukko 3. Kuumavesiletkujen mitoitus (Koivula 2016).

Kuumavesiletkujen mitoitus	
Letkun halkaisija	Teho kun $\Delta t=30^{\circ}\text{C}$
25 mm	75 kW
32 mm	150kW
50 mm	320 kW
63 mm	600 kW
73 mm	750 kW

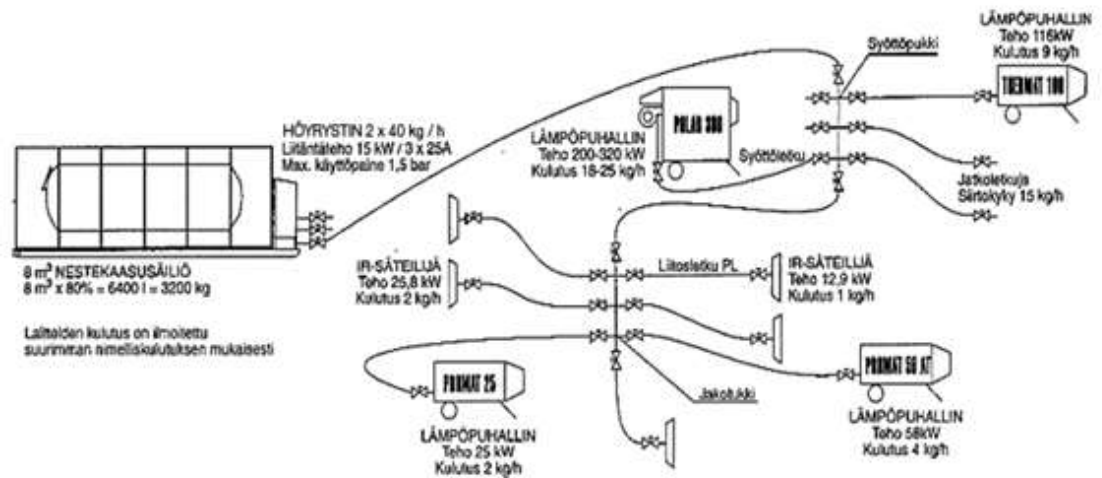
Jokaiseen lämmityspiiriin pitää laittaa sulut järjestelmän tyhjennystä varten, jotta vikatilanteessa ei jouduta tyhjentämään koko verkostoa. Lämmityspiiriin pitää myös laittaa ilmastuskello, jotta mahdollinen ilma poistuu kierrosta. Lisäksi paluuletkuun pitää laittaa mutapussi ennen vaihdinta, jotta mahdollinen sakka jää siihen. Mutapussi pitää tyhjentää säännöllisesti, jotta se ei tukkeudu. (Koivula 2016.)

### 4.3 Kaasu

Nestekaasukilossa on 12,8 kWh energiaa eli enemmän kuin polttoöljyssä kilo kohden. Kun energiaa tarvitaan paljon, on hyvä, että se on tiheässä muodossa, minkä johdosta polttoainetta ei tarvita niin paljon. Kaasua käytetään sen tehokkuuden takia usein runkovaiheessa. Esimerkiksi ontelovaluissa saadaan rakenteet lämmitettyä nopeasti. Kaasu on hieman kalliimpaa kuin vertailun kohteena olevat muut energiamuodot. Nestekaasun hinta on 78 e/MWh (alv 0 %) 8 m<sup>3</sup>:n säiliöön toimitettuna (Teboil 2016).

Nestekaasulla on tarkat turvallisuusmääräykset. Jos nestekaasun käyttö on tilapäistä ja varastointimäärä rakennustyömaalla on 200–5000 kg, normaalisti riittää ilmoitus asiasta pelastusviranomaiselle. Jos käyttöjakso on pidempi ja varastointimäärä suurempi, on turvateknikan keskukselta (TUKES) anottava nestekaasun käsittely- ja varastointilupa. (Aga & Ramirent n.d.)

Pienemmissä kohteissa riittäisivät pienemmät kaasupullot, mutta tehon tarpeen ollessa näin suuri olisi järkevää valita iso 8 m<sup>3</sup>:n säiliö. Tällöin tehdään kaasulle runkolinja, jota pitkin sitä jaetaan. Kahdeksan kuution säiliöön mahtuu noin 41 MWh energiaa eli 3200 kg kaasua. Kuvassa 6 esitellään periaatekuva kaasulämmityksestä. Tällä työmaalla runkolinjoja ja puhaltimia olisi enemmän, mutta periaate olisi sama.



Kuva 6. Kaasulämmityksen periaatekuva (Ramirent n.d.).

Kaasusäiliöitä on erikokoisia. Pienemmät ovat pulloina (yleisimmät 33 kg ja 184 kg). 33 kg:n pullot ovat monesti yhdeksän kappaleen telineissä, joten siinä on 297 kg yhteensä. Kuvassa 7 esitellään Ramirentin vuokraama 8 m<sup>3</sup>:n säiliö. Isompi kiinteä säiliö olisi tässä tapauksessa järkevämpi ja täyttämisen helpompaa kuin pullojen vaihteleminen. Linjojen asentaminen työmaalle on aikaa vievää, mutta toisaalta pullojen vaihtaminen aiheuttaa myös paljon työtä.

Kaasu on pullossa aina nestemäisenä. Se pitää höyrystää ennen järjestelmään syöttämistä. Höyrystysnopeus riippuu ulkolämpötilasta ja siitä,

kuinka täynnä säiliö on. Jos 33 kg:n pullo on melkein tyhjä ja ulkolämpötila on hieman 0 °C:n alapuolella, on nopeus maksimissaan 6 kg/h x 12,8 kWh/kg eli teho on 77 kW. Käyttäessä maksipulloa eli 184 kg:a lukema on enää puolet siitä. Jos tarvitaan suurempaa lämmitystehoa, täytyy kaasua käyttää nestemäisessä muodossa höyrystimen avulla. Kuvassa 8 oleva säiliö on varustettu 2 x 40kg/h:n sähkökäyttöisillä höyrystimillä eli energian syötöteho on 12,8 kWh/kg x 80 kg/h = 1080 kW (Aga & Ramirent n.d.).



Kuva 7. 8 m<sup>3</sup>:n nestekaasusäiliö suureen kaasun tarpeeseen (Ramirent n.d.).

Nestekaasupoltin polttaa kaasua ja lämmittää sillä ilmaa, joka puhalletaan huonetilaan. Nestekaasussa on otettava huomioon, että kaasua poltettaessa tarvitaan luonnollisesti happea. Lämmitin saadaan yleensä sijoittaa lämmitettävään tilaan, kunhan palamisilman saanti on varmistettu. Valmistajan käyttöohjeissa on selitetty hyvin kriteerit. Kaasua poltettaessa muodostuu ilmaan hiilidioksidia ja vesihöyryä. Sen polttaminen on puhtaampaa kuin öljyn polttaminen.

Tarvittaessa on otettava korvausilmaa ulkopuolelta erillisellä polttimen lähellä olevalla aukolla, joka on 1,5 kertaa savukaasun poistoputken koko. Jos tilan tilavuus suhteessa lämmitystehoon on minimissään 4 m<sup>3</sup>/kW, voidaan korvausilma ottaa sijoitustilasta (Polartherm Oy 2007). Kuvassa 8 esitellään 120 kW:n tehoinen Thermo Betox.



