

Taavi Heikkinen

# **ENERGIANSÄÄSTÖN TODENTAMINEN TEOLLISUUSKIINTEIS- TÖSSÄ**

# **ENERGIANSÄÄSTÖN TODENTAMINEN TEOLLISUUSKIINTEIS- TÖSSÄ**

Taavi Heikkinen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Taavi Heikkinen

Opinnäytetyön nimi: Energiansäästön todentaminen teollisuuskiinteistössä

Työn ohjaajat: Veli-Matti Mäkelä, Mikko Rasi, Reijo Pantsar

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 88 + 61 liitettä

---

Opinnäytetyö käsittelee energiansäästön todentamista teollisuuskiinteistössä. Työn tavoitteena on rakentaa yritykselle työkalu, jolla se pystyy todentamaan luvattun energiansäästön toteutumisen tehdaskiinteistössä sekä vertailemaan eri vuosia energiankulutuksellisesti toisiinsa.

Aluksi työssä perehdytään tehtaan lämmöntalteenottojärjestelmän prosessikavioihin ja selvitetään, millaista mittausdataa energiansäästön todentamiseen tarvitaan. Tämän jälkeen rakennetaan LTO-järjestelmästä teoreettinen laskentamalli, jolla pyritään selvittämään järjestelmän teoreettinen suorituskky. Lopuksi rakennetaan energiansäästön todentamiseen soveltuva työkalu, jolla asiakasyritykselle voidaan osoittaa energiansäästön toteutuminen olosuhteista riippumatta.

Kaikkia tuloksia ei vielä voida julkaista, sillä projekti on vielä kesken ja osa projektin aineistosta ovat salassa pidettävää. Kuitenkin suuntaa antavia arvioita energiansäästön toteutumisesta voidaan antaa, ja näyttääkin, että luvattu energiansäästö toteutuu ja ylittää tavoitesäästön yli 10 %:lla.

---

Asiasanat: lämmöntalteenottojärjestelmä, energia, energiansäästö, teollisuus, kestäväkehitys

## ALKULAUSE

Tämän työn tekeminen aloitettiin syksyllä 2017, kun Oulun Energia Oy:n kehityspäällikkö Mikko Rasi, johon olin aiemmin keväällä 2017 ollut opinnäytetyön merkeissä yhteydessä, otti minuun yhteyttä ja tarjosi opinnäytetyöpaikkaa. Suostuin tarjoukseen ja pääsin toteuttamaan projektia, jollaista ei aiemmin Oulun Energian puolesta ollut toteutettu. Sain mahdollisuuden soveltaa omaa ammatillista osaamistani aivan oikeaan ja olemassa olevaan kohteeseen. Työ oli haastavuudeltaan juuri sopiva ja koenkin, että voin hyödyntää opinnäytetyössäni opittuja asioita käytännöntyöelämässä.

Asetin työn tavoitteet kunnianhimoisiksi ja halusin selvittää, pystynkö sovelta-  
maan ammattikorkeakoulun matematiikan, termodynamiikan sekä lämmönsiirron  
oppitunneilta opittuja asioita kyseiseen työhön. En enää työn loppuvaiheessa las-  
kenut työhöni käyttämiäni tunteja, sillä tein työtä intohimolla ja sellaisella ammat-  
titylpeydellä, jollaista jokaisen itseään insinööriksi kutsuvan pitäisi tuntea.

Haluankin kiittää työn toimeksiantajaa Oulun Energian kehityspäällikköä Mikko  
Rasia mielenkiintoisesta ja sopivasti haasteellisesta aiheesta sekä insinööriä  
Reijo Pantsaria, joka suhtautui kaikkiin mieltäni askarruttaviin ja välillä vähän  
”tyhmiinkin” kysymyksiin ymmärtäväisesti ja vastasi niihin omista työkiireistään  
huolimatta nopeasti ja jouhevasti. Haluan myös kiittää työn ohjaajaa Veli-Matti  
Mäkelää, jolla oli aina aikaa kuunnella ja opastaa opinnäytetyön ja välillä muiden-  
kin asioiden merkeissä, sekä viestinnän opettajaa Pirjo Partasta, joka auttoi kor-  
jaamaan työni paremmin luettavaan muotoon.

Oulussa, maaliskuussa 2018

*Taavi Heikkinen*

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
1 JOHDANTO	7
2 ENERGIA TEHOKKUUS- JA ESCO-PALVELUT	8
2.1 Energiatuki	8
2.2 ESCO-toimintamallit	10
2.2.1 Malli 1	11
2.2.2 Malli 2	12
2.2.3 Malli 3	13
2.2.4 Malli 4	14
2.2 ESCO-palvelun soveltuvuus	14
2.3 Palvelun hyödyt asiakkaalle	14
3 LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄN ESITTELY	16
4 LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄN TEHO	18
4.1 Regressioanalyysi	18
4.1.1 Kylmäaineen tiheys lämpötilan funktiona	18
4.1.2 Kylmäaineen ominaislämpökapasiteetti lämpötilan funktiona	20
4.1.3 Kylmäainefunktioiden tarkistaminen	21
4.1.4 Ilman tiheys lämpötilan funktiona	22
4.1.5 Ilman ominaislämpökapasiteetti lämpötilan funktiona	26
4.1.6 Veden tiheys lämpötilan funktiona	29
4.1.7 Veden entalpia lämpötilan funktiona	29
4.2 LTO-järjestelmän tehokaskennat	30
4.2.1 Tuloilmakone FL-100:n tehontarve eri ulkolämpötiloissa	30
4.2.2 Tuloilmakone TK80-4:n tehontarve eri ulkolämpötiloissa	35
4.2.3 Lämmönsiirtimen tehontarve eri ulkolämpötiloissa	36
4.2.4 Pölynpoiston teho eri ulkolämpötiloissa	41
4.2.5 Varaaja	42
4.2.6 Uunilta saatava teho eri ulkolämpötiloissa	45
4.2.7 LTO-järjestelmän kokonaisteho eri ulkolämpötiloissa	46
4.2.8 LTO-järjestelmän hyötysuhde eri ulkolämpötiloissa	47

5 ENERGIANSÄÄSTÖN TODENTAMINEN	49
5.1 Tehtaan nykyinen energian käyttö	49
5.2 Säästökohteet	50
5.2.1 Pölynpoiston poistoilman energian hyödyntäminen	50
5.2.2 Uunin savukaasulämmön hyödyntäminen	52
5.2.3 IV-koneiden puhaltimien muuttaminen säätökäyttöisiksi taajuusmuuttajilla	53
5.2.4 IV-koneiden automaation uusiminen	55
5.2.5 Arvioitu kokonaissäästö	56
5.3 Energiansäästön todentaminen	57
5.3.1 Säästötavoitteet	57
5.3.2 Työkalu energiansäästön todentamiseen	63
5.4 Tulosten analysointi	82
6 YHTEENVETO	83
LÄHTEET	85
LIITTEET	

# 1 JOHDANTO

Energiantehokkuuden parantaminen on tulevaisuuden suurimpia haasteita. Maapallon väestönkasvu sekä kasvava hyvinvointi lisäävät energiankulutusta huomattavasti. Jatkuvasti kasvava energiankulutus lisää tarvetta uusille energianratkaisuille sekä energiansäästöille. Tästä johtuen yritykset panostavat entistä enemmän energiansäästöön sekä kestävään kehitykseen. Osa yrityksen kannattavuuden parantamista on prosessista vapautuvan hukkaenergian talteenotto sekä energiakulutuksen järjeistäminen. Energiatehokkuustoimenpiteillä asiakas saa pienennettyä energiakustannuksia ja parannettua kilpailukykyä.

Teollisuuskiinteistöissä prosesseista vapautuu suuria määriä hukkalämpöä. Hukkalämmön talteenotolla saadaan katettua osa kiinteistön omasta lämpöenergiankulutuksesta. Osassa kohteissa voidaan järjeistää kiinteistön ilmanvaihtoa, sillä IV-koneet muodostavat suuren osan näiden kiinteistön sähkönkulutuksesta. Ilmanvaihdon järjeistyksellä sekä automatisoinnilla saadaan pudotettua kiinteistön sähköenergiankulutusta merkittävästi. Tavoitteena on, että energiansäästöinvestoinnit maksaisivat itsensä takaisin säästettyinä energiakustannuksilla.

Opinnäytetyön tavoitteena on energiansäästön todentaminen teollisuuskiinteistössä. Tavoitteena on rakentaa työkalu, jolla voidaan todentaa energiansäästön toteutuminen sekä vertailla eri vuosia energiankulutuksellisesti toisiinsa. Ongelmana on löytää keino näiden toteuttamiseen käytännössä, sillä teollisuuskiinteistön energiankulutus on erittäin riippuvainen tuotannosta sekä ulkolämpötilasta. Jos tuotanto ei käy, energiansäästö ei toteudu. Toisaalta kiinteistön energiankulutus kasvaa myös ulkolämpötilan laskiessa. Näiden asioiden yhdistäminen onkin työn suurin haaste.

Työn tilaajana toimii Oulun Energia, joka toteutti niin sanotun ESCO-projektin teollisuuden yritykselle. Työn toimeksiantajana Oulun Energialta toimii kehityspäällikkö Mikko Rasi ja työn ohjaajina Oulun ammattikorkeakoululta energiatekniikan yliopettaja Veli-Matti Mäkelä sekä Oulun Energialta insinööri Reijo Panstar.

## 2 ENERGIATEHOKKUUS- JA ESCO-PALVELUT

Energiatehokkuus- ja ESCO-palvelut (Energy Service Company) ovat ulkopuolisten energia-asiantuntijoiden tarjoamia palveluita, joissa kyseessä olevat toimijat tai yritykset toteuttavat investointeja sekä toimenpiteitä asiakasyrityksille (1, s. 14). Näillä toimilla on tarkoitus tehostaa sekä järkeistää yrityksen energian käyttöä sekä luoda tällä tavoin energiansäästöä. Palveluista sekä investoinneista syntyvät kustannukset katetaan energiansäästöillä luoduilla, matalammilla energiakustannuksilla. Palveluun sisältyy säästötakuu, jolla ESCO-toimija sekä asiakasyritys pyrkivät varmistamaan, että säästö todella tapahtuu. Säästötakuusta on myös sovittava etukäteen. (2, s. 1.)

### 2.1 Energiatuki

ESCO-hankeen alkuun saattamiseksi hankkeen toteuttaja usein hakee energiatukea Innovaatorahoituskeskus Business Finlandilta.

*Energiatuen keskeisenä tavoitteena on edistää uusien ja innovatiivisten ratkaisujen kehittämistä energiajärjestelmän muuttamiseksi vähähiiliseksi pitkällä aikavälillä. Energiatukea voidaan myöntää sellaisiin investointi- ja selvityshankkeisiin, jotka edistävät:*

- 1) *uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä ja jossa*
  - *edistää uutta teknologiaa ja sen kaupallista hyödyntämistä*
  - *investoidaan uuteen laitokseen tai*
  - *kyse on sellaisesta korvausinvestoinnista, jolla lisätään merkittävästi uusiutuvan energian tuotantomäärää tai saavutetaan muu merkittävä myönteinen tavoitteen mukainen energiavaikutus*
- 2) *energiasäästöä tai energian tuotannon tai käytön tehostamista ja*
  - *jonka tarkoituksena ei ole pakollisen ympäristövelvoitteen saavuttaminen*
  - *kyse ei ole energiatehokkuuslain (1429/2014) mukaisesta yritykselle pakollisesta energiakatselmuksesta*



### 3) muutoin energiajärjestelmän muuttumista vähähiiliseksi

*Energiatuen myöntäminen on harkinnanvaraista ja tuen myöntämisessä etusijalla ovat uudet teknologian hankkeet. Myös tavanomaisen teknologian hankkeita voidaan tukea harkitusti ja etusijalla ovat hyvin valmistellut hankkeet ja huolellisesti laaditut tukihakemukset.*

*Tukea ei myönnetä hankkeille, jotka on käynnistetty ennen tukipäätöstä. Lisäksi tukea voidaan myöntää aikaisintaan rahoituspäätöspäivästä alkaen aiheutuviin kustannuksiin. Tuella on oltava merkittävä vaikutus hankkeen käynnistämiseen. (3.)*

Jos yritys tai yhteisö liittyy energiatehokkuussopimukseen ja siinä käytetään ESCO-palvelua, tuen osuus on 25 % hankkeen kokonaiskustannuksista (3).

*Rajoitukset tai tukea ei myönnetä:*

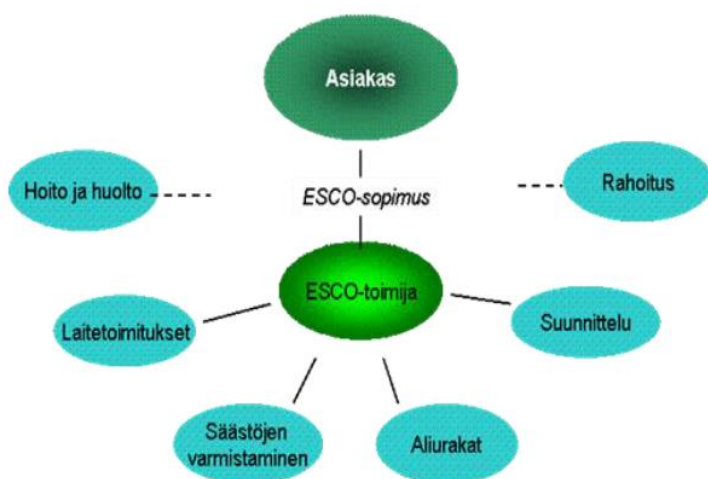
- *Suurille yrityksille enimmäistukitaso on 30 %*
- *ESCO-palveluiden osalta edellytyksenä on vähintään 70 %:n säästötakuu ja todennettavien säästöjen osuus kokonaissäästöistä todentamiskauden aikana on vähintään 60 % euromääräisesti laskettuna*
- *Tukea ei myönnetä savukaasupesureihin tai näihin liittyviin lämmöntalteenottoinvestointeihin, jos ne liittyvät päästökauppalaitoksiin tai yli 10 MW:n tehoisiin lämpökeskuksiin*
- *Energiatukea voidaan myöntää päästökauppalain (311/2011) soveltamisalaan kuuluvaan toimintaan liittyvään investointihankkeeseen siltä osin kuin hanke sisältää uutta teknologiaa tai kun investoinnin vuoksi päästökaupasta saatava taloudellinen hyöty on vähäinen*
- *Tukea ei myönnetä valaistukseen liittyviin tavanomaisen teknologian hankkeisiin*
- *Tukea ei myönnetä rakennusten eristykseen, kylmäkalusteiden ja –laitteiden oviin tai kansiin tai muihin vastaaviin ratkaisuihin*

- *Tukea ei myönnetä uudisrakennuskohteissa tehtäviin energiatehokkuushankkeisiin (pois lukien uusi teknologia)*
- *Tuettavien hankkeiden investointikustannusten on oltava vähintään 10 000 euroa. (3.)*

## 2.2 ESCO-toimintamallit

ESCO-sopimus koostuu sekä asiakasyrityksestä että ESCO-toimijasta. ESCO-toimija huolehtii laitetoimituksista, säästöjen varmistamisesta, aliurakoista sekä suunnittelusta (kuva 1). Itse ESCO-sopimus voidaan jakaa neljään eri malliin:

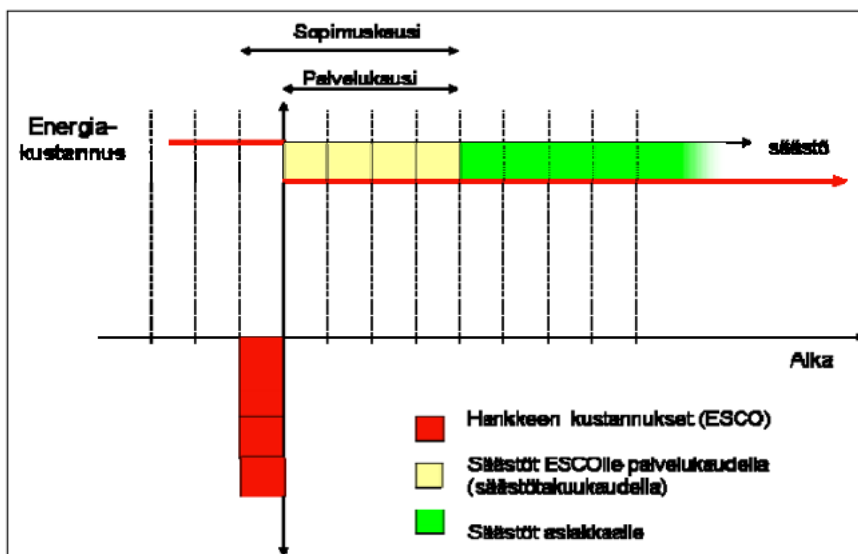
- mallin 1 hanke rahoitetaan energiansäästöillä ja ESCO-toimija rahoittaa hankkeen
- mallin 2 hanke rahoitetaan energiansäästöillä ja asiakas rahoittaa hankkeen
- malli 3 on korjaus- ja uudistamishanke, joka rahoitetaan sekä energiansäästöillä että omarahoituksella
- malli 4 on avoin tarjouspyyntö. (4, s. 2.)



KUVA 1 ESCO-sopimus (4, s.2)

## 2.2.1 Malli 1

ESCO-palvelumallissa 1 ESCO-toimija sitoutuu rahoittamaan hankkeen. ESCO-sopimuksessa sovittu energiatehokkuuden paraneminen todennetaan sekä varmistetaan. Hankkeesta aiheutuvat kustannukset pyritään kattamaan säästöakauden aikana syntyneillä energiakustannussäästöillä. Kuvassa 2 on esitelty ESCO-palvelumalli 1.



KUVA 2 ESCO-palvelun malli 1 (4, s.6)

Mallin 1 mukaisessa sopimuksessa ESCO-toimija voi laajimmillaan rahoittaa koko hankkeen sekä huolehtia itse laitteiden toiminnasta ja ylläpidosta säästöakauden aikana. Jos sopimuksessa luvutut tavoitesäästöt eivät toteudu, asiakkaan suorittamat maksut ESCO-toimijalle laskevat. Toisaalta jos todelliset säästöt ovat suurempia kuin sopimuksessa luvutut säästöt, voidaan yli menevä osa jakaa ESCO-toimijan sekä asiakkaan kesken. Säästöjen jakamisen ei tarvitse tapahtua palvelukauden ulkopuolella, vaan sitä voidaan jakaa myös palvelukaudella. Tällöin sopimuskauden pituus kasvaa.

Asiakas voi halutessaan lunastaa hankkeen, kunhan hanke itsessään on toteutettu sekä käyttöön otettu. Hankkeen voi lunastaa joko kokonaan tai osittain. Lunastamisen vaatimuksena on, että luvattu energiatehokkuus sekä säästö on todennettu käyttöönoton jälkeen.

### 2.2.2 Malli 2

The diagram illustrates the energy cost savings (ECS) model for a building project. It features a horizontal timeline with several key components:

- Sopimuskausi (Contract Period):** Indicated by a double-headed arrow at the top, spanning the duration of the contract.
- Palvelukausi (Service Period):** Indicated by a double-headed arrow below the timeline, representing the period during which the service is provided.
- Energia - kustannus (Energy Cost):** Represented by a red horizontal line with a red arrow pointing right, indicating the ongoing energy costs.
- Aika (Time):** Represented by a horizontal axis at the bottom, marked with vertical lines indicating time intervals.
- Cost and Savings Components:**
  - Hankkeen kustannukset (omarahoitus) (Project Costs (self-funding)):** Represented by pink rectangular blocks below the timeline.
  - Asiakkaan vuotuiset rahoituskulut rahalaitokselle (Annual financing costs for the client to the lender):** Represented by orange rectangular blocks below the timeline.
  - ESCO toimijan maksama sanktio saavuttamattomista säästöistä (Penalty paid by the ESCO for unachieved savings):** Represented by red rectangular blocks below the timeline.
  - Säästöt asiakkaalle palvelukaudella (=säästö takuukaudelta) + Lisäsäästö (jaettavaksi) (Savings for the client during the service period (=savings guarantee period) + Additional savings (shareable)):** Represented by yellow and green rectangular blocks below the timeline.
  - Säästöt asiakkaalle palvelukauden loputtua (Savings for the client at the end of the service period):** Represented by green rectangular blocks below the timeline.

*KUVA 3 ESCO-palvelu malli 2 (4, s. 7)*

12

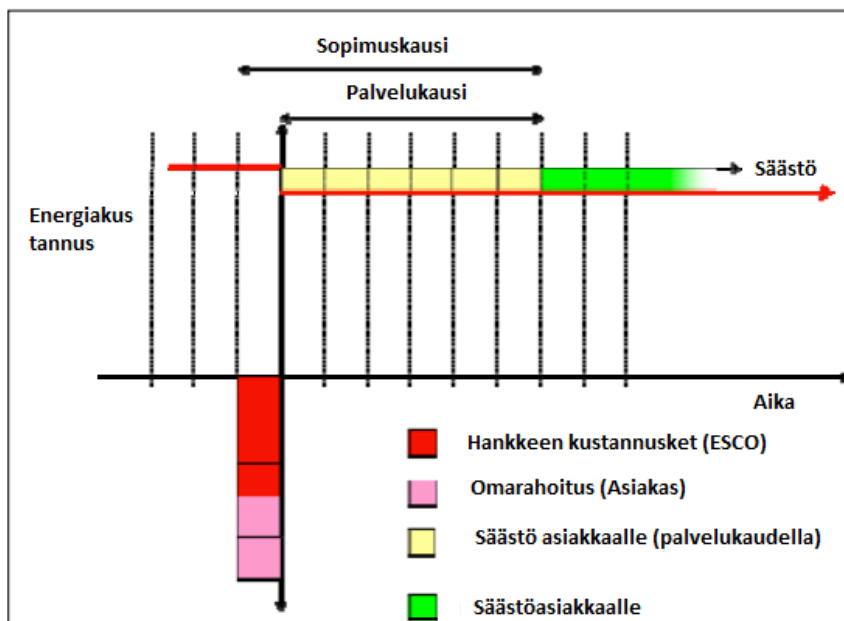
lissa 2 ESCO-toimijan lupaamia säästöjä ei saavuteta, joutuu ESCO-toimija maksamaan sanktiota, joka on sopimuksessa määritelty. Säästöjen ylittyessä toimitaan myös sopimuksessa määritellyllä tavalla.

### 2.2.3 Malli 3

ESCO-palvelun mallissa 3 on tavoitteena säästön ohella parantaa rakennuksen sisäolosuhteita. Sisäolosuhteiden parannukset voivat olla esimerkiksi

- valaistukseen tehdyt parannukset
- sisäilman laadun parantaminen
- palvelutarjonnan lisääminen
- vanhojen taloteknisten laitteiden ja järjestelmien uusiminen.

Asiakaan tulee määrittää, mitkä ovat ehdottomia hankevaatimuksia ja mitkä eivät. Tyypillistä mallin 3 palvelulle on, ettei säästö jokaisessa tapauksessa aina riitä kattamaan hankkeesta aiheutuvia kustannuksia. Jos näin on asiakas täydentää rahoitusta tarvittaessa omalla rahoituksella. Kuvassa 4 on esitelty palvelumalli 3.



KUVA 4 ESCO-palvelu malli 3 (4, s. 8)

#### **2.2.4 Malli 4**

ESCO-palvelumallissa 4 säästöjen taustalla on avoin tarjouspyyntö. Mallissa 4 eri ESCO-toimijoita pyydetään ehdottamaan taloudellisimmat sekä kattavimmat toimenpiteet, mitä asiakaskohteeseen suoritetaan. Esiteltäviä tarjouksia vertailaan keskenään. Vertailun taustalla tarjousten välillä voi olla asiakkaan saavuttamien vuotuisten nettosäästöjen nykyarvo. Suomessa ei ole juurikaan kokemusta ESCO-palvelumallista 4, jossa asiakas kilpailuttaa säästöhankkeen, kun taas monissa maissa se on koko ESCO-toiminnan lähtökohtana.

### **2.2 ESCO-palvelun soveltuvuus**

ESCO-palvelu soveltuu erityisesti tapauksiin, joissa asiakkaalla ei ole riittävästi henkilö- ja/tai rahoitusresursseja energiansäästötoimenpiteiden toteuttamiseen, vaikka energiansäästöillä katettavat investointi- ja palvelukustannukset on todettu riittävän suuriksi. Palvelu soveltuu myös tapauksiin, joissa säästötakuu koetaan tärkeäksi.

Tyypillisiä hankkeita, joihin ESCO-palvelu soveltuu Suomessa ovat muun muassa

- energiansäästö- ja korjausrakentaminen
- taloteknisten järjestelmien uusiminen ja toimintojen järjeistäminen
- toimet, joilla parannetaan energiatehokkuutta ja pienennetään elinkaari-kustannuksia
- LTO- järjestelmät, joilla korvataan ostoenergiaa. (5, s. 7.)

### **2.3 Palvelun hyödyt asiakkaalle**

ESCO-palvelun avulla asiakas parantaa omaa energiatehokkuuttaan ja tätä kautta kilpailukykyään. Energiankulutus laskee, jolloin energiatehokkuusinvestoinneista syntyneet kustannukset saadaan katettua energiakulutuksen laskusta

tulleista säästöistä. Näin ollen yrityksen energiatehokkuus investointi maksaa itse itsensä takaisin. Huomioitavaa on myös, että sopimuskauden jälkeen investointi hyötyineen siirtyy asiakkaalle.

ESCO-palvelun avulla yritys kykenee luomaan itsestään kilpailevaa yritystä energiatehokkaamman ja ympäristöä vähemmän kuormittavan kuvan. Tämä auttaa sitä erottumaan joukosta kilpailevia yrityksiä paremmin.

### 3 LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄN ESITTELY

LTO-järjestelmän tekniset tiedot ovat salassa pidettäviä, joten PI-kaaviossa esiintyvien komponenttien teknisiä tietoja on muutettu niin, ettei niitä voi yhdistää mihinkään tiettyyn LTO-järjestelmään. Muutokset on tehty kuitenkin niin, että järjestelmä voisi toimia myös oikeassa tilanteessa. Seuraavat luvut esittelevätkin, miten minkä tahansa LTO-järjestelmän suorituskyky voidaan teoreettisesti todentaa, kun tiettyjä arvoja järjestelmästä tiedetään.

LTO-järjestelmä koostuu ensiö- sekä toisiopuolesta. Ensiöpuoli käsittää uunin sekä pölynpoiston lämmöntalteenottojärjestelmät, varaajan sekä lämmönsiirtimen ensiöpuolen. Toisiopuoli koostuu tuloilman lämmitysjärjestelmästä FL100:sta ja 80/4:stä sekä lämmönsiirtimen toisiopuolesta eli patteriverkostosta. LTO-järjestelmän PI-kaavio sekä ensiö- että toisiopuoleet ovat esiteltyinä liitteessä 1.

Prosessista vapautuvaa hukkalämpöä otetaan talteen uunin (liite 1/2) savukaasuista sekä pölynpoiston (liite 1/3) poistoilmasta. Hukkalämmöllä lämmitetään LTO-järjestelmässä kiertävää, väkevyydeltään 35-massaprosenttista etyleeniglykolia.

Etyleeniglykoli ohjataan ensin liitteessä 1/3 olevan pölynpoiston lämmöntalteenottopatterille esilämmitykseen, jossa neste lämmitetään +16 °C:seen. Tämän jälkeen neste ohjataan liitteessä 1/2 esiintyvälle uunin lämmöntalteenottopatterille, jossa neste lämmitetään lopulliseen lämpötilaan +35 °C:seen. Lämmitetty etyleeniglykoli pumpataan varaajan sekä tuloilman lämmityspattereille (liitteiden 1/5 ja 1/6 lämmityspatterit LP-50), joissa tuloilman lämmityspatterit lämmittävät sisään tulevaa ilmaa.

Liitteessä 1/4 esiintyvän patteriverkoston paluuveden lämpötilan ollessa riittävän alhainen ja tuloilman lämmitykseen tarvittavan hukkalämmön ollessa pienempi kuin talteen otettavan lämpö voidaan ”ylijäätä” hukkalämmöllä esilämmittää patteriverkoston paluuvettä. Tällöin lämmityskattilaan palaavan patteriverkoston paluuveden lämpötila on hieman normaalia korkeampi, jolloin verkoston veden lämmittämiseen vaaditaan vähemmän energiaa.



On huomioitava, että talteen otettavan energian määrä määräytyy tarvittavasta lämpökuormasta. LTO-järjestelmän toisiopuoli määrää sen, kuinka paljon energiaa lopulta talteen saadaan. Kun sisään tuleva ilman lämpötila pyritään pitämään vakiona (+25 °C), ulkoilman lämpötila lopulta määrää sen kuinka paljon toisiopuoli vaatii lämmitystehoa.

Yhteenvetona voidaan todeta, että LTO-järjestelmän ensiöpuoli määrää, kuinka paljon lämpötehoa on mahdollista maksimissaan saada ja toisiopuoli, kuinka paljon tästä maksimitehosta käytetään tuloilman lämmitykseen ja patteriverkoston lämmittämiseen.

On myös huomioitava, että LTO-järjestelmä on käytössä ainoastaan silloin, kun prosessi itsessään on käynnissä. Toisin sanottuna jos tuotanto on seis, ei myöskään hukkalämpöä saada otettua talteen LTO-järjestelmän ollessa poissa käytöstä.

## 4 LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄN TEHO

### 4.1 Regressioanalyysi

Polynomin regressio on tilastoissa käytettävä regressioanalyysin muoto, jossa riippumattoman muuttujan  $x$  ja riippuvaisen muuttujan  $y$  välinen suhde mallinnetaan  $n$ :nnen asteen polynomina  $x$ :ssä. Polynomisella regressiolla voidaan sovittaa epälineaariseen pistejoukkoon käyrä, joka kuvaa pistejoukkoa parhaiten.

Opinnäytetyössä hyödynnetään regressioanalyysiä määrittämään liitteessä 1 esiteltävän lämmöntalteenottojärjestelmän tehokkuus, joka on erittäin vahvasti riippuvainen ulkoilman lämpötilasta. Seuraavissa luvuissa on esitetty laskentaa Excel-laskentaohjelmaa apuna käyttäen.

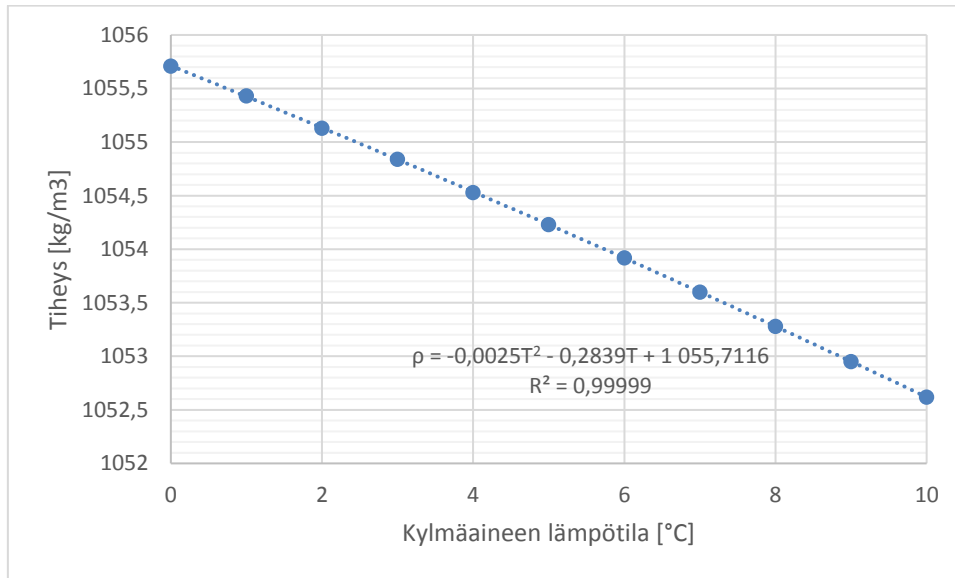
#### 4.1.1 Kylmäaineen tiheys lämpötilan funktiona

Taulukossa 1 on esitelty pistejoukkojen ”koordinaatit”. Lämpötila  $T$ :n arvo vastaa pisteen  $x$ :n suuntaista koordinaattia ja tiheyden  $\rho$  arvo vastaa pisteen  $y$ :n suuntaista koordinaattia. Kylmäaineen tiheys on vahvasti riippuvainen kylmäaineen lämpötilasta. LTO-järjestelmässä kylmäaineena toimii etyleeniglykoli, joka on väkyydeltään 35-massaprosenttista. Kylmäaineen tiheydet eri lämpötiloissa saadaan CoolPack-työkalulla.

*TAULUKKO 1 Kylmäaineen lämpötila ja sitä vastaavat kylmäaineen tiheydet*

Lämpötila	Tiheys
$T$ [°C]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
0	1055,71
1	1055,43
2	1055,13
3	1054,84
4	1054,53
5	1054,23
6	1053,92
7	1053,6
8	1053,28
9	1052,95
10	1052,62

Lisätään pistejoukko koordinaatistoon ja sovitetaan pistejoukkoon polynominen trendikäyrä. Tämä trendikäyrä on käyrä, joka kuvaa pistejoukkoa parhaiten. Kuvassa 5 on esitelty käyrä, sitä vastaava funktio sekä korrelaatiokerroin.



*KUVA 5 Kylmäaineen tiheys lämpötilan funktiona 0 °C:n lämpötilasta +10 °C:seen*

Kuvassa 5 Excelin antama trendikäyrän funktio on esitelty kaavassa 1.

$$\rho = -0,00252 \cdot T^2 - 0,028389 \cdot T + 1055,77160$$

*KAAVA 1*

$\rho$                       *Kylmäaineen tiheys [kg/m³]*

$T$                       *Kylmäaineen lämpötila [°C]*

Kuvassa 2 esiintyvä  $R^2$  on niin sanottu korrelaatiokerroin, joka kertoo, kuinka hyvin käyrä sovitettu pistejoukkoon. Jos  $R^2$  on 1 se tarkoittaa, että käyrä sopii täydellisesti pistejoukkoon. Voidaankin todeta, että kuvassa esiintyvä käyrä sopii pistejoukkoon lähes täydellisesti.

Käyrälle saatavaa ja kaavassa 1 esiintyvää funktiota voidaan käyttää tiheyden määrittämiseen lämpötilavälillä 0 °C ja 10 °C, kun lämpötila T tiedetään. Funktiota testataan lämpötilalla 4,3 °C sijoittamalla 4,3 °C kaavan 1 T:n paikalle.

$$\rho = (-0,0025 \cdot 4,3^2 - 0,02839 \cdot 4,3 + 1055,7716) \text{ kg/m}^3 = 1054,4446 \text{ kg/m}^3$$

Voidaan todeta, että kylmäaineen tiheys lämpötilassa 4,3 °C on 1054,4446 kg/m<sup>3</sup>.

Samalla tavalla voidaan määrittää kaava kylmäaineen tiheyksille lämpötilasta –10 °C lämpötilaan +50 °C. Funktion määrittämiseen vaadittavat lämpötilat ja niitä vastaavat tiheydet on esitetty liitteessä 2. Tälle lämpötilavälille sopiva käyrä sitä vastaava funktio sekä korrelaatiokerroin on esitetty liitteessä 3. Käyrä sopii pistejoukkoon lähes täydellisesti, sillä korrelaatiokerroin on 0,999998346812777. Saatava funktio on esitelty myös liitteessä 33 kaavan 2 kohdalla.

#### 4.1.2 Kylmäaineen ominaislämpökapasiteetti lämpötilan funktiona

Järjestelmässä käytettävän kylmäaineen ominaislämpökapasiteetti on hieman riippuvainen aineen lämpötilasta. Kuten edellisessä kohdassa, CoolPack-työkalua käytetään ominaislämpökapasiteetin määrittämiseen lämpötilavälillä –10 - +50 °C. Kylmäaineen lämpötilat sekä niitä vastaavat ominaislämpötilakapasiteetit on esitelty liitteessä 4.

Funktio määritellään samalla tavalla kuin edellisessä kohdassa, jolloin saadaan liitteessä 5 esitetty kuvaaja. Liitteen 5 kuvaajassa näkyvät myös funktion yhtälö sekä korrelaatiokerroin, joka on 0,999970096123376. Todetaan käyrän sekä sitä vastaavaan käyrän funktion sopivan pistejoukkoon erinomaisesti.

Kylmäaineen ominaislämpökapasiteetin määrittämiseen vaadittava yhtälö on esitelyssä liitteen 33 kaavakokoelmassa kaavan 3 kohdalla.

#### **4.1.3 Kylmäainefunktioiden tarkistaminen**

Jotta funktioita voidaan käyttää LTO-järjestelmän tehokaskennassa, tulee niiden paikkansapitävyys todentaa. Todentaminen toteutetaan vertaamalla CoolPackista saatuja arvoja funktioista saataviin arvoihin. Koska CoolPackin antamat etyleeniglykolin tiheyden arvot ovat kahden desimaalin tarkkuudella, tulee funktiosta saatavat tiheyden arvot pyöristää myös kahden numeron tarkkuudella. Excel toteuttaa pyöristyksen liitteen 34 funktion 1 osoittamalla tavalla.

Tiheyden määrittämiseen käytettävä funktioon 1 syötetään Exceliin ja funktion eteen kirjoitetaan toiminto PYÖRISTÄ. Merkitsevien numeroiden määräksi asetetaan kaksi (funktion 1 viimeisen kaksoispilkun jälkeinen numero). Tällä toiminnolla varmistetaan, että myös funktiosta saatavat arvot ovat samassa desimaalissa CoolPack-ohjelmasta saatavien arvojen kanssa.

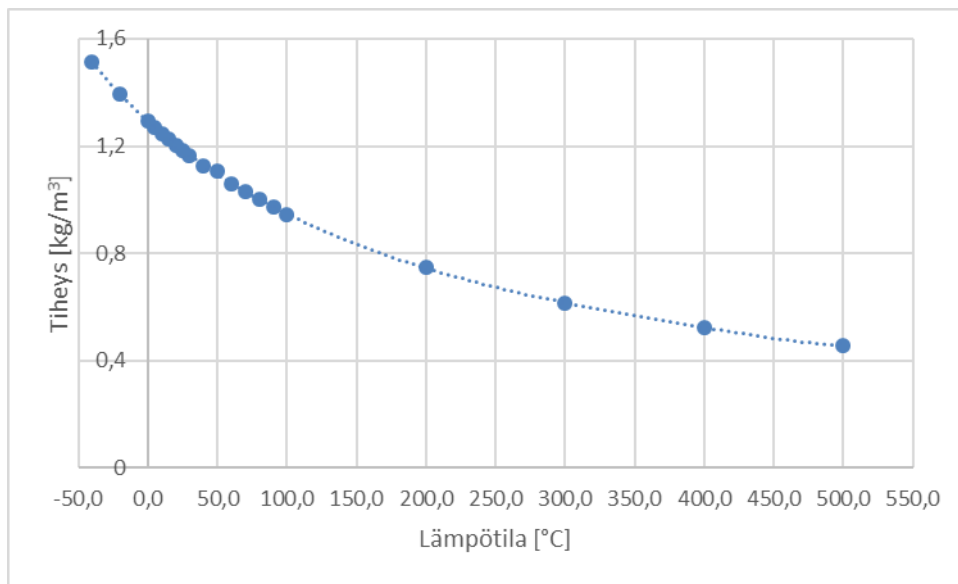
Etyleeniglykolin ominaislämpökapasiteetin funktioille suoritetaan sama toiminto, mutta merkitsevien numeroiden määräksi asetetaan 3, sillä CoolPack-ohjelma antaa nämä arvot kolmen desimaalin tarkkuudella.

Kun funktioille on suoritettu edellä mainittu toiminto, testataan funktiota yhden asteen välein lämpötilasta  $-10\text{ °C}$  lämpötilaan  $+50\text{ °C}$ . Funktioista saadut arvot taulukoidaan Exceliin yhdessä CoolPack-ohjelmasta saatavien arvojen kanssa. CoolPackista saatavista arvoista vähennetään funktioista saatavat arvot, jolloin nähdään, kuinka tarkkoja funktioista saatavat arvot ovat verrattuna CoolPackin arvoihin. Arvot sekä niiden erotukset ovat esiteltyinä liitteessä 6.

Liitteessä 6 esiintyvä merkki \* kuvaa funktiosta saatavia arvoja. CoolPackista sekä funktioista saatujen arvojen erotukset ovat myös listattuina liitteessä 6. Liitteestä 6 havaitaan arvojen eroavan ainoastaan tiheyden osalta  $-1\text{ °C}$  sekä  $+4\text{ °C}$  (punaisella merkityt rivit) ja niissäkin vain  $0,01\text{ kg/m}^3$ . Tehonlaskennan kannalta virheet ovat merkityksettömän pieniä, joten funktioiden voidaan todeta toimiviksi lämpötilavälillä  $-10\text{ °C} \dots +50\text{ °C}$ .

#### 4.1.4 Ilman tiheys lämpötilan funktiona

Ilman tiheydet eri lämpötiloissa on esitelty liitteessä 7. Funktio ilman tiheydelle määritellään lähes samalla tavalla kuin funktio etyleeniglykolille. Erona on kuitenkin, että ilman tiheys on suhteellisesti huomattavasti enemmän lämpötilariippuvainen kuin etyleeniglykoli johtuen ilman kaasumaisesta olomuodosta. Tästä seuraa, että pistejoukkoon sovitettavan käyrän muoto on enemmän kaareva kuin etyleeniglykolilla (kuva 6).

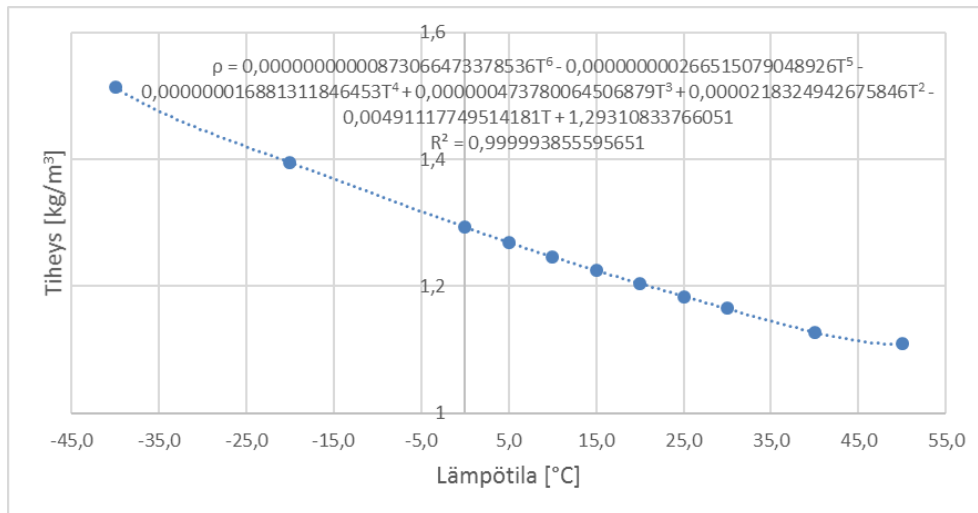


*KUVA 6 Ilman tiheys lämpötilan funktiona*

Käyrän kaareva muoto tarkoittaa, että käyrä on jaettava osiin ja jokaiselle osalle on määritettävä oma funktio. Tämän jälkeen funktiot yhdistetään, jolloin yhdistetyllä funktiolla saatava tiheyden arvot eri lämpötiloissa ovat tarkempia.

##### 4.1.4.1 Ilman tiheyden osafunktioiden määrittäminen

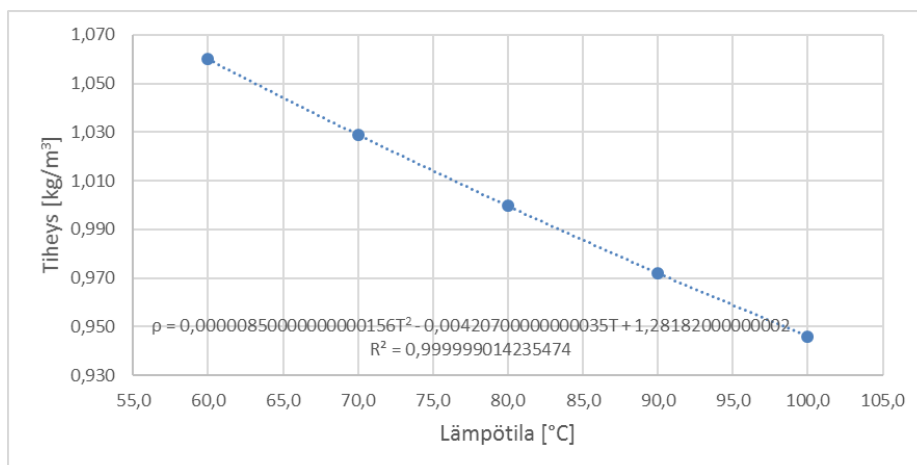
Käyrän ensimmäisen osan alin lämpötila  $-40,0\text{ °C}$  ja korkein lämpötila  $+50,0\text{ °C}$ . Käyrä, käyrän funktio sekä korrelaatiokerroin on esitetty kuvassa 7.



*KUVA 7 Ilman tiheys lämpötilan funktiona osa 1*

Kuten kuvasta 7 huomataan, käyrän ensimmäisen osan funktion korrelaatiokerroin on 0,999993855595651, joten käyrä sopii pistejoukkoon erinomaisesti lämpötilavälillä  $-40,0\text{ °C} \dots +50,0\text{ °C}$ .

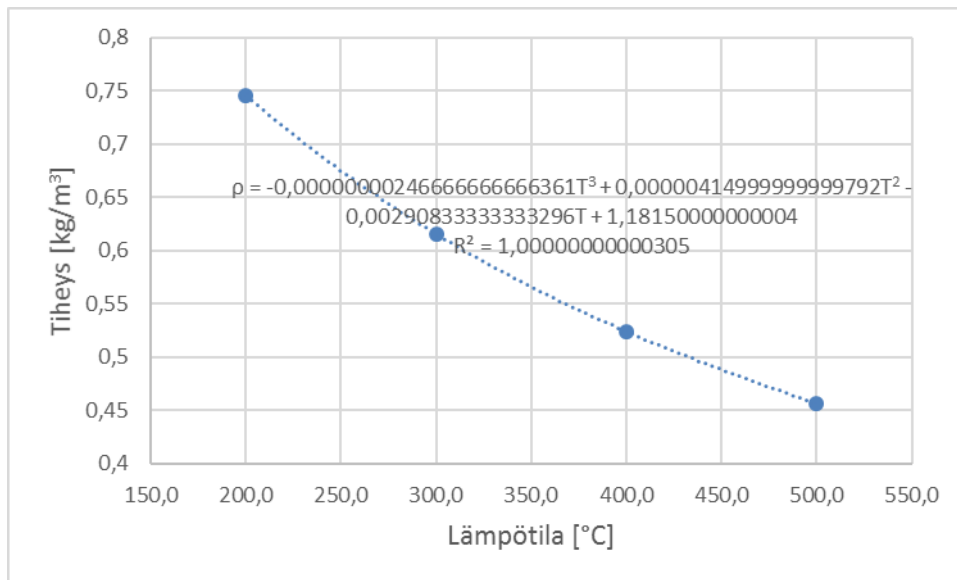
Käyrän seuraavan osan alin lämpötila on  $+55,0\text{ °C}$  ja ylin lämpötila  $+100,0\text{ °C}$ . Käyrä, käyrän funktio sekä korrelaatiokerroin on esitetty kuvassa 8.



*KUVA 8 Ilman tiheys lämpötilan funktiona osa 2*

Kuten kuvasta 8 huomataan, käyrän toisen osan funktion korrelaatiokerroin on 0,999999014235474, joten käyrä sopii pistejoukkoon erinomaisesti lämpötilavälillä  $+55,0\text{ °C} \dots +100,0\text{ °C}$ .

Käyrän viimeisen osan alin lämpötila on  $+200,0^{\circ}\text{C}$  ja ylin lämpötila on  $+500,0^{\circ}\text{C}$ .  
Käyrä, käyrän funktio sekä korrelaatiokerroin ovat esiteltynä kuvassa 9.



KUVA 9 Ilman tiheys lämpötilan funktiona osa 3

Kuten kuvasta 9 huomataan, käyrän viimeisen osan funktion korrelaatiokerroin on 1,00000000000305, joten käyrä sopii pistejoukkoon erinomaisesti lämpötilavälillä +200,0 °C... +500,0 °C

#### 4.1.4.2 Yhdistetty funktio

Kun pistejoukon osafunktiot on määritetty, yhdistetään nämä kaikki funktiot yhdeksi ns. yhdistetyksi funktioksi. Yhdistetyllä funktiolla voidaan määrittää mikä tahansa ilman tiheys lämpötilavälillä  $-40,0\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +500,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Funktiot yhdistetään JOS- sekä JA-toiminnoilla Excelissä. Liitteen 34 Funktio 2 esittää, miten tämä toiminto suoritetaan kolmelle aiemmin määritetyille ilman tiheyden osafunktioille.

Liitteen 34 funktiossa 2 H3:lla kuvataan ilman lämpötilaa. Avattuna funktio 2 tarkoittaa seuraavaa



- jos ilman lämpötila on alle  $-40\text{ °C}$  tiheyden arvo on nolla, sillä se on matalin lämpötila, jossa ilman tiheys on määritetty.
- jos ilman lämpötila on yhtä suuri tai suurempi kuin  $-40\text{ °C}$  ja pienempi tai yhtä pieni kuin  $+50\text{ °C}$ , käytetään yhdistetyn funktion osaa 1 (ks. kuva 7).
- jos ilman lämpötila on suurempi kuin  $+50\text{ °C}$  ja pienempi tai yhtä pieni kuin  $+100\text{ °C}$ , käytetään yhdistetyn funktion osaa 2 (ks. kuva 8).
- jos ilman lämpötila on suurempi kuin  $+100\text{ °C}$  ja pienempi tai yhtä pieni kuin  $+500\text{ °C}$ , käytetään yhdistetyn funktion osaa 3 (ks. kuva 9).
- funktio pyöristetään neljän desimaalin tarkkuuteen
- jos ilman lämpötila on yli  $+500\text{ °C}$ , tiheyden arvo on nolla (ylin lämpötila, jossa ilman tiheys määritetty on  $+500\text{ °C}$ ).

Yhdistetty funktio ilman tiheydelle on esiteltynä myös kaavana liitteessä 33 kaavan 4 kohdalla.

#### 4.1.4.3 Ilman tiheyden yhdistetyn funktion tarkistaminen

Jotta liitteen 34 yhdistettyä funktiota 2 ilman tiheydelle voidaan käyttää teholaskennoissa, tulee sen paikkaansa pitävyys todentaa vertailemalla funktiosta 2 saatuja arvoja liitteen 7 taulukkoarvoihin. Yhdistetyn funktion tarkistaminen tapahtuu samalla tavoin kuin kohdan 3.1.3 kylmäainefunktioiden tarkistaminen. Tarkistamisessa käytettävän vertailun tulee tapahtua samassa desimaalissa. Tämä tarkoittaa, että yhdistetystä funktiosta saatavat arvot tulee pyöristää samaan desimaaliin taulukkoarvojen kanssa. Liitteessä 8 on taulukoituina vertailun tulokset.

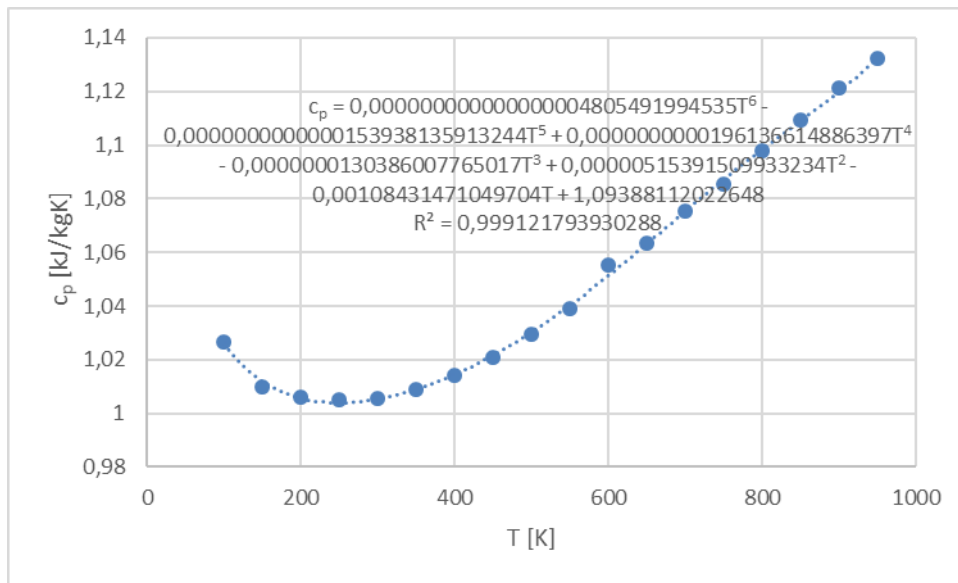
Kuten liitteestä 8 nähdään yhdistetty funktio antaa hieman eri arvon ainoastaan lämpötiloissa  $+10\text{ °C}$  ( $0,001\text{ kg/m}^3$  liian suuri),  $+80\text{ °C}$  ( $0,0001\text{ kg/m}^3$  liian pieni) sekä  $+90\text{ °C}$  ( $0,0001\text{ kg/m}^3$  liian suuri). Teholaskentojen kannalta virheet (merkittuna punaisella liitteessä 8) ovat kuitenkin merkityksettömän pieniä.

Voidaan todeta ilman tiheyden yhdistetty funktio paikkaansa pitäväksi lämpötilavälillä  $-40\text{ °C} \dots +500\text{ °C}$ .

#### 4.1.5 Ilman ominaislämpökapasiteetti lämpötilan funktiona

Ilman ominaislämpökapasiteetti muuttuu hieman riittävän suurilla lämpötilavaihteluilla ja koska lämpötilavaihtelut LTO-järjestelmässä ovat kohtalaisen suuria, tulee ilman ominaislämpökapasiteetti huomioida teholaskennoissa. Ilman ominaislämpökapasiteetit vakioaineessa lämpötilavälille 100 K... 950 K ovat esiteltyinä liitteessä 9.

Asetetaan liitteen 9 pisteet  $T$ ,  $c_p$  koordinaatistoon ja sovitetään koordinaatistoon pisteitä mahdollisimman hyvin kuvaava käyrä (kuva 10).



KUVA 10 Ilman ominaislämpökapasiteetti lämpötilan funktiona

Kuten kuvasta 10 nähdään, pistejoukkoon sovitettu käyrä sekä käyrän funktio kuvaavat pistejoukkoa varsin hyvin (funktion korrelaatiokerroin on 0,999121793930288). Teholaskennoissa funktion tarkkuus ei kuitenkaan riitä, koska ominaislämpökapasiteetin vaihtelee paljon eri lämpötiloissa (ks. liitteen 9 taulukko). Tästä seuraa, että pistejoukko on jaettava osiin ja jokaiselle osalle on määritettävä oma funktio. Tämän jälkeen osafunktiot yhdistetään yhdeksi funktioksi. Nämä toteutetaan samalla tavalla kuin kohdassa 3.1.4.1 ja 3.1.4.2.

Koska ilman ominaislämpökapasiteetit tiedetään vain 50 K:n välein lämpötilavälillä 100 K... 950 K, on tehtävä oletus, että ominaislämpökapasiteetti muuttuu lineaarisesti aina 50 K:n välein. Aivan näin yksinkertainen asia ei tosiasiaassa ole,

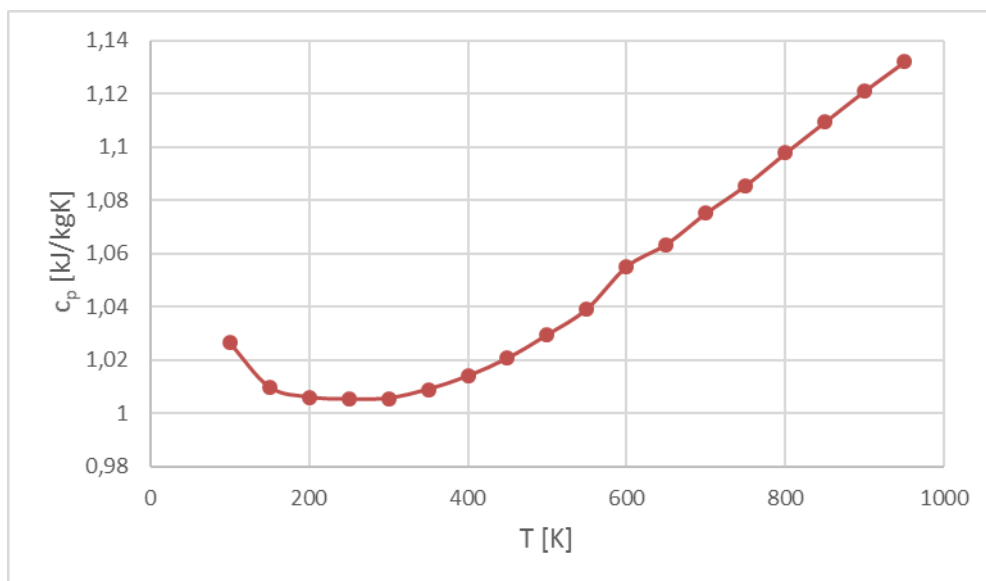
mutta teholaskentojen kannalta ilman ominaislämpökapasiteetin yhdistetystä funktiosta saatavat arvot ovat riittävän tarkkoja. Osafunktioiden käyrät sekä funktiot on esitelty liitteessä 10.

Kun edellä mainitut oletukset sekä toiminnot suoritetaan, saadaan liitteen 34 funktion 3 mukainen Excel-funktio. Yhdistetty funktio ilman ominaislämpökapasiteetille on esiteltynä liitteen 33 kaavan 5 kohdalla.

#### **4.1.5.1 Ilman ominaislämpökapasiteetin yhdistetyn funktion tarkistaminen**

Ilman ominaislämpökapasiteetin yhdistetyn funktion (liitteen 34 funktio 3) tarkistaminen tapahtuu samalla tavalla kuin kohdissa 3.1.3 ja 3.1.4.3. Otetaan vertailuun mukaan myös kuvassa 10 esiintyvän käyrän funktiosta saatavat arvot, jolloin tämän funktion epätarkkuus huomataan konkreettisemmin verrattuna yhdistetyn funktion arvoihin. Vertailun tulokset ovat esiteltynä liitteessä 11. Liitteen 11 taulukossa \* tarkoittaa yhdistetyn funktion arvoja ja \*\* kuvan 10 käyrän funktion arvoja.

Liitteen 12 taulukosta huomataan, että yhdistetyn funktion arvot ilman ominaislämpökapasiteetille ovat täsmälleen samat kuin taulukosta esitetyt arvot lämpötilapisteiden kohdilla (kohdat 100 K, 150 K... ..., 950 K). Kuvan 12 käyrän funktio antaa näissä suhteellisesti huomattavasti epätarkemman arvon. Toki on muistettava edellä mainittu oletus, että pisteiden välinen ominaislämpökapasiteetin muutos tapahtuu lineaarisesti, mikä ei tosiasiassa pidä täysin paikkaansa. Tästä huolimatta yhdistetty funktio antaa ilman ominaislämpökapasiteetille suhteellisesti huomattavasti tarkemman tuloksen, kuin kuvan 10 funktio. Yhdistetystä funktiosta saatavalla ilman ominaislämpökapasiteetin arvolla saadaan riittävän tarkka tulos LTO-järjestelmän tehon laskentaan ja tällä vähennetään järjestelmän laskennallisia epätarkkuuksia. Kuvassa 11 on esiteltynä yhdistetyn funktion käyrä ilman ominaislämpökapasiteetille.



*KUVA 11 Yhdistetty funktion käyrä ilman ominaislämpökapasiteetille*

Kun verrataan kuvan 10 ja kuvan 11 käyriä toisiinsa huomataan kuvan 11 käyrän lävistävän kaikki pistejoukon pisteet juuri pisteiden kohdalla, kun taas kuvan 11 käyrä pyrkii hieman oikaisemaan jokaisen pisteen kohdalla. Näin ollen kuvan 10 käyrän funktion antamat arvot ovat myös epätarkemmat verrattuna kuvan 11 käyrän funktion (liitteen 33 kaava 5) antamiin arvoihin. Tämä todettiin myös kahdessa edellisessä luvussa laskennallisesti (ks. liite 12). Voidaan todeta ilman ominaislämpökapasiteetin yhdistetty funktio paikkaansa pitäväksi lämpötilavälillä 100 K... 950 K (−175,15 °C... 676,85 °C).

Funktion käytössä on kuitenkin huomioitava, että celsiusasteet tulee muuttaa kelvineiksi, jotta funktio antaa oikeita arvoja. Jos halutaan tietää ilman ominaislämpökapasiteetti esimerkiksi lämpötilassa 100 °C, muutetaan lämpötila vastaamaan kelvineitä, jolloin lämpötila on 373,15 kelvineinä. Tämä lämpötila sijoitetaan liitteen 33 kaavaan 5 T:n paikalle. Kun laskenta toteutetaan näin, lämpötilassa 100 °C ilman ominaislämpökapasiteetiksi saadaan 1,0104 kJ/kg°C.

#### **4.1.6 Veden tiheys lämpötilan funktiona**

Veden tiheys on hieman riippuvainen lämpötilasta. Kylläisen veden ominaistilavuus sekä tiheys eri lämpötiloissa lämpötilavälillä  $+4\text{ °C} \dots +100\text{ °C}$  on nähtävissä liitteen 12 taulukossa. Yhdistetty funktio veden tiheydelle määritetään samalla tavoin kuin kohdassa 3.1.4. Osafunktiot, funktioiden käyrät sekä korrelaatiokertoimet ovat nähtävissä liitteessä 13. Funktion tarkistaminen veden tiheydelle toteutetaan samalla tavoin kuin kohdassa 3.1.4.3. Tulokset sekä vertailuarvot ovat nähtävissä liitteen 14 taulukoissa.

Liitteen 14 taulukosta nähdään, että yhdistetty funktio veden tiheydelle kuvaa pistejoukkoa erinomaisesti. Todetaan, että yhdistettyä funktiota veden tiheydelle voidaan käyttää teholaskennoissa. Funktio on esiteltynä myös liitteen 33 kaavakoelmassa kaavan 6 kohdalla.

#### **4.1.7 Veden entalpia lämpötilan funktiona**

Veden entalpia on riippuvainen veden lämpötilasta. Kylläisen veden entalpiat eri lämpötiloissa lämpötilavälillä  $+4\text{ °C} \dots +100\text{ °C}$  on nähtävissä liitteen 15 taulukossa.

Yhdistetty funktio veden entalpialle määritetään samalla tavoin kuin kohdassa 3.1.4. Osafunktiot, funktioiden käyrät sekä korrelaatiokertoimet ovat nähtävissä liitteessä 16.

Yhdistetyn funktion tarkistaminen veden entalpialle toteutetaan samalla tavoin kuin kohdassa 3.1.4.3. Tulokset sekä vertailuarvot ovat nähtävissä liitteen 17 taulukoissa.

Liitteen 17 taulukosta nähdään yhdistetyn funktion veden entalpialle kuvaavan pistejoukkoa erinomaisesti. Todetaan, että yhdistettyä funktiota veden entalpialle voidaan käyttää teholaskennoissa. Funktio on esitetty myös liitteen 33 kaavakoelmassa kaavan 7 kohdalla.

## 4.2 LTO-järjestelmän teholaskennat

Lämmöntalteenottojärjestelmän teholaskennoissa käytetään normaalia systeemin tehon kaavaa. Tehon laskenta suoritetaan sekä kaavalla 8 että kaavalla 9 (6, s.95).

$$\phi = q_v \cdot \rho_{k.a.} \cdot c_{p\ k.a.} \cdot \Delta T$$

KAAVA 8

$q_v$             *Fluidin tilavuusvirta*

$\rho_{k.a.}$             *Fluidin keskimääräinen tiheys lämpötilavälillä  $\Delta T$*

$c_{p\ k.a.}$             *Fluidin keskimääräinen ominaislämpökapasiteetti lämpötilavälillä  $\Delta T$*

$\Delta T$             *Fluidin lämpötilaero sisääntulon ja ulostulon välillä ( $T_{in} - T_{out}$ )*

$$\phi = q_v \cdot \rho_{k.a.} \cdot (h_{in} - h_{out})$$

KAAVA 9

$h_{in}$             *Sisään tulevan fluidin entalpia ( $h_{in} = c_{p\ in} \cdot T_{in}$ )*

$h_{out}$             *Ulos menevän fluidin entalpia ( $h_{out} = c_{p\ out} \cdot T_{out}$ )*

Kaavat ovat esiteltyinä myös liitteessä 33. Laskennat suoritetaan Excel-laskentaohjelmaa apuna käyttäen. Seuraavissa luvuissa on esitetty koko LTO-järjestelmän teholaskennat komponentti kerrallaan.

### 4.2.1 Tuloilmakone FL-100:n tehontarve eri ulkolämpötiloissa

Etyleeniglykoli tulee tuloilman nestepuolen lämmityspatterille lämpötilassa 35 °C. Tuloilmakoneen FL-100 (liite 1/5) lämmityspatterille tulevan etyleeniglykolin tilavuusvirta on 0,004 m<sup>3</sup>/s. Lämmityspatterilta lähtevän ilmapuolen ilman lämpötilan tulee olla vakio 25 °C. Tuloilmakoneen FL-100 ilman tilavuusvirta on 10 m<sup>3</sup>/s.

Tehdään oletus, että etyleeniglykolin luovuttaessa lämpönsä tuloilmaan lämpöpölväviöt ovat merkityksettömän pienet. Oletuksesta seuraa, että nestepuolen ja ilmapuolen tehoarvojen tulee olla samat.

Yhteenvetona tiedetään seuraava.

- etyleeniglykoli:
  - tulolämpötila  $+35\text{ °C}$  ja tilavuusvirta  $0,004\text{ m}^3/\text{s}$  (vakio-oletus).
  - funktio tiheydelle eri lämpötiloissa
  - funktio ominaislämpökapasiteetille eri lämpötiloissa
- ilma:
  - lähtevän ilman lämpötila  $+25\text{ °C}$  ja tilavuusvirta  $10\text{ m}^3/\text{s}$  (vakio-oletus)
  - funktio tiheydelle eri lämpötiloissa
  - funktio ominaislämpökapasiteetille eri lämpötiloissa
- neste- ja ilmapuolen tehoarvot yhtä suuret.

Ainoa, mikä vaikuttaa tarvittavaan lämmitystehoon, on näin ollen ulkoilman lämpötila. Kaavaa 8 apuna käyttäen ja edellä mainitut oletukset tehden voidaan laskea ilmapuolen tarvitsema lämmitysteho eri lämpötiloissa. Koska lämmityspatterin nestepuolen teho tulee olla sama kuin ilmapuolen teho, voidaan iteroimalla rakentaa funktio ulkoilman lämpötilan sekä lämmityspatterista poistuvan etyleeniglykolin välille.

### **Funktion rakentaminen iteroimalla**

Tehdään oletus, että kylmin mahdollinen ulkolämpötila on  $-25\text{ °C}$ . Koska lämmityspatterilta lähtevän ilman lämpötila tulee olla  $+25\text{ °C}$  ja ilman tilavuusvirta on  $10\text{ m}^3/\text{s}$ , voidaan kaavaa 8 käyttämällä ratkaista tuloilman lämmittämiseen vaadittava maksimaalinen lämmitystehontarve.

Lähtöarvot taulukoidaan iteroinnin helpottamiseksi. Lähtöarvot ovat esiteltyinä taulukossa

TAULUKKO 2 Lämmityspatteri FL100-1:n lähtötiedot

Ilmapuoli			Nestepuoli		
T <sub>in</sub>	-25,0	°C	T <sub>in</sub>	35	°C
q <sub>v</sub>	10,0	m <sup>3</sup> /s	q <sub>v</sub>	0,004	m <sup>3</sup> /s
T <sub>out</sub>	25,0	°C	T <sub>out</sub>	?	°C

Kuten taulukosta 2 nähdään, lämmityspatterilta lähtevän nesteen lämpötilaa ei tiedetä. Kuitenkin kohdan 4.2.1 oletuksilla sekä tehon kaavalla 8 voidaan lähtevän nesteen lämpötila ratkaista.

Aiemmissa luvuissa ratkaistiin funktiot ilman tiheydelle sekä ominaislämpökapasiteetille eri lämpötiloissa. Koska patteriin sisään tulevan ja ulos lähtevän ilman lämpötilat tiedetään, voidaan määrittää näiden lämpötilojen välinen keskilämpötila, joka on tässä tilanteessa 0,0 °C. On huomioitava, että laskennoissa käytetään kaavan 8 mukaan keskimääräisiä tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin arvoja välillä  $\Delta T$ . Ilman tiheys ja ominaislämpökapasiteetti ratkaistaan liitteen 33 kaavoilla 4 ja 5.

Ilmapuolen teho (kaava 8)

$$\phi = 10,0 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,0039 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (25 - (-25))^\circ\text{C} = 649,02 \text{ kW}$$

Lämpötilavälillä -25 °C... +25 °C keskimääräinen ilman tiheys on 1.293 kg/m<sup>3</sup> ja keskimääräinen ilman ominaislämpökapasiteetti 1,0039 kJ/kg°C. Ilmapuolen tehoksi saadaan näin ollen 649,02 kW.

Tästä enteenpäin laskenta suoritetaan Excel-laskentaohjelmalla iteroinnin helpottamiseksi. Tulokset taulukoidaan taulukkoon 3.



TAULUKKO 3 Lämmityspatteri FL100-1:n laskentatulokset

Ilmapuoli				
Tkeskia	Tkeskia	cpkeskia	pkeskia	LTO:n teho
K	°C	kJ/kg°C	kg/m3	kW
273,15	0	1,0039	1,293	649,02
Nestepuoli				
T1	Tkeskia	cpkeskia	pkeskia	LTO:n teho
°C	°C	kJ/kg°C	kg/m3	kW
?	?	?	?	642,02

Kuten taulukosta 3 nähdään, ilmapuolen sekä nestepuolen tehot tulee olla samat. Koska nestepuolen funktiot etyleeniglykolin tiheydelle ja ominaislämpökapasiteetille (liitteen 33 kaavat 2 ja 3) tiedetään, kuten myös nesteen sisääntulolämpötila ja tarvittava teho, voidaan nesteen ulostulolämpötila määrittää kokeilemalla eli iteroimalla.

Iterointi suoritetaan käyttämällä kaava 8 ja tekemällä valistuneita arvauksia nesteen ulostulolämpötilalle niin kauan, että nestepuolen ja ilmapuolen tehojen erotus on nolla. Nesteen keskilämpötila lasketaan keskiarvona sisääntulo- ja ulostulolämpötilan välillä, ja tämä funktio on syötettynä suoraan Exceliin. Liitteen 33 kaavat 2 ja 3 sekä kaava 8 on myös syötetty Exceliin. Kuvassa 12 on esiteltynä iterointia Excelissä.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		FL100/1					FL100/1		
2		Ilmapuoli							
3	Tin	-25,0 °C					Ilmapuoli		
4	qv	10,0 m3/s			Tkeskia	Tkeskia	cpkeskia	pkeskia	LTO:n teho
5	Tout	25 °C			K	°C	kJ/kg°C	kg/m3	kW
6		Nestepuoli			273,15	0,00	1,0039	1,293	649,02
7	Tin	35 °C							
8	qv	0,004 m3/s							
9	Tout	-8,00 °C							
10					T1	Tkeskia	cpkeskia	pkeskia	LTO:n teho
11					°C	°C	kJ/kg°C	kg/m3	kW
12					-8,00	13,5	3,538	1055,02	642,02
13									
14					Ilmapuoli	Nestepuoli	Erotus		
15					Teho	Teho	kW		
					649,02	642,02	7,00		

KUVA 12 Nesteen ulostulolämpötilan määrittäminen iteroimalla (FL100-1)

Kuvassa 12 nähdään valistuneen arvauksen (solu B9) olevan lähellä oikeaa, sillä ilmapuolen teho on vain 7,00 kW suurempi kuin nestepuolen teho. Nestepuolen sisään- ja ulostulon erotuksen täytyy kasvaa, jotta nestepuolen teho kasvaa. Toisin sanottuna lämpöpatterista poistuvan nesteen lämpötila on matalampi kuin – 8,00 °C. Iterointia jatketaan, kunnes ilma- ja nestepuolen tehot vastaavat toisiinsa. Patterista poistuvan nesteen lämpötilaksi saadaan –8,47 °C. Lopullinen iterointi on esiteltynä kuvassa 13.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		FL100/1			FL100/1				
2		Ilmapuoli							
3	Tin	-25,0	°C		Ilmapuoli				
4	qv	10,0	m3/s		Tkeskia	Tkeskia	cpkeskia	pkeskia	LTO:n teho
5	Tout	25	°C		K	°C	kJ/kg°C	kg/m3	kW
6		Nestepuoli			273,15	0,00	1,0039	1,293	649,02
7	Tin	35	°C						
8	qv	0,004	m3/s		Nestepuoli				
9	Tout	-8,47	°C		T1	Tkeskia	cpkeskia	pkeskia	LTO:n teho
10					°C	°C	kJ/kg°C	kg/m3	kW
11					-8,47	13,3	3,538	1055,11	649,02
12									
13					Ilmapuoli	Nestepuoli	Erotus		
14					Teho	Teho	kW		
15					649,02	649,02	0,00		

KUVA 13 Nesteen ulostulolämpötilan tarkka-arvo

Nyt kun tuloilman maksimilämmitysteho (649,02 kW) sekä patterilta ulos tulevan etyleeniglykolin lämpötila (kuvasta 16 solun B9 arvo, joka on –8,47 °C) tiedetään, voidaan samalla tavalla määrittää tuloilman lämmittämiseen tarvittava teho sekä patterilta poistuvan nesteen lämpötila eri ulkolämpötiloissa. Tämä suorittamalla saadaan liitteen 18 mukainen taulukko, josta voidaan rakentaa funktio ulkoilman sekä patterilta poistuvan etyleeniglykolin lämpötilan välille. Funktio rakennetaan samalla tavalla kuin kohdassa 4.1.4.

FL100/1:n neste ulkoilman funktiona -yhdistetyn funktion osafunktiot sekä funktion tulosten vertailu ovat nähtävissä liitteissä 19 ja 20. Liitteen 20 vertailusta nähdään FL100/1:n kuvaavan pistejoukkoa erinomaisesti. Funktiota voidaan näin ollen käyttää LTO-järjestelmän tehon laskennassa. Funktiota esittävä kaava on nähtävissä liitteessä 33 kaavan 10 kohdalla.

#### 4.2.2 Tuloilmakone TK80-4:n tehontarve eri ulkolämpötiloissa

Lähtötiedot TK80-4:n (liite 1/6) tuloilman lämmityspatterille:

- etyleeniglykoli:
  - tulolämpötila on +35 °C ja tilavuusvirta 0,0015 m<sup>3</sup>/s (vakio-oletus)
- ilma:
  - lähtevän ilman lämpötila on +25 °C ja tilavuusvirta 10 m<sup>3</sup>/s (vakio-oletus)
- neste- ja ilmapuolen tehoarvot ovat yhtä suuret
- lämmityspatteriin sisään tulevan ilman minimilämpötila on –22 °C.

Tuloilmakoneen tehontarve eri ulkolämpötiloissa sekä neste ulkoilman funktiona -yhdistetty funktio ratkaistaan samalla tavalla kuin luvussa 4.2.1. Kuvassa 14 ovat esiteltyinä tuloilmapatterin maksimitehontarve (solu I23) sekä ulosvirtaavaan nesteen lämpötila (solu B26) em. olosuhteissa.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
18	TK 80-4				TK 80-4				
19	Ilmapuoli								
20	T <sub>in</sub>	-22,0 °C			Ilmapuoli				
21	q <sub>v</sub>	4,00 m <sup>3</sup> /s			T <sub>keskia</sub>	T <sub>keskia</sub>	cp <sub>keskia</sub>	p <sub>keskia</sub>	LTO:n teho
22	T <sub>out</sub>	25,0 °C			K	°C	kJ/kg°C	kg/m <sup>3</sup>	kW
23	Nestepuoli				274,65	1,50	1,0040	1,286	242,74
24	T <sub>in</sub>	35 °C							
25	q <sub>v</sub>	0,0015 m <sup>3</sup> /s			Nestepuoli				
26	T <sub>out</sub>	-7,93 °C			T <sub>1</sub>	T <sub>keskia</sub>	cp <sub>keskia</sub>	p <sub>keskia</sub>	LTO:n teho
27					°C	°C	kJ/kg°C	kg/m <sup>3</sup>	kW
28					-7,93	13,5	3,538	1055,01	242,74
29									
30					Ilmapuoli Nestepuoli Erotus				
31					Teho	Teho	kW		
32					242,74	242,74	0,00		

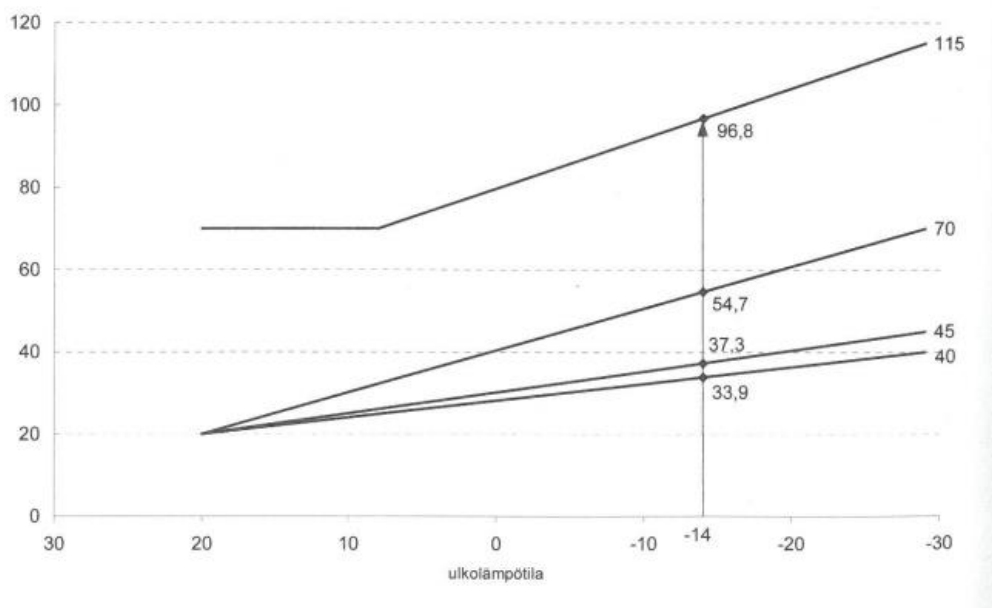
KUVA 14 Tuloilmakone TK80-4:n maksimitehon tarve sekä ulos virtaavan nesteen lämpötila

TK80-4:n neste ulkoilman funktiona -yhdistetyn funktion osafunktiot sekä funktion tulosten vertailu ovat nähtävissä liitteissä 22 ja 23. Liitteen 23 vertailusta nähdään TK80-4:n kuvaavan pistejoukkoa lähes erinomaisesti. Funktiota voidaan näin ollen käyttää LTO-järjestelmän tehon laskennassa. Funktiota esittävä kaava on nähtävissä liitteessä 33 kaavan 10 kohdalla.

#### 4.2.3 Lämmönsiirtimen tehontarve eri ulkolämpötiloissa

Lämmönsiirtimen LS1:n tarkoituksena on nostaa patteriverkoston kattilalle palaa-  
van veden lämpötilaa, jolloin kattilan lämmitystarve laskee. Lämmönsiirtimen en-  
siöpuolen toiminta-alue on +30:sta +35 °C:seen. Järjestelmän PI-kaavio on esi-  
teltynä liitteessä 1/4.

Lämmönsiirtimen ensiöpuolella kiertää etyleeniglykoli ja toisiopuolella kylläinen  
vesi. Koska LTO-järjestelmässä etyleeniglykolin lämpötila on korkeimmillaan +35  
°C, sen lämpökapasiteetti on hyvin rajallista. Esimerkiksi kaukolämpöjärjestel-  
mässä toisiopuoli eli patteriverkoston puoli mitoitetetaan meno- ja paluuveden  
osalta niin, että menoveden lämpötila on +70 °C ja paluuveden lämpötila +40 °C.  
Kuvassa 15 ovat esiteltynä kaukolämpölämmitteisen patteriverkoston säätö-  
käyrät.

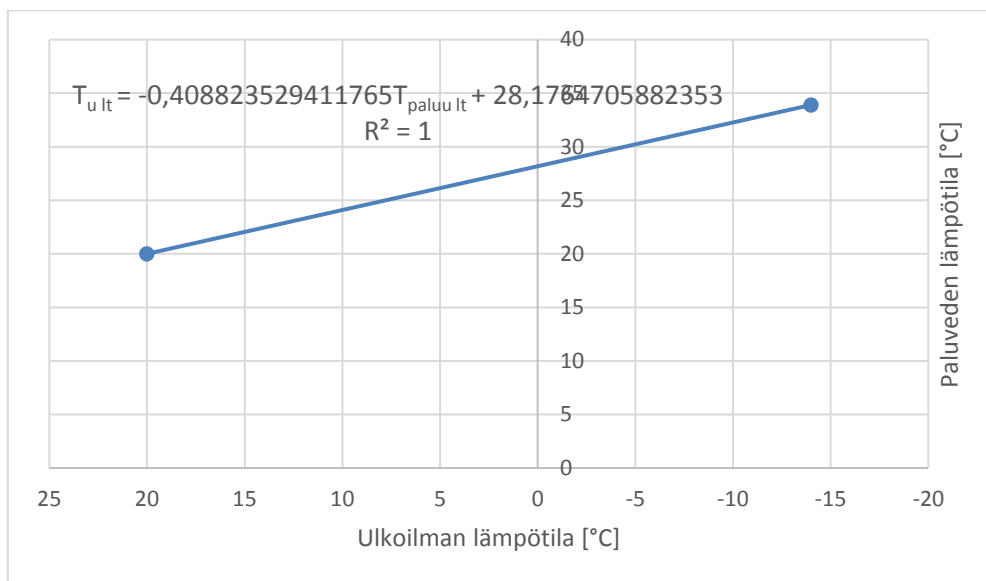


KUVA 15 Patteriverkoston säätökäyrät (7, s.64)

Luvun 3 alussa todettiin, että LTO-järjestelmän tekniset tiedot ovat salassa pidet-  
täviä ja tarkoituksena onkin vain osoittaa, kuinka minkä tahansa LTO-järjestel-  
män suorituskyky voidaan todentaa teoreettisesti. Tästä johtuen käytetään las-  
kennassa järjestelmän patteriverkoston mitoituslämpötiloina menovedelle +70 °C

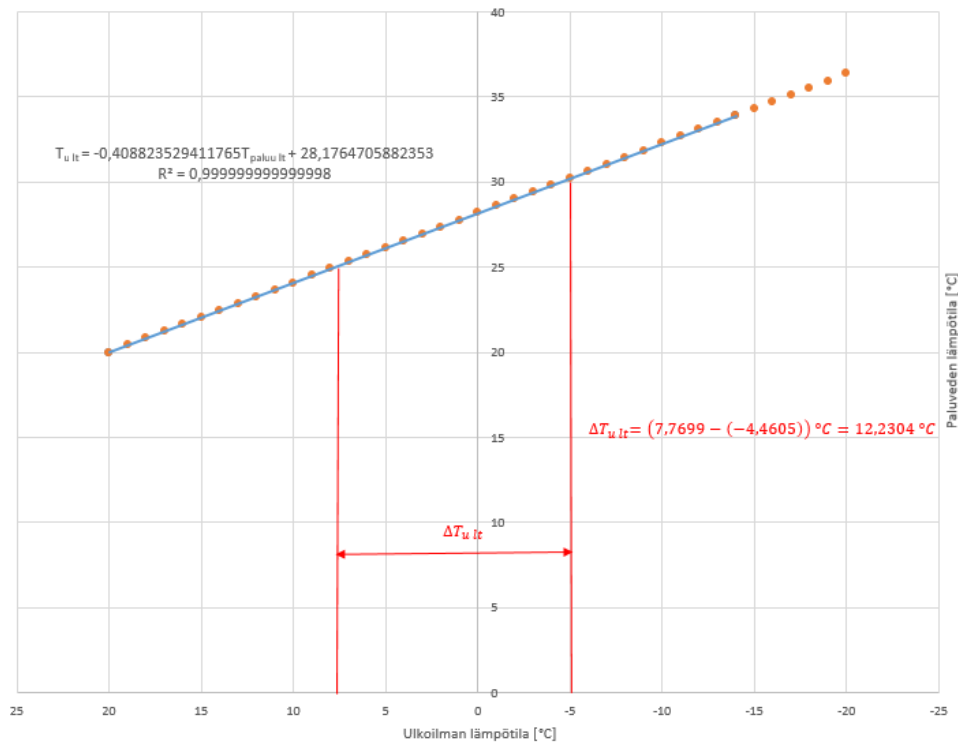
ja paluuvedelle +40 °C. Näin ollen kuvan 15 esiintyvät ensiöpuolen lämpötilat 115/45 jätetään kokonaan huomiotta.