Kuva 8. Nestekaasulämmitin 120 kW (Polartherm Oy 2007).

#### 4.4 Öljy

Öljyn markkinahinta on tällä hetkellä edullista, joten sekin on varteen otettava vaihtoehto työmaan lämmitysmuotona. Polttoöljyn hinta 1.9.2016 on 0,6 e/l, alv 0 % (Teboil 2016). Kun yhdessä litrassa on noin 10 kWh, tulee energian hinnaksi 60 e/MWh. Ulkoisesti monet öljykäyttöiset lämmittimet ovat samankaltaisia kuin kaasulämmittimet; kaasun sijasta niissä poltetaan vain öljyä. Öljyn palamisprosessi ei ole yhtä puhdas kuin kaasulla, joten pakokaasu joudutaan johtamaan tilasta pois, mikä heikentää hyötysuhdetta. Osa polttimista on varustettu omalla säiliöllä, mutta säiliötä on monen kokoisia tarpeen mukaan. Kuvassa 9 on esimerkkinä 1000 litran säiliö.



Kuva 9. 1000 litran säiliö käytössä työmaalla.

Lämmittimiä on pienistä parinkymmenen kilowatin lämmittimistä aina yli 600 kilowatin lämpökontteihin asti. Kuvassa 10 esitellään 100 kW:n tehoinen öljykäyttöinen lämpöpuhallin. Isompiin tiloihin voisi sijoittaa lämpökontin, jonka lämmön pystyy tarvittaessa suuntaamaan ja jakamaan putken avulla eri tiloihin. Näissä tehoa on usein 200–300 kW. Kuvassa 11 esitellään lämpökontti, jolla pystytään lämmittämään joko iso alue yhdellä polttimella tai nopeasti pieni alue. Kaasun tavoin polttimessa tapahtuu palamista, joten korvausilma on taattava ja pakokaasut johdettava ulos. Sisätyövaiheessa öljyn palaessa epäpuhtaasti on vaarana, että se värjää esimerkiksi pintoja.



Kuva 10. 100 kW:n öljykäyttöinen lämpöpuhallin, jonka pakokaasut johdetaan putkea pitkin ulos.



Kuva 11. Lämpökontti, jolla saadaan lämmitettyä suurta aluetta kerralla. Kuvassa lämmitetään alempaa kerrosta ylemmän kerroksen lattiavalua varten.

## 5 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN VALINTA

### 5.1 Lämmitysjärjestelmien vertailu

Sähkölämmitys karsiutui pois jo oikeastaan ennen vertailua, joten vaihtoehtoja jäi vertailuun kolme, joista piti valita paras vaihtoehto. Eniten työmaata kiinnostavat kustannukset, mutta siihen täytyy ottaa tarpeeksi laaja näkökulma. Pelkkä lämmityslaitteiden vuokra ja energian hinta eivät välttämättä ratkaise valintaa. Täytyy myös huomioida lämmitysmuodon asennus-, ylläpito- ja huoltokustannukset, lämmitysmuodon muunneltavuus, toimintavarmuus, työturvallisuus ja rahdit.

Öljy- ja kaasulämmitys ovat toiminnaltaan melko samankaltaisia, ja molemmissa pitää energia tuoda autolla työmaalle. Kaukolämmön etuna on, että energia tulee putkea pitkin käyttöön, joten siinä on vähemmän logistiikkaa. Tällä työmaalla on tilava tontti, joten liikenne ei muodostu ongelmaksi, kunhan mitoittaa säiliöt riittävän suuriksi, jotta tankkaamisen tarve ei ole päivittäistä.

Kaikkiin kolmeen lämmitysmuotoon on paljon eritehoisia lämmittämiä. Rakennuksessa on suuria alueita, joissa tarvitaan tehokas puhallin, ja pienempiä tiloja, joissa tarvitaan useita pienempiä puhaltimia. Letkuja joudutaan asentamaan myös paljon pinta-alojen ollessa suuria. Öljylämmityksen etuna olisi se, että säiliöitä voisi olla useampi ja letkujen reititykset olisivat sitä kautta hieman lyhyempiä.

Kaukolämmöllä lämmönvaihtimen paikka on määräävä tekijä kuumavesiletkujen sijoittelussa. Tässä kohteessa lopullisen lämmönvaihdin tulee sijaitsemaan IV-konehuoneessa, joka ei ole valmis vielä lämmityksen alkessa. Tämä hieman hankaloittaa mietittäessä, mihin väliaikainen lämmönvaihdin sijoitettaisiin.

Sähkölämmityksen asennus olisi kaikkein helpointa. Käytännössä asentamisessa tarvitsisi vain kytkeä virrat päälle. Muiden lämmitysmuotojen asennus on työläämpää. Kaukolämmön asennukseen kuuluu lämmönvaihtimen, kuumavesiletkujen ja puhaltimien asennus. Myös suodattimia pitää vaihtaa kaukolämmön puhaltimiin tasasin väliajoin ja puhdistaa sakkapesiä. Kaasuja öljykäyttöisten lämmitysmuotojen asennukseen kuuluu polttoainesäiliöiden ja letkujen asentaminen.

Kaikissa lämmitysmuodoissa on omat työturvallisuusriskinsä. Kaukolämmön kiertovesijärjestelmässä kulkee kuuma, jopa 80 °C:n paineellinen vesi, joka hajotessaan on vaaraksi työntekijöille. Lisäksi vesivahingot aina hidastavat rakenteiden kuivumista. Kaasussa ovat vaarana vuodot ja siitä syntyvät vaaratilanteet. Polttimissa on kuitenkin tunnistimet, jotka sulkevat kaasun tulon polttimelle liekin sammussa. Öljy on haitallista ympäristölle, jos sitä pääsee maahan. Öljyn palaminen aiheuttaa myös aina pakokaasuja, joten ilmanvaihdon on oltava kunnossa. Palaminen aiheuttaa aina kuumuutta, joten palon vaara on olemassa aina, kun lämmittimien pitää olla myös yöllä ja viikonloppuisin päällä.

## 5.2 Arvioidut kuukausikustannukset lämmitysjärjestelmille

Selvitin hintatietoja lämmityslaitteista ja energian hinnoista ja tein jokaisesta kuukausiarvion. Arviossa on laskettu koko rakennuksen lämmittäminen täydellä teholla liikuntahallia lukuun ottamatta. On otettava huomioon, että todellisuudessa lämmittimet eivät käy täydellä teholla koko ajan. Jos niin tapahtuu, lämmittimet ovat alimitoitettuja tai on poikkeuksellisen kylmä vuosi.

Ensimmäisessä taulukossa 4 esitellään kaukolämmön kustannuksia. Kiinteät kustannukset pitävät sisällään kaukolämmön perusmaksun, laitteiden vuokrahinnat sekä arvioidut ylläpitokustannukset. Kaukolämmössä kiinteitä kustannuksia nostavat erityisesti lämmönvaihtimen vuokra ja kaukolämmön perusmaksu. Toisaalta energiaa ei tarvitse tuoda autolla työmaalle, joten säästetään rahdeissa. Energian ja kaukolämmön perusmaksun hinnat ovat saatu paikallisen kaukolämpöyhtiön sivuilta. Vuokrahinnat on laskettu rakennuskonevuokraamoiden tarjousten perusteella. Kaikki hinnat ovat ilman arvonnlisäveroja.