Kuten kuvasta 15 nähdään, vesipuolen paluulämpötila muuttuu lineaarisesti ulkolämpötilan muuttuessa. Pisteet, jotka varmasti tiedetään, ovat ulkolämpötilassa +20 °C (+20; +20) ja –14 °C (–14; 33,9). Asetetaan pisteet koordinaatistoon, piirretään pisteiden välille lineaarinen suora ja määritetään suoran funktio (liitteen 33 kaava 12) sekä korrelaatiokerroin. Tämä on esiteltynä kuvassa 16.



*KUVA 16 Paluuveden lämpötila ulkoilman lämpötilan funktiona*

Kun funktio ulkoilman lämpötilan määrittämiseen on saatavilla (kuva 16), tehdään oletus, että suora jatkuu lineaarisesti lämpötilapisteeseen –20 °C asti, ja määritetään sen avulla patteriverkoston paluuveden lämpötila ulkoilman lämpötilavälille –20°C... +20 °C. Ulkoilman lämpötilat sekä niitä vastaavat patteriverkoston paluulämpötilat ovat esiteltyinä liitteen 24 taulukossa. Asetetaan liitteen 24 lämpötilapisteeset kuvan 19 koordinaatistoon, saadaan kuvan 17 mukainen koordinaatisto.



KUVA 17 Liitteen 24 pistejoukon lisääminen kuvan 16 suoran yhtälöön

Jotta lämmönsiirtimen ensiöpuolen etyleeniglykolin lämpöä voidaan järkevästi hyödyntää toisiopuolen eli patteriverkostosta palaavan veden lämmittämiseen, paluuveden matalin lämpötila tulee olla +25 °C. Paluuveden lämpötilaa +25 °C vastaava ulkolämpötila on näin ollen liitteen 24 mukaan 7,7699 °C. Tässä ulkolämpötilassa on järkevämpää käyttää LTO-järjestelmästä vapautuvaa lämpöä tuuloilman lämmittämiseen, koska lämmityspatterijärjestelmän vesi varaa lämpöä itseensä huomattavasti enemmän kuin ilma, ja näin ollen sen säätömahdollisuus ei ole niin helppoa. On myös huomioitava lämmönsiirtimen toisiopuolelle tulevan etyleeniglykolin lämpötila, joka on suhteellisen alhainen +35 °C. Tästä syystä määritetään paluuveden maksimilämpötilaksi +30 °C, joka vastaa liitteen 24 mukaan -4,459 °C ulkolämpötilaa. Näin ollen lämmönsiirtimen toiminta-alue on -4,459:sta +7,7228 °C:seen.

Kun edellä mainitut toimenpiteet on suoritettu, voidaan määrittää funktio lämmönsiirtimeltä lähtevän etyleeniglykolin lämpötilan sekä patteriverkostolta tulevan veden lämpötilan välille. Tämän jälkeen voidaan määrittää funktio lämmönsiirtimeltä lähtevän etyleeniglykolin sekä ulkoilman lämpötilan välille.

Funktio määritetään lämmönsiirtimeltä lähtevän etyleeniglykolin ja siirtimelle tulevan (patteriverkostosta palaavan) veden välille samalla tavoin kuin luvussa 4.2.1.

Lähtötiedot lämmönsiirrin LS1:lle (liite 1/4):

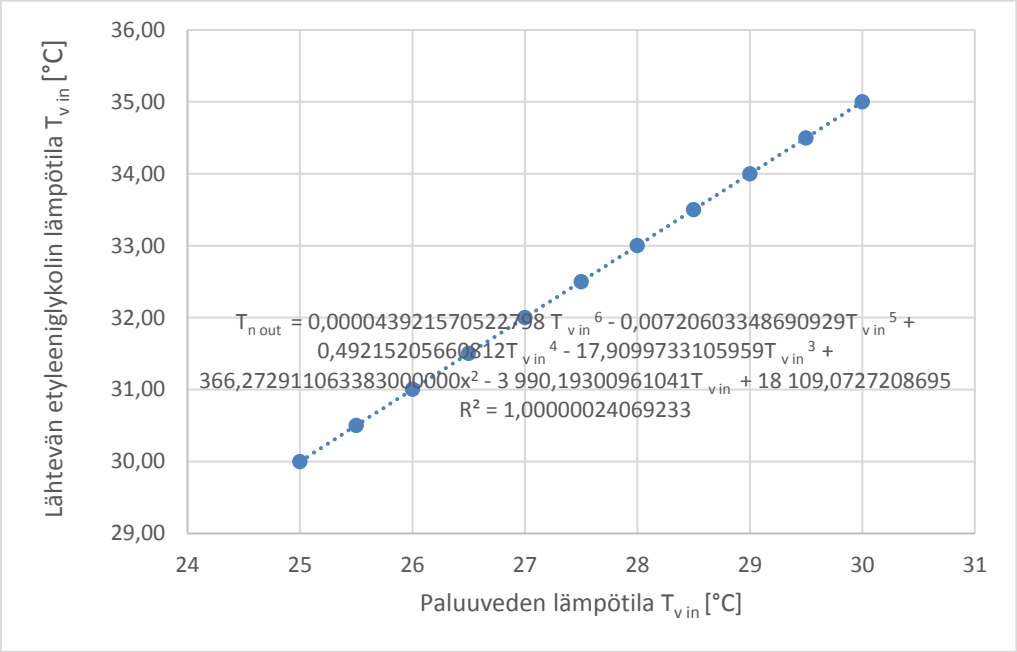
- Etyleeniglykoli:
  - tulolämpötila on +35 °C ja tilavuusvirta on 0,002261 m<sup>3</sup>/s (vakio-oletus).
  - funktio tiheydelle eri lämpötiloissa
  - funktio ominaislämpökapasiteetille eri lämpötiloissa.
- Kylläinen vesi:
  - lähtevän veden lämpötila on +30 °C ja tilavuusvirta on 0,0025 m<sup>3</sup>/s (vakio-oletus).
  - funktio tiheydelle eri lämpötiloissa
  - funktio entalpialle eri lämpötiloissa.
- Ensiöpuolen (etyleeniglykoli) ja toisiopuolen (kylläinen vesi) tehoarvot yhtä suuret.
- Lämmönsiirtimeen sisään tulevan veden minimilämpötila +25 °C ja maksimilämpötila +30 °C.

Lasketaan maksimitehon arvot kaavalla 9 saadaan kuvan 18 mukaiset arvot.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
35	<b>LS1</b>				<b>LS1</b>				
36	<b>Vesipuoli</b>								
37	<b>T<sub>in</sub></b>	25,0	°C		<b>Vesipuoli</b>				
38	<b>q<sub>v</sub></b>	0,00226	m <sup>3</sup> /s		<b>T<sub>keskia</sub></b>	<b>h<sub>in</sub></b>	<b>h<sub>out</sub></b>	<b>p<sub>keskia</sub></b>	<b>LTO:n teho</b>
39	<b>T<sub>out</sub></b>	30	°C		°C	kJ/kg°C	kJ/kg°C	kg/m <sup>3</sup>	kW
40	<b>Etyleenipuoli</b>				27,5	125,79	104,89	996,44	<b>47,09</b>
41	<b>T<sub>in</sub></b>	35,0	°C						
42	<b>q<sub>v</sub></b>	0,00250	m <sup>3</sup> /s		<b>Etyleenipuoli</b>				
43	<b>T<sub>out</sub></b>	30,00	°C		<b>T<sub>out</sub></b>	<b>T<sub>keskia</sub></b>	<b>cp<sub>keskia</sub></b>	<b>p<sub>keskia</sub></b>	<b>LTO:n teho</b>
44					°C	°C	kJ/kg°C	kg/m <sup>3</sup>	kW
45					30,00	32,50	3,5970	1047,320	<b>47,09</b>
46									
47					<b>Ilmapuoli</b>	<b>Nestepuoli</b>	<b>Erotus</b>		
48					<b>Teho</b>	<b>Teho</b>	<b>kW</b>		
49					47,09	47,09	0,00		

KUVA 18 Lämmönsiirtimeen LS1:n maksimaalinen teho

Kuvasta 18 nähdään lämmönsiirtimen maksimitehon olevan 47,09 kW (solu I40).  
 Lämmönsiirtimen LS1 lähtevän etyleeniglykolin lämpötila paluuveden lämpötilan  
 funktiona -käyrä, käyrän funktio sekä korrelaatiokerroin ovat nähtävissä kuvassa  
 19.



*KUVA 19 Lähtevän etyleeniglykolin lämpötila paluuveden lämpötilan funktiona*

Funktion tulosten vertailu sekä tehot eri lämpötiloissa ovat nähtävissä taulukossa  
 4.

*TAULUKKO 4 Kuvan 22 funktion tulosten vertailu sekä tehot eri lämpötiloissa*

Teho	Vesi	Ety.gly.	Ety.gly.*	Erotus
Φ	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>out</sub> *	T <sub>out</sub>
kW	°C	°C	°C	°C
47,09	25,00	30,00	30,00	0,00
42,38	25,50	30,50	30,50	0,00
37,66	26,00	31,00	31,00	0,00
32,95	26,50	31,50	31,50	0,00
28,24	27,00	32,00	32,00	0,00
23,54	27,50	32,50	32,50	0,00
18,83	28,00	33,00	33,00	0,00
14,12	28,50	33,50	33,50	0,00
9,41	29,00	34,00	34,00	0,00
4,71	29,50	34,50	34,50	0,00
0	30,00	35,00	35,00	0,00



Taulukossa 4 \*:llä merkityn sarakkeen arvot kuvaavat kuvan 19 yhtälöstä saatavia arvoja eri lämpötiloissa. Nähdään, että funktio kuvaa pistejoukkoa erinomaisesti (erotusarvot  $T_{out}$  ovat kaikki 0,00 °C) joka lämpötilapisteessä paluuveden lämpötilavälillä +25,00 °C... +30,00 °C.

#### 4.2.4 Pölynpoiston teho eri ulkolämpötiloissa

Pölynpoistosta saatavaa lämpöä käytetään tuloilmakoneilta (FL100-1 ja TK80/4) palaavan etyleeniglykolin esilämmitykseen. Tavoitteena on nostaa etyleeniglykolin lämpötila +16,0 °C:seen ennen nesteen vientiä uunille. Pölynpoiston PI-kaavio on esitetty liitteessä 1/3.

Tuloilmakoneiden tehot eri ulkolämpötiloissa ratkaistiin kohdissa 4.2.1 ja 4.2.3. Samalla ratkaistiin funktio, jolla saadaan koneen tuloilman lämmityspatterilta poistuvan etyleeniglykolin lämpötila eri ulkolämpötiloissa. Koska koneiden nestepuolen tilavuusvirrat eivät ole samat molemmille, tulee koneilta palaavan nesteen lämpötila laskea painotettuna keskiarvona. Painotettu keskiarvo nesteen lämpötilalle määritetään liitteen 33 kaavalla 13. Näin laskettuna saadaan pölynpoistoon tulevan nesteen lämpötila eri ulkolämpötiloissa.

Kuten liitteen 1/3 PI-kaaviosta nähdään, tuloilmakoneilta tuleva etyleeniglykoli jakaantuu kolmelle eri lämmityspatterille. Lämmityspattereiden nestepuolen tilavuusvirrat ovat kaikilla samat eli (0,004 + 0,0015) m<sup>3</sup>/s jaettuna kolmella, joka on 0,001838 m<sup>3</sup>/s. Lämmityspattereiden ilmapuoli jakaantuu myös kolmeen yhtä suureen osaan. PI-kaaviossa ylimpänä esiintyvä poistokanava jakaantuu kahdeksi poistokanavaksi ja alin kanava säilyy erillisenä poistokanavana. Tilavuusvirrat näille kanaville ovat 5,667 m<sup>3</sup>/s ja lämpötila, millä ilma tulee kaikkiin kolmeen kanavaan, on sama +23 °C. Koostetaan lähtötiedot pölynpoiston lämpöpattereille:

- etyleeniglykoli:
  - tulolämpötila on em. funktioista saatava lämpötila ja tilavuusvirta 0,001838 m<sup>3</sup>/s (vakio-oletus)
- ilma:

- tulevan ilman lämpötila on +23 °C ja tilavuusvirta 5,667 m<sup>3</sup>/s (vakio-oletus).
- neste- ja ilmapuolen tehoarvot ovat yhtä suuret.

Pölynpoiston luovuttama teho eri ulkolämpötiloissa sekä neste ulkoilman funktiona -yhdistetty funktio ratkaistaan samalla tekniikalla kuin aiemmin luvussa 4.2.1. Kuvassa 20 ovat esiteltynä pölynpoiston luovuttama teho (solu H20) sekä ulosvirtaavaan ilman lämpötila (solu E6) em. olosuhteissa.

	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1		<b>Pölynpoisto</b>			<b>Pölynpoisto 1</b>						<b>Pölynpoisto 2</b>				
2		<b>Ilmapuoli</b>													
3		Tin	23,0 °C												
4		qv1	11,333 m <sup>3</sup> /s		Tkeskia	Tkeskia	opkeskia	pkeskia	Talteenotettu		Tkeskia	Tkeskia	opkeskia	pkeskia	Talteenotettu
5		qv2	5,6667 m <sup>3</sup> /s		K	°C	kJ/kg °C	kg/m <sup>3</sup>	kW		K	°C	kJ/kg °C	kg/m <sup>3</sup>	kW
6		Tout	1,4 °C		285,37	12,22	1,0047	1,2370	303,79		285,37	12,22	1,0047	1,2370	151,90
7		<b>Nestepuoli</b>													
8		T1	-6,2386 °C		<b>Patteri 1 Patteri 2</b>						<b>Patteri 3</b>				
9		T2	16,0000 °C		Tin	-6,24	-6,24	°C			Tin	-6,24	°C		
10		qv	0,00552 m <sup>3</sup> /s		Tout	16	16	°C			Tout	16	°C		
11					Tk.a.	4,9	4,9	°C			Tk.a.	4,9	°C		
12					ΔT	22,2	22,2	°C			ΔT	22,2	°C		
13					qv	0,001838	0,001838	m <sup>3</sup> /s			qv	0,001838	m <sup>3</sup> /s		
14					p.k.a.	1057,93	1057,93	kg/m <sup>3</sup>			p.k.a.	1057,93	kg/m <sup>3</sup>		
15		Tulko It	-22,0 °C		op.k.a.	3,512	3,512	kJ/kg °C			op.k.a.	3,512	kJ/kg °C		
16					<b>Potto</b>	<b>151,89</b>	<b>151,89</b>	<b>kW</b>			<b>Potto</b>	<b>151,89</b>	<b>kW</b>		
17					Ilmapuoli	Nestepuoli	Erutus				Ilmapuoli	Nestepuoli	Erutus		
18					Teho	Teho	kW				Teho	Teho	kW		
19					303,79	303,78	0,01				151,90	151,89	0,01		
20															

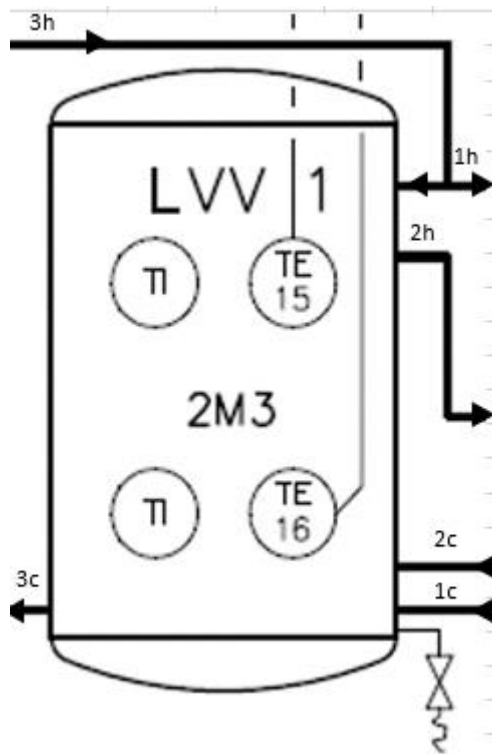
KUVA 20 Pölynpoiston luovuttama teho sekä poistuvan ilman lämpötila

Ratkaistaan funktio pölynpoistosta poistuvan ilman lämpötilalle samalla tavalla kuin aiemmin. Pölynpoiston poistoilma ulkoilman funktiona -yhdistetyn funktion osafunktiot sekä funktion tulosten vertailu ovat nähtävissä liitteissä 25 ja 26. Liitteen 26 vertailusta nähdään funktion kuvaavan pistejoukkoa erinomaisesti. Voidaan todeta teholaskennan toteutuneen oikein pölynpoistosta saatavan tehon osalta. Liitteessä 26 pp1 edustaa pölynpoiston lämmityspattereita 1 ja 2 ja pp2 pölynpoiston lämmityspatteria 2. Funktiota esittävä kaava on nähtävissä liitteessä 33 kaavan 14 kohdalla.

#### 4.2.5 Varaaja

Varaajan tarkoituksena on toimia tehopiikkien tasoittajana. Jos tarjolla on ylijäämätehoa, voidaan osa tehosta ladata varaajaan myöhempää käyttöä varten. Toisaalta, jos järjestelmän toisiopuolen tehon kulutus on enemmän kuin ensiöpuolen tuottama teho, voidaan varaaja käyttää tasoittamaan toisio- ja ensiöpuolen tehoeroja.

Laskennassa varaaja jätetään huomiotta, sillä kuten edellä mainittiin, se toimii vain tehopiikkien tasoittajana, eikä sillä näin ole suurta merkitystä LTO-järjestelmän suorituskykylaskennan kannalta. Hyödynnetään kuitenkin varaajaan tulevien ja siitä lähtevien nestevirtausten suuruuksia sekä lämpötiloja laskennassa. Merkitään varaajaan tulevien sekä varaajasta lähtevien nestevirtaukset kuvan 21 mukaisesti.



*KUVA 21 Varaajan tulevien sekä siitä lähtevien virtauksien suunnat sekä merkinnät*

Kuvassa 21 esiintyvä merkinnät tarkoittavat seuraavaa

- 1h on tuloilmakoneille menevä kuuma neste
- 1c on tuloilmakoneilta tai pölynpoistosta palaava viileä neste
- 2h on lämmönsiirtimelle LS1 menevä kuuma neste
- 2c on lämmönsiirtimeltä LS1 palaava viileä neste
- 3h on uunilta palaava kuuma neste
- 3c on uunille menevä viileä neste.

Kohdassa 1c on huomioitava, että se kumman yksikön kautta neste palaa varaajaan, riippuu kolmitieventtiilin TV13 asennosta (liite 1/2). Venttiilin asennon määrittää lämpöanturi TE17. Jos tuloilmakoneilta palaavan nesteen lämpötila ylittää +16 °C, venttiili sulkee pölynpoistoon menevän sekä sieltä tulevan virtauksen, jolloin viilentynyt neste palaa varaajaan suoraan tuloilmakoneilta.

Myös kohtia 2h ja 2c on syytä tarkkailla, sillä jos patteriverkoston paluuveden lämpötila ylittää +30 °C, ei etyleeniglykolipuolen lämmityspotentiaali riitä nostamaan paluuveden lämpötilaa. Liitteestä 1/4 nähdään, että lämpötila-anturilla TE33 mitataan lämmönsiirtimelle tulevan ja lämpötila-anturilla T32 sieltä palaavan veden lämpötilaa. Jos antureiden ilmoittamien lämpötilojen erotus on 0,0 °C (tilanteessa, jossa ulkolämpötila on alle –4,458 °C. ks. kohta 4.2.3), pumpput P30 ja P31 pysähtyvät, ensiö- ja toisiopuolen venttiilit sulkeutuvat ja patteriverkostosta palaava vesi virtaa suoraan patteriverkoston lämmityskattilaan. Toisaalta jos lämpötila-anturin TE33 mittaaman patteriverkoston paluuveden lämpötila on alle + 25,0 °C, tarkoittaa se, että vaikka lämmityspotentiaalia onkin, ulkolämpötila on vain + 7,7229 °C ja on järkevämpää käyttää LTO-järjestelmästä saatava lämpöä tuloilman lämmittämiseen. Myös tässä tilanteessa pumpput pysähtyvät ja venttiilit sulkeutuvat. Muodostetaan kuvaa 21 vastaava taulukko, jossa nähdään kunkin tulevan sekä lähtevän virtauksen tilavuusvirtaus sekä lämpötila.

*TAULUKKO 5 Varaajalle tulevat ja varaajalta lähtevät tilavuusvirtaukset sekä lämpötilat esimerkki ulkolämpötilassa –22,0 °C*

VARAAJA					
Kylmäpuoli tulevat			Kuumapuoli lähtevät		
T1c	16,00	°C	T1h	35,00	°C
qv1c	0,0055	m3/s	qv1h	0,0040	m3/s
T2c	35,00	°C	T2h	35,00	°C
qv2c	0,0025	m3/s	qv2h	0,0000	m3/s
Uunilta tuleva			Uunille menevä		
T3h	35,0	°C	T3c	16,00	°C
qv3h	0,0055	m3/s	qv3c	0,0055	m3/s

Kun taulukon 5 mukainen taulukkopohja on rakennettu, lisätään edellä mainitut asiat Excelin IF- ja AND-lauseilla taulukkopohjaan, jolloin varaajaan tulevien ja siitä lähtevien virtauksien suuruudet ovat määriteltynä. Aiemmissa luvuissa on määritetty funktiot eri komponenteilta palaavien etyleeniglykolin lämpötiloille vaihtelevissa ulkolämpötiloissa, joten tiedot niille voidaan poimia näistä luvuista.

Kun funktio uunille menevän nesteen lämpötilalle eri ulkolämpötiloissa sekä tilavuus virta tiedetään, voidaan määrittää uunilta tarvittava teho. Tämä onkin viimeinen LTO-järjestelmän komponentti, joka tulee selvittää ja se suoritetaan seuraavassa luvussa.

#### **4.2.6 Uunilta saatava teho eri ulkolämpötiloissa**

Laskennan yksinkertaistamiseksi oletetaan savukaasu ilmaksi, sillä ilman ominaislämpökapasiteetit sekä tiheydet eri lämpötiloissa ovat tiedossa. Myös savukaasulle voidaan määrittää tiheyden sekä ominaislämpökapasiteetin funktiot lukujen 4.1.4 ja 4.1.5 osoittamilla tavoilla. Tähän tarvitaan savukaasun tiheydet sekä ominaislämpökapasiteetit eri lämpötiloissa. Kuitenkin työn tarkoituksena on osoittaa, miten LTO-järjestelmän suorituskky voidaan määrittää, joten tehon laskentateknikka uunille ei muutu, on kyseessä sitten ilma tai savukaasu.

Uunilta tulevalla savukaasulla on tarkoitus nostaa lämminvesivaraajalta tulevan nesteen lämpötila lopulliseen +35,0 °C:seen. Kuten aiemmassa luvussa kerrottiin varaajalle ja sitä kautta uunille tulevaan tilavuusvirtaan vaikuttaa patteriverkoston paluuv veden lämpötila, sillä ulkoilman lämpötila määrää käytetäänkö LTO-järjestelmän energiaa patteriverkoston paluuv veden esilämmittämiseen. Perustelut ovat nähtävissä edellisessä luvussa. Uunin PI-kaavio on esiteltynä liitteessä 1/2.

Määritetään lähtötiedot uunille, jotka ovat seuraavat:

- Etyleeniglykoli puoli:
  - Tulolämpötila on varaajalta uunille tulevan nesteen lämpötila (funktiot määritetty aiemmissa kappaleissa) ja tilavuusvirta on joko 0,00552 m<sup>3</sup>/s tai 0,00802 m<sup>3</sup>/s riippuen, käytetäänkö patteriverkoston paluuv veden esilämmitystä.
- Savukaasu puoli:

- tulevan savukaasun lämpötila 120 °C ja tilavuusvirta 5,0 m<sup>3</sup> (vakiooletukset)
- laskennassa käytetään ilman funktioita.
- Ensimmäisen puolen (savukaasu) ja toisen puolen (etyleeniglykoli) tehoarvot yhtä suuret.

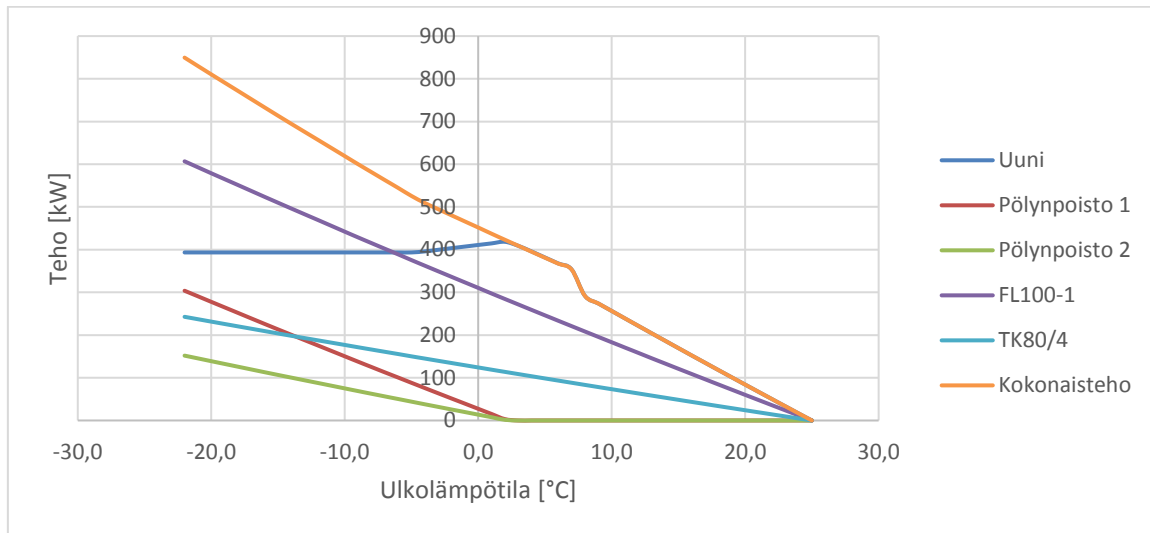
Lämmöntalteenottopatterilta poistuvan savukaasun (ilman) lämpötila ratkaistaan samalla tavoin kuin aiemmissa luvuissa. Saadaan liitteen 27 mukainen taulukko, josta koostetaan osafunktiot ja sitä kautta yhdistettyfunktio patterilta poistuvalla savukaasun lämpötilalle. Savukaasun osafunktiot on esitelty liitteessä 28. Liitteen 29 vertailusta nähdään osafunktiosta rakennettu yhdistetty funktio kuvaa pistejoukkoa täydellisesti. Savukaasun poistolämpötila ulkoilman funktiona -kaava on nähtävissä liitteen 33 kaavan 15 kohdalla.

#### **4.2.7 LTO-järjestelmän kokonaisteho eri ulkolämpötiloissa**

Kun LTO-järjestelmän kaikkien komponenttien tehot eri ulkolämpötiloissa on määritetty, voidaan määrittää järjestelmän kokonaisteho eri ulkolämpötiloissa. Rakennetaan liitteen 30/1 ja 30/2 mukaiset taulukot, joissa näkyvät kokonaisteho, jokaisen eri komponentin osatehot, ensiö- ja toisiopuolen tehoerotus sekä suhteellinen virhe eri ulkolämpötiloissa.

Kuten liitteistä 30/1 ja 30/2 nähdään, suurin heitto ensiö- ja toisiopuolen erotuksella on 0,63 kW. Tämä heitto tapahtuu ulkolämpötilassa +4,0 °C, ja suhteellinen virhe on tällöin 0,16 %. Toisaalta suurin suhteellinen virhe tapahtuu ulkolämpötilassa 24 °C, jolloin tehon arvo on 16,7 kW. Voidaan todeta laskennan virheen pysyvän alle 2 %:n. Näin ollen työkalua voidaan käyttää määrittämään LTO-järjestelmän teoreettista suorituskäkyä eri ulkolämpötiloissa suhteellisen tarkasti.

Hyödynnetään liitteistä 30/1 ja 30/2 saatavia arvoja jokaisen komponentin sekä koko LTO-järjestelmän tehokäyrien piirtämisessä. Kuvassa 22 ovat esiteltyinä jokaisen komponentin sekä LTO-järjestelmän tehokäyrät.

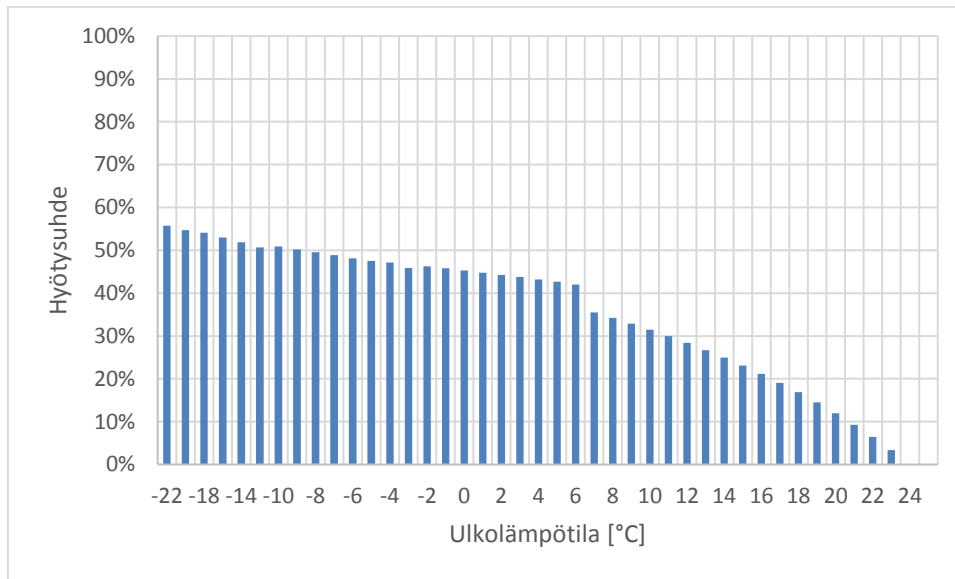


*KUVA 22 LTO-järjestelmän tehokäyrät*

Kuvasta 22 nähdään että pölynpoistosta saatava lämmitysteho on kylmällä ilmalla merkittävää, kun taas lämpimällä ilmalla (yli +2 °C) uuni hoitaa kaiken lämmityksen. Yllättävää on, että pölynpoisto putoaa pois käytöstä jo näin varhaisessa vaiheessa. Jos saatavilla on tuntikohtaiset lämpötilatiedot, voidaan edellisissä luvuissa esitetyillä tekniikoilla ratkaista LTO-järjestelmän tuottama energiansäästö jopa vuositasolla.

#### 4.2.8 LTO-järjestelmän hyötysuhde eri ulkolämpötiloissa

Uunin ja pölynpoiston tehot, kun niistä vapautuva hukkalämpö virtaa suoraan ulkoilmaan, on esitetty liitteen 31 taulukossa. Kun nämä arvot lasketaan yhteen ja tuloksella jaetaan LTO-järjestelmästä saatava teho, saadaan laskettua järjestelmän hyötysuhde eri ulkolämpötiloissa. Kuvassa 23 on esiteltynä lämmöntalteenottojärjestelmän hyötysuhde eri ulkolämpötiloissa.



*KUVA 23 Lämmöntalteenottojärjestelmän hyötysuhde eri ulkolämpötiloissa*

Kuten kuvasta 23 nähdään, LTO-järjestelmän hyötysuhde ei suinkaan ole vakio, vaan erittäin vahvasti riippuvainen ulkolämpötilasta. Kuitenkin vuotuinen keskilämpötila Suomessa Oulun korkeudella on +1 – +2 °C (8). Voidaankin tehdä oletus, että LTO-järjestelmän hyötysuhde vuositasolla on keskimäärin n. 44%.



## 5 ENERGIAANSÄÄSTÖN TODENTAMINEN

Koska asiakasyrityksen tehdaskiinteistön energiankulutus sekä tavoitesäästöt ovat salassa pidettäviä tietoja, toteutetaan energiansäästö todentaminen kuvitteelliselle tehdaskiinteistölle. Menetelmät, joita energiansäästön todentamiseen kuvitteellisessa tilanteessa käytetään, käyvät myös todellisen teollisuuskiinteistön energiansäästön todentamiseen.

### 5.1 Tehtaan nykyinen energian käyttö

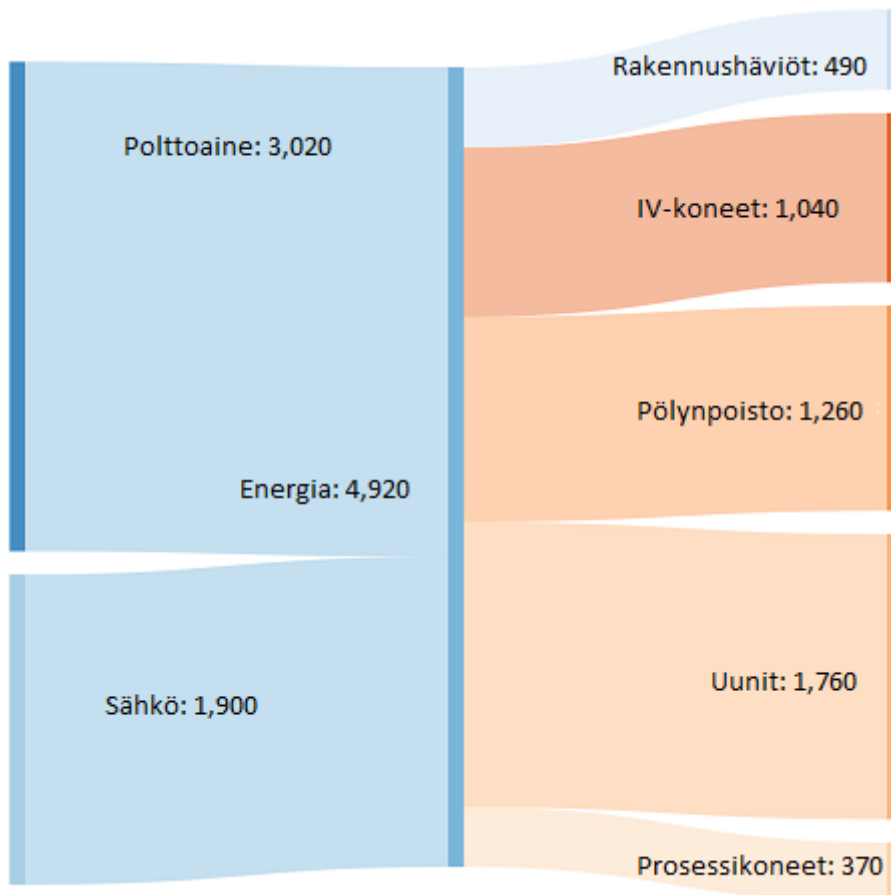
Tehdaskiinteistön ilmanvaihtojärjestelmä on jäänyt kehityksestä jälkeen, ja sen vuoksi prosessissa vaadittava pölynpoisto poistaa suuren osan halliin tuotavasta lämpöenergiasta. Myöskään IV-koneiden lämmöntalteenottojärjestelmä ei toimi tehokkaasti. Prosessissa käytettävien uunien ostoenergiasta lähes puolet karkaa suoraan poistoina ulkoilmaan. Aiemmin uunien poistoenergian talteenottoa on yritetty, mutta ongelmana on ollut kaasuvirran mukana kulkeva noki sekä muut yhdisteet, jotka likaavat lämminvaihtimet.

Aiemmin on yritetty pölynpoiston jälkeisen ilman kierrättämistä takaisin, mutta ongelmana on ollut valtava jäännöspölyn sekä kosteuden paluu halliin. IV-koneiden sekä pölynpoiston puhaltimet muodostavat suuren osan sähkön vuosikustannuksista. Laitoksen vuoden 2017 arvioitu energiankulutus on esitetty taulukossa 6 sekä laitoksen energiankulutuksen Shankey-diagrammi on esitetty kuvassa 24.

.

*TAULUKKO 6 Laitoksen vuoden 2017 arvioitu energiankulutus*

	Kiinteistö MWh	Tuotanto MWh	Yht. MWh	Yht. €
Sähkö	250	1 650	1 900,0	127 300,00
Polttoaine	1 250,5	1 772,2	3 022,7	196 475,50



KUVA 24 Laitoksen energiankulutuksen Shankey-diagrammi

## 5.2 Säästökohteet

Energiansäästö koostetaan useista eri kohteista, jolloin kokonaissäästö on huomattavan suuri. Seuraavissa luvuissa ovat esitettynä eri säästökohteet. Kuten jo aiemmin mainittiin, laskenta on kuvitteellinen, mutta laskentatekniikka soveltuu myös oikeaan kohteeseen.

### 5.2.1 Pölynpoiston poistoilman energian hyödyntäminen

#### Nykytilanne

Kuten liitteestä 1 nähdään, pölynpoisto kulkee kahden rinnakkaisen puhaltimen kautta ulkona sijaitsevalle pölysuodattimelle. Tilavuusvirtaukset näissä kanavissa

ovat  $11,33 + 5,67 = 17 \text{ m}^3/\text{s}$ , eikä näille virtauksille ole suunniteltua korvausilmatietä, joten suurin osa korvausilmasta tulee ovien sekä muiden vuotojen kautta. Tästä seuraa, että hallissa on suurehko alipaine. Pölynpoistopuhaltimet ovat sähkökäyttöisiä sekä säädettävissä olevia.

Teoreettisen laskennan mukaan (luku 4) prosessin ollessa käynnissä pölynpoistosta siirtyy jo  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ :n lämpötilassa noin  $325 \text{ kW}$ :n teho ulos. Kun lasketaan ulos siirtyvä vuotuinen hukkaenergia, saadaan lämpöpysyvyysskäyrien mukaan laskettuna arvoksi n.  $760 \text{ MWh}$ , olettaen että teollisuuskiinteistö sisälämpötila on vakio  $+17 \text{ }^\circ\text{C}$ . On myös huomioitava, että kaksi pölynpoistopuhallinta kuluttaa suuren osan tuotannon sähköstä.

### **Kehitystoimenpide**

Pölynpoiston poistovirtauksesta saatava lämpö hyödynnetään tuloilmakoneiden FL100-1 ja TK80/4 tuloilman esilämmityksessä. Koneet eivät ole aiemmin olleet käytössä, mutta niillä on toimivat kanavarakenteet. Lisätään IV-koneisiin neste-kiertoiset patterit ja siirretään pölynpoistosta saatava lämpöenergia nesteessä tulo- eli korvausilman esilämmitykseen. Tavoitehyötysuhde on tällaiselle neste-kiertojärjestelmälle (kun uuni on mukana) vuositasolla noin  $44 \%$ . Toki on huomioitava, että järjestelmän hyötysuhde on erittäin vahvasti riippuvainen ulkolämpötilasta, sillä kylmällä ilmalla saadaan suurempi hyötysuhde kuin lämpimällä.

Pölynpoistosta saatava säästö on arviolta  $325 \text{ MWh}$  vuositasolla. Tietysti on huomioitava, että poistosta saadaan lämpöä vain prosessin ollessa käynnissä. Kun prosessi ei ole käynnissä, ilmanvaihdon tarve on murto-osa ja sen hoitavissa koneissa on roottorilämmönsiirtimet hoitamassa lämmön talteenottoa.

### **Kannattavuus**

Arvoltaan poistoilman mukana poistuva lämpö on noin  $760 \text{ MWh}$  eli euroina  $760 \text{ MWh} \times 65 \text{ €/MWh} = 49\,400 \text{ €}$  olettaen, että polttoaineen hinta megawattitunnilta on  $65 \text{ €}$ . Edellä mainitulla kehitysehdotuksella saadaan säästettyä n.  $325 \text{ MWh}$  eli euroina  $325 \text{ MWh} \times 65 \text{ €/MWh} = 21\,125 \text{ €}$ . Lisäksi on huomioitava, että kun kahden suuren IV-koneen (TK80-2 ja TK80-3, liitteet 1/10 ja 1/11) säädöt saadaan kohdalleen, virtaukset tasapainottuvat ja niiden tarvitsema lämmitysenergia

putoaa vuositasolla arviolta 225 MWh. Säästää niistä tulee vuositasolla n. 14 625 €. Kokonaissäästö on näin laskettuna n. 35 750 €.

### **5.2.2 Uunin savukaasulämmön hyödyntäminen**

#### **Nykytilanne**

Uunien savukaasut poistetaan poistopuhaltimien kautta suoraan ulkoilmaan. Virtaus on suuruudeltaan 5 m<sup>3</sup>/s ja lämpöä poistuu jo 0,0 °C:n lämpötilassa n. 640 kW. Aiemmin lämpöä on yritetty ottaa talteen ilma/ilma-lamellilämmönsiirtimillä, mutta ongelmana on ollut lämmönsiirtimen likaantuminen. Näin ollen niiden käytöstä on luovuttu.

#### **Kehitystoimenpide**

Entinen lämmönsiirrinkammio poistetaan ja vaihdetaan tilalle nestekiertoinen putkipatterikammio, jolla siirretään savukaasun lämpöenergiaa nesteeseen. Samalla kammioon lisätään kiinteät pesusuuttimet, joilla putkipatterit on helppo ja nopea puhdistaa.

Patterista saatava lämpö siirretään pölynpoistolta tai tuloilmakoneilta (ulkolämpötilasta riippuvainen ks. luku 4.2.5) tulevaan nesteeseen, jossa nesteen lämpötila pyritään nostamaan lopulliseen lämpötilaan +35,0 °C. Tällöin kiertävän nesteen lämpötila saadaan riittävän korkeaksi vastaamaan tuloilmakoneiden tuloilman sekä osin myös patteriverkoston paluuveden (kun paluuveden lämpötila on riittävän matala ks. luku 4.2.3) lämmityksestä. Myös lämmitysverkoston säätöventtiilit päivitetään, jolloin verkosto saadaan säädettyä päivitetyillä venttiileillä mahdollisimman optimaaliseen lämmönjakoon. Näin lämpö saadaan jakaantumaan tarpeellisiin kohteisiin ja näin kokonaisenergiankulutus matalammaksi.

#### **Kannattavuus**

Kun savukaasuista vapautuvaa lämpöä siirretään pattereilla nesteeseen, saadaan nesteen lämpötila riittävän korkeaksi (+35,0 °C) lämmittämään tuloilmakoneiden tuloilmaa. Tällöin nykyisten IV-koneiden (TK 80-2 ja TK 80-3) virtauksia ja

tehoa voidaan pudottaa merkittävästi. On myös huomioitava, että etenkin keväisin ja syksyisin patteriverkoston paluuveden lämpötila on riittävän matala, jolloin ylijäämälämpöä voidaan siirtää myös patteriverkostoon.

Uunin poistoista siirretään vuositason energiaa noin 460 MWh, joten vuosisäästö energiankulutuksessa on tällöin  $460 \text{ MWh} \times 65 \text{ €/MWh} = 29\,900 \text{ €}$ . Lisäksi arvioidaan nykyisten IV-koneiden lämmöntarpeen putoavan 70 MWh, jonka säästövaikutus on  $70 \text{ MWh} \times 65 \text{ €/MWh} = 4550 \text{ €}$ .

### 5.2.3 IV-koneiden puhaltimien muuttaminen säätökäyttöisiksi taajuusmuuttajilla

Tuloilmakoneiden PI-kaaviot on esitelty liitteissä 1/7–1/11.

#### Nykytilanne

Nykyisin kaikki IV-koneet ovat niin sanotulla suoralla käytöllä, eikä puhaltimien tehoa pystytä näin ollen säätämään. Ainoa puhallin, jossa on kaksinopeuskäyttö, on toimistoa hoitava IV-kone. IV-koneiden käynnit sekä puhaltimien tehot on esitelty taulukossa 6.

TAULUKKO 7 IV-koneiden käynnit sekä puhaltimien tehot

Kone	TK 1		TK 2	
Tulo/Poisto	Tulo	Poisto	Tulo	Poisto
Teho [kW]	19	16	5	5
Käynti	Harvoin	Harvoin	Aina	Aina

Kone	TK 80-1		TK 80-2	
Tulo/Poisto	Tulo	Poisto	Tulo	Poisto
Teho [kW]	5	5	25	25
Käynti	Aina	Aina	Tuotanto + 1h	Tuotanto päivinä 1h,uunin

Kone	TK 80-3		TK 80-4
Tulo/Poisto	Tulo	Poisto	Tulo
Teho [kW]	16	16	8
Käynti	Aina	Kun ei tuotantoa	Aina

Laskennallisesti IV-koneiden sähkönkulutus vuodessa on n. 560 MWh. Taulukossa 8 on esitetty IV-koneiden laskennallinen kokonaissähkönkulutus kuukausitasolla.

*TAULUKKO 8 IV-koneiden laskennallinen kokonaissähkönkulutus kuukausitasolla*

	Yhteensä
Kuukausi	[MWh]
Tammikuu	46,79
Helmikuu	48,90
Maaliskuu	47,33
Huhtikuu	45,57
Toukokuu	47,67
Kesäkuu	46,42
Heinäkuu	47,97
Elokuu	48,03
Syyskuu	46,45
Lokakuu	48,07
Marraskuu	46,28
Joulukuu	46,85
Yhteensä	566,34

## Kehitystoimenpide

Ilmanvaihtokoneet säilytetään muuten ennallaan, mutta niiden puhaltimiin lisätään taajuusmuuttajat sekä niiden automaatio päivitetään. Taajuusmuuttajat lisäämällä saadaan ilmavirtaukset säädetty tarpeita vastaaviksi sekä minimoitua tehontarve tuotannon ollessa osittain tai ei lainkaan käynnissä.

## Kannattavuus

Kun kaikkiin IV-koneisiin lisätään taajuusmuuttajat, saadaan niiden tehontarve minimoitua. Tämä tulee suoraan näkymään sähkölaskussa, mutta IV-koneiden osuutta laskusta ei suoraan voida erotella. Laskennallisesti voidaan kuitenkin arvioida kulutuksen pienenevän 550 MWh:sta noin 190 MWh:iin eli säästöä syntyy  $360 \text{ MWh} \times 67 \text{ €/MWh} = 24\,120 \text{ €}$  sähkön hinnan ollessa 67 €/MWh (sisältää siirtomaksun).

## **5.2.4 IV-koneiden automaation uusiminen**

### **Nykytilanne**

IV-koneiden automaatio on alkuperäinen ja kutakin konetta ohjataan paikallisesti, eikä niitä sen vuoksi saada ohjattua keskitetysti. Myös logiikkaohjainten ylläpito on hankalaa varaosien sekä osaamisen kadottua. Ohjauslogiikka on vanhahtavaa sekä yksinkertaista, eikä siihen tämän vuoksi voida rakentaa uusia ominaisuuksia, jotka soveltuisivat tarpeisiin.

### **Kehitystoimenpide**

Kaikkiin IV-koneisiin vaihdetaan nykyaikainen automaatio sekä päivitetään anturiointi vastaamaan tarpeita. Automaatio on tarkoitus toteuttaa väyläperusteisena ja edellisessä kohdassa mainitut taajuusmuuttajat kytketään osaksi verkkoa. Tavoitteena on saada IV-järjestelmästä keskitetty näyttö ja ohjauskeskus valvomoon.

### **Kannattavuus**

Jos edellä mainitut kehitysehdotukset toteutetaan, saadaan luotua luotettava järjestelmä, jossa ilmavirtaukset saadaan säädettyä kuhunkin tilanteeseen sopivaksi sekä saadaan seuranta tietoa järjestelmästä ja sen toimivuudesta. Tähän on sisällytetty myös em. lämmöntalteenottoratkaisun automaatio. Kannattavuus saadaan muodostettua taajuusmuuttajien säädöistä ja optimoiduista laitteiden ohjauksen yhdistelmästä. Automaation kokonaisvaikutusta on vaikea arvioida, ja todellinen lopputulos nähdään vasta energiansäästön todentamisen jälkeen. Arvioituna optimoinnin kautta saadut lämpösäästöt ovat n. 150 MWh vuodessa ja puhaltimien käynnin sekä tehon säädöistä saatava sähkön säästöt ovat n. 50 MWh vuodessa.

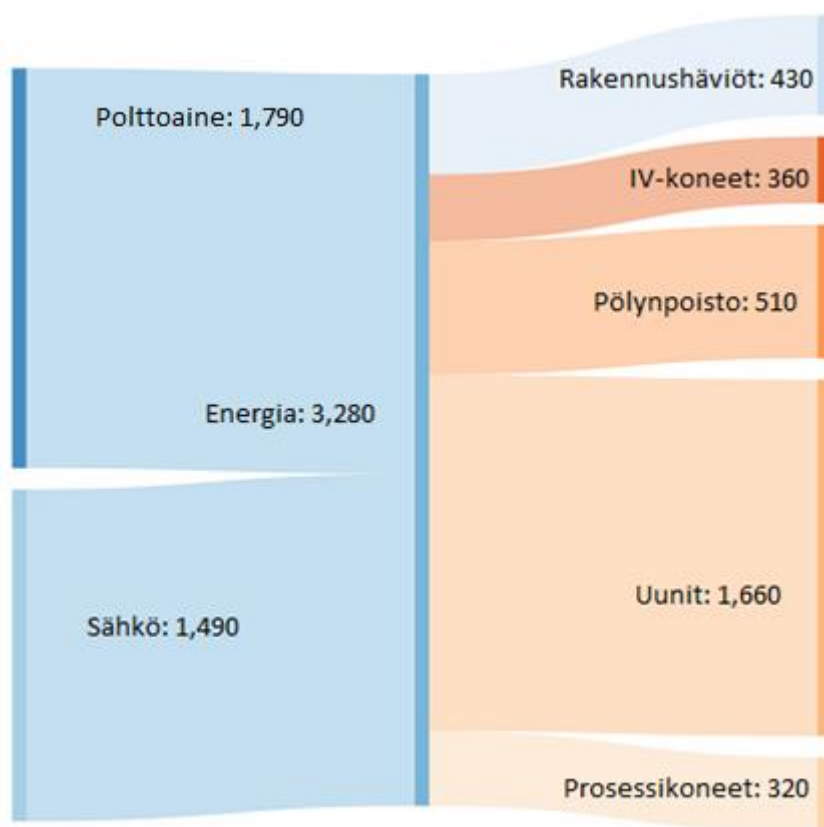
### 5.2.5 Arvioitu kokonaissäästö

Laskennallisesti arvioitu vuotuinen kokonaissäästö on esitetty taulukossa 9.

*TAULUKKO 9 Laskennallisesti arvioitu kokonaissäästö vuodessa*

Säästökohde	Polttoaine		Sähkö	
	MWh	€	MWh	€
5.2.1	550	35 750,00 €	0	- €
5.2.2	530	34 450,00 €	0	- €
5.2.3	0	- €	360	24 120,00 €
5.2.4	150	9 750,00 €	50	3 350,00 €
<b>Yhteensä</b>	<b>1230</b>	<b>79 950,00 €</b>	<b>410</b>	<b>27 470,00 €</b>

Jos tehdas pysyy nykyisellä toiminnantasolla, on vuotuinen energiansäästö arviolta noin 1640 MWh, joka on euroiksi muutettuna noin 107 420 euroa. Kun aiemmissa luvuissa esitetyt muutokset toteutetaan, muuttuvat energiavirrat suunnilleen kuvan 2 mukaisiksi.



*KUVA 25 Laitoksen energiavirrat energiansäästöinvestoinnin jälkeen*



### 5.3 Energiansäästön todentaminen

Energiansäästön todentamisessa on tärkeää asettaa säästötavoitteet, joiden kautta on helpompi muodostaa itse työkalua energiansäästön todentamiseen. Seuraavissa luvuissa on esitetty sekä säästötavoitteet että itse energiansäästön todentaminen kuvitteelliseen kohteeseen. Tästä seuraa, että tavoitteissa käytetyt arvot tuotantotunneista ja energian hinnoista ovat kuvitteellisia. Laskenta tekniikka toimii myös oikeassa kohteessa.

#### 5.3.1 Säästötavoitteet

Säästötavoitteet on laskettu toteutuvan 2600 tuotantotunnilla. Koska laskennoissa on aina pieniä epävarmuustekijöitä, arvioidaan tavoitesäästö hieman alakanttiin. Toisin sanottuna taulukon 8 laskennallisista arvioista vähennetään noin 5 %, jolloin vuotuinen tavoitesäästö polttoaineessa on 1 168,5 MWh eli 75 952,5 € ja sähkössä 389,5 MWh eli 26 096,5 €. Yhteensä tavoitesäästö on 101 449,0 €. Tämä on siis vuotuinen tavoitesäästö, jota projektia vetävä yritys tavoittelee.

Asiakkaalle luvattu säästötakuu on 60 % projektia vetävän yrityksen vuotuisesta tavoitesäästöä. Laskennallisesti tämä tarkoittaa polttoaineen osalta 701,1 MWh eli 45 571,5 € ja sähkönsä 233,7 MWh eli 15 657,9 € vuotuista säästöä. Yhteensä vuotuista säästöä tulisi näin laskettuna 934,8 MWh eli 61 229,4 €. Jos tähän säästötavoitteeseen ei euromääräisesti päästä, projektia vetävä yritys joutuu maksamaan sanktiota. On myös huomioitava, ettei ole väliä, täyttyykö säästö polttoaineen vai sähkönsä osalta, kunhan vuotuinen kokonaissäästö on vähintään 61 229,4 €.

Keskivertotulos on 80 % projektia vetävän yrityksen vuotuisesta säästötavoitteesta. Laskennallisesti tämä tarkoittaa polttoaineen osalta 934,8 MWh eli 60 762,0 € ja sähkönsä 311,6 MWh eli 20 877,2 € vuodessa. Yhteensä vuotuista säästöä tulisi näin laskettuna 1246,4 MWh eli 81 639,2 €. Taulukossa 10 on esitetty nämä ”raja-arvot”.

TAULUKKO 10 Vuotuisten tavoitesäästöjen ”raja-arvot”

		Heikko	Keskiverto	Tavoite
		60 %	80 %	100 %
Polttoaine:	MWh	701,1	934,8	1168,5
	€	45 571,50 €	60 762,00 €	75 952,50 €
Sähkö:	MWh	233,7	311,6	389,5
	€	15 657,90 €	20 877,20 €	26 096,50 €
Yhteensä:	MWh	934,8	1246,4	1558,0
	€	61 229,40 €	81 639,20 €	102 049,00 €

Koska LTO-järjestelmä on riippuvainen tuotantotunneista ja ulkolämpötilasta, voidaan energiansäästötavoite kuukausitasolla määrittää tuotantotuntien kautta. Jotta saadaan määritettyä tavoite-energiesäästö kuukausitasolla, tulee määrittää tavoitetuotantotunnit kuukausitasolla. Taulukossa 11 on esitetty vuoden 2017 tuotantotunnit tammikuusta joulukuuhun.

TAULUKKO 11 Vuoden 2017 kuukausikohtaiset tuotantotunnit

	Tuotantotunnit
	[h]
Tammikuu	125,00
Helmikuu	135,00
Maaliskuu	225,00
Huhtikuu	60,00
Toukokuu	240,00
Kesäkuu	240,00
Heinäkuu	260,00
Elokuu	285,00
Syyskuu	255,00
Lokakuu	260,00
Marraskuu	230,00
Joulukuu	115,00
Yhteensä	2430,00

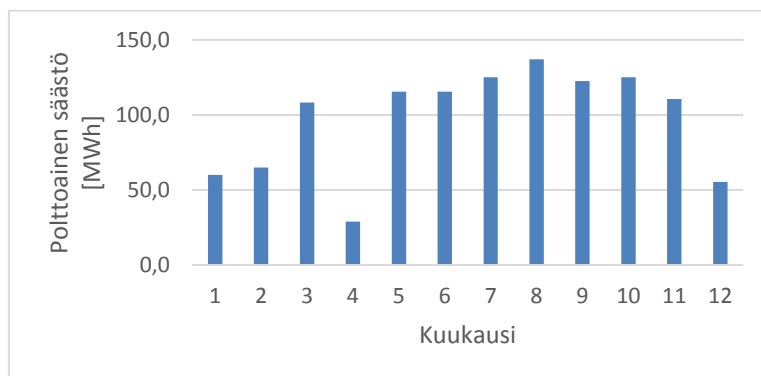
Jos aiempien vuosien historiatiedot olisivat saatavilla, otettaisiin niiden vuosien kuukausikohtaiset keskiarvot mukaan tarkasteluun. Koska enempää historiatietoja ei ole, joudutaan tyytymään vuoden 2017 historiatietoihin. Jakamalla jokaisen kuukauden tuotantotunnit vuotuisilla tuotantotunneilla saadaan jokaiselle

kuukaudelle oma kerroin. Kun tiedetään, että vuotuinen polttoaineen tavoitesäästö on 1168,5 MWh (75 952,50 €), kerrotaan vuotuinen tavoitesäästö kuukausikohtaisella kertoimella ja saadaan näin kuukausittainen tavoitesäästö polttoaineelle. Toiminto on esitetty taulukossa 12.

*TAULUKKO 12 Polttoaineen kuukausikohtaiset tavoitesäästöt tuotantotunteihin peilattuna*

	Tuotantotunnit		Tavoitesäästö
	[h]	Kerroin	[MWh]
Tammikuu	125	0,051	60,1
Helmikuu	135	0,056	64,9
Maaliskuu	225	0,093	108,2
Huhtikuu	60	0,025	28,9
Toukokuu	240	0,099	115,4
Kesäkuu	240	0,099	115,4
Heinäkuu	260	0,107	125,0
Elokuu	285	0,117	137,0
Syyskuu	255	0,105	122,6
Lokakuu	260	0,107	125,0
Marraskuu	230	0,095	110,6
Joulukuu	115	0,047	55,3
<b>Yhteensä</b>	<b>2430</b>	<b>1,000</b>	<b>1168,5</b>

Taulukon 12 arvoista piirretään pylväsdiagrammi, joka havainnollistaa LTO-järjestelmästä saatavan energiansäästön kuukausitasolla paremmin. Kuvassa 26 on esitetty taulukon 12 tulokset pylväsdiagrammina.

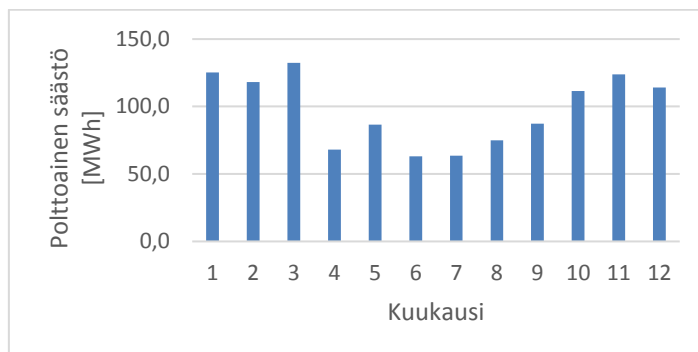


*KUVA 26 Polttoaineen kuukausikohtaiset tavoitesäästöt tuotantotunteihin peilattuna*

Kuvan 12 mukaan tuotanto ajoittuu kuukausille 3,5,6-11. Kuukaudet 1,2,4 ja 12 ovat tuotannossa hiljaisempia kuukausia. LTO-järjestelmän energiansäästöön vaikuttaa myös ulkoilmanlämpötila. Tämän vuoksi tehdään edellisen kappaleen toiminto myös normaalivuoden lämmitystarveluvuilla (liite 32), jotka ovat saatavissa ilmatieteen laitokselta. Toiminto on esitetty taulukossa 13 ja tulokset on esitetty myös kuvan 27 pylväsdiagrammissa. Kuvitteellinen tehdaskiinteistö sijaitsee Oulussa, joten laskennassa käytetään Oulun alueen normaalivuoden lämmitystarvelukuja.

*TAULUKKO 13 Polttoaineen kuukausikohtaiset tavoitesäästöt normaalivuoden lämmitystarvelukuihin peilattuna*

	Lämmitystarveluvut		Tavoitesäästö
	[°d]	Kerroin	[MWh]
Tammikuu	824	0,163	190,4
Helmikuu	742	0,147	171,5
Maaliskuu	677	0,134	156,4
Huhtikuu	465	0,092	107,4
Toukokuu	249	0,049	57,5
Kesäkuu	47	0,009	10,9
Heinäkuu	9	0,002	2,1
Elokuu	55	0,011	12,7
Syyskuu	224	0,044	51,8
Lokakuu	423	0,084	97,7
Marraskuu	593	0,117	137,0
Joulukuu	749	0,148	173,1
<b>Yhteensä</b>	<b>5057</b>	<b>1,000</b>	<b>1168,5</b>

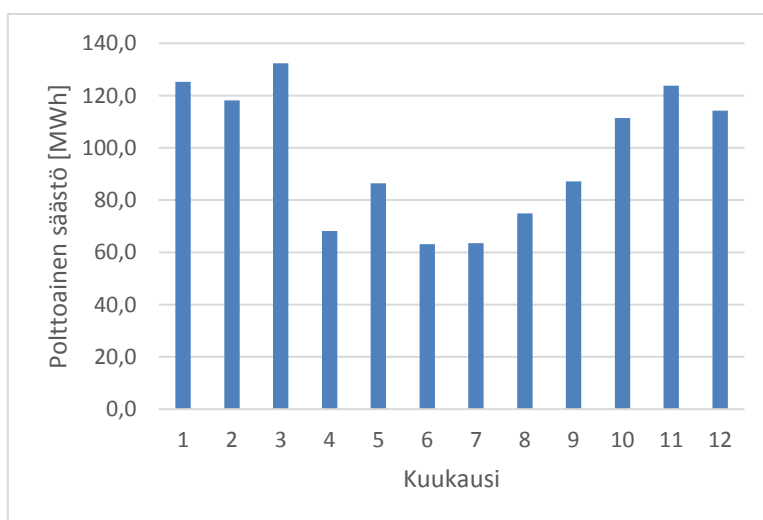


*KUVA 27 Polttoaineen kuukausikohtaiset tavoitesäästöt normaalivuoden lämmitystarvelukuihin peilattuna*

Koska sekä tuotantotunnit että ulkolämpötila vaikuttavat lämpöenergiainsäästöön ja sitä kautta polttoainesäästöön, tulee niiden vaikutukset yhdistää. Yhdistäminen tehdään laskemalla joka kuukaudelle keskiarvoinen polttoaineen säästö taulukoiden 12 ja 13 tuloksista. Taulukossa 14 on esitetty polttoaineen tavoitesäästö joka kuukaudelle ja kuvassa 28 taulukkoa vastaava pylväsdiagrammi.

*TAULUKKO 14 Polttoaineen kuukausikohtainen tavoitesäästö*

	[MWh]	[€]
<b>Tammikuu</b>	125,3	7 882,72 €
<b>Helmikuu</b>	118,2	7 626,61 €
<b>Maaliskuu</b>	132,3	8 318,34 €
<b>Huhtikuu</b>	68,1	5 153,20 €
<b>Toukokuu</b>	86,5	5 757,69 €
<b>Kesäkuu</b>	63,1	4 245,61 €
<b>Heinäkuu</b>	63,6	4 173,27 €
<b>Elokuu</b>	74,9	4 774,75 €
<b>Syyskuu</b>	87,2	5 708,02 €
<b>Lokakuu</b>	111,4	7 664,81 €
<b>Marraskuu</b>	123,8	7 901,61 €
<b>Joulukuu</b>	114,2	6 745,87 €
<b>Yhteensä</b>	<b>1168,5</b>	<b>75 952,50 €</b>



*KUVA 28 Polttoaineen kuukausikohtainen tavoitesäästö*

Suurin osa IV-koneista ohjautuu tuotannon mukaan, minkä vuoksi voidaan myös niiden sähkön kuukausikohtaiset tavoitesäästöt määrittää tuotantotuntien kautta. Oletuksena on, että ulkolämpötila ei vaikuta sähkön kulutukseen. Vuotuinen tavoitesäästö sähkölle on taulukon 10 mukaan 389,5 MWh eli 26 096,50 €. Kuukausikohtaiset tavoitesäästöt sähköenergialle on esitetty taulukossa 15.

*TAULUKKO 15 Sähkön kuukausikohtaiset tavoitesäästöt*

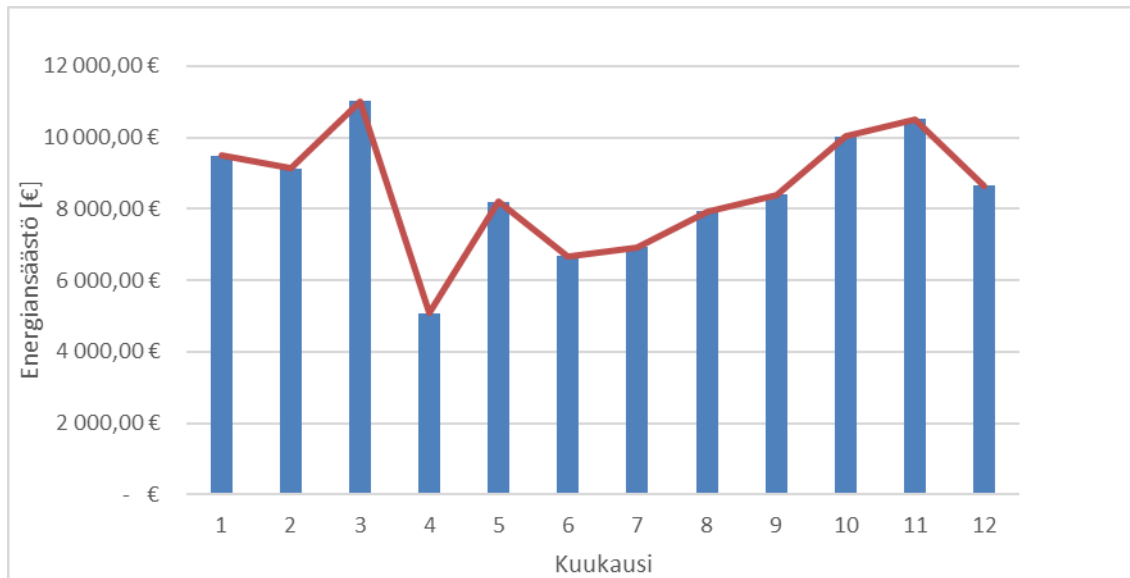
	Tuotantotunnit		Tavoitesäästö	
	[h]	Kerroin	[MWh]	[€]
Tammikuu	125	0,051	20,0	1 342,41 €
Helmikuu	135	0,056	21,6	1 449,81 €
Maaliskuu	225	0,093	36,1	2 416,34 €
Huhtikuu	60	0,025	9,6	644,36 €
Toukokuu	240	0,099	38,5	2 577,43 €
Kesäkuu	240	0,099	38,5	2 577,43 €
Heinäkuu	260	0,107	41,7	2 792,22 €
Elokuu	285	0,117	45,7	3 060,70 €
Syyskuu	255	0,105	40,9	2 738,52 €
Lokakuu	260	0,107	41,7	2 792,22 €
Marraskuu	230	0,095	36,9	2 470,04 €
Joulukuu	115	0,047	18,4	1 235,02 €
<b>Yhteensä</b>	<b>2430</b>	<b>1,000</b>	<b>389,5</b>	<b>26 096,50 €</b>

Yhdistämällä taulukon 14 ja 15 kuukausittaiset euromääräiset tulokset saadaan energiansäästötavoite joka kuukaudelle. Taulukossa 16 on esitetty kuukausikohmainen energiansäästötavoite.

*TAULUKKO 16 Kuukausikohtaiset energiansäästö tavoitteet*

	Tavoitesäästö
Tammikuu	9 483,87 €
Helmikuu	9 131,75 €
Maaliskuu	11 016,69 €
Huhtikuu	5 074,03 €
Toukokuu	8 198,07 €
Kesäkuu	6 681,13 €
Heinäkuu	6 923,11 €
Elokuu	7 927,74 €
Syyskuu	8 405,84 €
Lokakuu	10 032,10 €
Marraskuu	10 517,72 €
Joulukuu	8 656,97 €
<b>Koko vuosi</b>	<b>102 049,00 €</b>

Kuukausikohtaiset tavoitesäästöt määritetään, jotta säästön toteutuminen nähdään myös kuukausitasolla. Jos näyttää, ettei vuositavoitteeseen tulla pääsemään, voidaan ongelmaan reagoida hyvissä ajoin ja tehdä vaadittavat korjaukset järjestelmään. Kuvassa 29 on esitetty taulukon 16 kuukausikohtaiset energiansäästötavoitteet havainnollistamisen helpottamiseksi.



*KUVA 29 Kuukausikohtaiset energiansäästötavoitteet*

Kuvassa 29 maaliskuu on ihanteellisin kuukausi energiansäästölle, sillä silloin tuotantotunteja on paljon ja ilmasto on kylmä. Näin ollen säästön tulisi olla poikkeuksellisen suurta juuri maaliskuussa. Toisaalta seuraavana kuukautena eli huhtikuussa tuotantotunteja on vähän ja ilmasto on lämmin. Tästä seuraa, että tavoitesäästö huhtikuussa ei ole suuri ja näin ollen säästöön päästään myös pienillä tuotantotunneilla ja lämpimällä ulkoilmalla.

### 5.3.2 Työkalu energiansäästön todentamiseen

Energiansäästön todentaminen on jaettu viiteen eri vaiheeseen, joilla pyritään ottamaan huomioon tehtaan toiminnasta sekä ulkolämpötilasta aiheutuvat energiankulutusmuutokset. Luodaan työkalu, jolla asiakkaalle voidaan osoittaa säästön todella tapahtuneen olosuhteista riippumatta. Vaiheet on esitetty seuraavien ot-sikkojen alla ja soveltuvat myös oikean kohteen laskentaan.

## Vaihe 1: Tarkastelu mittareista

LTO-järjestelmästä saatavaa lämpöenergiaa mitataan kahdella energiamittarilla. Tuloilmakoneiden FL100-1 ja TK80/4 kautta siirtyvää lämpöenergiaa mitataan liitteen 1/1 PI-kaaviossa esiintyvällä energiamittarilla EM1 ja patteriverkostoon siirtyvää lämpöenergiaa mitataan liitteen 1/4 PI-kaaviossa esiintyvällä, pumpulla PU30. Jotta LTO-järjestelmästä saatava lämpöenergia saadaan muutettua polttoainesäästöksi, tulee mittareista saatu yhteistulos jakaa polttoaineen palamisen hyötysuhteella. Kyseessä olevan prosessin polttohyötysuhde on 0,93. Vuoden 20XX kevään mittarilukemat on esitetty kuvassa 30.

	A	B	C	D	E
4	Polttoainepolton hyötysuhde		0,93		
5	Energia mittarit				
6			Tarkastelu mittareista		
7	Kuukausi		Patteri [MWh]	IV-koneet [MWh]	Yhteensä [MWh]:
8	Tammikuu		1,00	115,00	116,00
9	Helmikuu		0,50	105,00	105,50
10	Maaliskuu		5,00	120,00	125,00
11	Huhtikuu		5,00	48,00	53,00
12	Toukokuu		0,00	0,00	0,00
13	Kesäkuu		0,00	0,00	0,00
14	Heinäkuu		0,00	0,00	0,00
15	Elokuu		0,00	0,00	0,00
16	Syyskuu		0,00	0,00	0,00
17	Lokakuu		0,00	0,00	0,00
18	Marraskuu		0,00	0,00	0,00
19	Joulukuu		0,00	0,00	0,00
20	Kokovuosi yhteensä		11,50	388,00	399,50

KUVA 30 LTO-järjestelmästä saatavan energian mittarilukemat vuodelta 20XX

Kuvassa 30 patterilla tarkoitetaan pumpun PU30:n energiamittarilukemaa ja IV-koneilla energiamittarin EM1:n mittarilukemaa. Kuten jo edellä mainittiin, tulee lukema jakaa polttoainepolton hyötysuhteella, jolloin saadaan todellinen polttoainesäästö. Kuvassa 31 on esitetty LTO-järjestelmästä saatava polttoainesäästö.



	A	G	H
7	Kuukausi	[MWh]	[€]
8	Tammikuu	124,73	8 107,53 €
9	Helmikuu	113,44	7 373,66 €
10	Maaliskuu	134,41	8 736,56 €
11	Huhtikuu	56,99	3 704,30 €
12	Toukokuu	0,00	- €
13	Kesäkuu	0,00	- €
14	Heinäkuu	0,00	- €
15	Elokuu	0,00	- €
16	Syyskuu	0,00	- €
17	Lokakuu	0,00	- €
18	Marraskuu	0,00	- €
19	Joulukuu	0,00	- €
20	Kokovuosi yhteensä	429,57	27 922,04 €

*KUVA 31 LTO-järjestelmästä saatava polttoainesäästö vuodelle 20XX*

Kun verrataan kuvan 31 arvoja taulukon 14 arvoihin huomataan, että tammi- ja helmi-, ja huhtikuussa jäädään hieman tavoitteesta, kun taas maaliskuussa säästötavoite ylittyy. Kun lasketaan näiden kuukausien polttoainesäästöt yhteen, saadaan arvoksi 429,57 MWh eli 27 922,04 €. Vuotuista tavoitesäästöä ei tulla todennäköisesti saavuttamaan, sillä näiden kuukausien yhteenlaskettu polttoaineen säästötavoite on 443,9 MWh eli 28 980,87 €, toisin sanottuna noin 1 058,83 € suurempi kuin mittareiden osoittama tulos.

Kokonaissäästön toteutuminen voidaan todentaa, kun sähkönsäästö lisätään polttoainesäästöihin. Sähkönkulutustiedot saadaan jokaisen IV-koneen (liitteet 1/5–1/11) puhaltimen taajuusmuuttajasta. Vuoden 2017 laskennallinen sähköenergiankulutus on 566,34 MWh. Kuvassa 32 on esitetty kaikkien IV-koneiden taajuusmuuttajien lukemat kuukausitasolla vuodelle 20XX. Vuoden 20XX mittarilukemat ovat määritetty tammi-, helmi-, maaliskuu- ja huhtikuulle.

	A	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
15		Kiinteistön IV-koneet						Tuotannon IV-koneet					
16		Energian kulutus nyt		Energian kulutus nyt		Energian kulutus nyt		Energian kulutus nyt		Energian kulutus nyt		Energian kulutus nyt	
17		TK1		TK2		TK80-1		TK80-2		TK80-3		TK80-4	
18		Tulo	Poisto	Tulo	Poisto	Tulo	Poisto	Tulo	Poisto	Tulo	Poisto	Tulo	Poisto
19	Kuukausi	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]
20	Tammikuu	0,30	0,50	2,00	3,00	2,00	5,00	5,00	1,00	4,00	2,00	1,00	2,00
21	Helmikuu	0,40	0,60	1,00	2,00	2,50	6,00	4,50	2,00	5,00	2,50	1,20	2,20
22	Maaliskuu	0,50	0,80	3,00	4,00	3,00	7,00	5,50	2,00	5,00	3,00	1,40	2,50
23	Huhtikuu	0,30	0,50	2,25	2,25	2,00	3,00	2,00	1,00	2,00	1,00	0,50	1,50
24	Toukokuu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	Kesäkuu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	Heinäkuu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	Elokuu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	Syyskuu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29	Lokakuu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	Marraskuu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31	Joulukuu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32	Kokovuosi yhteensä	1,50	2,40	8,25	11,25	9,50	21,00	17,00	6,00	16,00	8,50	4,10	8,20

KUVA 32 IV-koneiden taajuusmuuttajien lukemat kuukausitasolla vuodelle 20XX

Kuvan 32 lukemat lasketaan kuukausitasolla yhteen, jolloin saadaan uudistettujen IV-koneiden sähkönkulutus kuukausitasolla. Tuloksena saadaan kuvan 33 mukainen taulukko, josta nähdään kiinteistön sekä tuotannon IV-koneiden kokonaissähkönkulutus kuukausitasolla.

	A	C	D	E
25		Energian kulutus ennen (laskennallinen)	Energian kulutus nyt (kiinteistön IV)	Energian kulutus nyt (tuotannon IV)
26	Kuukausi	[MWh]	[MWh]	[MWh]
27	Tammikuu	46,79	12,80	15,00
28	Helmikuu	48,90	12,50	17,40
29	Maaliskuu	47,33	18,30	19,40
30	Huhtikuu	45,57	10,30	8,00
31	Toukokuu	47,67	0,00	0,00
32	Kesäkuu	46,42	0,00	0,00
33	Heinäkuu	47,97	0,00	0,00
34	Elokuu	48,03	0,00	0,00
35	Syyskuu	46,45	0,00	0,00
36	Lokakuu	48,07	0,00	0,00
37	Marraskuu	46,28	0,00	0,00
38	Joulukuu	46,85	0,00	0,00
39	Kokovuosi yhteensä	566,34	53,90	59,80

KUVA 33 IV-koneiden vuoden 20XX kokonaissähköenergiankulutus sekä sähköenergiankulutus ennen

Aiemmasta kuukausikohtaisesta sähköenergiankulutuksesta vähennetään kiinteistön ja tuotannon IV-koneiden sähköenergiankulutukset, jolloin saadaan kuukausikohtainen sähköenergiesäästö. Tätä kuukausikohtaista lukemaa verrataan taulukon 13 kuukausikohtaisiin lukemiin, jolloin nähdään, onko saavutettu kyseisen kuukauden tavoitesäästö sähköenergian osalta. Kuvassa 34 on esitetty kuukausikohtaiset sähköenergiesäästöt sekä megawattituntimääräisinä että eumääräisinä.

	A	H	I
25		Sähkön säästö	Sähkön säästö
26	Kuukausi	[MWh]	[€]
27	Tammikuu	18,99	1 272,58 €
28	Helmikuu	19,00	1 272,89 €
29	Maaliskuu	9,63	644,89 €
30	Huhtikuu	27,27	1 827,20 €
31	Toukokuu	0,00	- €
32	Kesäkuu	0,00	- €
33	Heinäkuu	0,00	- €
34	Elokuu	0,00	- €
35	Syyskuu	0,00	- €
36	Lokakuu	0,00	- €
37	Marraskuu	0,00	- €
38	Joulukuu	0,00	- €
39	Kokovuosi yhteensä	74,89	5 017,57 €

KUVA 34 Sähkösäästö kuukausitasolla vuodelle 20XX

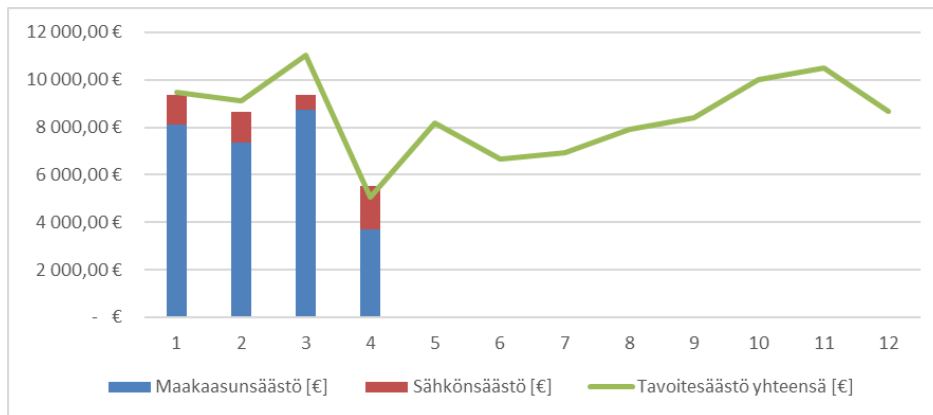
Kuvasta 34 nähdään, kuukausikohtaisiin säästötavoitteisiin sähkön osalta päästiin vain huhtikuussa (vertaa taulukko 15). Luvussa 5.3.1 mainittiin, että ei ole väliä, täyttyykö polttoaineen tai sähkön säästötavoite, kunhan kokonaisenergian- säästötavoitteeseen euromääräisesti päästään. Kuukausikohtainen kokonais- energiansäästö määritetään laskemalla kuvan 31 ja 34 kuukausikohtaiset arvot yhteen. Tulokset on esitetty kuvassa 35.

	A	B	C	D	E
44			Säästö	Säästö	Tavoitesäästö
45	Kuukausi		[MWh]	[€]	[€]
46	Tammikuu		143,72	9 380,11 €	9 483,87 €
47	Helmikuu		132,44	8 646,55 €	9 131,75 €
48	Maaliskuu		144,03	9 381,45 €	11 016,69 €
49	Huhtikuu		84,26	5 531,50 €	5 074,03 €
50	Toukokuu		0,00	- €	8 198,07 €
51	Kesäkuu		0,00	- €	6 681,13 €
52	Heinäkuu		0,00	- €	6 923,11 €
53	Elokuu		0,00	- €	7 927,74 €
54	Syyskuu		0,00	- €	8 405,84 €
55	Lokakuu		0,00	- €	10 032,10 €
56	Marraskuu		0,00	- €	10 517,72 €
57	Joulukuu		0,00	- €	8 656,97 €
58	Kokovuosi yhteensä		504,46	32 939,61 €	102 049,00 €

KUVA 35 Vuoden 20XX kuukausikohtaiset energiansäästöt sekä energiansäästötavoitteet

Kuvasta 35 nähdään, ettei tammi-, helmi- ja maaliskuun tavoitesäästö yhteen laskennasta huolimatta toteudu. Huhtikuu on ainoa kuukausi, jolloin tavoitesäästö toteutuu. Seuraavissa luvuissa perehdytään, kuinka mm. tehtaan tuotantotunneilla sekä ulkoilman lämpötilalla on vaikutusta energiansäästön suuruuteen ja

kuinka ne otetaan huomioon energiansäästön todentamisessa. Havainnollistamisen helpottamiseksi kuvassa 36 on esitetty kuvan 35 tulokset grafiikkana.



*KUVA 36 Vuoden 20XX kuukausikohtaiset energiansäästöt sekä energiansäästö tavoitteet*

## Vaihe 2: Käyttötuntitarkastelu

Tavoitesäästön tulisi toteutua, jos tuotantotunneissa päästään vähimmäistavoitteeseen eli 2600 tuotantotuntiin. Määritetään tuotantotuntien vähimmäistavoite kuukausitasolla samalla tavalla kuin luvun 5.3.1 energiansäästötavoite kuukausitasolla.

	Tuotantotunnit [h]	Kerroin	Tavoite [h]
Tammikuu	125	0,051	133,7
Helmikuu	135	0,056	144,4
Maaliskuu	225	0,093	240,7
Huhtikuu	60	0,025	64,2
Toukokuu	240	0,099	256,8
Kesäkuu	240	0,099	256,8
Heinäkuu	260	0,107	278,2
Elokuu	285	0,117	304,9
Syyskuu	255	0,105	272,8
Lokakuu	260	0,107	278,2
Marraskuu	230	0,095	246,1
Joulukuu	115	0,047	123,0
<b>Yhteensä</b>	<b>2430</b>	<b>1,000</b>	<b>2600</b>

Vuoden 20XX tammikuussa tuotantotunteja on ollut 135,0, helmikuussa 140,0, maaliskuussa 220,0 ja huhtikuussa 100,0 tuntia. Koska tammi-, helmi-, maaliskuu- ja huhtikuun tavoitetuotantotunnit ovat 133,7, 144,4, 240,7 ja 64,2 tuntia, redusoidaan näiden kuukausien polttoaine- sekä sähkönsäästö vastaamaan tavoitetunteja. Redusointi tapahtuu jakamalla kuukausikohtaiset tavoite käyntitunnit toteutuneilla kuukausikohtaisilla käyntitunneilla ja kertomalla tällä tuloksella tapahtunut energiansäästö. Näin laskettuna saadaan energiansäästö vastaamaan tilannetta, jossa tuotantotuntien määrä on 2600 tuntia vuodessa. Kuvassa 37 ja 38 on esitetty sekä polttoaineen että sähkönsäästö kuukausikohtaiset energiansäästöt.