Taulukko 4.

Kaukolämmön arvioidut kuukausikustannukset.

Kaukolämmön kuukausikustannus	
Kiinteät kustannukset	4 600 €
Energian hinta täydellä teholla	24 000 €
kustannukset/kk yhteensä	28 600 €

Taulukossa 5 on laskettu kaasulämmityksen hinnoitusta samoilla perusteilla kuin kaukolämmön kuukausikustannuksia. Laitteisto on suunniteltu tehtäväksi suurella 8 m<sup>3</sup>:n kaasusäiliöllä, sillä työmaan energian kulutus on suuri. Taulukosta 5 nähdään, että energiankulutuksen ollessa suuri ei laitteiden vuokrakustannusten osuus ole suuri. Todellisuudessa laitteet eivät kuitenkaan käy täydellä teholla. Kuukausina, joina lämmitystarve on pienempi, energian ja vuokrahinnan suuruus voi olla melkein yhtä suuri. On siis katsottava vuokrahintoja, joista lasku tulee joka kuukausi. Kaasulämmityksessä on hieman edullisemmat kiinteät kustannukset, mutta energia on paljon kalliimpaa.

Taulukko 5.

Kaasulämmityksen arvioidut kuukausikustannukset.

Kaasulämmityksen kuukausikustannus	
Kiinteät kustannukset	3 400 €
Energian hinta täydellä teholla	35 000 €
kustannukset/kk yhteensä	38 400 €

Taulukossa 6 on tehty taulukko polttoöljyllä lämmittämisestä samalla perusteilla kuin kahden muun lämmitysmuodon kuukausikustannuksissa. Öljyn hinta on laskentahetkellä melko edullista (syksyllä 2016), mutta talveksi hinta luultavasti hieman nousee kysynnän kasvaessa. Öljylämmityksessä lämmittimet ovat hyvin samankaltaisia ja -hintaisia verrattuna kaasulämmitykseen. Öljyn varastointi vaatii säiliöitä ja isommassa kohteessa useamman säiliön, jotta polttoaineletkuja ei tarvitse vetää ympäri työmaata. Kaasun tavoin polttoöljyllä lämmittäessä on seurattava säiliöiden tasoa ja varmistettava, että öljy ei lopu kesken lämmityksen missään vaiheessa.

Taulukko 6.

Öljyn arvioidut kuukausikustannukset.

Öljylämmityksen kuukausikustannus	
Kiinteät kustannukset	4 300 €
Energian hinta täydellä teholla	28 000 €
kustannukset/kk yhteensä	32 300 €



### 5.3 Lämmitysjärjestelmän valinta

Laskin samalla energiankulutuksella vertailuna sähkön hinnaksi 34 000 euroa, eli sähkö on suunnilleen samanhintaista kuin kaasu taulukossa 5. Täytyy myös muistaa, että kyseessä on teoreettinen maksimikulutus. Kuukausikustannustaulukoista voi myös päätellä, että kannattaa mieluummin ylimitoittaa kuin alimitoittaa kulutusta, sillä käyttö maksaa enemmän kuin vuokrat. On myös hyvä huomioida, että kyseessä on maksimikulutus, jota lähelle päästään vain muutamana kuukautena talvella. Kun kulutus ei ole suurta, luonnollisesti kiinteiden kustannusten osuus suurenee.

Näiden vertailujen ja aikaisemmista kohteista saadun kokemuksen perusteella päädyttiin kaukolämpöön. Kaasu ja sähkö olivat kalliita, ja sähkö lisäksi vaikeaa ja käytännössä mahdotonta toteuttaa. Kaukolämmössä hyvänä puolena on se, että energia tulee tontille jatkuvasti putkesta eikä tarvitse huolehtia, koska pitää tilata lisää energiaa, kuten esimerkiksi öljyä tai kaasua. Polttoöljyssä huonona puolena ovat pakokaasut ja logistiikka. Kohde sijaitsee asuinalueella, joten rekkaliikenne ja ympäristöhaitat ovat kaukolämmöllä vähäisempiä.

Tiesimme, että lopullinen lämmitysmuoto rakennuksen käyttöönoton jälkeen tulee olemaan kaukolämpö, joten nestekiertoisen kaukolämpö oli järkevä ratkaisu. Mahdollisesti lopullisia putkilinjoja pystytään hyödyntämään lämmittämiseen. Lopullista lämmönvaihdinta tosin ei haluta käyttää yleensä väliaikaiseen lämmitykseen, sillä pelkona on sen vaurioituminen. Vaikeutavana tekijänä on kaukolämmön liitäntäkohta rakennukseen, mistä johtuen putkiveto lämmönvaihtimelle tulee pitkäksi.

## 6 TYÖMAAN LÄMMITYSSUUNNITTELU

### 6.1 Lämmityssuunnitelma

Vaikka päälämmitysmuodoksi valittiin vesikiertoinen kaukolämpö, myös muita lämmitysmuotoja tullaan mahdollisesti käyttämään. Tällä työmaalla joudutaan aloittamaan lämmitys jo ennen kuin kaukolämpö on saatavilla. Pintabetonilattioita aletaan valaa lokakuun 2016 loppupuolella, ja luultavasti sitä varten rakenteita joudutaan hieman lämmittämään. Aikataulun mukainen tavoite on saada lämmöt A- ja B-lohkon kaikkiin kolmeen kerrokseen tammikuun 2017 alusta. Sitä ennen on aloitettu lattioiden lisäksi myös väliseinien muuraustöitä. Näihin tarvitaan lämmitystä jo siis ennen kaukolämmön tuloa. Lämmitys täytyisi muutenkin suunnitella vaiheittain alkavaksi sieltä, missä sitä ensimmäisenä tarvitaan. C1-lohkon lämmitys alkaa aikataulun mukaan maaliskuussa. C1-lohkoissa sijaitsee massiivinen väestönsuoja, jonka lämmitys on syytä aloittaa kuivumisen takia ajoissa. Liikuntahalli eli lohko C2 on tarkoitus lämmittää myöhemmin keväällä 2017 sen jälkeen, kun eristeet on laitettu paikalleen ulkoseiniin. Rakennuksen lohkojako esitellään liitteessä 1.

---

Alussa tarkoituksena on lämmittää lattialämmitysalueita lokakuusta 2016 tammikuun 2017 alkuun esimerkiksi kahdella 100 kW:n öljylämmittimellä. Lisäksi muurattavia alueita lämmitetään joko pienemmillä öljylämmittimillä tai sähkölämmittimillä. Syksyn alkuvaiheen lämmitys riippuu pitkälti siitä, minkälaiset sääolosuhteet ovat marras- ja joulukuussa.

Suuri vuokratustannus kaukolämmössä on väliaikainen lämmönvaihdin. Sen vuokra on noin tuhat euroa kuukaudessa. Lopullinen lämmönvaihdin ei ole vielä paikalla lämmityksen alkaessa, joten sitä ei voida heti hyödyntää. Varsinaisen lämmönvaihtimen käyttämistä väliaikaisessa lämmityksessä vältetään, sillä se voi vahingoittua ja lyhentää varsinaisen lämmönvaihtimen käyttöikää. Lämmönvaihdin tulisi sijoittaa tilaan, jossa on viemäri, sillä vesikiertoisessa järjestelmästä vettä luultavasti jossain vaiheessa on esimerkiksi huollossa valutettava pois. Vaihtimelle tulevat putket ovat metalliputkia, joten niiden kulkureittiä täytyy miettiä, jotta linjat eivät tule turhan pitkiksi.

Lämmönvaihdin pitäisi sijoittaa paikkaan, josta lämmitysletkut olisivat mahdollisimman helppo viedä rakennuksen eri alueille. Sijainnin olisi oltava myös sellainen, että lämmönvaihdin ei ole työvaiheiden tai kulkemisen tiellä.

Vähintään yhtä tärkeää on myös lämpöpuhaltimien oikeanlainen mitoitus ja sijoittelu. Rakennuksen muoto ja mahdolliset tulevat väliseinät heikentävät puhaltimen tehoa, kun ilma ei pääse vapaasti virtaamaan. Haasteita on erityisesti isossa avoimessa aulatilassa, jossa lämmin ilma kerääntyy ylempiin kerroksiin. Tarvittaessa on laitettava puhaltimia puhaltamaan lämmintä ilmaa takaisin alaspäin.

Lämmön nousu ylöspäin kannattaa ottaa myös huomioon puhaltimien tehoa valittaessa. Ylemmissä kerroksissa lämpöä tulee alhaalta, joten lämmittimien ei tarvitse välttämättä olla ylimmissä kerroksessa yhtä tehokkaita kuin alimmissa kerroksissa. Lämmön leviämistä voidaan parantaa lisäpuhaltimilla myös vaakasuunnassa, jolloin lämpö leviää kerrokseen paremmin. Toinen vaihtoehto on laittaa kerrokseen kaksi pienempää lämpöpuhallinta, ja ne suuntaamalla oikein saadaan lämpö leviämään tasaisesti. Suunnitelmaa ei siis voida tehdä pelkästään laskemalla alueen kuutioita, ja sen perusteella valita lämpöpuhaltimen tehoa ja sijoittaa sitä keskelle huonetta.

Lämpöpuhaltimet ovat varustettu termostaateilla, joilla voidaan säätää haluttu lämpötila. Termostaatin säätäminen esimerkiksi kymmeneen asteeseen ei kuitenkaan takaa, että koko tila olisi samanlämpöinen. Tästä syystä alueen lämpötilaa täytyy tarkkailla ja säätää termostaattia sen mukaan. Eryteisesti rakennusten nurkka-alueet ovat rakennusaikana usein huomattavasti viileämpiä kuin muu alue. Puhaltimien säännölliseen huoltoon kuuluu suodattimien puhdistus ja vaihto. Suodattimien puhdistus on tärkeää, jotta koneet toimivat kunnolla ja pysyvät ehjinä.

Lämmönvaihtimen ja lämpöpuhaltimen välille tarvitaan kuumavesiletkut. Asennuksen helpottamiseksi ja häiriötilanteiden varalta kannattaa isossa ra-

kennuksessa tehdä useampi eri lämmityspiiri. Näin ollen voidaan tarvittaessa yksi piiri sulkea ja muiden käyttöä jatkaa. Letkujen halkaisija rajoittaa sitä, kuinka monta tietyn tehoista lämmitintä sen päähän voidaan kytkeä. Kuvassa 6 esitellään suuntaa-antava letkujen lämmitystehon siirtokapasiteettitaulukko, kun tulevan ja poistuvan veden lämpötilaero on 30 °C.

Letkuissa virtaa kuumaa ja paineellista vettä, joten letkut on sijoitettava työmaalla turvallisesti. Ne on nostettava pois lattialta ja kiinnitettävä seinälle tai kattoon tukevasti, jottei kukaan kompastu tai vahingoita letkuja. Letkujen liittimet ovat varmistettava esimerkiksi nippusiteillä, jottei kukaan vahingossa avaa liittimiä. Lämmityspiirit on varustettava ilmauskelloilla, jotka sijoitetaan korkeimpaan kohtaan piirissä. Vaikka kierto on suljettu ja laitteiden pitäisi olla puhtaita, kerääntyy kiertoon aina epäpuhtauksia, joka kerätään piiristä pois erillisellä sakkapesällä. Tämän sakkapesän tyhjennys kuuluu säännölliseen huoltoon suodattimien vaihdon lisäksi.

Tein työmaalle alustavan lämmityssuunnitelman, jossa oli laskettu rakennuksen tilavuus ja sen perusteella tarvittavan kokoinen lämmönvaihdin. Lämmönvaihtimia ei ole markkinoilla kovin montaa kokoa, joten tähän kohteeseen valitsimme 800 kW:n tehoisen lämmönvaihtimen. Koska lämmittäminen on tarkoitus aloittaa lohkoittain, on myös lämmitysalueet jaettu lohkoittain. Pohjakuviin hahmoteltiin lämmittimien tehot, niiden sijainnit ja kuumavesijohtojen linjat. Sijoittelussa on otettu huomioon myös tulevat väliseinärakenteet, jotka estävät lämmön leviämisen kerroksissa.

Lopullinen suunnitelma tehdään yhteistyössä rakennuskonevuokraamon kanssa, koska sieltä tulee lämmityskalusto ja luultavasti myös sen asennus. Työmaan lämmitystarpeet voivat muuttua, joten on tärkeää, että lämmitystä pystytään nopeasti myös muuttamaan tarpeiden mukaan.

## 6.2 Lämmityksen riskit

Riskin vakavuutta arvioidessa täytyy miettiä sen seurauksien vakavuus sekä sen toteutumisen todennäköisyys. Taulukon 7 avulla voidaan määritellä riskin vakavuusluokka. Taulukossa 8 on listattu erilaisia riskitekijöitä, joita lämmityksessä saattaa tulla vastaan. Riskeihin varautuminen etukäteen on tärkeää, jotta seuraukset voidaan minimoida.

Taulukko 7. Riskien suuruuden arviointi (SRHY n.d.).