	A	B	C	L	M	N
		Käyntitunnit	Tavoite käyntitunnit		Redusoitu energian säästö	Polttoaineen säästö
		[h]	[h]	Kerroin	[MWh]	[€]
73						
74	Kuukausi					
75	Tammikuu	135,0	133,7	0,99	123,57	8 032,15 €
76	Helmikuu	140,0	144,4	1,03	117,04	7 607,74 €
77	Maaliskuu	220,0	240,7	0,91	147,08	9 560,21 €
78	Huhtikuu	100,0	64,2	1,56	36,59	2 378,07 €
79	Toukokuu	0,0	256,8	0,00	0,00	- €
80	Kesäkuu	0,0	256,8	0,00	0,00	- €
81	Heinäkuu	0,0	278,2	0,00	0,00	- €
82	Elokuu	0,0	304,9	0,00	0,00	- €
83	Syyskuu	0,0	272,8	0,00	0,00	- €
84	Lokakuu	0,0	278,2	0,00	0,00	- €
85	Marraskuu	0,0	246,1	0,00	0,00	- €
86	Joulukuu	0,0	123,0	0,00	0,00	- €
87	Kokovuosi yhteensä	595	2600,0		424,28	27 578,17 €

KUVA 37 Vuoden 20XX redusoitu polttoaineen säästö kuukausitasolla

	A	B	C	I	J	K
		Käyntitunnit	Tavoite käyntitunnit		Redusoitu energian säästö	Sähkön säästö
		[h]	[h]	Kerroin	[MWh]	[€]
91						
92	Kuukausi					
93	Tammikuu	135,0	133,7	0,99	18,82	1 260,75 €
94	Helmikuu	140,0	144,4	1,03	19,60	1 313,30 €
95	Maaliskuu	220,0	240,7	0,91	10,53	705,69 €
96	Huhtikuu	100,0	64,2	1,56	17,51	1 173,02 €
97	Toukokuu	0,0	256,8	0,00	0,00	- €
98	Kesäkuu	0,0	256,8	0,00	0,00	- €
99	Heinäkuu	0,0	278,2	0,00	0,00	- €
100	Elokuu	0,0	304,9	0,00	0,00	- €
101	Syyskuu	0,0	272,8	0,00	0,00	- €
102	Lokakuu	0,0	278,2	0,00	0,00	- €
103	Marraskuu	0,0	246,1	0,00	0,00	- €
104	Joulukuu	0,0	123,0	0,00	0,00	- €
105	Kokovuosi yhteensä	595,0	2600,0		66,46	4 452,76 €

KUVA 38 Vuoden 20XX redusoitu sähkönsäästö kuukausitasolla

Verrataan kuvien 37 ja 38 tammi-, helmi-, maaliskuu- ja huhtikuun redusoidut tulokset kuvien 31 ja 34 tuloksiin. Huomataan, että tammikuun osalta tuotantotunteja

oli 1,3 tuntia enemmän kuin normaalisti, joten tammikuun energiansäästö sekä polttoaineen että sähkön osalta laskee hieman. Tammikuun redusoitu polttoaineen säästö on 123,57 MWh eli 8032,15 €, joka pienempi kuin ilman redusointia. Redusoitu sähkönsäästö tammikuussa on 18,82 MWh eli 1260,75 €, joka on edelleen pienempi kuin tavoitesäästö.

Helmikuun tavoitetunnit ovat 4,4 tuntia tavoitetta matalammat, joten tämä nostaa helmikuun redusoitua energiansäästöä. Kuvan 37 helmikuun redusoitu polttoainesäästö on 117,04 MWh, joka on kuvan 34 redusoimatonta polttoainesäästöä 3,60 MWh eli 234,00€ suurempi. Helmikuun tavoitesäästö polttoaineelle on 118,2 MWh eli 7681,94 €, joten polttoaineen säästötavoitteeseen lähes päästään. Redusointi nostaa myös sähkönsäästöä, sillä kuvan 38 redusoitu sähkönsäästö on helmikuussa 19,60 MWh joka on kuvan 34 arvoa 0,60 MWh eli 40,20 € suurempi. Siltikään helmikuun sähkön säästötavoitteeseen ei päästä, sillä tavoitesäästö sähkölle on helmikuussa 21,60 MWh, joka on 2,00 MWh eli 134,00 € redusoitua arvoa suurempi.

Maaliskuun tavoitetunnit ovat 20,07 tuntia tavoitetta matalammat. Näin ollen redusointi nostaa maaliskuun energiansäästöä. Kuvan 37 redusoitu polttoainesäästö maaliskuussa on 147,08 MWh, joka on kuvan 34 redusoimatonta arvoa 12,67 MWh eli 823,65 € suurempi. Maaliskuun polttoaineen säästötavoitteeseen päästiin jo ilman redusointia, joten arvo 823,65 € vain lisätään kuvan 34 redusoimattomaan arvoon. Myös maaliskuun sähkönsäästötavoitteeseen päästiin jo ilman redusointia, mutta redusointi lisää sähkön säästöä 0,91 MWh eli 60,80 €.

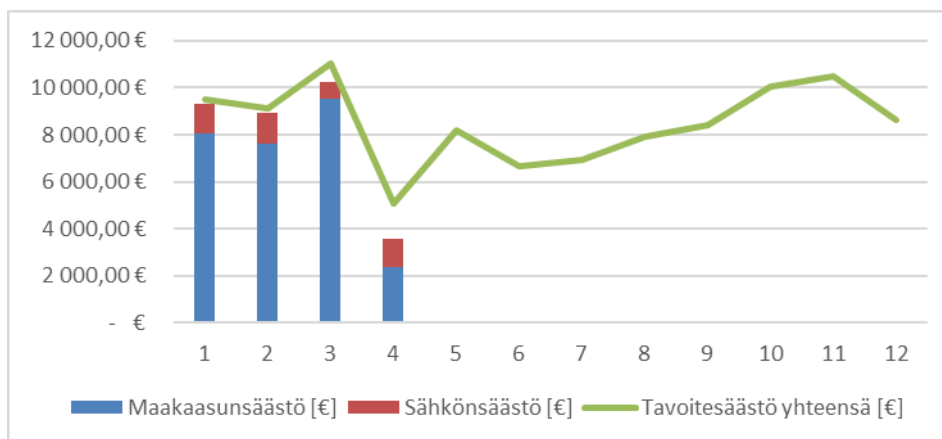
Huhtikuun tavoitetunnit ovat 35,8 tuntia tavoitetunteja korkeammat. Tämä laskee maaliskuun energiansäästöä. Kuvan 37 redusoitu polttoainesäästö huhtikuussa on 36,59 MWh, joka on kuvan 34 redusoimatonta arvoa 20,40 MWh eli 1 326,23 € pienempi. Huhtikuun redusoitu polttoaineensäästö on kuvan 37 mukaan 2 378,07 €. Redusoitu sähkönsäästö huhtikuussa on 17,51 MWh eli 1173,02 €, joka on edelleen suurempi kuin tavoitesäästö.

Yhdistetään kuvan 37 ja 38 tulokset kuvaan 39, josta saadaan redusoitu kokonaisenergiansäästö tammi-, helmi-, maalisk- ja huhtikuulle. Nyt nähdään, täyttyykö kuukausikohtainen säästötavoite kokonaisuudessaan.

	A	B	C	D	E
110			Säästö	Säästö	Tavoitesäästö
111	Kuukausi		[MWH]	[€]	[€]
112	Tammikuu		142,39	9 292,90 €	9 483,87 €
113	Helmikuu		136,64	8 921,04 €	9 131,75 €
114	Maaliskuu		157,61	10 265,90 €	11 016,69 €
115	Huhtikuu		54,09	3 551,09 €	5 074,03 €
116	Toukokuu		0,00	- €	8 198,07 €
117	Kesäkuu		0,00	- €	6 681,13 €
118	Heinäkuu		0,00	- €	6 923,11 €
119	Elokuu		0,00	- €	7 927,74 €
120	Syyskuu		0,00	- €	8 405,84 €
121	Lokakuu		0,00	- €	10 032,10 €
122	Marraskuu		0,00	- €	10 517,72 €
123	Joulukuu		0,00	- €	8 656,97 €
124	Kokovuosi yhteensä		490,74	32 030,93 €	102 049,00 €

*KUVA 39 Vuoden 20XX reducedu kokonaisenergiansäästö kuukausitasolla*

Kuvan 39 mukaan kokonaistavoitesäästö on tammi-, helmi-, maaliskuu- ja huhtikuussa 9 483,87 €, 9 131,75 €, 11 016,69 € ja 5 074,03 €. Reducedu kokonaisenergiansäästö vastaaville kuukausille on 9 292,90 €, 8 921,04 €, 10 265,90 € ja 3 551,09 €. Voidaan todeta, että redusoinnista huolimatta säästötavoitteeseen ei näiden kuukausien osalta päästy. Vajavuus helmikuun säästötavoitteessa selittyy osin sillä, ettei IV-koneiden sähkönsäästössä päästy säästötavoitteeseen, vaikka polttoaineessa säästötavoite lähes saavutettiin. Kun verrataan kuvan 39 helmikuun reducedu kokonaisenergiansäästö 35 reduceduimattomaan arvoon, lisää käyttötuntitarkastelu kokonaisenergiansäästöä 274,49 €:lla kun taas tammi-kuun arvo laskee 87,21 €. Toisaalta ilman reduointia huhtikuun säästötavoitteeseen olisi päästy, mutta normaalia suuremmat käyttötunnit laskivat reducedu kokonaisenergiansäästöä. Maaliskuun säästötavoitteeseen ei mittareiden mukaan päästy eikä normaalia pienemmät käyttötunnit redusoinnista huolimatta riittäneet nostamaan kokonaisenergiansäästöä maaliskuun tavoitesäästöä korkeammaksi. Havainnollistamisen helpottamiseksi kuvan 39 tulokset on esitetty grafiikkana kuvassa 40.



KUVA 40 Vuoden 20XX redusoitu kokonaisenergiansäästö kuukausitasolla

Vaikka energiansäästö ei näytäkään käyttötuntitarkastelun näkökulmasta toteutuvan, on huomioitava, että todellinen energiansäästö on riippuvainen myös ulkolämpötilasta. Tämän vuoksi seuraavassa vaiheessa otetaan mukaan normeeraus ulkolämpötilan mukaan, jolloin huomioidaan ulkolämpötilan vaikutus tulevaan energiansäästöön.

### Vaihe 3: Normeeraus

Kuten edellä mainittiin, todellisen energiansäästö on riippuvainen ulkolämpötilasta, joten käytetään energiansäästön normeeraamisessa Motivan kaavaa, ”Samman rakennuksen energiankulutuksen vertailu eri ajankohtina”, jolla voidaan verrata rakennuksen energiansäästöä eri vuosina toisiinsa. Kesäkuukausia, joita ovat touko-, kesä-, heinä- ja elokuu, ei normeerata lainkaan. Normeeraus suoritetaan kaavalla 16 (9, s.8).

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\text{ vpunkta}}}{S_{toteutunut\text{ vpunkta}}} \cdot Q_{toteutunut} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$$

KAAVA 16

$Q_{norm}$  normitettu polttoainesäästö

$Q_{toteutunut}$  toteutunut polttoainesäästö (redusoitu vastaamaan käyttötunteja)

$Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$  käyttöveden lämmittämisen vaatima energia



$S_{N\text{ vpkunta}}$       *normaalkuukauden (1981-2010) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla*

$S_{\text{toteutunut vpkunta}}$       *toteutunut lämmitystarveluku kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla*

Koska LTO-järjestelmästä saatavaa energiaa käytetään vain kiinteistön lämmittämiseen ja se vaikuttaa sitä kautta polttoainesäästöihin, voidaan kaavan 16 viimeinen termi poistaa. Kaava saa muodon

$$Q_{\text{norm}} = \frac{S_{N\text{ vpkunta}}}{S_{\text{toteutunut vpkunta}}} \cdot Q_{\text{toteutunut}} \quad \text{KAAVA 17}$$

Koska ulkolämpötila ei vaikuta sähköenergiansäästöön, normeerataan vain polttoainesäästö kaavalla 17. Tehdaskiinteistö on kuvitteellinen, joten paikkakuntana voidaan käyttää mitä tahansa paikkakuntaa. Laskentakaava 17 toimii myös oikealle tehdaskiinteistölle, kunhan valitaan oikeat lämmitystarveluvut. Kuvitteellinen tehdaskiinteistö sijaitsee Oulussa, joten laskentaan valitaan Oulun lämmitystarveluvut. Lämmitystarveluvut ovat saatavissa ilmatieteen laitoksen sivuilta. Liitteessä 33 on esitettyä normaalivuoden sekä vuoden 20XX tammi- ja helmikuun lämmitystarveluvut. Normeeratut polttoainesäästöt vuoden 20XX tammi- ja helmikuulle on esitettyä kuvassa 41.

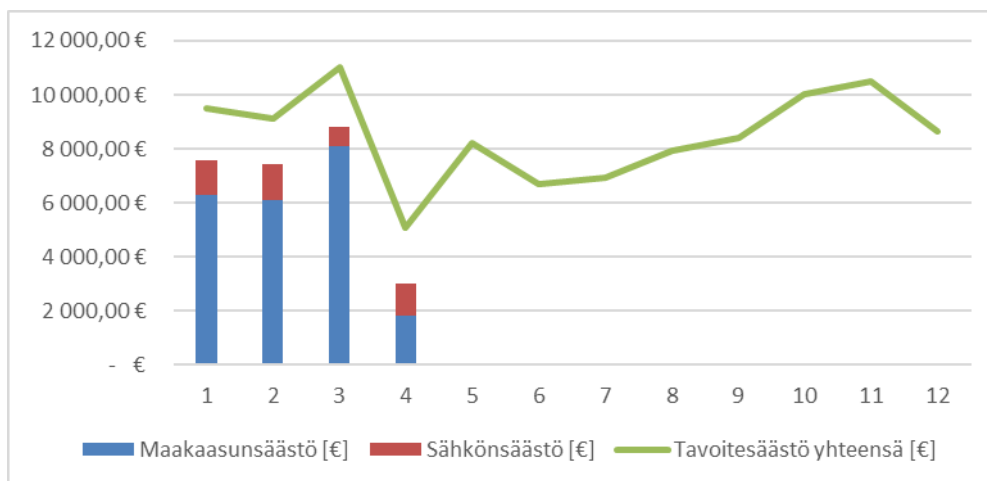
	A	B	C	D	E	F	G
132				Kyseisen vuoden	$\frac{S_n}{S}$	Polttoaineen säästö	Polttoaineen säästö
133	Kuukausi		Lämmitystarveluvut 1981-2010 (°Cvrk)	lämmitystarveluvut (°Cvrk)		[MWh]	[€]
134	Tammikuu		824,0	1050	0,78	96,97	6 303,32 €
135	Helmikuu		742,0	924	0,80	93,99	6 109,25 €
136	Maaliskuu		677,0	800	0,85	124,47	8 090,33 €
137	Huhtikuu		465,0	600	0,78	28,35	1 843,00 €
138	Toukokuu		249,0	0	1,00	0,00	- €
139	Kesäkuu		47,0	0	1,00	0,00	- €
140	Heinäkuu		9,0	0	1,00	0,00	- €
141	Elokuu		55,0	0	1,00	0,00	- €
142	Syyskuu		224,0	0	0,00	0,00	- €
143	Lokakuu		423,0	0	0,00	0,00	- €
144	Marraskuu		593,0	0	0,00	0,00	- €
145	Joulukuu		749,0	0	0,00	0,00	- €
146	Kokovuosi yhteensä		5057	3374	-	343,78	22 345,90 €

*KUVA 41 Normeeratut sekä redusoidut kuukausikohtaiset polttoainesäästöt vuodelle 20XX*

Vuosi 20XX on tavallista kylmempi, joten lämmitystarveluvut tammi-, helmi-, maaliskuu- ja huhtikuulle ovat normaalivuoden lukuja suuremmat. Tästä seuraa, että polttoainesäästöt ovat todellisuudessa pienemmät eikä säästötavoitteeseen minäkään kuukauden osalta päästä redusoinnista ja normeerauksesta huolimatta. Määritetään vielä normeerattu kokonaisenergian säästö lisäämällä redusoitu sähkön säästö kuvan 41 tuloksiin, jolloin saadaan kuvien 42 ja 43 mukaiset tulokset

	A	B	C	D	E
150			Säästö	Säästö	Tavoitesäästö
151	Kuukausi		[MWh]	[€]	[€]
152	Tammikuu		115,79	7 564,07 €	9 483,87 €
153	Helmikuu		113,59	7 422,55 €	9 131,75 €
154	Maaliskuu		135,00	8 796,02 €	11 016,69 €
155	Huhtikuu		45,86	3 016,02 €	5 074,03 €
156	Toukokuu		0,00	- €	8 198,07 €
157	Kesäkuu		0,00	- €	6 681,13 €
158	Heinäkuu		0,00	- €	6 923,11 €
159	Elokuu		0,00	- €	7 927,74 €
160	Syyskuu		0,00	- €	8 405,84 €
161	Lokakuu		0,00	- €	10 032,10 €
162	Marraskuu		0,00	- €	10 517,72 €
163	Joulukuu		0,00	- €	8 656,97 €
164	Kokovuosi yhteensä		410,24	26 798,66 €	102 049,00 €

*KUVA 42 Normeeratut sekä redusoidut kuukausikohtaiset kokonaisenergian säästöt vuodelle 20XX*



**KUVA 43** Normeeratut sekä redusoidut kuukausikohtaiset kokonaisenergian säästöt vuodelle 20XX

Kuvasta 42 ja 43 nähdään, että kokonaisenergian säästö tavoitteesta jäädään redusoinnista ja normeerauksesta huolimatta. Vuoden 20XX kuukausikohtaisesta tavoitteesta jäädään tammikuussa 1 919,80 €, helmikuussa 1 709,20 €, maaliskuussa 2 220,67 € ja huhtikuussa 2 058,00 €. Vaikuttaakin, ettei vuotuista tavoitesäästöä tulla saavuttamaan. Tästä syystä siirrytään vaiheeseen 4 ja selvitetään optimoinnin vaikutus energiansäästöön.

#### Vaihe 4: Optimointi

Vaiheen 4 tarkoituksena on selvittää optimoinnin vaikutusta energiansäästöön. Tähän tarvitaan tehdaskiinteistön vanhat sekä uudet energiankulutukset. Ennen laskentaa energiankulutukset tulee redusoida sekä normeerata. Määritetään redusoitavat sekä normeerattavat energiankulutukset. Tämä on esitetty taulukossa 17.

**TAULUKKO 17** Redusoitavat ja normeerattavat energiankulutukset.

	Energiankulutus historiasta				Uudet energiankulutukset			
	Kiinteistö		Tuotanto		Kiinteistö		Tuotanto	
	Polttoaine	Sähkö	Polttoaine	Sähkö	Polttoaine	Sähkö	Polttoaine	Sähkö
Redusointi	-	-	x	x	-	-	x	x
Normeeraus	x	-	-	-	x	-	-	-

x Toteutetaan  
- Ei toteuteta

Jos historiatietoja olisi määritetty useammalta vuodelta, jokainen vuosi redusoidaisiin ja normeerattaisiin ne normaalisti. Tämän jälkeen määritettäisiin kiinteistön ja tuotannon redusoitu sekä normeerattu energiankulutuksen kuukausikohtainen keskiarvo. Kun käytössä ei ole kuin tehtaan vuoden 2017 kuukausikohtaiset energiankulutus- ja käyttötuntitiedot, voidaan keskiarvolaskenta jättää huomiotta.

Koska lämpimän käyttöveden käyttö kiinteistössä on pientä, toteutetaan sen lämmittäminen sähkölämmitteisesti. Tästä seuraa, että kiinteistön polttoaineen kulu-  
tusta normeerattaessa kaava 16 termi  $Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$  on nolla. Edellä mainitut  
redusointi sekä normeeraaminen toteutetaan, jolloin saadaan entisille energian-  
kulutuksille taulukoiden 18 ja 19 mukaiset kuukausikohtaiset arvot.

*TAULUKKO 18 Polttoaineen aiempi kuukausikohtainen kulutus*

	Lämmitystarveluvut 1981-2010 (°C vrk)	Tavoitetuotantotunnit [h]	Kiinteistö [MWh]	Tuotanto [MWh]	Yhteensä [MWh]
Tammikuu	824	133,7	230,20	96,30	326,50
Helmikuu	742	144,4	207,36	104,86	312,21
Maaliskuu	677	240,7	195,29	203,83	399,12
Huhtikuu	465	64,2	103,83	52,96	156,80
Toukokuu	249	256,8	55,00	147,65	202,65
Kesäkuu	47	256,8	0,50	213,99	214,49
Heinäkuu	9	278,2	0,00	199,01	199,01
Elokuu	55	304,9	30,00	246,09	276,09
Syyskuu	224	272,8	60,54	150,01	210,55
Lokakuu	423	278,2	77,26	203,29	280,55
Marraskuu	593	246,1	202,54	171,19	373,74
Joulukuu	749	123,0	202,75	107,00	309,75
<b>Yhteensä</b>	<b>5057</b>	<b>2600,0</b>	<b>1365,28</b>	<b>1896,18</b>	<b>3261,46</b>

TAULUKKO 19 Sähköenergian aiempi kuukausikohtainen kulutus

	Tavoitetuotantotunnit	Kiinteistö	Tuotanto	Yhteensä
	[h]	[MWh]	[MWh]	[MWh]
Tammikuu	133,7	20,00	119,84	139,84
Helmikuu	144,4	21,00	109,14	130,14
Maaliskuu	240,7	19,00	80,25	99,25
Huhtikuu	64,2	25,00	171,19	196,19
Toukokuu	256,8	19,00	160,49	179,49
Kesäkuu	256,8	20,00	165,84	185,84
Heinäkuu	278,2	20,00	181,89	201,89
Elokuu	304,9	18,00	165,84	183,84
Syyskuu	272,8	15,00	155,14	170,14
Lokakuu	278,2	16,00	174,40	190,40
Marraskuu	246,1	27,00	155,14	182,14
Joulukuu	123,0	30,00	126,26	156,26
Yhteensä	2600,0	250,00	1765,43	2015,43

Kun aiemmat redusoidut ja/tai normeeratut kuukausikohtaiset energiankulutukset ovat tiedossa voidaan määrittää optimoinnin kautta saatava energiansäästö. Optimoinnin osuus energiansäästössä määritetään kaavalla 18.

$$Q_{opt.} = Q_{red.norm.his.} - (Q_{red.norm.mit.} + Q_{red.norm.uusi}) \quad \text{KAAVA 18}$$

$Q_{opt.}$  Optimoinnista saatava säästö

$Q_{red.norm.his.}$  Redusoitu ja/tai normeerattu aiempi kulutus

$Q_{red.norm.mit.}$  Mittareista / taajuusmuuttajista saatava redusoitu ja/tai normeerattu arvo

$Q_{red.norm.uusi}$  Uusi redusoitu ja/tai normeerattu kulutus

Uutta energiankulutusdataa vuodelle 20XX ei ole saatavilla muille kuin tammi-, helmi-, maaliskuu-, ja huhtikuulle. Tämän vuoksi laskennassa käytetään etukäteen redusoituja ja/tai normeerattuja tammi-, helmi-, maaliskuu- ja huhtikuun arvoja. Kuvassa 44 ja 45 on esitetty optimoinnin kautta saatava polttoaineen- sekä sähkön- säästö.

	A	B	C	D	E	L
172			Redusoitu normeerattu	Uusi polttoaineen kulutus		Säästö optimoinnista
173		Vanha polttoaineen kulutus	polttoaineen säästö	Kiinteistö	Tuotanto	Polttoaine
174	Kuukausi	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]
175	Tammikuu	326,50	96,97	39,24	158,51	31,77
176	Helmikuu	312,21	93,99	56,21	123,81	38,20
177	Maaliskuu	399,12	124,47	42,31	196,97	35,37
178	Huhtikuu	156,80	28,35	23,25	77,04	28,16
179	Toukokuu	202,65	0,00	0,00	0,00	0,00
180	Kesäkuu	214,49	0,00	0,00	0,00	0,00
181	Heinäkuu	199,01	0,00	0,00	0,00	0,00
182	Elokuu	276,09	0,00	0,00	0,00	0,00
183	Syyskuu	210,55	0,00	0,00	0,00	0,00
184	Lokakuu	280,55	0,00	0,00	0,00	0,00
185	Marraskuu	373,74	0,00	0,00	0,00	0,00
186	Joulukuu	309,75	0,00	0,00	0,00	0,00
187	Kokovuosi yhteensä	3261,46	343,78	161,01	556,33	133,50

KUVA 44 Vuoden 20XX optimoinnin kautta saatava kuukausikohtainen polttoaineen säästö

	F	G	H	I	J	M
172				Uusi sähkön kulutus		Säästö optimoinnista
173		Vanha sähkön kulutus	Redusoitu sähkön säästö	Kiinteistö	Tuotanto	Sähkö
174	Kuukausi	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]
175	Tammikuu	139,84	18,82	10,00	99,07	11,95
176	Helmikuu	130,14	19,60	12,00	92,86	5,68
177	Maaliskuu	99,25	10,53	10,00	65,66	13,06
178	Huhtikuu	196,19	17,51	20,00	128,40	30,29
179	Toukokuu	179,49	0,00	0,00	0,00	0,00
180	Kesäkuu	185,84	0,00	0,00	0,00	0,00
181	Heinäkuu	201,89	0,00	0,00	0,00	0,00
182	Elokuu	183,84	0,00	0,00	0,00	0,00
183	Syyskuu	170,14	0,00	0,00	0,00	0,00
184	Lokakuu	190,40	0,00	0,00	0,00	0,00
185	Marraskuu	182,14	0,00	0,00	0,00	0,00
186	Joulukuu	156,26	0,00	0,00	0,00	0,00
187	Kokovuosi yhteensä	2015,43	66,46	52,00	385,98	60,97

KUVA 45 Vuoden 20XX optimoinnin kautta saatava kuukausikohtainen sähkön- säästö

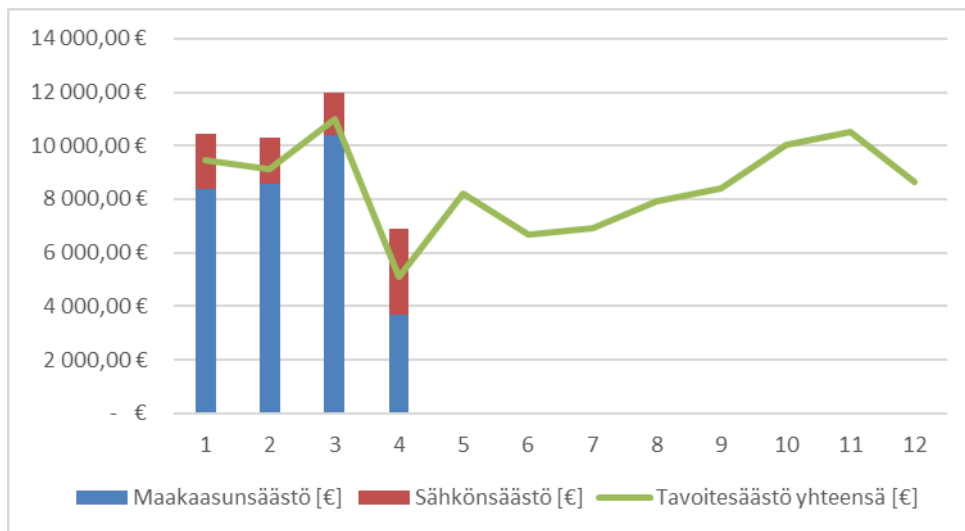
Kuvan 44 mukaan optimoinnista saatava polttoaineen säästö on tammikuussa 31,77 MWh eli 2 065,05 €, helmikuussa 38,20 MWh eli 2483,00 €, maaliskuussa 35,37 MWh eli 2 299,05 € ja huhtikuussa 28,16 MWh eli 1 830,40 €. Optimoinnista saatava sähkön säästö kuvan 45 mukaan on tammikuussa 11,95 MWh eli 800,65

€, helmikuussa 5,68 MWh eli 380,56 €, maaliskuussa 13,06 MWh eli 875,02 € ja huhtikuussa 30,29 MWh eli 2 029,43 €. Optimoinnista saatava kokonaissäästö on tammikuussa 2 865,71 €, helmikuussa 2 863,53 €, maaliskuussa 3 173,71 € ja huhtikuussa 3 859,67 €. Lisätään optimoinnista saatava kuukausikohtainen säästö kuvan 42 kuukausikohtaisiin kokonaisenergiansäästöihin, jolloin saadaan kuvan 46 mukaiset tulokset.

	A	B	C	D	E
191			Säästö	Säästö	Tavoitesäästö
192	Kuukausi		[MWh]	[€]	[€]
193	Tammikuu		159,51	10 429,78 €	9 483,87 €
194	Helmikuu		157,47	10 286,07 €	9 131,75 €
195	Maaliskuu		183,42	11 969,73 €	11 016,69 €
196	Huhtikuu		104,31	6 875,70 €	5 074,03 €
197	Toukokuu		0,00	- €	8 198,07 €
198	Kesäkuu		0,00	- €	6 681,13 €
199	Heinäkuu		0,00	- €	6 923,11 €
200	Elokuu		0,00	- €	7 927,74 €
201	Syyskuu		0,00	- €	8 405,84 €
202	Lokakuu		0,00	- €	10 032,10 €
203	Marraskuu		0,00	- €	10 517,72 €
204	Joulukuu		0,00	- €	8 656,97 €
205	Kokovuosi yhteensä		604,71	39 561,27 €	102 049,00 €

*KUVA 46 Vuoden 20XX kuukausikohtainen kokonaisenergiansäästö, jossa redusointi, normeeraus ja optimointi on huomioitu.*

Kun verrataan kuvan 46 kuukausikohtaista tapahtunutta todellista säästöä tavoitesäästöön, huomataan säästötavoitteen ylittyvän joka kuukausi. Tavoite ylittyi tammikuussa 945,91 €, helmikuussa 1 154,32 €, maaliskuussa 953,04 € ja huhtikuussa 1 801,67€. Optimoinnin vaikutus kokonaissäästöön on näin ollen merkittävä. Jos pelkkiin mittariarvoihin olisi luotettu eikä optimointia huomioitu, säästötavoitteeseen ei päästäisi. Tästä johtuen optimoinnin huomioiminen on ensiarvoisen tärkeää energiansäästön todentamisessa. Havainnollistamisen helpottamiseksi kuvan 46 tulokset on esitetty graafisesti kuvassa 47.



*KUVA 47 Vuoden 20XX kuukausikohtainen kokonaisenergiansäästö, jossa redusointi, normeeraus ja optimointi on huomioitu*

#### **Vaihe 5: Tarkastelu historiatiedoista**

Vaiheen 5 tarkoituksena on vain tarkastaa, onko laskentatulokset vaiheiden 1,2,3 ja 4 jälkeen oikein. Lisäksi voidaan tarkistaa redusoinnin sekä normeerauksen oikeellisuus. Toisin sanottuna jätetään energiansäästö- sekä taajuusmuuttajien lukemat huomioimatta, redusoidaan sekä normeerataan entinen sekä nykyinen energiankulutus, vähennetään entisestä arvosta nykyinen arvo, jolloin saadaan redusoitu ja normeerattu kokonaisenergiansäästö. Tämän tuloksen tulee olla saman suuruinen kuin vaiheen 4 tulos, jotta laskennan voidaan todeta onnistuneen. Suoritetaan edellä mainitut toiminnot ja saadaan kuvan 48 mukainen tulos.



	A	B	C	D
355			Säästö	Säästö
356	Kuukausi		[MWH]	[€]
357	Tammikuu		159,51	10 429,78 €
358	Helmikuu		157,47	10 286,07 €
359	Maaliskuu		183,42	11 969,73 €
360	Huhtikuu		104,31	6 875,70 €
361	Toukokuu		0,00	- €
362	Kesäkuu		0,00	- €
363	Heinäkuu		0,00	- €
364	Elokuu		0,00	- €
365	Syyskuu		0,00	- €
366	Lokakuu		0,00	- €
367	Marraskuu		0,00	- €
368	Joulukuu		0,00	- €
369	Kokovuosi yhteensä		604,71	39 561,27 €

*KUVA 48 Vuoden 20XX kuukausikohtainen kokonaisenergiansäästö, jossa redusointi, normeeraus ja optimointi on huomioitu ja laskenta suoritettu ilman mitarituloksia*

Kuten kuvasta 48 nähdään tammi- ja helmikuun arvot ovat täysin samat kuin kuvan 47 arvot. Voidaan todeta redusoinnin sekä normeerauksen onnistuneen. Energiansäästötavoitteeseen tullaan näin ollen pääsemään ainakin tammi-, helmi-, maaliskuu- ja huhtikuun osalta.

## 5.4 Tulosten analysointi

Koska kuvitteellisen laitoksen mittausdataa on osoitettu vain tammi-, helmi-, maaliskuun ja huhtikuulle, todellista vuosisäästöä ei voida kokonaan todentaa. Laskenta kuitenkin osoittaa, että säästötavoitteeseen tullaan kuvitteellisen tehtaan nykyisellä käyttömäärällä pääsemään. Se kuinka paljon energiaa todellisuudessa säästetään, voidaan laskea vasta kun jokaisen kuukauden mittarilukemat, käyttötunnit sekä lämmitystarveluvut ovat määritetty.

Kuitenkin suuntaa antavia arvioita kokonaisvuosisäästöstä voidaan antaa. Kuvitteellisen tehtaan tammikuun todellinen säästö oli vajaa 10 % tavoitetta suurempi, helmi-, maaliskuun ja huhtikuun vastaavat luvut ovat 12,6 %, 8,7 % ja 35,5 %. Jos oletetaan, että tulevat energiansäästöt kuukaudessa ovat noin 12 % tavoitetta suuremmat, niin kokonaisenergiensäästö on noin 115 000 €. Tämä on noin 13 000 € tavoitetta suurempi energiansäästö. Näin ollen kuvitteelliselle tehtaalle luvattu tavoite-energiensäästö toteutuu.

## 6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli rakentaa työkalu, jolla pystytään todentamaan luvatus energiansäästön toteutumisen tehdaskiinteistössä sekä vertailemaan eri vuosia energiankulutuksellisesti toisiinsa. Samalla tutkittiin tehdaskiinteistöön asennettavan LTO-järjestelmän suorituskkyä eri ulkolämpötiloissa.

Aluksi työssä perehdyttiin tehtaan LTO- sekä IV-järjestelmien PI-kaavioihin ja selvitettiin, millaista dataa LTO-järjestelmän suorituskvyn teoreettiseen mallintamiseen vaaditaan ja miten energiansäästö todentaminen toteutetaan. Alkuvaiheessa ongelmakohtaksi osoittautui toimitetun datan valtava määrä. Työn suorittamisen kannalta relevantin tiedon etsiminen sekä löytäminen veivät valtavasti aikaa. Toisaalta hankkeen edetessä ja ammattitaidon karttuessa intuitiolla valitut tiedot osoittautuivat työn loppuvaiheessa oikeiksi valinnoiksi ja niitä hyödynnettiin mm. LTO-järjestelmän teoreettisen suorituskvyn mallintamisessa.

LTO-järjestelmän teoreettisen suorituskvyn mallintamisessa ei otettu huomioon fluideissa tapahtuvia lämpösiirtymähäviöitä. Hyötysuhteen oletettiin näin ollen olevan 1. Todellisuudessa systeemissä tapahtuu aina häviöitä, mutta laskennat osoittivat, että jos laskenta suoritetaan oikeilla arvoilla, saadaan jokaisesta LTO-järjestelmän komponentista lähes sama tehonarvo kuin komponentin valmistaja. Näin ollen laskentaa voidaan pitää suhteellisen oikeana. Järjestelmän teoreettisen suorituskvyn mallintamisessa kävi myös ilmi, että järjestelmää on mahdollista kehittää vielä entisestään. Liitteessä 1/4 esitetyn kuvitteellisen tehtaan patteriverkoston paluuveden lämmittäminen on tämän hetkiselä järjestelmällä hyvin rajallista johtuen varaajalta lämmönsiirtimelle tulevan nesteen alhaisesta tulolämpötilasta. Käytännössä ajankohdat jolloin patteriverkoston paluuveden lämpötila on riittävän alhainen sijoittuvat keväälle, kesälle sekä syksylle. Suurimman osan vuodesta LTO-järjestelmän lämmityspotentiaali on huomattavasti lämmitettävää kuormaa suurempi. Jos patteriverkoston lämmönsiirtimelle menevän nesteen lämpötilaa saataisiin nostettua niin, että siirtimelle menevän nesteen lämpötila olisi +50 °C, patteriverkoston paluuvettä voitaisiin lämmittää myös kylmempinä

talvikuukausina. Tämä voitaisiin toteuttaa varaajan ja lämmönsiirtimeen LS1:n väliin sijoitetulla lämpöpumpulla. Se, onko tällaisen järjestelmän toteuttaminen taloudellisesti kannattavaa, on varteenotettava tutkimuskohde.

Energiansäästöön vaikuttavat sekä tehtaan tuotantotunnit että ulkolämpötila. Näiden kahden asian yhdistäminen osoittautui yllättävän haastavaksi tehtäväksi, mutta ymmärryksen ja ammattitaidon karttuessa toteutuskelpoinen ratkaisu lopulta löytyi. Todentamisessa yllättävää oli optimoinnista saatavan energiansäästön suuri osuus kokonaisenergiansäästöstä. Lähtökohtaisesti ajatuksena oli, että jo energiamittareilta sekä taajuusmuuttajilta saatavilla lukemilla voitaisiin todentaa säästötavoitteen toteutuminen. Jos pelkkään mittareista saatavaan mittausdataan olisi luotettu, optimoinnista saatava energiansäästö olisi jäänyt kokonaan huomioimatta ja säästötavoite toteutumatta. Tästä syystä laskennallisen energiansäästön todentaminen osoittautui järkevämmäksi ratkaisuksi.

Edellisessä luvussa esitetyllä työkalulla voidaan osoittaa energiansäästön toteutuminen teollisuuskiinteistössä. Tuloksista voidaan todeta, että kuvitteellinen järjestelmä saavuttaa sille luvatussa energiansäästötavoitteen ainakin tammi-, helmikuussa, maaliskuussa ja huhtikuussa. Jos ko. tehtaan tuotanto toimii normaalisti ilman häiriöitä, tullaan energiansäästötavoitteeseen pääsemään myös loppuvuoden osalta. Samat tekniikat, jotka pätevät em. kuvitteelliseen tilanteeseen, toimivat myös oikean tehtaan LTO-järjestelmän suorituskyvyn määrittämisessä sekä energiansäästön todentamisessa.

## LÄHTEET

1. Kilpeläinen, Heikki – Valkonen, Hannu – Väisänen, Heikki 2000. ESCO-toiminnan yleisperiaatteet ja Motiva ESCO-konsepti. Helsinki: Motiva.
2. Saarivirta, Erja 2017. Energiatehokkuus- ja ESCO-palvelut. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatehokkuus- ja esco-palvelut>. Hakupäivä 30.1.2018.
3. Energiatuki. 2018. Business Finland. Saatavissa: <https://www.business-finland.fi/energiatuki/>. Hakupäivä 01.02.2018.
4. Energiapalveluja kunnille ja muille julkisyhteisöille. 2007. Motiva Oy. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/803/esco\\_opas\\_23042007.pdf](https://www.motiva.fi/files/803/esco_opas_23042007.pdf). Hakupäivä 01.02.2018.
5. Bergman, Isa-Maria – Koski, Pertti 2013. ESCO-hankintojen teemapäivä. Saatavissa: [https://asiakas.kotisivukone.com/files/ukipolis.palvelee.fi/Eetu/ESCO-hankintojen\\_teemapaiiva/isa\\_maria\\_bergman-motiva.pdf](https://asiakas.kotisivukone.com/files/ukipolis.palvelee.fi/Eetu/ESCO-hankintojen_teemapaiiva/isa_maria_bergman-motiva.pdf). Hakupäivä: 02.02.2018
6. Mäkelä, Veli-Matti – Tuunanen, Jarmo 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkeli: Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Hakupäivä 03.02.2018
7. Rakennusten kaukolämmitys. 2003. Määräyksen ja ohjeet. Energiatoimisuus. Julkaisu K1/2003. Saatavissa: <https://www.fortum.com/counties/fi/SiteCollectionDocuments/Kaukolampo/Kaukol%C3%A4mmitys%20m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset%20ja%20ohjeet.pdf>. Hakupäivä: 20.03.2018
8. Vuositolasto. 2017. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuositolastot>. Hakupäivä: 20.03.2018
9. Kulutuksen normitus. Laskentakaavat ja -ohjeet. 2016. Motiva. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/12186/Kulutuksen\\_normitus\\_Laskentakaavat\\_ja\\_-ohjeet\\_Motiva\\_Oy\\_12-2016.pdf](https://www.motiva.fi/files/12186/Kulutuksen_normitus_Laskentakaavat_ja_-ohjeet_Motiva_Oy_12-2016.pdf). Haettu 28.03.2018

10. Air - Density, Specific Weight and Thermal Expansion Coefficient at Varying Temperature and Constant Pressures. 2003. The Engineering Tool-Box. Saatavissa: [https://www.engineeringtoolbox.com/air-density-specific-weight-d\\_600.html](https://www.engineeringtoolbox.com/air-density-specific-weight-d_600.html). Hakupäivä 20.03.2018
11. Bailey, Margaret B – Boettner, Daisie D – Moran, Michael J – Shapito, Howard N 2015. Principles of Engineering Thermodynamics. 8<sup>th</sup> Edition SI version. Englanti: John Wiley Sons

## LIITTEET

Liite 1 Lämmöntalteenottojärjestelmän sekä IV-koneiden PI-kaaviot

Liite 2 Etyleeniglykolin (35 m-%) tiheys eri lämpötiloissa

Liite 3 Etyleeniglykolin tiheys lämpötilanfunktiona

Liite 4 Etyleeniglykolin (35 m-%) ominaislämpökapasiteetti eri lämpötiloissa

Liite 5 Etyleeniglykolin ominaislämpökapasiteetti lämpötilanfunktiona

Liite 6 Coolpackista ja funktioista saatavat arvot etyleeniglykolille

Liite 7 Ilman tiheys eri lämpötiloissa (10.)

Liite 8 Yhdistetyn funktion tulosten vertailu (ilman tiheys)

Liite 9 Ilman ominaislämpökapasiteetti vakio paineessa

eri lämpötiloissa (11, s.835.)

Liite 10 Ilman ominaislämpökapasiteetin osafunktiot

Liite 11 Yhdistetyn funktion tulosten vertailu (ilman ominaislämpökapasiteetti vakio paineessa)

Liite 12 Kylläisen veden ominaistilavuus ja tiheys eri lämpötiloissa (11, s. 800.)

Liite 13 Veden tiheyden osafunktiot

Liite 14 Yhdistetyn funktion tulosten vertailu (veden tiheys)

Liite 15 Kylläisen veden entalpia eri lämpötiloissa (11, s. 800.)