Tapaturman todennäköisyys	Tapaturman seuraukset		
	Vähäiset	Haitalliset	Vakavat
Epätodennäköinen	1. Merkityksetön riski	2. Vähäinen riski	3. Kohtalainen riski
Mahdollinen	2. Vähäinen riski	3. Kohtalainen riski	4. Merkittävä riski
Todennäköinen	3. Kohtalainen riski	4. Merkittävä riski	5. Sietämätön riski

## LÄMMITYKSEN RISKEJÄ

Riski	Riskin vakavuus	Seuraus	Ehkäisy
Sähkökatkos	Merkittävä riski	Lämmityslaitteet lakkaavat toimimasta ja lämpötila laskee. Katkoksen kestäessä kauan on vaarana jäätyminen (esimerkiksi vesiputket, lämmityslaitteet yms.).	Etäluettava hälytin, jos katkos tapahtuu viikonloppuna, kun ketään ei ole paikalla. Virran riittävyys on varmistettava, jotta sulakkeet eivät ole äärirajoilla. Mahdollisuuksien mukaan jaetaan lämmityslaitteita eri sähkökeskuksen taakse.
Kuumavesiletku hajooa tai vuotaa.	Kohtalainen riski	Lähellä olevat ihmiset voivat saada palovammoja.  Rakenteet kärsivät kosteusvaurioita.	Letkujen liitoksiin tehdään varmistus, esim. nippuside, jotta kukaan ei vahingossa aukaise liitosta.  Sijoitetaan lämmönvaihdin tilaan, jossa on viemärointi, sekä varustetaan jokainen lämmityspiiri omalla sulkuventtiilillään.
Lämmitin sytty tuleen.	Kohtalainen riski	Lähellä olevat esineet voivat syttyä ja palo lähteä leviämään.	Noudatetaan valmistajan ohjeita eikä laiteta syttyviä esineitä liian lähelle poltinta.  Huolletaan laitteita säännöllisesti, jotta ne toimivat oikealla tavalla.
Öljyn toimitus viivästyy.	Vähäinen riski	Polttoaine voi loppua ja lämmitys keskeytyä, mikä voi haitata ja viivästyttää työvaihetta.	Ei päästetä säiliöitä täysin tyhjäksi, vaan pidetään vähintään yhden päivän polttoaineet varalta säiliössä.
Lämmitysteho ei riitä.	Kohtalainen riski	Hankaloittaa työvaiheita, jos lämpötila ei pysy yllä. Kalusto joutuu kovaan rasitukseen, jos se käy täydellä teholla jatkuvasti.	Mitoitetaan mieluummin hieman suuremmat lämmittimet sekä lämmönvaihdin.  Varaudutaan esimerkiksi ylimääräisellä polttoainekäyttöisellä lämmittimellä, jolla saadaan tuettua järjestelmää.

Öljyvuoto	Kohtalainen riski	Aiheuttaa vahinkoa maaperälle ja rakenteille.	Varaudutaan öljyn imeytyskalustolla ja sijoitetaan säiliöt turvallisiin paikkoihin.
Kaasuvuoto	Kohtalainen riski	Aiheuttaa rähähdysvaaran. Kaasu on ilmaa painavampaa, ja sitä voi kertyä matalimpiin kohtiin.	Sijoitetaan kaasuletkut turvallisiin paikkoihin ja noudatetaan laitevalmistajien ohjeita.
Kaukolämpöön tulee katkos.	Vähäinen riski	Lämmitys ei toimi, rakenteet kylmenevät.	Vuokraamoissa on saatavilla polttoainekäyttöisiä lämpökeskuksia, joilla saadaan tuotettua tarvittaessa kuumaa vettä lämmitykseen.
Ilman hiilidioksidipitoisuus nousee ja muodostuu häkää.	Vähäinen riski	Hengittäminen vaikeutuu ja aiheuttaa ihmisille terveysvaaran.	Varmistettava riittävä ilmanvaihto ja korvausilman saanti kaasu- ja öljylämmittimissä.

### 6.3 Arvioidut lämmityskustannukset

Lämmityssuunnitelman ja keskilämpötilan perusteella voidaan arvioida teoreettisia kustannuksia joka kuukaudelle. Taulukossa 9 esitellään keskimääräiset lämpötilaerot, jos halutaan 15 °C sisälämpötila. Vaikka taulukossa käyttöaste nousee sataan ja jopa hieman yli, on laitteet mitoitettu tehokkaammaksi kuin tehontarve, joten laitteet eivät ylikuormitu. Tammi-kuussa kun lämmitys alkaa, ei ole tarvetta saada heti sisälle jatkuvasti yli 15 °C, koska sitä vaativia työvaiheita ei ole käynnissä vielä. Käyttöasteet perustuvat 20 °C lämmönnousumitoitukselle.

## Lämpötilaerot

Kuukausien keskilämpötilat Hämeenlinna °C	Haluttu lämpötila °C	Lämpötilaero °C	Käyttöaste 20 °C :n lämmönnousulla	
Tammikuu	-6,1	15	21,1	105,5
Helmikuu	-6,7	15	21,7	108,5
Maaliskuu	-2,5	15	17,5	87,5
Huhtikuu	3,6	15	11,4	57
Toukokuu	10,1	15	4,9	24,5
Kesäkuu	14,3	15	0,7	3,5
Heinäkuu	17	15	-2	-10
Elokuu	14,9	15	0,1	0,5
Syyskuu	9,8	15	5,2	26
Lokakuu	4,7	15	10,3	51,5
Marraskuu	-4	15	19	95
Joulukuu	-4,2	15	19,2	96

Taulukossa 10 esitellään arvioidut kuukausikustannukset sen mukaan mitä aluetta lämmitetään ja mikä on kuukauden keskilämpötila. Kiinteät kustannukset muodostuvat kaukolämmön perusmaksusta, kaluston vuokrahinnoista ja huoltokustannuksista. Arvio kustannuksista on suuntaa antava. Laskelmissa tammikuusta maaliskuuhun on laskettu 10 °C sisälämpötilalla. Kesällä lämmitys on lähinnä rakenteiden kuivumista varten. Taulukossa ei ole huomioitu sitä, että lopullista lämmitysjärjestelmää pystytään loppuvuodesta jo varmasti vähitellen käyttämään, joten silloin kustannukset pienenevät huomattavasti, kun luovutaan vuokrakalustosta. Lisäksi työmaalla lämmitys alkaa vaiheittain sen mukaan missä lämpöä tarvitaan, joten kulutuksen arvioiminen on hyvin hankalaa.

Työmaalla on tarkoitus käyttää myös öljylämmitystä ennen kaukolämmön saantia lattiavalujen lämmityksiin ja myös tarvittaessa sen jälkeenkin. Öljyn kulutuksen arviointi on hyvin vaikeaa, koska sitä käytetään epäsäännöllisesti sääolosuhteiden ja työvaiheiden mukaan. Lisäksi käytetään sähkölämmittämiä yksittäisissä työvaiheissa, mutta keskityn tässä työssä lähinnä kaukolämmön arviointiin.

Taulukko 10.

Teoreettiset kustannukset keskilämpötilan perusteella.

## Kuukausikustannukset

Kuukausi	Mitä lämmitetään	Kiinteät kustannukset €	Haluttu sisälämpötila	Käyttöaste-% keskilämpötilan mukaan	Energian hinta €/kk	yh-teensä €/kk
Tammikuu	A- ja B-lohko	3943	10	81	15020	16109
Helmikuu	A- ja B-lohko	3943	10	84	15020	16560
Maaliskuu	A-, B- ja C1-lohko	4630	10	87	21780	23579
Huhtikuu	A-, B- ja C1-lohko	4630	15	57	21780	17045
Toukokuu	Kaikki	4831	15	25	31100	12606
Kesäkuu	Kaikki	4831	15	10	31100	7941
Heinäkuu	Kaikki	4831	15	10	31100	7941
Elokuu	Kaikki	4831	15	10	31100	7941
Syyskuu	Kaikki	4831	15	26	31100	12917
Lokakuu	Kaikki	4831	15	51	31100	20692
Marraskuu	Kaikki	4831	15	95	31100	34376
Joulukuu	Kaikki	4831	15	96	31100	34687

### 6.4 Lämmitysenergian kulutuksen seuranta

Kuten lämmityskustannusten arviointi, myös lämmityskustannusten seuranta tarkasti on haasteellista. Työmaan kaukolämmön energian kulutusta seurattiin tammikuun ja helmikuun aikana. Polttoöljyn kulutusta ei arvioitu, mutta sen kulutusta seurattiin.