Liite 16 Kylläisen veden entalpian osafunktiot

Liite 17 Yhdistetyn funktion tulosten vertailu (veden entalpia)

Liite 18 Sisään tulevan ilman ja sitä vastaavan etyleeniglykolin lämpötila sekä lämmityspatterin teho

Liite 19 Osafunktiot FL100/1

Liite 20 Yhdistetyn funktion vertailu laskenta-arvoihin (FL100/1)

Liite 21 Sisään tulevan ilman ja sitä vastaavan etyleeniglykolin lämpötila sekä lämmityspatterin teho (TK80-4)

Liite 22 Osafunktiot TK80-4

Liite 23 Yhdistetyn funktion vertailu laskenta-arvoihin (TK80-4)

Liite 24 Ulkoilman lämpötilat sekä niitä vastaavat patteriverkoston paluulämpötilat

Liite 25 Osafunktiot pölynpoisto

Liite 26 Yhdistetyn funktion vertailu laskenta-arvoihin (pölynpoisto)

Liite 27 Uunin teho sekä poistuvan savukaasun lämpötila eri ulkolämpötiloissa

Liite 28 Osafunktiot uuni

Liite 29 Yhdistetyn funktion vertailu laskenta-arvoihin (uuni)

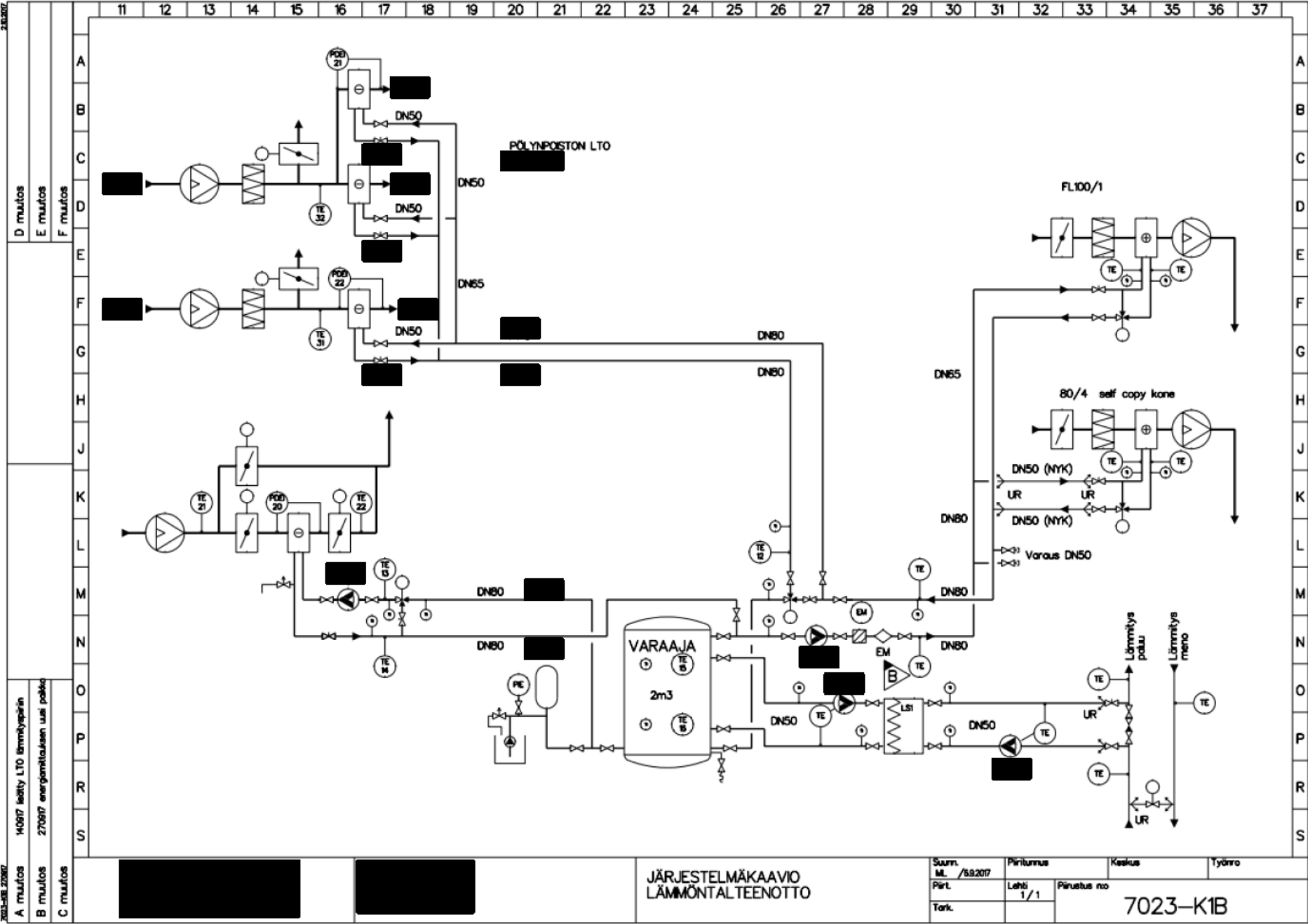
Liite 30 LTO-järjestelmän teho eri ulkolämpötiloissa

Liite 31 Uunin ja pölynpoiston kokonaisteho sekä LTO:n hyötysuhde

Liite 32 Normaalivuoden sekä vuoden 20XX lämmitystarveluvut Oulun alueelle

Liite 33 Kaavaliite



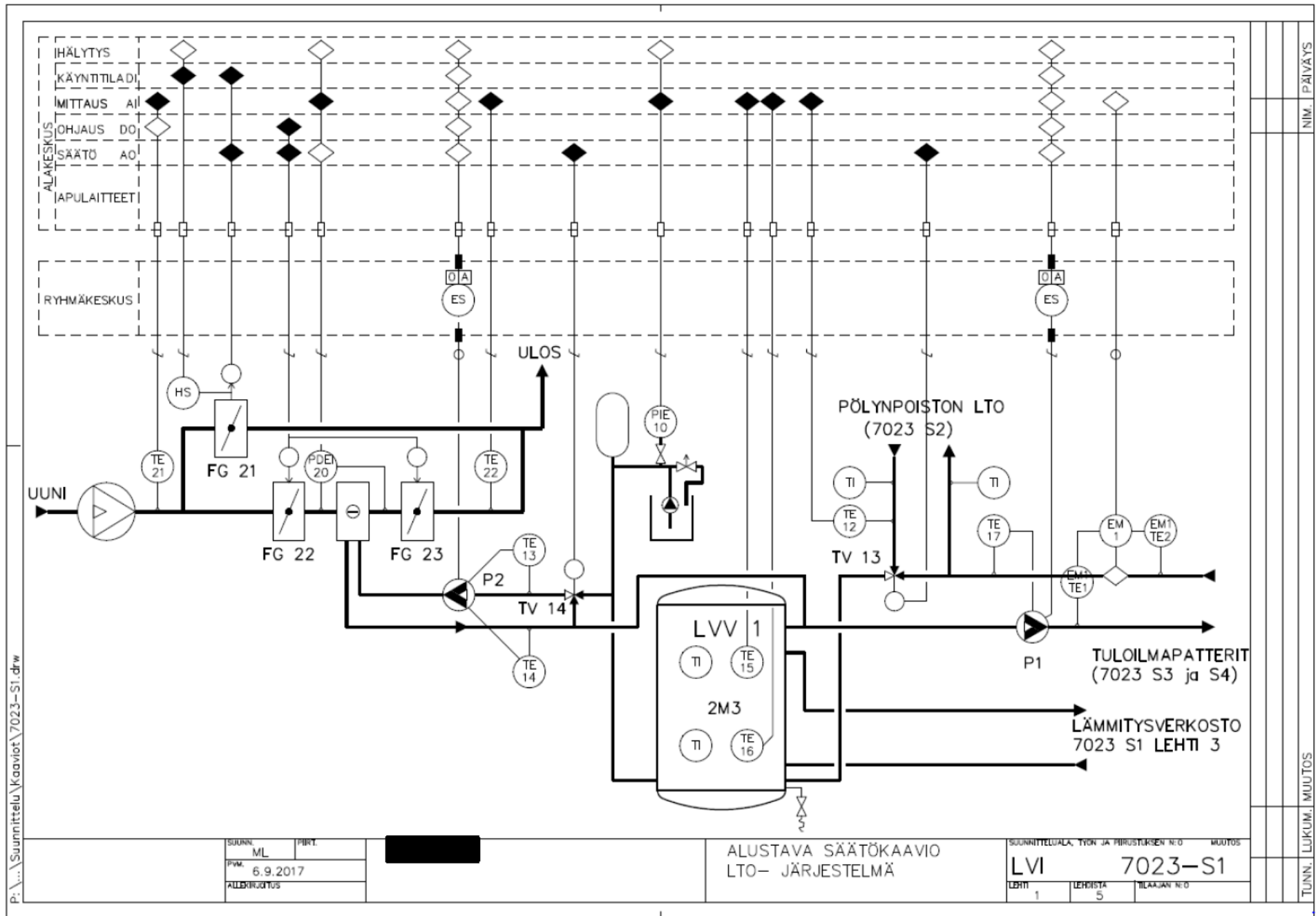


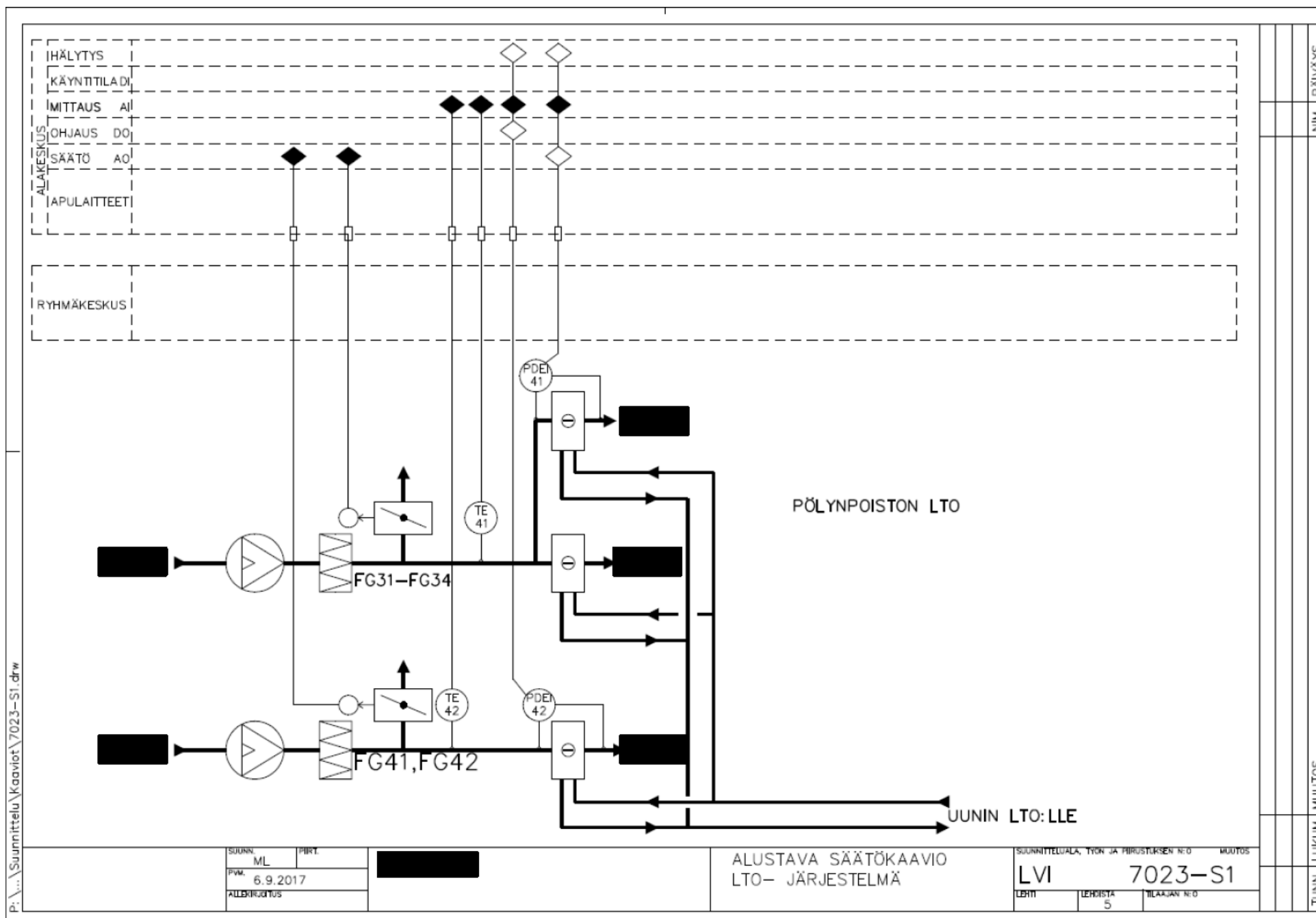
JÄRJESTELMÄKAAVIO  
LÄMMÖNTALTEENOTTO

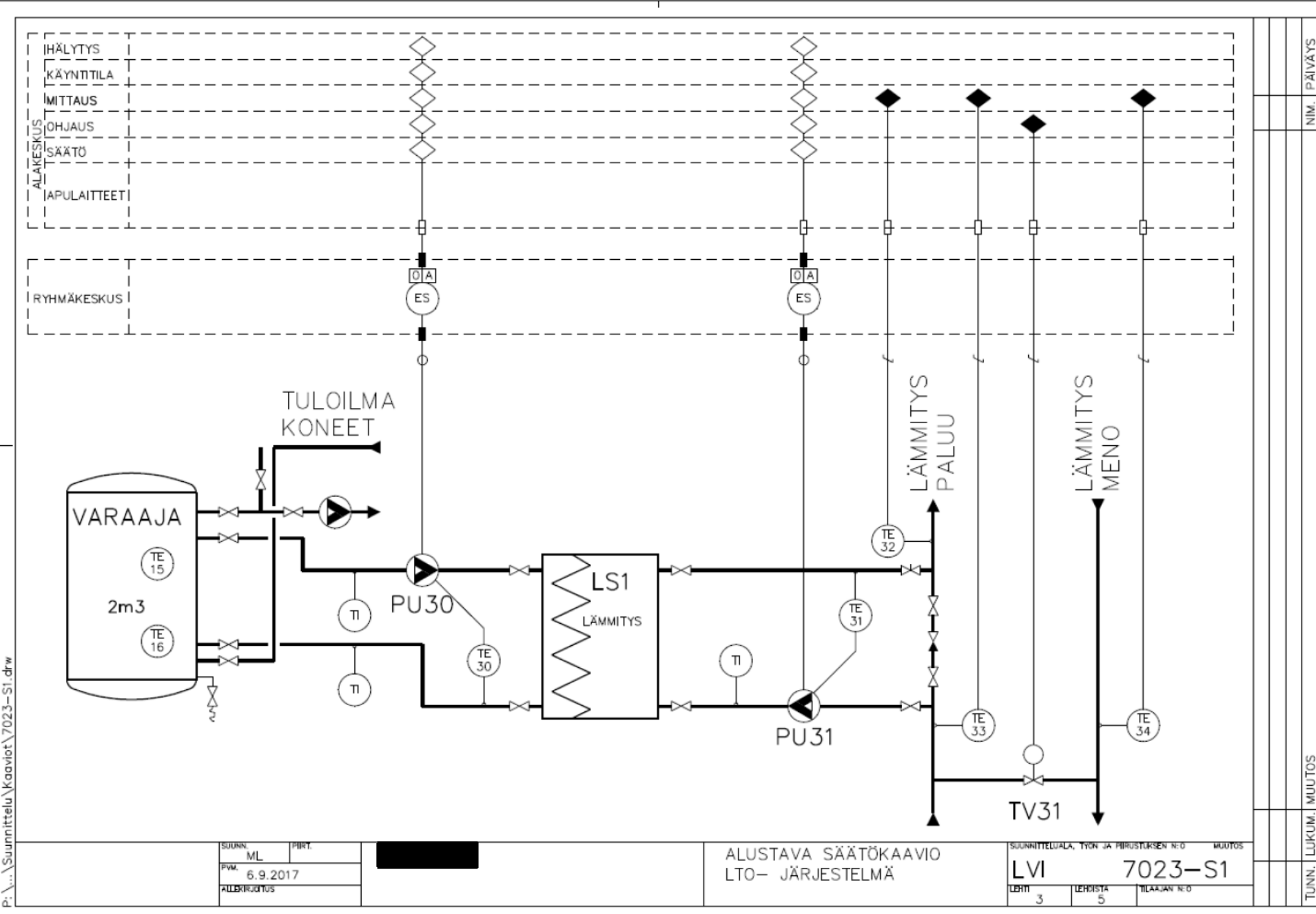
Suom.  
ML / 6.9.2017  
Pirt.  
Tark.

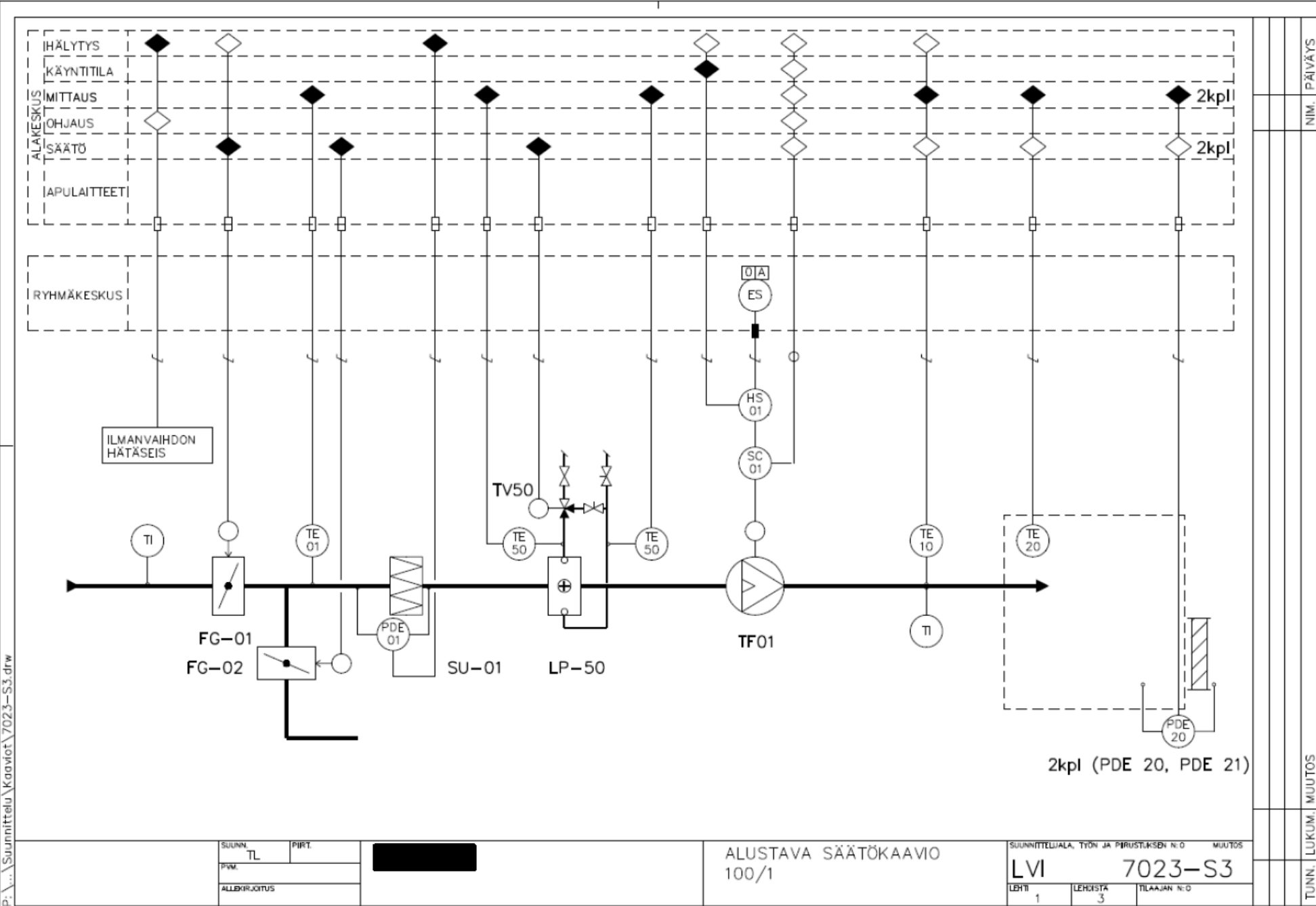
Piirustus  
Lehti  
1/1  
Piirustus no

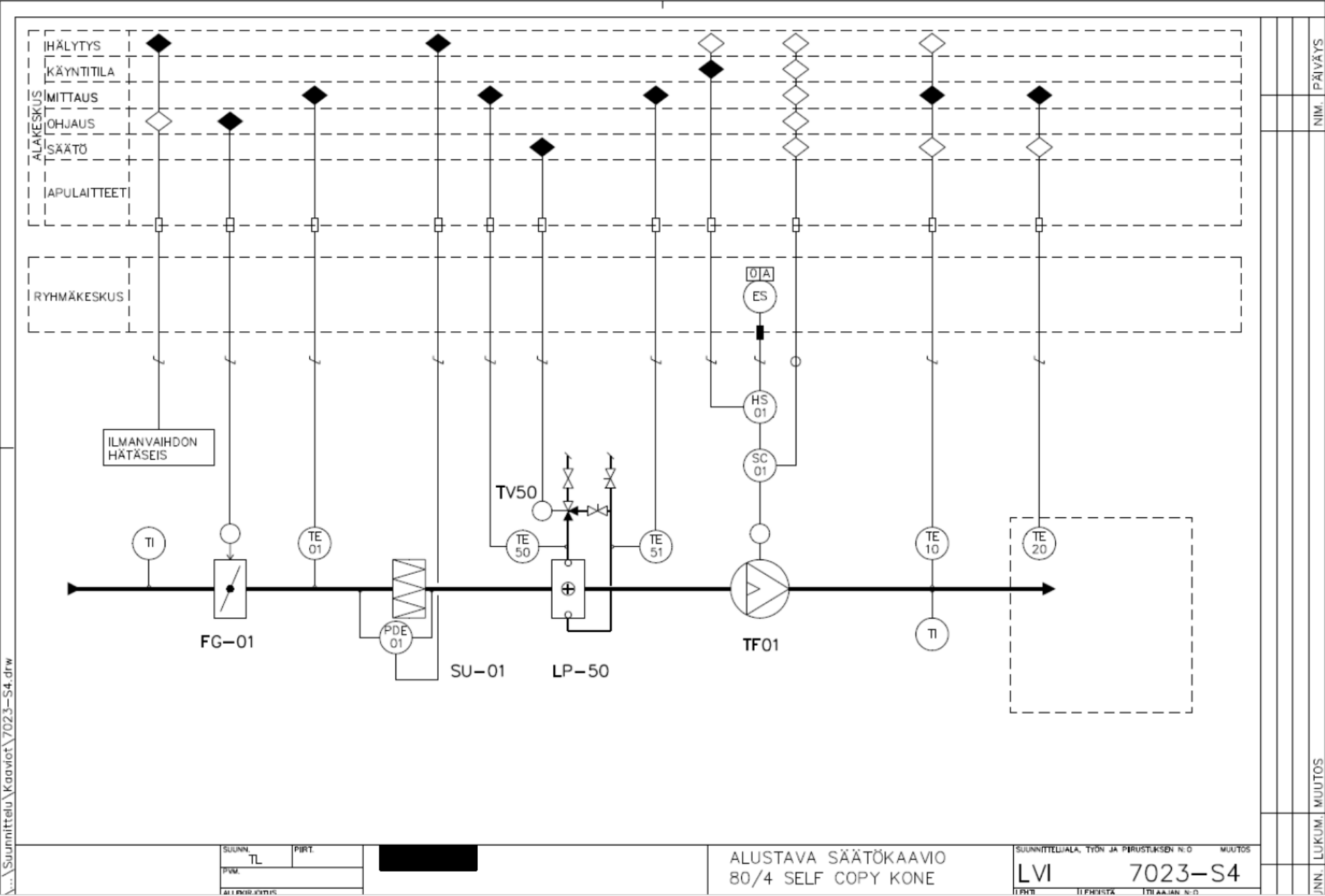
Keskus  
Työno  
7023-K1B

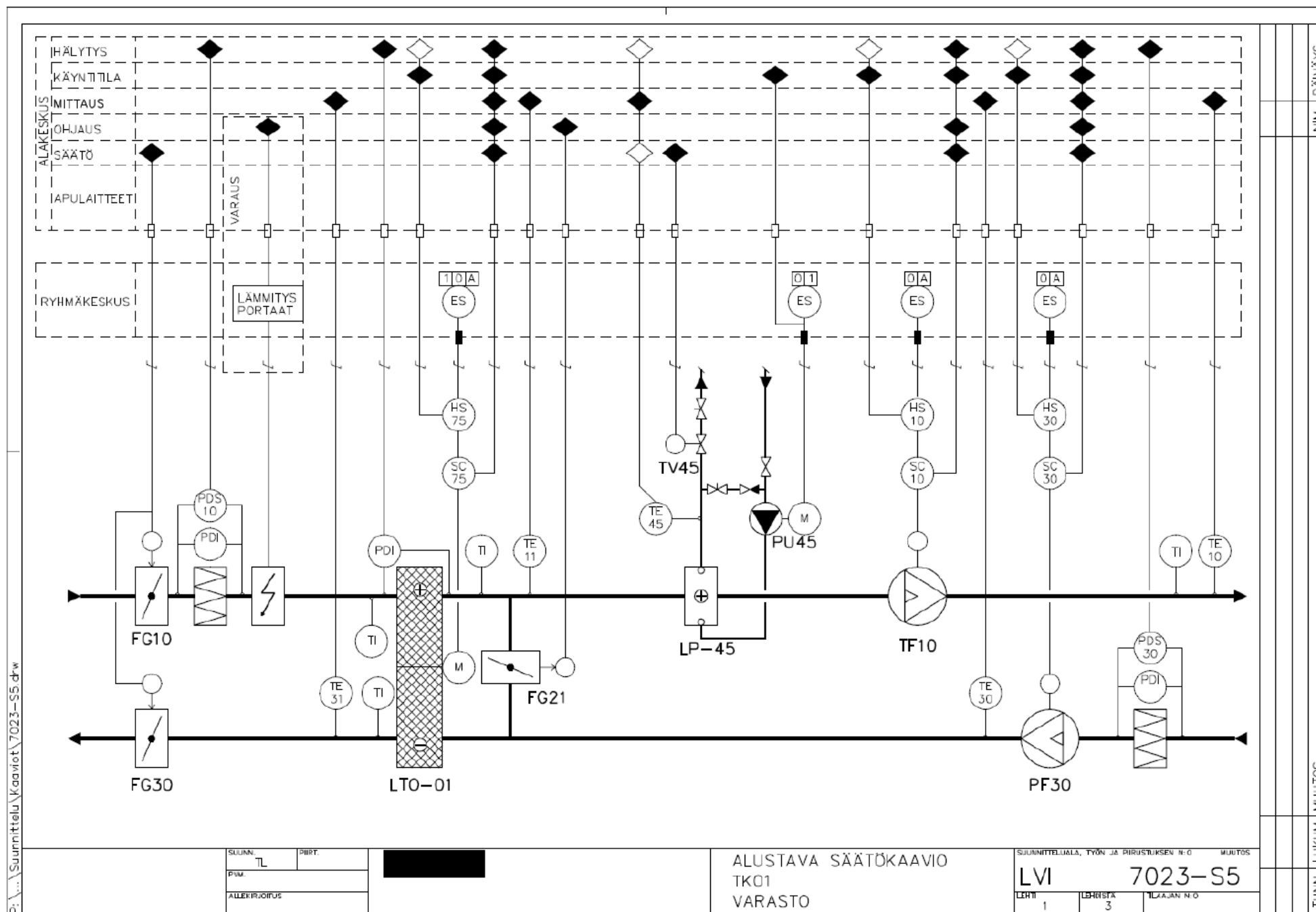


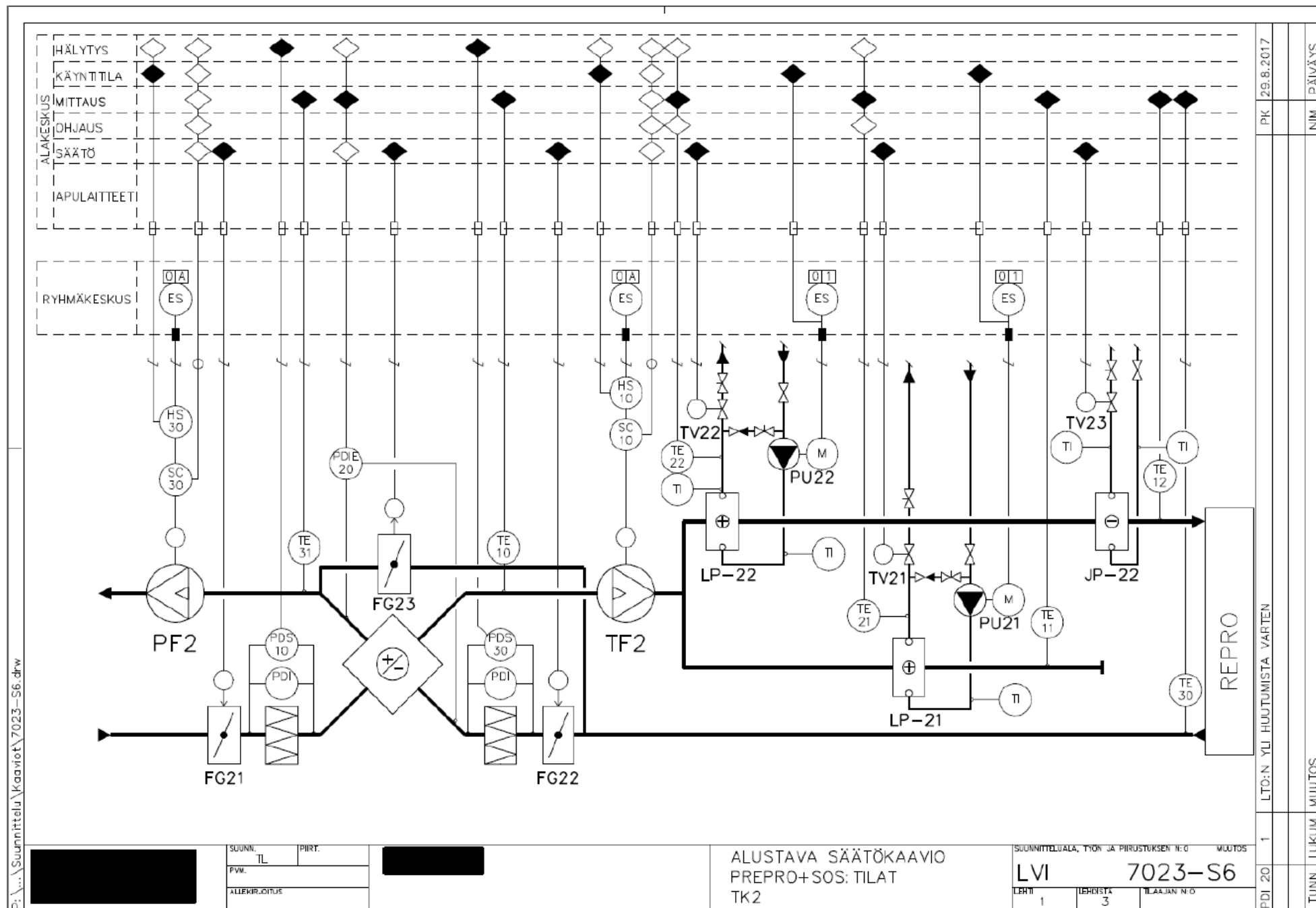




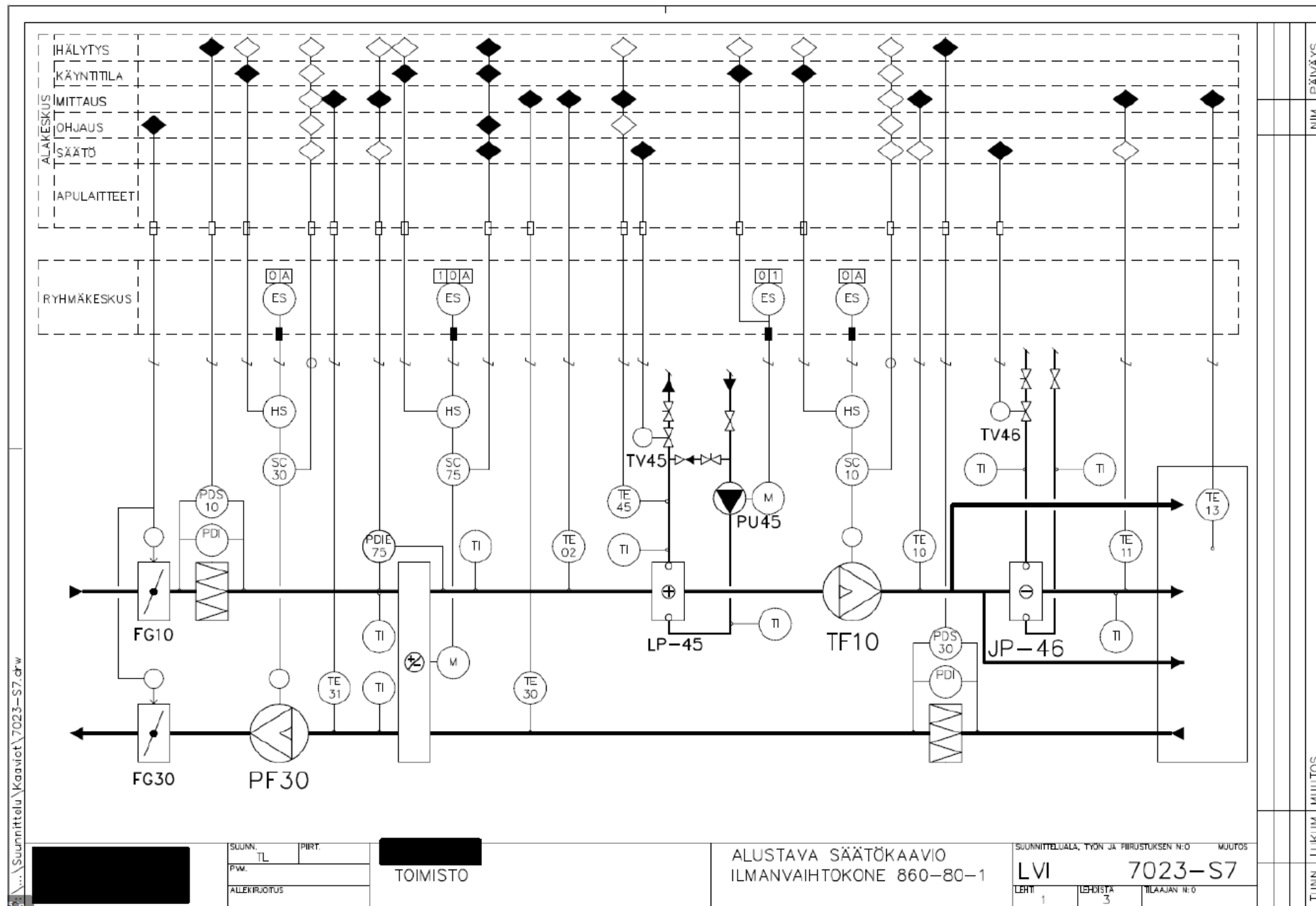


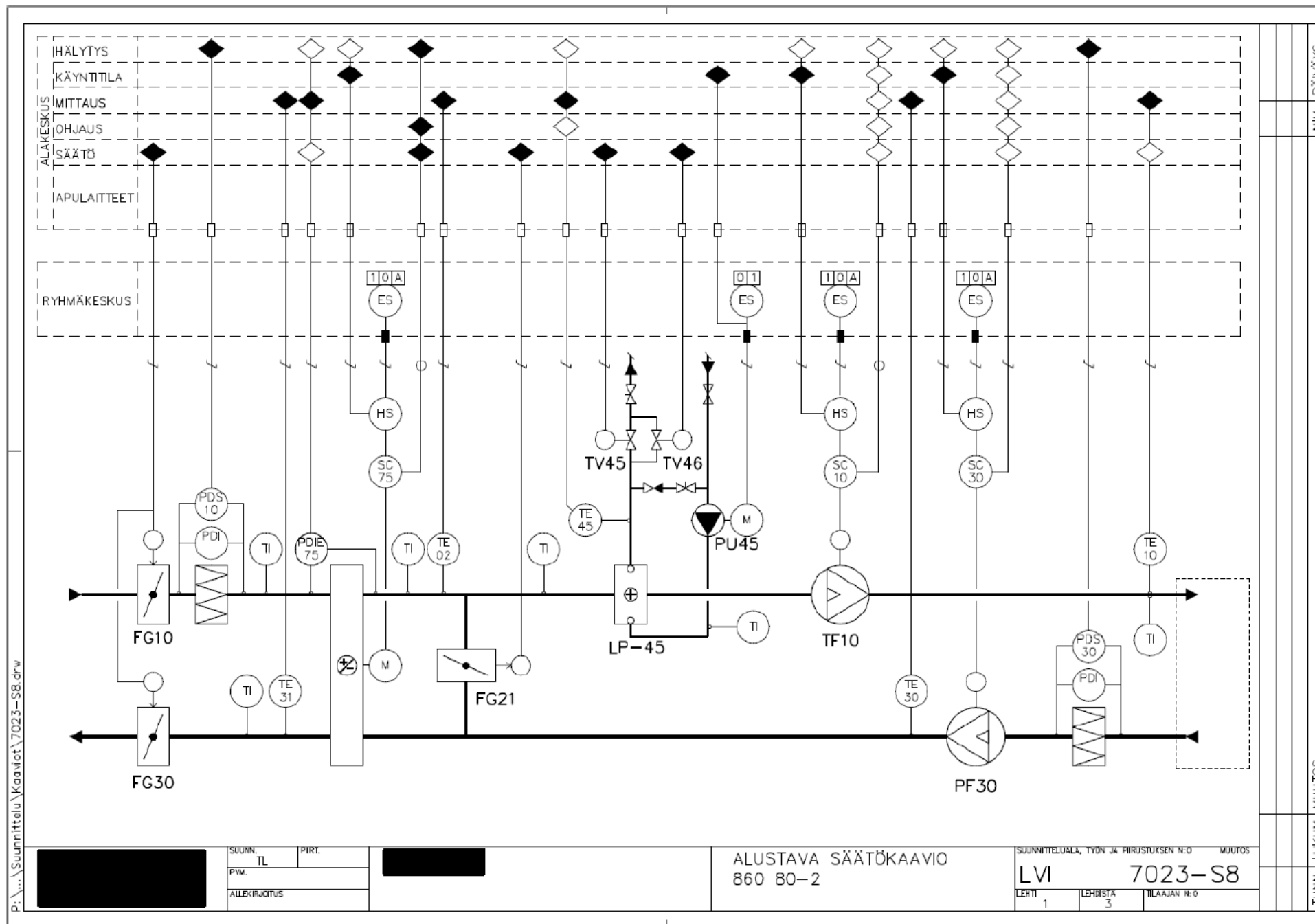


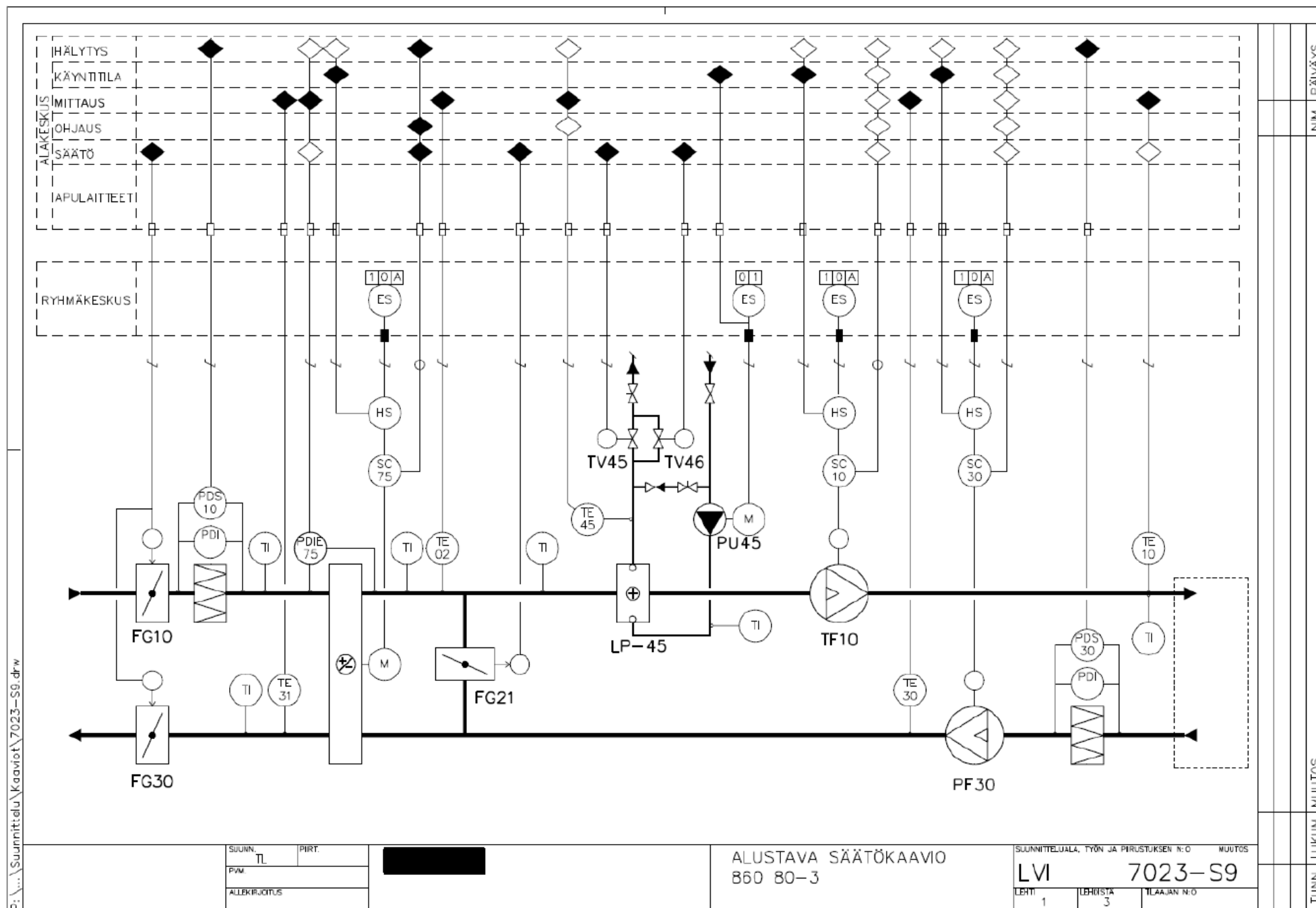




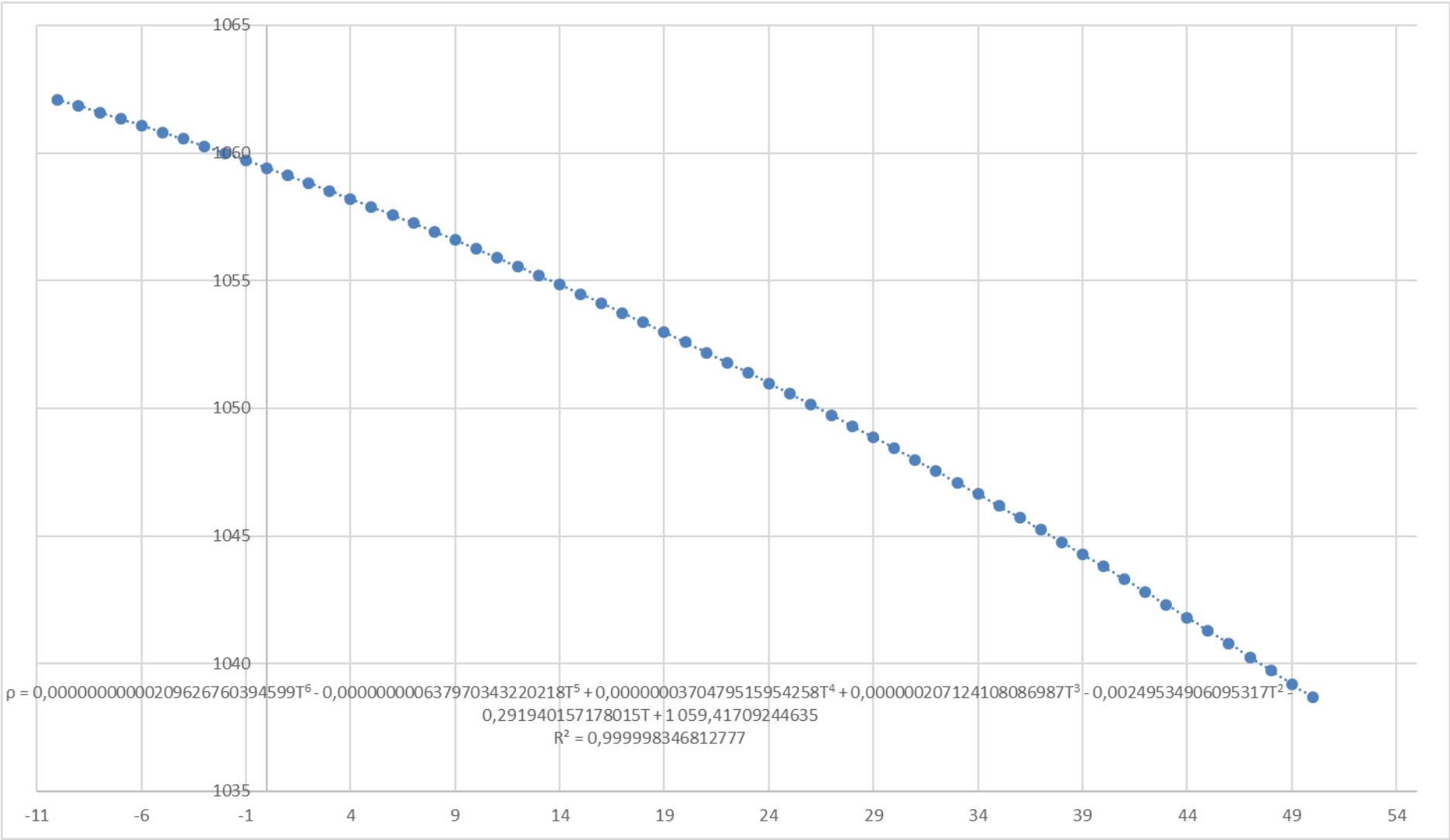




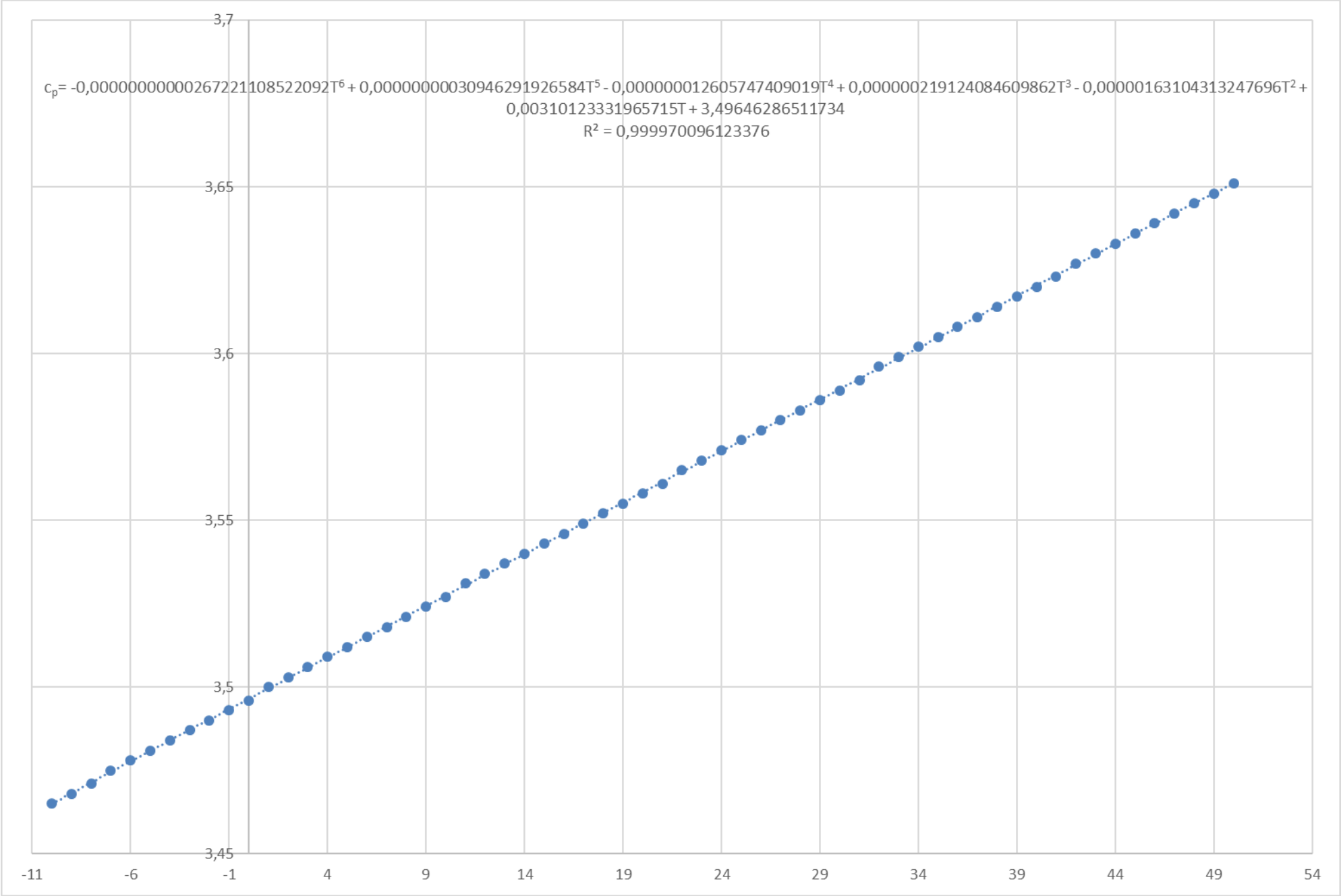




T[°C]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	T[°C]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
-10	1062,09	21	1052,19
-9	1061,84	22	1051,8
-8	1061,59	23	1051,39
-7	1061,34	24	1050,98
-6	1061,08	25	1050,57
-5	1060,81	26	1050,15
-4	1060,55	27	1049,73
-3	1060,27	28	1049,3
-2	1059,99	29	1048,87
-1	1059,71	30	1048,44
0	1059,42	31	1047,99
1	1059,12	32	1047,55
2	1058,82	33	1047,1
3	1058,52	34	1046,64
4	1058,21	35	1046,18
5	1057,89	36	1045,71
6	1057,58	37	1045,24
7	1057,25	38	1044,76
8	1056,92	39	1044,28
9	1056,59	40	1043,8
10	1056,25	41	1043,31
11	1055,9	42	1042,81
12	1055,56	43	1042,31
13	1055,2	44	1041,81
14	1054,84	45	1041,3
15	1054,48	46	1040,78
16	1054,11	47	1040,26
17	1053,74	48	1039,74
18	1053,36	49	1039,21
19	1052,97	50	1038,67
20	1052,59	-	-



T[°C]	cp[kJ/kgK]	T[°C]	cp[kJ/kgK]
-10	3,465	21	3,561
-9	3,468	22	3,565
-8	3,471	23	3,568
-7	3,475	24	3,571
-6	3,478	25	3,574
-5	3,481	26	3,577
-4	3,484	27	3,58
-3	3,487	28	3,583
-2	3,49	29	3,586
-1	3,493	30	3,589
0	3,496	31	3,592
1	3,5	32	3,596
2	3,503	33	3,599
3	3,506	34	3,602
4	3,509	35	3,605
5	3,512	36	3,608
6	3,515	37	3,611
7	3,518	38	3,614
8	3,521	39	3,617
9	3,524	40	3,62
10	3,527	41	3,623
11	3,531	42	3,627
12	3,534	43	3,63
13	3,537	44	3,633
14	3,54	45	3,636
15	3,543	46	3,639
16	3,546	47	3,642
17	3,549	48	3,645
18	3,552	49	3,648
19	3,555	50	3,651
20	3,558	-	-



T[°C]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho^*$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Ero- tus
-10	1058,31	1058,31	0,00
-9	1058,07	1058,07	0,00
-8	1057,83	1057,83	0,00
-7	1057,58	1057,58	0,00
-6	1057,33	1057,33	0,00
-5	1057,07	1057,07	0,00
-4	1056,81	1056,81	0,00
-3	1056,54	1056,54	0,00
-2	1056,27	1056,27	0,00
-1	1056,00	1055,99	0,01
0	1055,71	1055,71	0,00
1	1055,43	1055,43	0,00
2	1055,13	1055,13	0,00
3	1054,84	1054,84	0,00
4	1054,53	1054,54	-0,01
5	1054,23	1054,23	0,00
6	1053,92	1053,92	0,00
7	1053,60	1053,6	0,00
8	1053,28	1053,28	0,00
9	1052,95	1052,95	0,00
10	1052,62	1052,62	0,00
11	1052,28	1052,28	0,00
12	1051,94	1051,94	0,00
13	1051,59	1051,59	0,00
14	1051,24	1051,24	0,00
15	1050,89	1050,89	0,00
16	1050,52	1050,52	0,00
17	1050,16	1050,16	0,00
18	1049,79	1049,79	0,00
19	1049,41	1049,41	0,00
20	1049,03	1049,03	0,00

T[°C]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho^*$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Ero- tus
21	1048,64	1048,64	0,00
22	1048,25	1048,25	0,00
23	1047,86	1047,86	0,00
24	1047,46	1047,46	0,00
25	1047,05	1047,05	0,00
26	1046,64	1046,64	0,00
27	1046,23	1046,23	0,00
28	1045,81	1045,81	0,00
29	1045,38	1045,38	0,00
30	1044,95	1044,95	0,00
31	1044,52	1044,52	0,00
32	1044,08	1044,08	0,00
33	1043,63	1043,63	0,00
34	1043,18	1043,18	0,00
35	1042,73	1042,73	0,00
36	1042,27	1042,27	0,00
37	1041,81	1041,81	0,00
38	1041,34	1041,34	0,00
39	1040,86	1040,86	0,00
40	1040,39	1040,39	0,00
41	1039,90	1039,9	0,00
42	1039,41	1039,41	0,00
43	1038,92	1038,92	0,00
44	1038,42	1038,42	0,00
45	1037,92	1037,92	0,00
46	1037,41	1037,41	0,00
47	1036,90	1036,9	0,00
48	1036,38	1036,38	0,00
49	1035,86	1035,86	0,00
50	1035,33	1035,33	0,00



## COOLPACKISTA JA FUNKTIOISTA SAATAVAT ARVOT ETYLEENIGLYKOLILLE LIITE 6/2

T[°C]	cp kJ/[kg°C]	cp* kJ/[kg°C]	Erotus
-10	3,512	3,512	0,000
-9	3,515	3,515	0,000
-8	3,518	3,518	0,000
-7	3,521	3,521	0,000
-6	3,524	3,524	0,000
-5	3,527	3,527	0,000
-4	3,530	3,530	0,000
-3	3,533	3,533	0,000
-2	3,536	3,536	0,000
-1	3,539	3,539	0,000
0	3,542	3,542	0,000
1	3,545	3,545	0,000
2	3,548	3,548	0,000
3	3,551	3,551	0,000
4	3,554	3,554	0,000
5	3,557	3,557	0,000
6	3,560	3,560	0,000
7	3,563	3,563	0,000
8	3,566	3,566	0,000
9	3,569	3,569	0,000
10	3,572	3,572	0,000
11	3,575	3,575	0,000
12	3,578	3,578	0,000
13	3,581	3,581	0,000
14	3,584	3,584	0,000
15	3,587	3,587	0,000
16	3,590	3,590	0,000
17	3,592	3,592	0,000
18	3,595	3,595	0,000
19	3,598	3,598	0,000
20	3,601	3,601	0,000

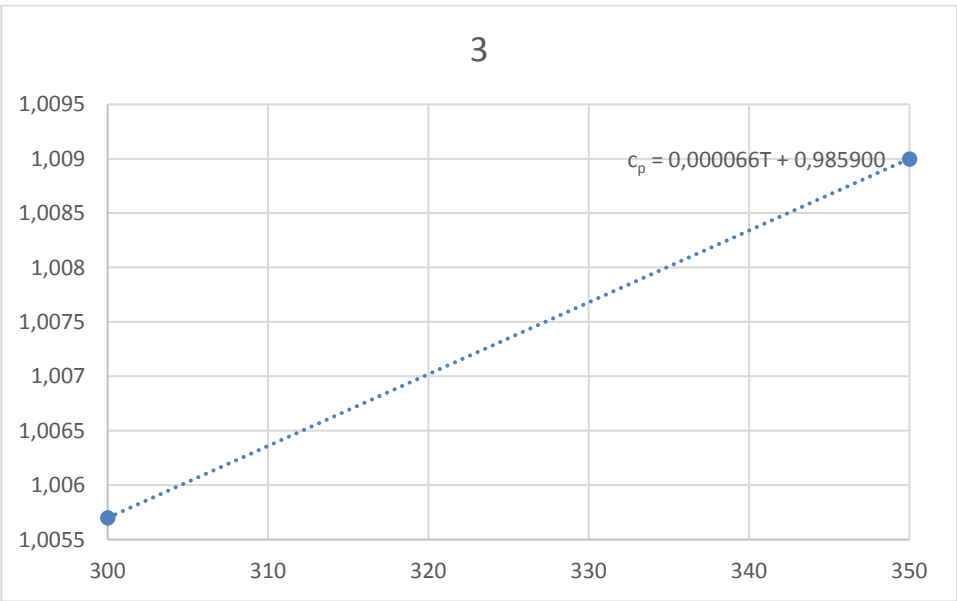
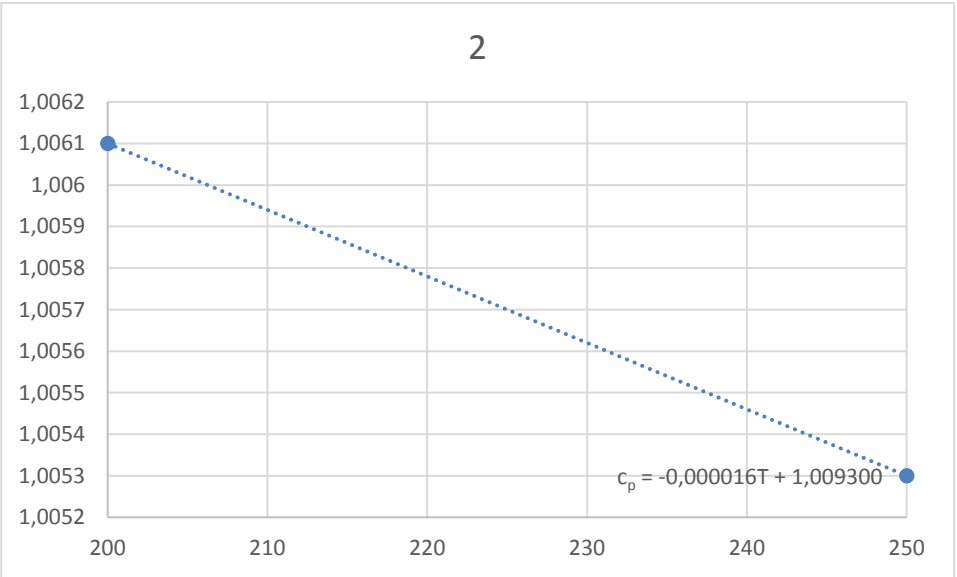
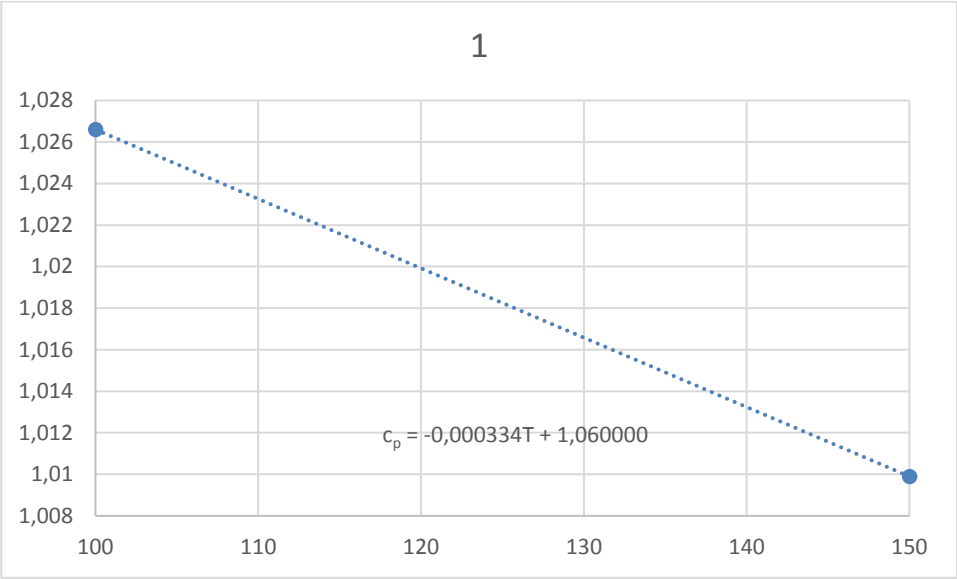
T[°C]	cp kJ/[kg°C]	cp* kJ/[kg°C]	Erotus
21	3,604	3,604	0,000
22	3,607	3,607	0,000
23	3,610	3,610	0,000
24	3,613	3,613	0,000
25	3,616	3,616	0,000
26	3,619	3,619	0,000
27	3,622	3,622	0,000
28	3,625	3,625	0,000
29	3,628	3,628	0,000
30	3,631	3,631	0,000
31	3,634	3,634	0,000
32	3,637	3,637	0,000
33	3,640	3,640	0,000
34	3,643	3,643	0,000
35	3,646	3,646	0,000
36	3,649	3,649	0,000
37	3,652	3,652	0,000
38	3,655	3,655	0,000
39	3,658	3,658	0,000
40	3,661	3,661	0,000
41	3,664	3,664	0,000
42	3,667	3,667	0,000
43	3,670	3,670	0,000
44	3,673	3,673	0,000
45	3,676	3,676	0,000
46	3,679	3,679	0,000
47	3,682	3,682	0,000
48	3,685	3,685	0,000
49	3,688	3,688	0,000
50	3,690	3,690	0,000

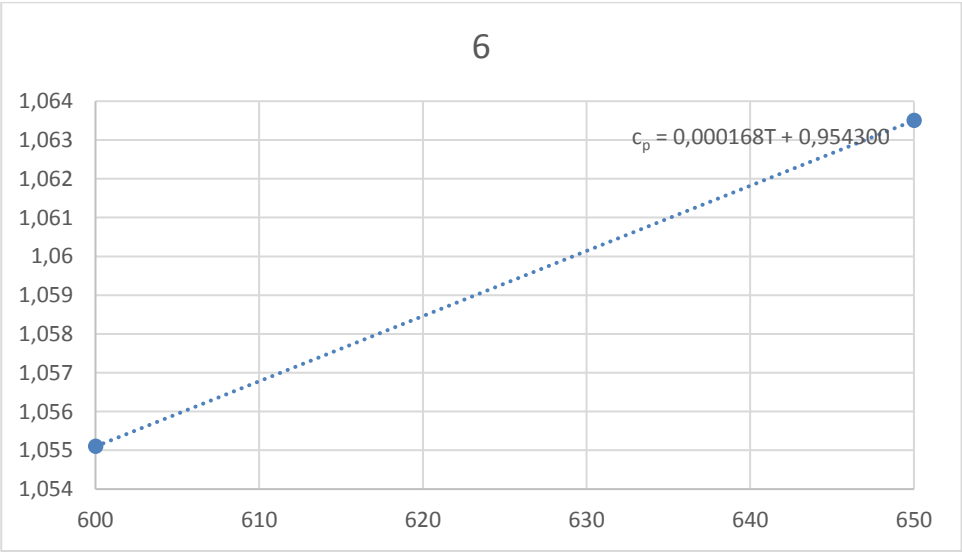
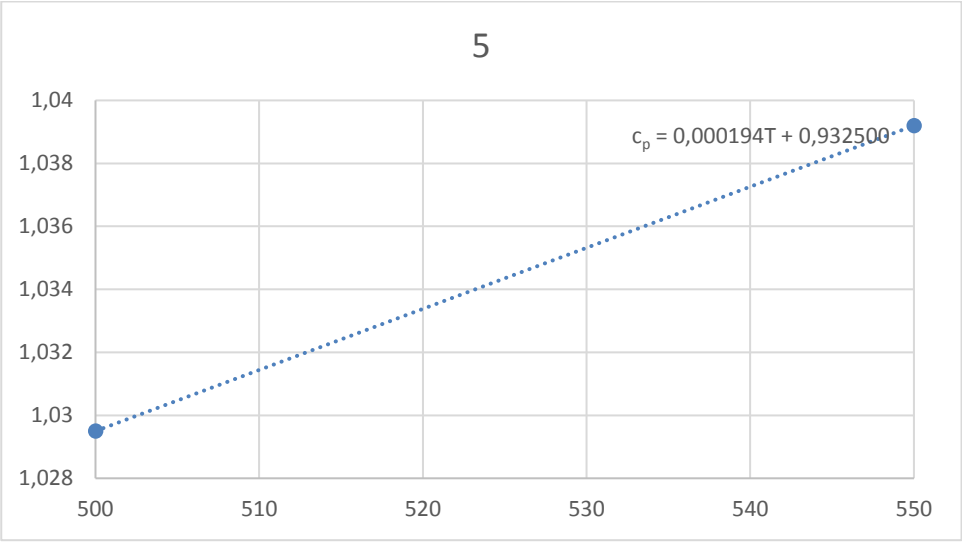
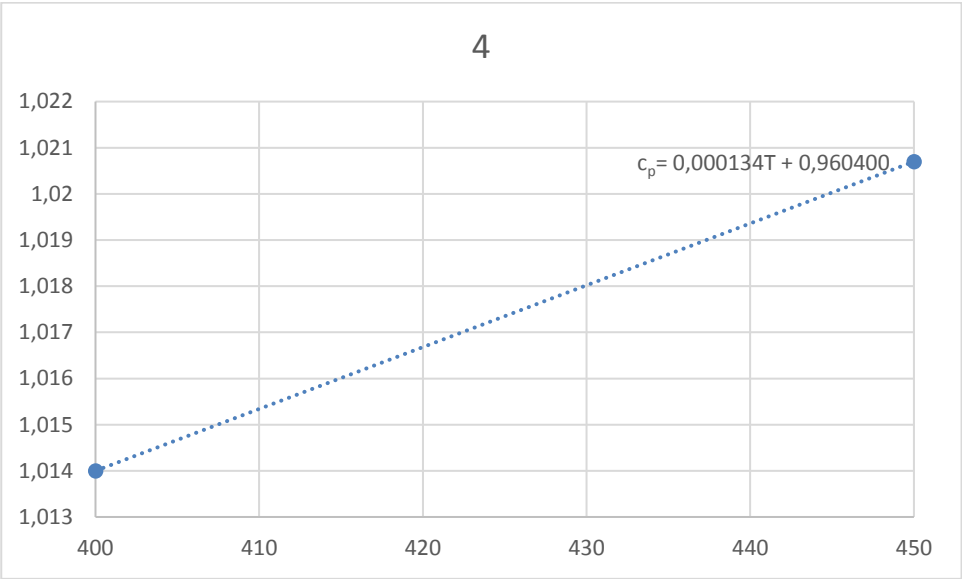
Lämpö-tila	Tiheys
°C	kg/m <sup>3</sup>
-40	1,514
-20	1,395
0	1,293
5	1,269
10	1,247
15	1,225
20	1,204
25	1,184
30	1,165
40	1,127
50	1,109
60	1,06
70	1,029
80	0,9996
90	0,9721
100	0,9461
200	0,7461
300	0,6159
400	0,5243
500	0,4565

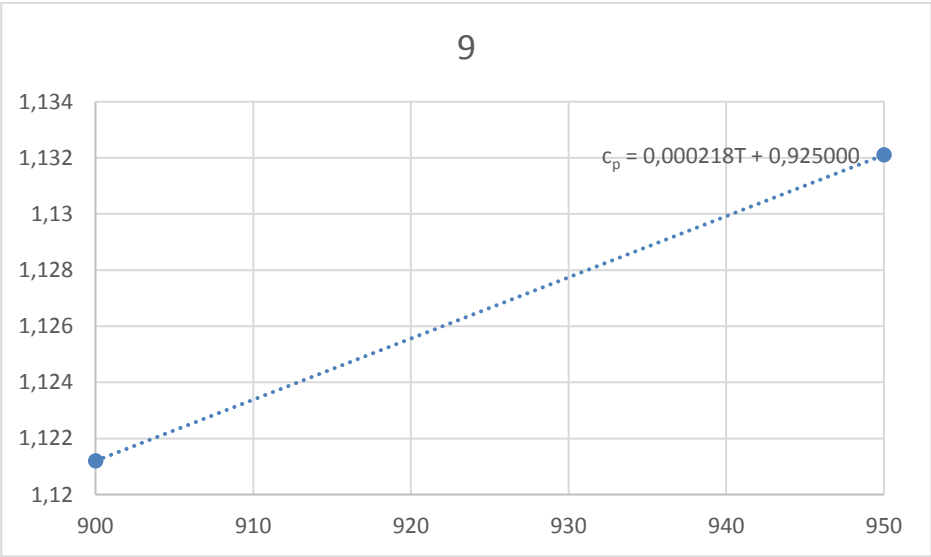
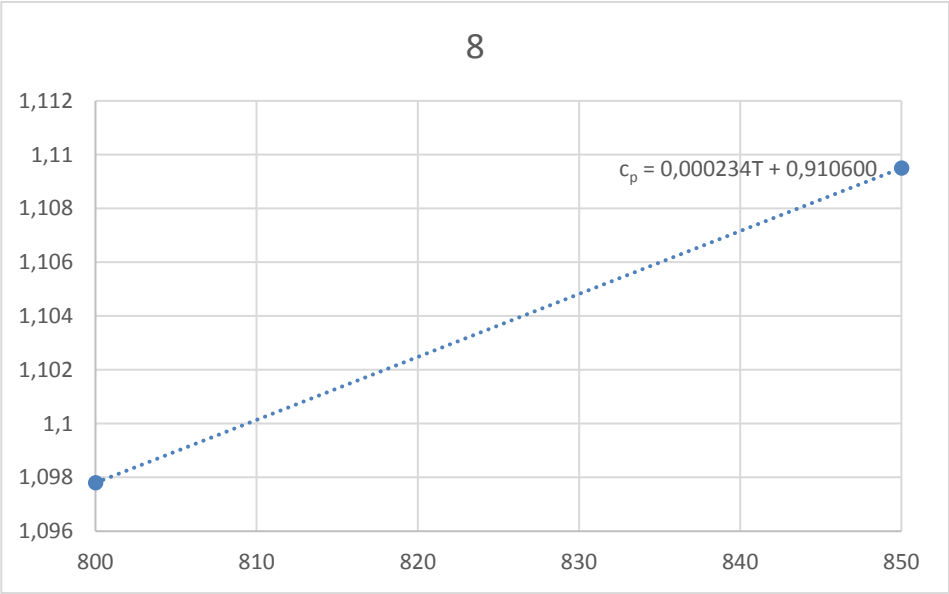
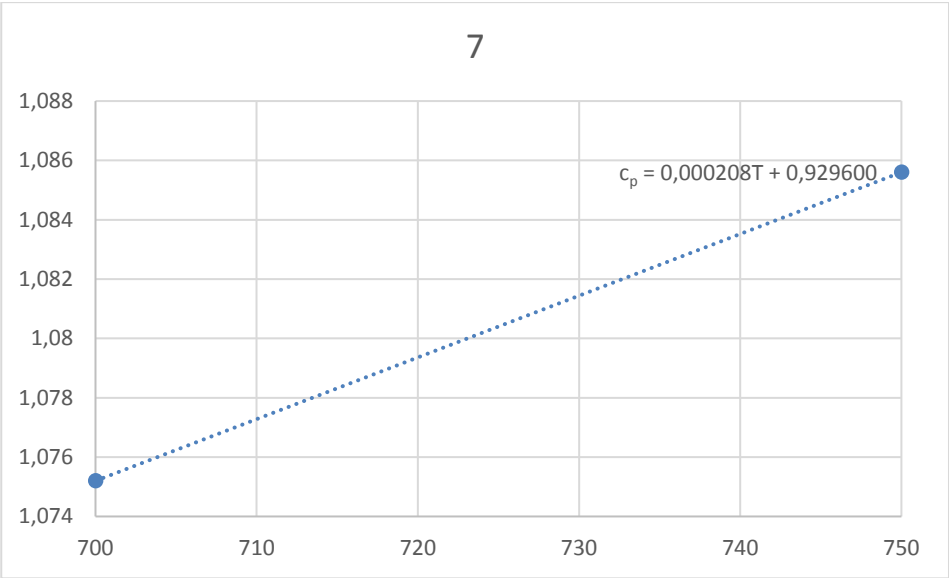
Lämpö- tila	Tiheys	Tiheys*	Erotus
°C	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
-40	1,514	1,514	0,000
-20	1,395	1,395	0,000
0	1,293	1,293	0,000
5	1,269	1,269	0,000
10	1,247	1,246	0,001
15	1,225	1,225	0,000
20	1,204	1,204	0,000
25	1,184	1,184	0,000
30	1,165	1,164	0,001
40	1,127	1,127	0,000
50	1,109	1,109	0,000
60	1,060	1,060	0,000
70	1,029	1,029	0,000
80	0,9996	0,9997	-0,0001
90	0,9721	0,9720	0,0001
100	0,9461	0,9461	0,0000
200	0,7461	0,7461	0,0000
300	0,6159	0,6159	0,0000
400	0,5243	0,5243	0,0000
500	0,4565	0,4565	0,0000

## ILMAN OMINAISLÄMPÖKAPASITEETTI VAKIO PAINEESSA ERI LÄMPÖTILOISSA LIITE 9

T [K]	cp [kJ/kgK]
100	1,0266
150	1,0099
200	1,0061
250	1,0053
300	1,0057
350	1,009
400	1,014
450	1,0207
500	1,0295
550	1,0392
600	1,0551
650	1,0635
700	1,0752
750	1,0856
800	1,0978
850	1,1095
900	1,1212
950	1,1321







YHDISTETYN FUNKTION TULOSTEN VERTAILU (ILMAN OMINAISLÄMPÖKAPASITEETTI VAKIOPAI-  
NEESSA)

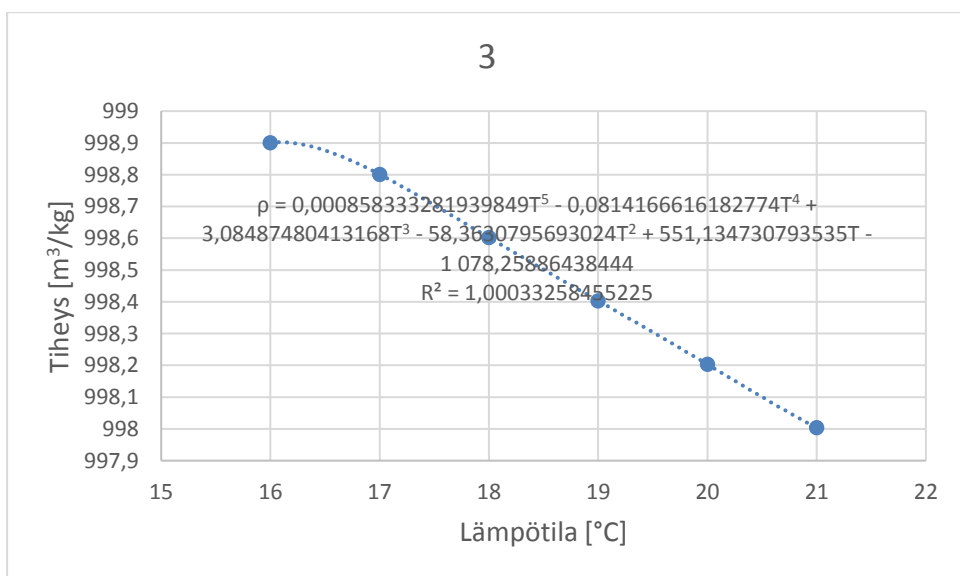
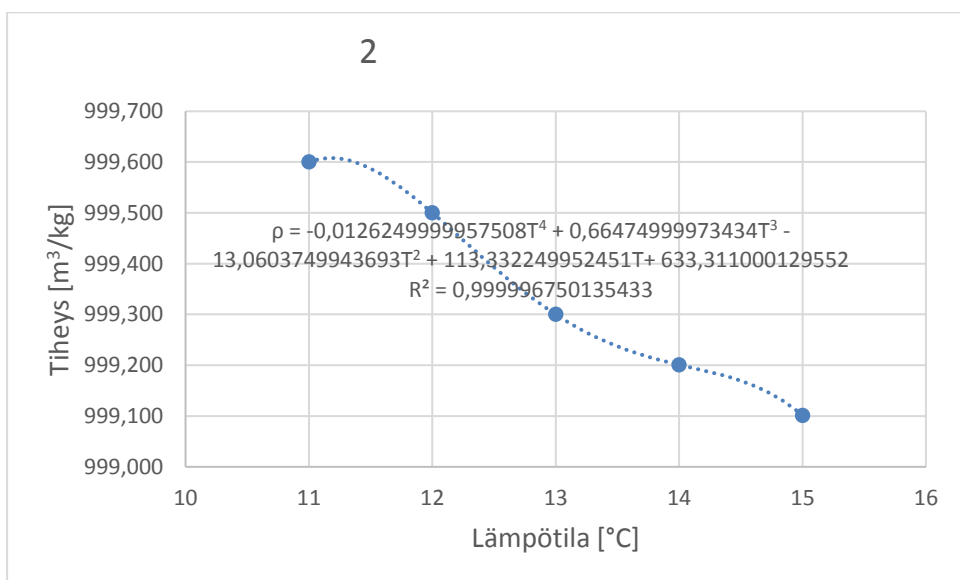
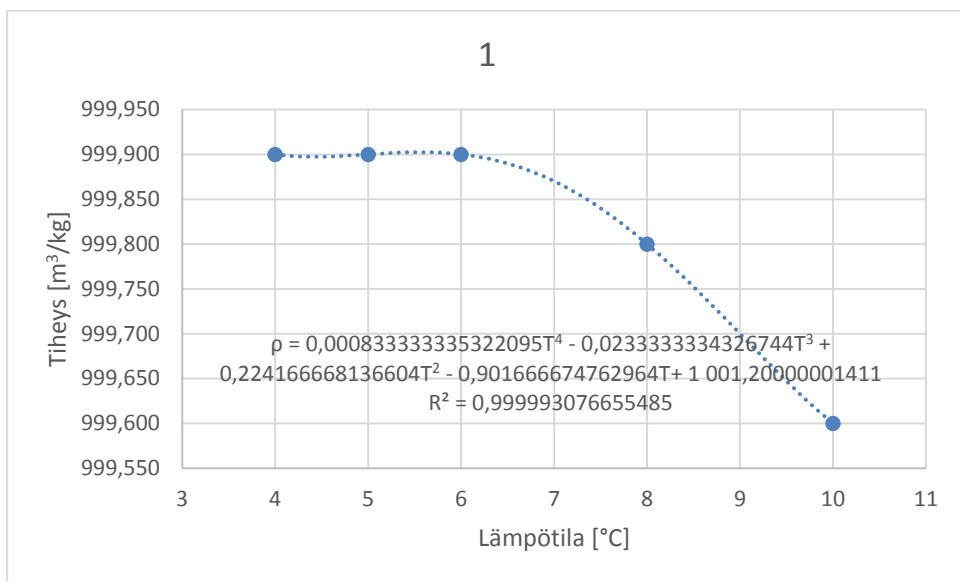
LIITE 11

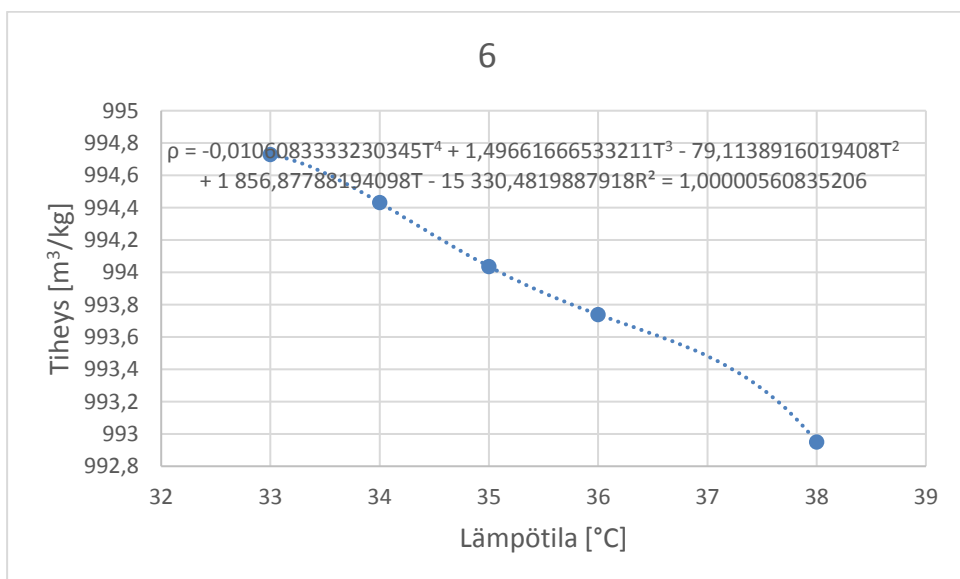
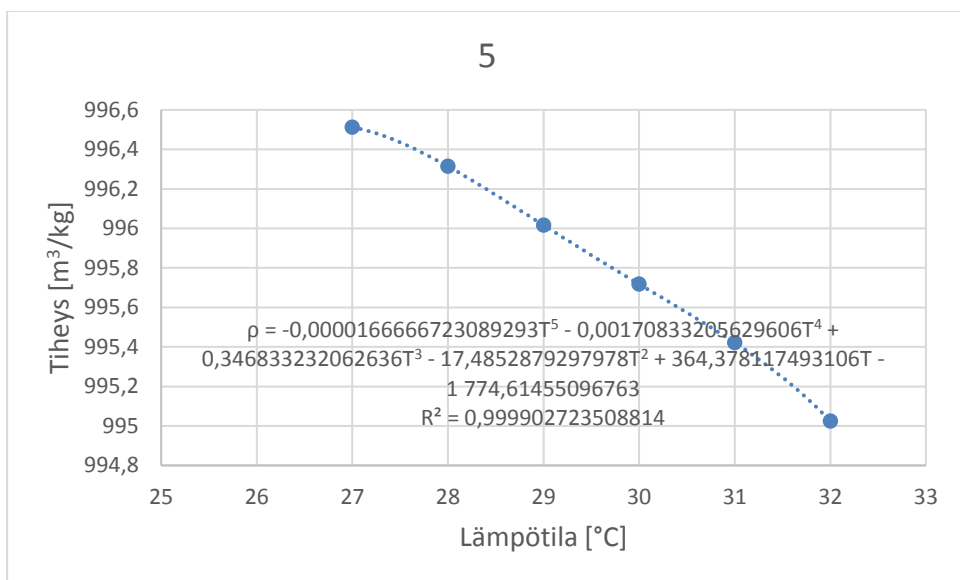
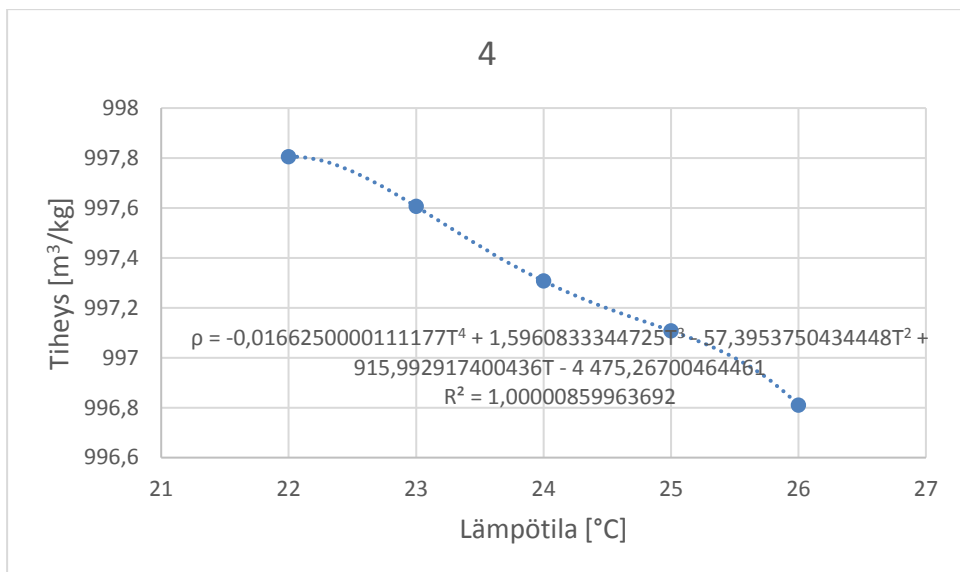
T [K]	cp [kJ/kgK]	cp* [kJ/kgK]	Erotus*	cp** [kJ/kgK]	Erotus**
100	1,0266	1,0266	0,0000	1,0258	0,0008
150	1,0099	1,0099	0,0000	1,0120	-0,0021
200	1,0061	1,0061	0,0000	1,0056	0,0005
250	1,0053	1,0053	0,0000	1,0040	0,0013
300	1,0057	1,0057	0,0000	1,0054	0,0003
350	1,0090	1,0090	0,0000	1,0090	0,0000
400	1,0140	1,0140	0,0000	1,0145	-0,0005
450	1,0207	1,0207	0,0000	1,0216	-0,0009
500	1,0295	1,0295	0,0000	1,0303	-0,0008
550	1,0392	1,0392	0,0000	1,0403	-0,0011
600	1,0551	1,0551	0,0000	1,0515	0,0036
650	1,0635	1,0635	0,0000	1,0633	0,0002
700	1,0752	1,0752	0,0000	1,0754	-0,0002
750	1,0856	1,0856	0,0000	1,0872	-0,0016
800	1,0978	1,0978	0,0000	1,0984	-0,0006
850	1,1095	1,1095	0,0000	1,1091	0,0004
900	1,1212	1,1212	0,0000	1,1200	0,0012
950	1,1321	1,1321	0,0000	1,1327	-0,0006