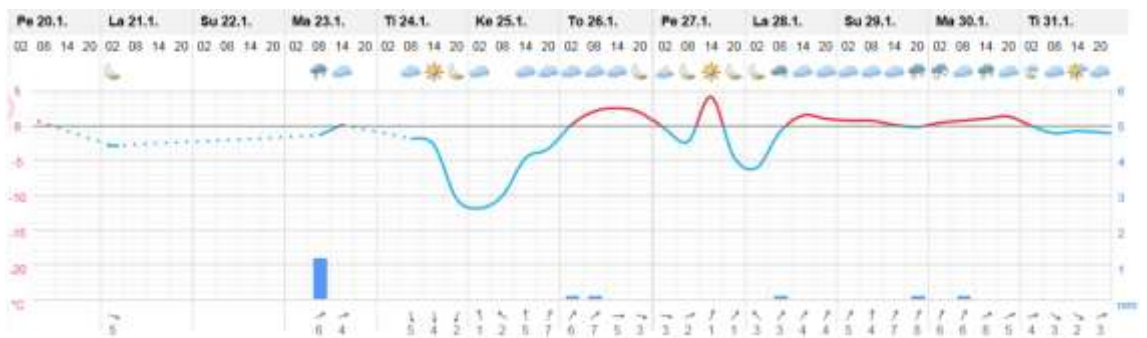
Polttoöljyllä lämmittäminen alkoi jo lokakuussa pintabetonilattioiden valamista varten. Silloin lämmitettiin vain sitä lohkoa ja aluetta, johon lattiaa valettiin. Öljyn kulutus muodostui pääasiassa aina muutamaa päivää ennen ja jälkeen valua. Työmaalla oli käytössä kaksi öljykäyttöistä 100 kW:n tehoista lämpöpuhallinta ja lisäksi yksi öljykäyttöinen lämpökontti. Lokakuun ensimmäisistä valuista tammikuun alkupuolelle, ennen siirtymistä kaukolämpöön, kului polttoöljyä yhteensä noin 15 000 litraa. Öljyllä lämmitys jatkui myös kaukolämmön ohella.

Lämmitys kaukolämmöllä käynnistyi tammikuun alkupuolella A-lohkoissa, kun rakennuksen runkoon oli saatu asennettua lämmöneristeet ja lämmittäminen oli näin ollen järkevää. Väestönsuojaan laitettiin lämpöpuhallin toimintaan silloin, kun kaukolämpöä oli saatavilla. Väestönsuoja on tärkeä saada lämpimäksi, jotta paksut betonirakenteet kuivuisivat. Lämmittämiseksi valittiin tässä vaiheessa pienempiä lämmittämiä kuin alustavassa suunnitelmassa oli käytetty, joten vertailu niihin on hankalaa. Arvioinnissa oli käytetty lämmitystehon mitoituksen arvoa 20 W/m<sup>3</sup>, mittausjaksolla käytössä

oli lämmitystehoa  $14,7 \text{ W/m}^3$ . Arvioinnissa oli laskettu energiankulutus alku- ja loppupäivien aikataulun mukaan, jolloin myös B-lohkossa olisi ollut A-lohkon tavoin lämmitys käytössä jo tammikuussa.

Ensimmäinen jakso, jonka aikana kaukolämmön kulutusta seurattiin, oli 20.1.–1.2.2017, jonka aikana kului  $47,7 \text{ MWh}$  kaukolämpöenergiaa 12 vuorokauden aikana. Silloin lämmitettiin koko A-lohkoa kolmella  $50 \text{ kW}$ :n lämmittimellä sekä väestösuojassa olevalla yhdellä  $50 \text{ kW}$  lämmittimellä. Tehoa oli siis yhteensä  $200 \text{ kW}$ . Keskimääräiseksi vuorokauden kulutukseksi tuli  $3,975 \text{ MWh}$  ja tunnin kulutukseksi  $165,65 \text{ kWh}$ . Kuvassa 12 nähdään seurantajakson lämpötilakäyrä, josta saadaan jakson keskiarvoksi noin  $-1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Lämmitettäviä kuutioita mittausjaksolla oli yhteensä noin  $13\,600$ , joten kulutus oli vuorokaudessa  $0,292 \text{ kWh/m}^3$ . Kaukolämmön hinnan ollessa  $51,9 \text{ e/MWh}$  kulutuksen hinnaksi tulee päivää kohden  $13\,600 \text{ m}^3$  tilavuudelle  $206$  euroa. Kolmellakymmenellä päivällä laskiessa energian kustannus tälle alueelle on  $6190$  euroa kuukaudessa eli  $0,46$  euroa kuutiota kohden.



Kuva 12. Ensimmäisen seurantajakson aikainen säähavaintohistoria (Foreca 2016).

Toinen mittausjakso oli 1.2.–16.2.2017 eli kestoaltaan 15 päivää. Lämmittimet olivat samat kuin ensimmäisellä jaksolla, lisäksi B-lohkossa oli ollut kolme päivää kaksi  $30 \text{ kW}$ :n lämmitintä ennen jakson loppua. Kokonaiskulutukseksi tuli  $81 \text{ MWh}$ . Vuorokauden keskimääräiseksi kulutukseksi tuli  $5,4 \text{ MWh}$  ja tunnin kulutukseksi  $225 \text{ kWh}$ . Jos kulutuksesta vähennetään kolmen päivän ajan olleet  $30 \text{ kW}$ :n lämmittimet, tuntikulutukseksi  $200 \text{ kW}$ :n lämmitysteholle saadaan  $213 \text{ kWh}$  eli voidaan nähdä, että koneet käyvät täydellä teholla. Pitkät lämmityslinjat myös hukkaavat jonkin verran energiaa, kun kuumavesiletkut kulkevat kylmässä tilassa.

Kuvassa 13 nähdään toisen seurantajakson lämpökäyrä, josta voidaan havaita, miksi kulutusta on vaikea ennustaa, kun lämpötilojen vaihtelut ovat suuria. Toisen mittausjakson aikaisella kulutuksella päivittäiseksi energiakustannukseksi tulee  $264$  euroa ja kuukausikustannukseksi tulee  $7\,940$  euroa. Vähennettäessä  $30 \text{ kW}$ :n lämmittimien viemä energia pois laskuista tulee kulutukseksi  $78,8 \text{ MWh}$  yhteensä A-lohkolle ja väestösuojalle. Näin keskimääräiseksi vuorokauden kulutukseksi tulee  $0,386 \text{ kWh/m}^3$ .





Kuva 13. Sää toisen seurantajakson aikana (Foreca 2016).

## 6.5 Lämmitysenergian kulutuksen vertailu arvioituun

Taulukossa 10 arvioitiin lämmitysenergian kustannuksia. Taulukossa arvioitu kulutus A- ja B-lohkolle oli tammikuulle 234,4 MWh ( $0,81 \cdot 15020 \text{ e} / 51,9 \text{ e/MWh}$ ). Tilavuus A- ja B-lohkossa on yhteensä 23867 m<sup>3</sup>, joten energian arvioitu kulutus oli 9,82 kWh/m<sup>3</sup> kuukaudessa. Koska lämmitettävä alue ei ole sama kuin arvioissa, on vertailtava kuutiokohtaisia lukemia. Vuorokautta kohden arvioitu tammikuun energiankulutus on 0,327 kWh/m<sup>3</sup>. Ensimmäisellä seurantajaksoilla tammikuussa mitattu lukema oli 0,292 kWh/m<sup>3</sup> päivää kohden.

Arvioinnissa oli käytetty lämmitystehona 20 W/m<sup>3</sup>, jolloin saadaan 20 °C:n lämmönnousteho. Näin käyttöasteeksi saatiin tammikuulle 16,1 °C lämpötilaerolla 81 %. Käytössä olevilla lämmittimillä tehoksi tuli vain 14 W/m<sup>3</sup>. Toteutunut keskilämpötila oli seurantajaksoilla tammikuun tilastollista -6,1°C keskiarvoa lämpimämpi eli -1,5 °C, joten pienemmistä lämmittimistä huolimatta saatiin lämpötila pidettyä lähellä 10°C:ta. Kuutiota kohden lämmitysenergian kulutus oli hieman pienempi kuin arvioissa.

Toisessa seurantajaksoissa helmikuussa oli sama lämmitettävä alue kuin tammikuussa. Arvion mukaan kulutus olisi ollut 243 MWh kuukaudessa eli 0,339 kWh/m<sup>3</sup>/vrk. Toteutunut kulutus oli helmikuussa 0,386 kWh/m<sup>3</sup>/vrk. Kuten kuvasta 13 voidaan havaita, tällä seurantajaksoilla lämpötila oli kylmempi kuin aikaisemmassa ja keskilämpötila oli noin -5,5 °C. Kuutiota kohden kulutus oli hieman arvioitua suurempi ja lämmittimet kävivät käytännössä täydellä teholla jatkuvasti, kuten todettiin kulutuksen seurannassa.

## 7 POHDINTA

Suurin osa varsinaisesta tutkimus- ja käytännön työstä ajoittui syksyyn 2016, kun opinnäytetyöaihe oli valittu. Tutkin eri vaihtoehtoja työmaalämmitykseen. Työmaalla päädyttiin ottamaan päälämmitysmuodoksi kaukolämpö. Tämän jälkeen lähdettiin suunnittelemaan, miten lämmitys toteutetaan ja kilpailutettiin lämmityskalustoa. Tämä tehtiin hyvissä ajoin ennen kuin lämmitys kaukolämmöllä alkoi.

Erilaisia lämmittimiä on työmailla tullut vastaan, mutta niihin ei ole tullut aikaisemmin perehdyttyä. Lämmittimiä on olemassa eri tyyppisiä, sillä työmaiden lämmitystarpeet ovat hyvin erilaisia. Tästä syystä lämmitys täytyy aina suunnitella tapauskohtaisesti, ja yhtä parasta lämmitysmuotoa ei ole olemassa. Jos näin olisi, tuskin tekisin opinnäytetyötä työaikaisen lämmityksen valinnasta.

Syksyllä yritin myös hieman arvioida talven lämmityskustannuksia. Tämä oli hieman hankalaa, kun täytyy ottaa hyvin monta asiaa huomioon, sillä työmaan aikataulu ja suunnitelmat muuttuvat hankkeen edetessä. Kun lämmitettäviä kuutioita on paljon, pieni heitto lämmitysenergian määrittämisessä kuutiota kohden vaikuttaa paljon kuukauden arvioon. Lämmitysenergian kulutuksen arviot osuivat kuitenkin melko lähelle toteutuneita. Olosuhteet vaikuttavat paljon kulutukseen varsinkin alussa, jolloin rakennuksen vaippa ei ole kokonaan ummessa.

Tammikuun alkupuolella lämmitys käynnistyi kaukolämmöllä A-lohkossa. Alkuperäisessä aikataulussa oli tarkoitus saada lämmöt tammikuussa myös B-lohkoon. Lämmittiminä oli myös ajateltua pienemmät lämmittimet aluksi, koska ei ollut tarvetta saada työmaalle vielä 15 °C:n lämmintä. Tästä syystä lämmittimien kulutusta ei voinut verrata arvioihin, sillä ne kävivät käytännössä lähes täydellä teholla jatkuvasti eikä termostaatin avulla sisäilman lämpötilan mukaan. Kulutusta seuraamalla saatiin tietoa, jolla voidaan arvioida lämmityksen kustannuksia lämmityksen laajentuessa muille lohkoille. Tätä voidaan hyödyntää laatiessa työmaan kuukausiennusteita tulevaisuudessa.

Lämmitysenergiankulutuksesta ja -kustannuksista olisi saanut enemmän tietoa, jos olisin ollut työmaalla päivittäin ja pystynyt seuraamaan kulutusta ja olosuhteita. Tammikuussa myös koulussa oli hyvin intensiivinen jakso, joten en ehtinyt käymään työmaalla niin useasti kuin olisin halunnut lämmityksen aloittamisen aikaan. Olisin toivonut, että olisin saanut kerättyä enemmän dataa, mutta toivottavasti tästäkin on hyötyä. Itse ainakin opin paljon työmaan lämmityksestä ja siitä on minulle varmasti hyötyä jatkossa.

## LÄHTEET

Aga & Ramirent (n.d.). Rakennustyömaiden nestekaasulämmitys Haettu 27.2.2017 osoitteesta

[http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/AGA%20Propane%20LPG%20Heating%20Brochure%20FI634\\_121304.pdf?v=2.0](http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/AGA%20Propane%20LPG%20Heating%20Brochure%20FI634_121304.pdf?v=2.0)

Aga (n.d.). Agan nestekaasu. Haettu 27.2.2017

[http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/AGAn%20neste-kaasu634\\_153756.pdf?v=1.0](http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/AGAn%20neste-kaasu634_153756.pdf?v=1.0)

Cramo (2016). Vuokrakalusto. Haettu 18.10.2016 osoitteesta

<https://www.cramo.com/>

Dust Shelter Finland Oy (2015). DS-wall kuvia. Haettu 11.11.2016 osoitteesta

<http://www.dustshelter.com/index.php/fi/ds-wall-kuvia>

Elenia (2014). Kaukolämpö hinnasto Hämeenlinna. Haettu 18.10 osoitteesta

[http://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Hämeenlinna\\_1.7.2014.pdf](http://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Hämeenlinna_1.7.2014.pdf)

Energiavirasto (2016). Sähkön hintavertailu. Haettu 26.9.2016 osoitteesta

<https://www.sahkonhinta.fi/>

Foreca (2016.) Havaintohistoria Hämeenlinna Haettu 25.2.2017 osoitteesta

<http://www.foreca.fi/Finland/Hameenlinna/havaintohistoria>

Ilmatieteen laitos (n.d.). Lämpötila- ja sadetilastoja vuodesta 1961. Haettu 18.10. osoitteesta

<http://ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961>

Kivimäki, C. & Koistinen, L. (2012). Betonointi, menetelmät ja menekit. RATU 0403 Rakennustiedon kortisto

Linja-arkkitehdit Oy (2016). Nummen palvelukeskus -havainnekuva. Haettu 28.2.2017 osoitteesta

<http://kuntateknikka.fi/lehtiarkisto/022016/nummen-palvelukeskus-suunnitelti-in-kayttajien-ehdoilla>

Merikallio, M (n.d.). Humittest Oy/Rakennustieto. Rakennustyömaan kosteudenhallinta ja sen suunnittelu (RK020504) Haettu 27.2.2017 osoitteesta

<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020504.pdf>

Polartherm Oy (2007). Käyttöohje Thermo-BETOX TB 700 & TB 1300. Haettu 19.10.2016 osoitteesta

[http://tuotteet.ramirent.fi/sites/tuotteet.ramirent/files/product\\_attachments/K%C3%A4ytt%C3%B6ohje%20L%C3%A4mp%C3%B6puhallin%20TB1300.pdf](http://tuotteet.ramirent.fi/sites/tuotteet.ramirent/files/product_attachments/K%C3%A4ytt%C3%B6ohje%20L%C3%A4mp%C3%B6puhallin%20TB1300.pdf)

---

Rakennusteollisuuden keskusliitto (2001). Pintatyöt, tehtäväsuunnittelu, aliurakka, työkauppa  
Ratu (1194-S) Rakennustiedon kortisto

Rakennustieto Oy (2008). Tasoitetyö, menekit ja menetelmät  
RATU 72-0308 Rakennustiedon kortisto

Rakennustietosäätiö RTS & Rakennustieto Oy (2012). Sisä RYL 2013 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset, talonrakennuksen sisätyöt.  
RT14-111103 Rakennustiedon kortisto

Ramirent (n.d.). Lämmitys, kaasulämmittimet. Haettu 19.10.2016 osoitteesta  
[http://www.ramirent.fi/files/attachments/ramirent\\_fi/tuote-esitteet/lammitys\\_ja\\_sahkoistys/kaasulammitimet.pdf](http://www.ramirent.fi/files/attachments/ramirent_fi/tuote-esitteet/lammitys_ja_sahkoistys/kaasulammitimet.pdf)

Senewa Oy (1993). Lämmönkehityslaitteiden mitoitus  
LVI 11-10215 Rakennustiedon kortisto

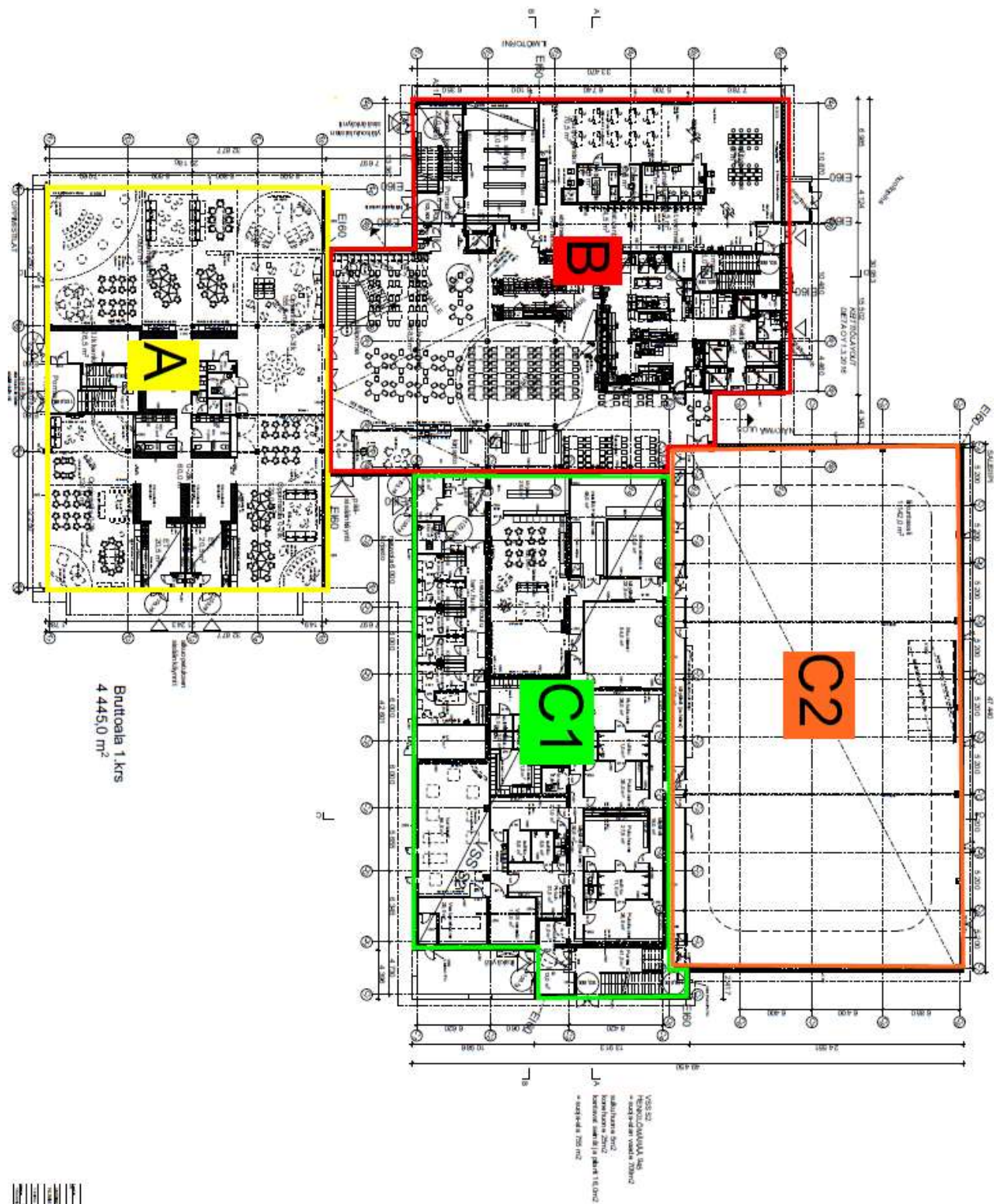
SRHY (n.d.). Riskien suuruuden arviointi. Haettu 30.10.2016 osoitteesta  
<http://www.pk-rh.fi/index.php?page=riskienhallintaprosessi>

Teboil (2016) Öljyn sopimushinta 2016, YIT hinnasto 1.9.2016

### **Haastattelut**

Koivula, P. (2016). kalustovuokraaja, YIT Kalusto Oy. Haastattelu 28.9.2016.

Kotro, M. (2016). projektipäällikkö, Cramo Oy. Haastattelu 23.9.2016.



Projekti	
Alue	
Yhteyshenkilö	
Yhteyshenkilön puh.	
Yhteyshenkilön sähköposti	
Yhteyshenkilön työnkoko	
Yhteyshenkilön työn alku	
Yhteyshenkilön työn loppu	
Yhteyshenkilön työn tyyppi	
Yhteyshenkilön työn tila	
Yhteyshenkilön työn tila	
Yhteyshenkilön työn tila	
Yhteyshenkilön työn tila	
Yhteyshenkilön työn tila	
Yhteyshenkilön työn tila	