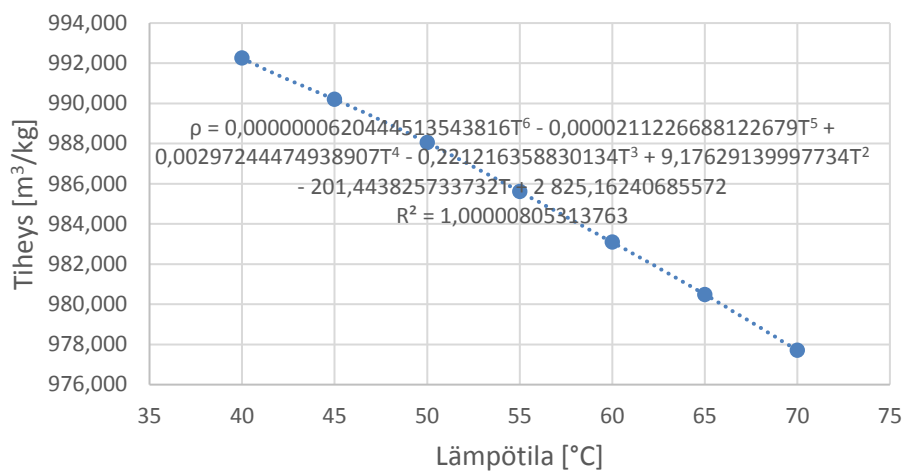
T [°C]	$\nu$ [m <sup>3</sup> /kg]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
4	1,0001	999,900
5	1,0001	999,900
6	1,0001	999,900
8	1,0002	999,800
10	1,0004	999,600
11	1,0004	999,600
12	1,0005	999,500
13	1,0007	999,300
14	1,0008	999,201
15	1,0009	999,101
16	1,0011	998,901
17	1,0012	998,801
18	1,0014	998,602
19	1,0016	998,403
20	1,0018	998,203
21	1,0020	998,004
22	1,0022	997,805
23	1,0024	997,606
24	1,0027	997,307
25	1,0029	997,108
26	1,0032	996,810
27	1,0035	996,512
28	1,0037	996,314

T [°C]	$\nu$ [m <sup>3</sup> /kg]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
29	1,0040	996,016
30	1,0043	995,718
31	1,0046	995,421
32	1,0050	995,025
33	1,0053	994,728
34	1,0056	994,431
35	1,0060	994,036
36	1,0063	993,739
38	1,0071	992,950
40	1,0078	992,260
45	1,0099	990,197
50	1,0121	988,045
55	1,0146	985,610
60	1,0172	983,091
65	1,0199	980,488
70	1,0228	977,708
75	1,0259	974,754
80	1,0291	971,723
85	1,0325	968,523
90	1,0360	965,251
95	1,0397	961,816
100	1,0435	958,313

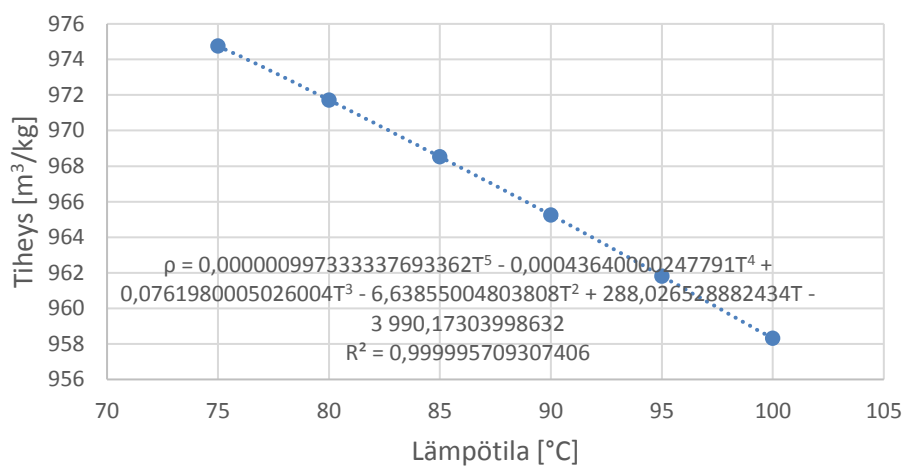




7



8



## YHDISTETYN FUNKTION TULOSTEN VERTAILU (VEDEN TIHEYS)

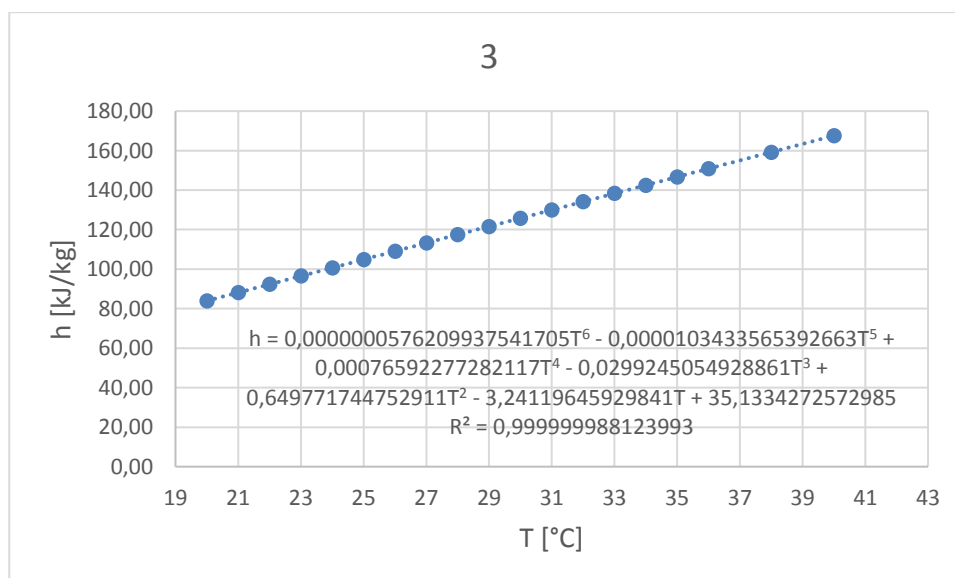
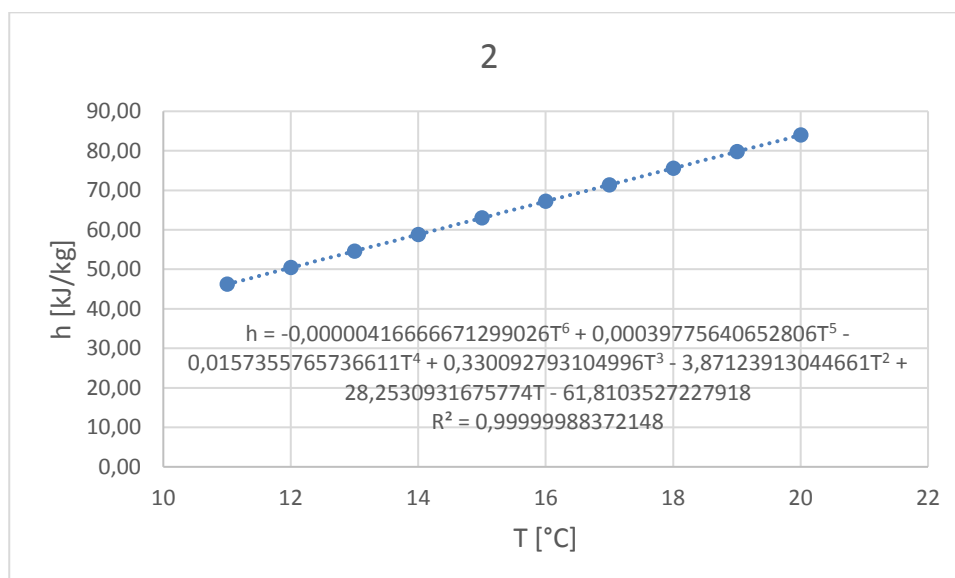
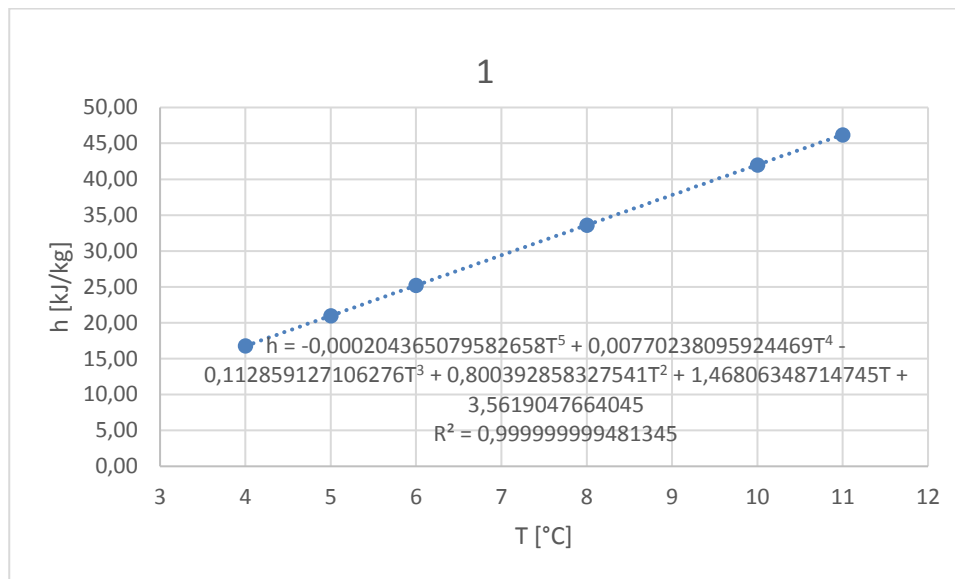
## LIITE 14

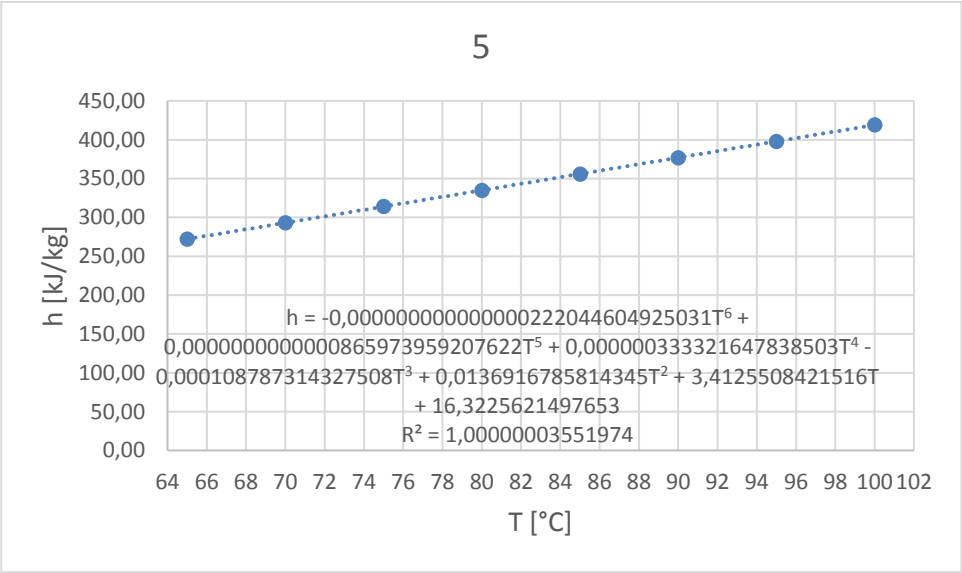
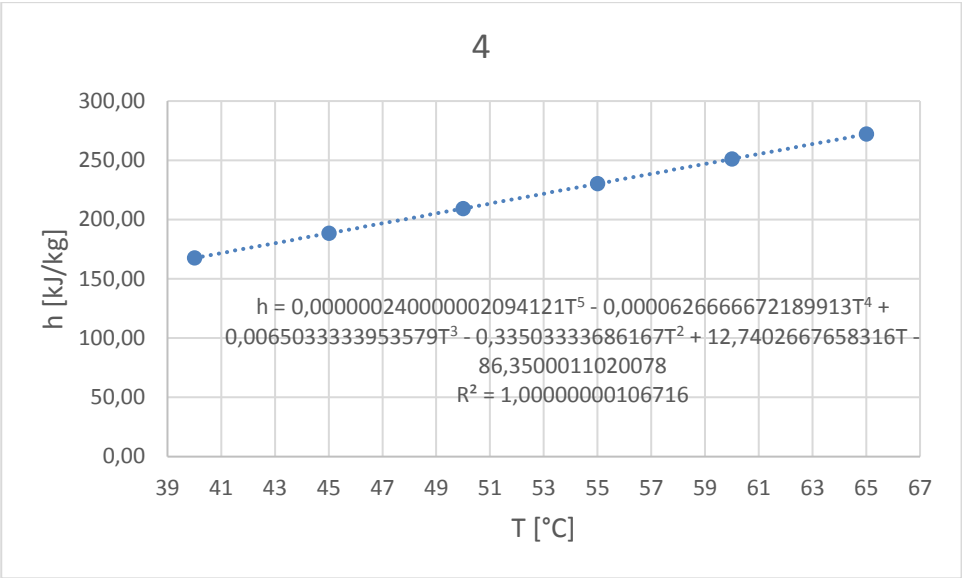
T [°C]	$\nu$ [m <sup>3</sup> /kg]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho^*$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Erotus
4	1,0001	999,900	999,900	0,000
5	1,0001	999,900	999,900	0,000
6	1,0001	999,900	999,900	0,000
8	1,0002	999,800	999,800	0,000
10	1,0004	999,600	999,600	0,000
11	1,0004	999,600	999,600	0,000
12	1,0005	999,500	999,500	0,000
13	1,0007	999,300	999,300	0,000
14	1,0008	999,201	999,201	0,000
15	1,0009	999,101	999,101	0,000
16	1,0011	998,901	998,901	0,000
17	1,0012	998,801	998,801	0,000
18	1,0014	998,602	998,602	0,000
19	1,0016	998,403	998,403	0,000
20	1,0018	998,203	998,203	0,000
21	1,0020	998,004	998,004	0,000
22	1,0022	997,805	997,805	0,000
23	1,0024	997,606	997,606	0,000
24	1,0027	997,307	997,307	0,000
25	1,0029	997,108	997,108	0,000
26	1,0032	996,810	996,810	0,000
27	1,0035	996,512	996,512	0,000
28	1,0037	996,314	996,314	0,000

T [°C]	$\nu$ [m <sup>3</sup> /kg]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho^*$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Erotus
29	1,0040	996,016	996,016	0,000
30	1,0043	995,718	995,718	0,000
31	1,0046	995,421	995,421	0,000
32	1,0050	995,025	995,025	0,000
33	1,0053	994,728	994,728	0,000
34	1,0056	994,431	994,431	0,000
35	1,0060	994,036	994,036	0,000
36	1,0063	993,739	993,739	0,000
38	1,0071	992,950	992,950	0,000
40	1,0078	992,260	992,260	0,000
45	1,0099	990,197	990,197	0,000
50	1,0121	988,045	988,045	0,000
55	1,0146	985,610	985,610	0,000
60	1,0172	983,091	983,091	0,000
65	1,0199	980,488	980,488	0,000
70	1,0228	977,708	977,708	0,000
75	1,0259	974,754	974,754	0,000
80	1,0291	971,723	971,723	0,000
85	1,0325	968,523	968,523	0,000
90	1,0360	965,251	965,251	0,000
95	1,0397	961,816	961,816	0,000
100	1,0435	958,313	958,313	0,000

T [°C]	h [kJ/kg]
4	16,78
5	20,98
6	25,2
8	33,6
10	42,01
11	46,2
12	50,41
13	54,6
14	58,8
15	62,99
16	67,19
17	71,38
18	75,58
19	79,77
20	83,96
21	88,14
22	92,33
23	96,52
24	100,7
25	104,89
26	109,07
27	113,25
28	117,43

T [°C]	h [kJ/kg]
29	121,61
30	125,79
31	129,97
32	134,15
33	138,33
34	142,5
35	146,68
36	150,86
38	159,21
40	167,57
45	188,45
50	209,33
55	230,23
60	251,13
65	272,06
70	292,98
75	313,93
80	334,91
85	355,9
90	376,92
95	397,96
100	419,04







T [°C]	h [kJ/kg]	h [kJ/kg]	Erotus
4	16,78	16,78	0,00
5	20,98	20,98	0,00
6	25,20	25,20	0,00
8	33,60	33,60	0,00
10	42,01	42,01	0,00
11	46,20	46,20	0,00
12	50,41	50,41	0,00
13	54,60	54,60	0,00
14	58,80	58,80	0,00
15	62,99	62,99	0,00
16	67,19	67,19	0,00
17	71,38	71,38	0,00
18	75,58	75,58	0,00
19	79,77	79,77	0,00
20	83,96	83,96	0,00
21	88,14	88,14	0,00
22	92,33	92,33	0,00
23	96,52	96,52	0,00
24	100,70	100,70	0,00
25	104,89	104,89	0,00
26	109,07	109,07	0,00
27	113,25	113,25	0,00
28	117,43	117,43	0,00

T [°C]	h [kJ/kg]	h [kJ/kg]	Erotus
29	121,61	121,61	0,00
30	125,79	125,79	0,00
31	129,97	129,97	0,00
32	134,15	134,15	0,00
33	138,33	138,33	0,00
34	142,50	142,50	0,00
35	146,68	146,68	0,00
36	150,86	150,86	0,00
38	159,21	159,21	0,00
40	167,57	167,57	0,00
45	188,45	188,45	0,00
50	209,33	209,33	0,00
55	230,23	230,23	0,00
60	251,13	251,13	0,00
65	272,06	272,06	0,00
70	292,98	292,98	0,00
75	313,93	313,93	0,00
80	334,91	334,91	0,00
85	355,90	355,90	0,00
90	376,92	376,92	0,00
95	397,96	397,96	0,00
100	419,04	419,04	0,00

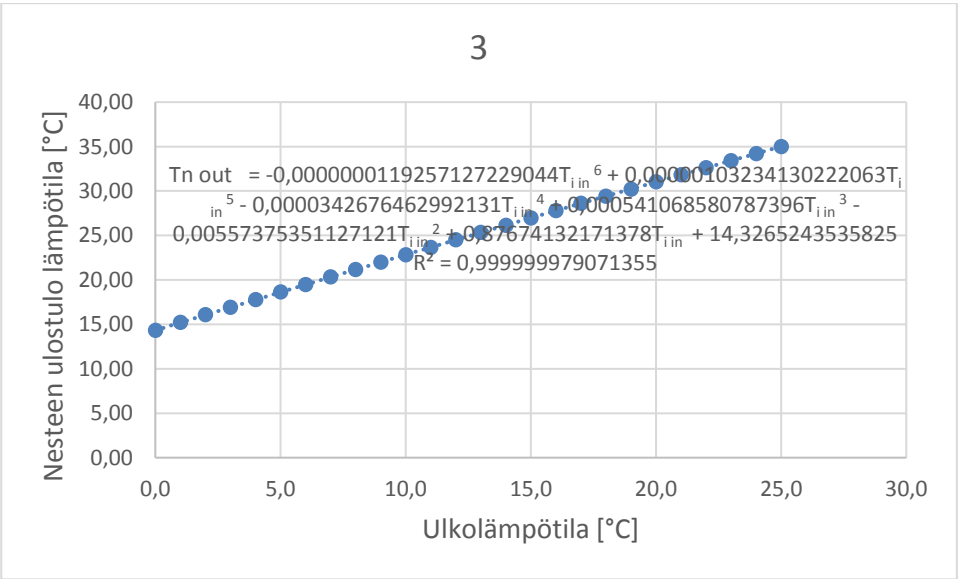
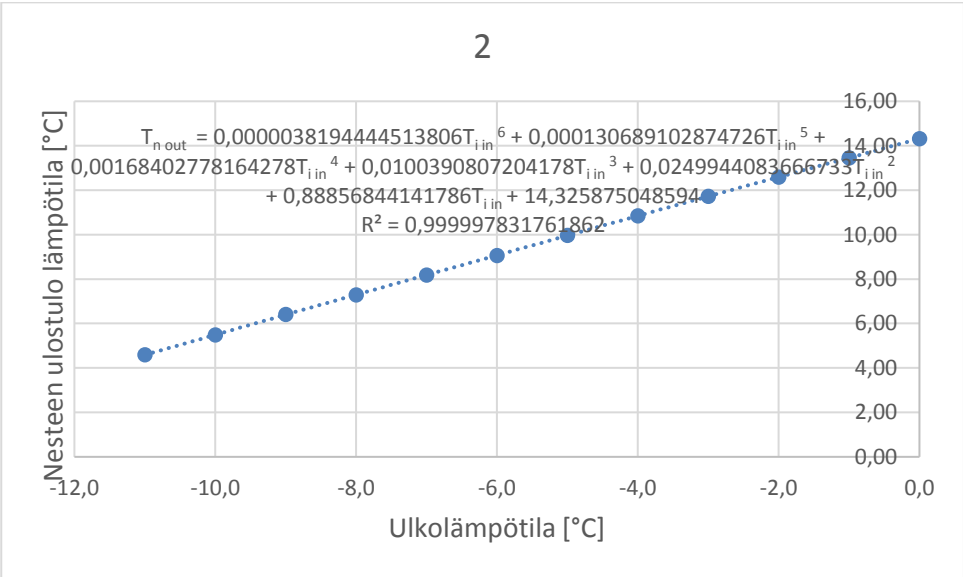
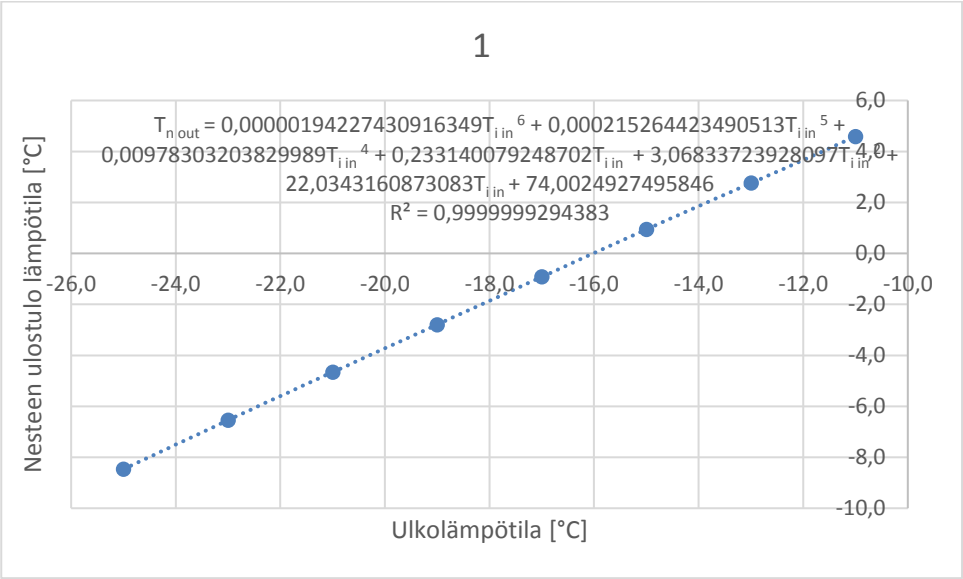
SISÄÄN TULEVAN ILMAN JA SITÄ VASTAAVAN ETYLEENIGLYKOLIN

LÄMPÖTILA SEKÄ LÄMMITYSPATTERIN TEHO (FL100/1)

LIITE 18

Teho	Ulkoilma	Neste
Φ	Tin	Tout
kW	°C	°C
649,02	-25,0	-8,47
620,71	-23,0	-6,55
592,60	-21,0	-4,66
565,07	-19,0	-2,80
537,33	-17,0	-0,92
509,78	-15,0	0,94
482,77	-13,0	2,76
455,60	-11,0	4,59
442,24	-10,0	5,49
428,62	-9,0	6,41
415,35	-8,0	7,29
402,12	-7,0	8,18
388,97	-6,0	9,07
375,52	-5,0	9,97
362,42	-4,0	10,84
349,39	-3,0	11,72
336,37	-2,0	12,59
323,39	-1,0	13,46
310,48	0,0	14,33
297,34	1,0	15,20
284,49	2,0	16,06
271,70	3,0	16,92

Teho	Ulkoilma	Neste
Φ	Tin	Tout
kW	°C	°C
258,93	4,0	17,77
246,20	5,0	18,62
233,53	6,0	19,47
220,88	7,0	20,31
208,27	8,0	21,15
195,69	9,0	21,99
183,18	10,0	22,83
170,69	11,0	23,66
158,23	12,0	24,49
145,71	13,0	25,32
133,35	14,0	26,14
121,03	15,0	26,96
108,75	16,0	27,78
96,51	17,0	28,59
84,30	18,0	29,41
72,15	19,0	30,21
60,02	20,0	31,02
47,94	21,0	31,82
35,90	22,0	32,62
23,89	23,0	33,42
11,93	24,0	34,21
0,00	25,0	35,00



Teho	Ulkoilma	Neste	Neste*	Ero- tus
Φ	Tin	Tout	Tout*	Tout
kW	°C	°C	°C	°C
649,02	-25,0	-8,47	-8,47	0,00
620,71	-23,0	-6,55	-6,55	0,00
592,60	-21,0	-4,66	-4,66	0,00
565,07	-19,0	-2,80	-2,79	0,00
537,33	-17,0	-0,92	-0,92	0,00
509,78	-15,0	0,94	0,94	0,00
482,77	-13,0	2,76	2,76	0,00
455,60	-11,0	4,59	4,59	0,00
442,24	-10,0	5,49	5,49	-0,01
428,62	-9,0	6,41	6,40	0,01
415,35	-8,0	7,29	7,29	0,00
402,12	-7,0	8,18	8,18	0,00
388,97	-6,0	9,07	9,07	0,00
375,52	-5,0	9,97	9,96	0,01
362,42	-4,0	10,84	10,84	0,00
349,39	-3,0	11,72	11,72	0,00
336,37	-2,0	12,59	12,59	0,00
323,39	-1,0	13,46	13,45	0,00
310,48	0,0	14,33	14,33	0,00
297,34	1,0	15,20	15,20	0,00
284,49	2,0	16,06	16,06	0,00
271,70	3,0	16,92	16,92	0,00

Teho	Ulkoilma	Neste	Neste*	Ero- tus
Φ	Tin	Tout	Tout*	Tout
kW	°C	°C	°C	°C
258,93	4,0	17,77	17,77	0,00
246,20	5,0	18,62	18,62	0,00
233,53	6,0	19,47	19,47	0,00
220,88	7,0	20,31	20,31	0,00
208,27	8,0	21,15	21,15	0,00
195,69	9,0	21,99	21,99	0,00
183,18	10,0	22,83	22,83	0,00
170,69	11,0	23,66	23,66	0,00
158,23	12,0	24,49	24,49	0,00
145,71	13,0	25,32	25,32	0,00
133,35	14,0	26,14	26,14	0,00
121,03	15,0	26,96	26,96	0,00
108,75	16,0	27,78	27,78	0,00
96,51	17,0	28,59	28,59	0,00
84,30	18,0	29,41	29,41	0,00
72,15	19,0	30,21	30,21	0,00
60,02	20,0	31,02	31,02	0,00
47,94	21,0	31,82	31,82	0,00
35,90	22,0	32,62	32,62	0,00
23,89	23,0	33,42	33,42	0,00
11,93	24,0	34,21	34,21	0,00
0,00	25,0	35,00	35,00	0,00

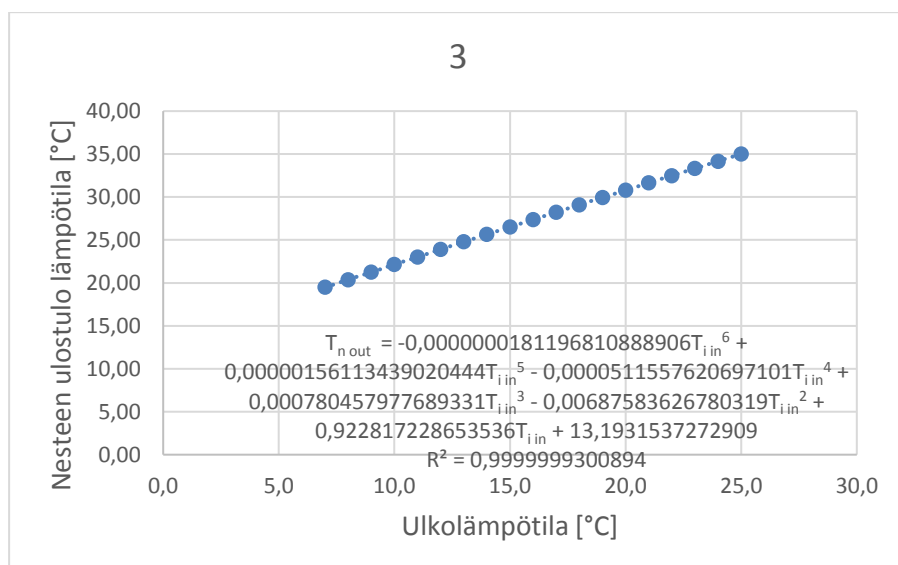
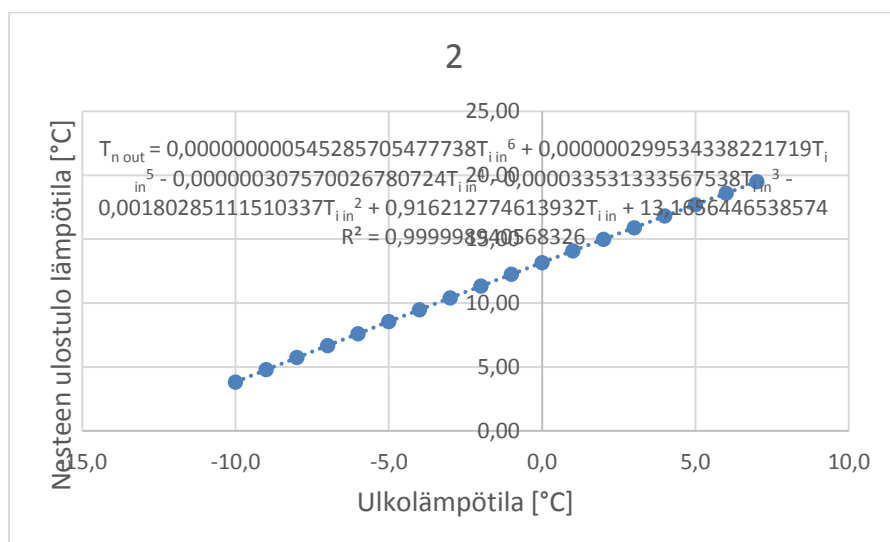
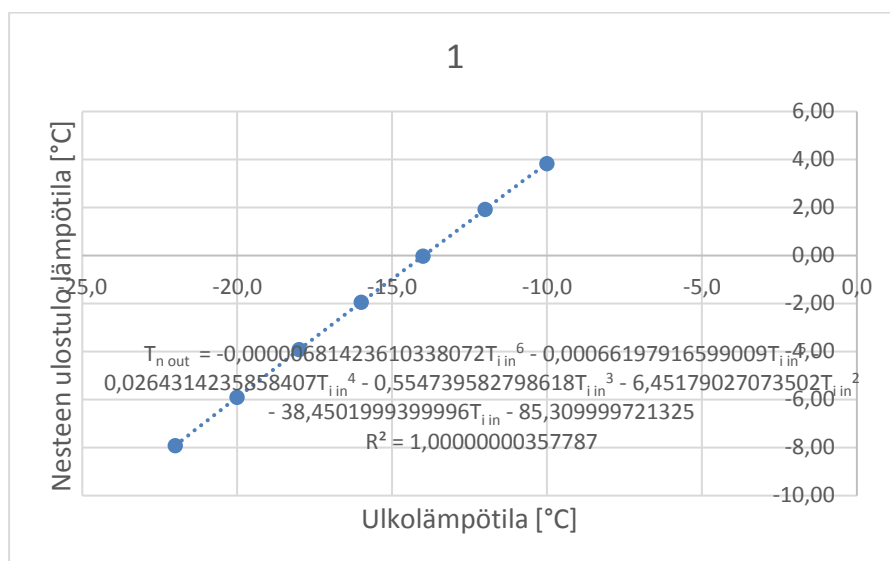
SISÄÄNTULEVAN ILMAN JA SITÄ VASTAAVAN ETYLEENIGLYKOLIN

LÄMPÖTILA SEKÄ LÄMMITYSPATTERIN TEHO (TK80-4)

LIITE 21

Teho	Ulkoilma
Φ	Tin
242,7	-22,0
231,5	-20,0
220,4	-18,0
209,3	-16,0
198,3	-14,0
187,6	-12,0
176,9	-10,0
171,5	-9,0
166,1	-8,0
160,9	-7,0
155,6	-6,0
150,2	-5,0
145,0	-4,0
139,8	-3,0
134,6	-2,0
129,4	-1,0
124,2	0,0
118,9	1,0
113,8	2,0
108,7	3,0
103,6	4,0

Teho	Ulkoilma
Φ	Tin
98,48	5,0
93,41	6,0
88,35	7,0
83,31	8,0
78,28	9,0
73,27	10,0
68,27	11,0
63,29	12,0
58,29	13,0
53,34	14,0
48,41	15,0
43,5	16,0
38,6	17,0
33,72	18,0
28,86	19,0
24,01	20,0
19,17	21,0
14,36	22,0
9,56	23,0
4,77	24,0
0	25,0



Teho	Ulkoilma	Neste	Neste*	Ero- tus
Φ	Tin	Tout	Tout*	Tout
242,7	-22,0	-7,93	-7,93	0,00
231,5	-20,0	-5,91	-5,91	0,00
220,4	-18,0	-3,92	-3,92	0,00
209,3	-16,0	-1,95	-1,95	0,00
198,3	-14,0	-0,02	-0,02	0,00
187,6	-12,0	1,92	1,92	0,00
176,9	-10,0	3,82	3,82	0,00
171,5	-9,0	4,78	4,78	0,00
166,1	-8,0	5,73	5,73	0,00
160,9	-7,0	6,67	6,67	0,00
155,6	-6,0	7,60	7,61	-0,02
150,2	-5,0	8,55	8,54	0,01
145	-4,0	9,48	9,47	0,01
139,8	-3,0	10,41	10,4	0,00
134,6	-2,0	11,32	11,33	-0,01
129,4	-1,0	12,25	12,25	0,00
124,2	0,0	13,16	13,17	-0,01
118,9	1,0	14,08	14,08	0,00
113,8	2,0	14,99	14,99	0,00
108,7	3,0	15,90	15,9	0,00
103,6	4,0	16,80	16,8	0,00

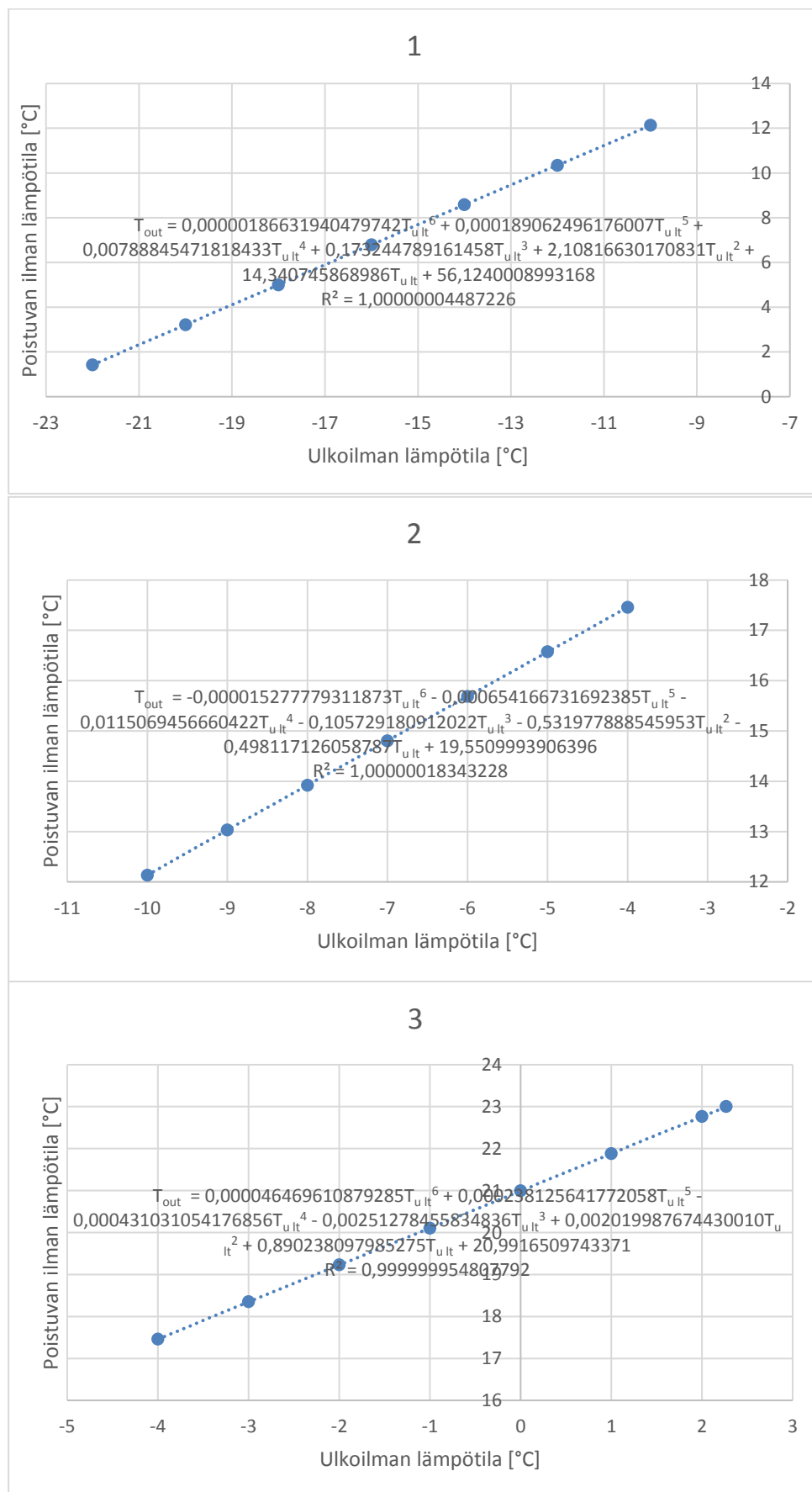
Teho	Ulkoilma	Neste	Neste*	Ero- tus
Φ	Tin	Tout	Tout*	Tout
98,48	5,0	17,70	17,7	0,00
93,41	6,0	18,59	18,59	0,00
88,35	7,0	19,49	19,48	0,00
83,31	8,0	20,37	20,37	0,00
78,28	9,0	21,26	21,26	0,00
73,27	10,0	22,14	22,14	0,00
68,27	11,0	23,02	23,02	0,00
63,29	12,0	23,90	23,9	0,00
58,29	13,0	24,78	24,77	0,01
53,34	14,0	25,65	25,64	0,00
48,41	15,0	26,51	26,51	0,00
43,5	16,0	27,37	27,38	-0,01
38,6	17,0	28,23	28,23	0,00
33,72	18,0	29,09	29,09	0,00
28,86	19,0	29,94	29,94	0,00
24,01	20,0	30,79	30,79	0,00
19,17	21,0	31,64	31,64	0,00
14,36	22,0	32,49	32,49	-0,01
9,56	23,0	33,33	33,33	0,00
4,77	24,0	34,17	34,17	-0,01
0	25,0	35,00	35	0,00

ULKOLÄMPÖTILAT SEKÄ NIITÄVASTAAVAT PATTERNIVERKOSTON PALUULÄMPÖTILAT LIITE 24

$T_{u\text{ lt}}$	$T_{\text{paluu lt}}$
°C	°C
20	20,0000
19	20,4088
18	20,8176
17	21,2265
16	21,6353
15	22,0441
14	22,4529
13	22,8618
12	23,2706
11	23,6794
10	24,0882
9	24,4971
8	24,9059
7	25,3147
6	25,7235
5	26,1324
4	26,5412
3	26,9500
2	27,3588
1	27,7676
0	28,1765

$T_{u\text{ lt}}$	$T_{\text{paluu lt}}$
°C	°C
-1	28,5853
-2	28,9941
-3	29,4029
-4	29,8118
-5	30,2206
-6	30,6294
-7	31,0382
-8	31,4471
-9	31,8559
-10	32,2647
-11	32,6735
-12	33,0824
-13	33,4912
-14	33,9000
-15	34,3088
-16	34,7176
-17	35,1265
-18	35,5353
-19	35,9441
-20	36,3529





## YHDISTETYN FUNKTION VERTAILU LASKENTA-ARVOIHIN (PÖLYNPOISTO)

LIITE 26

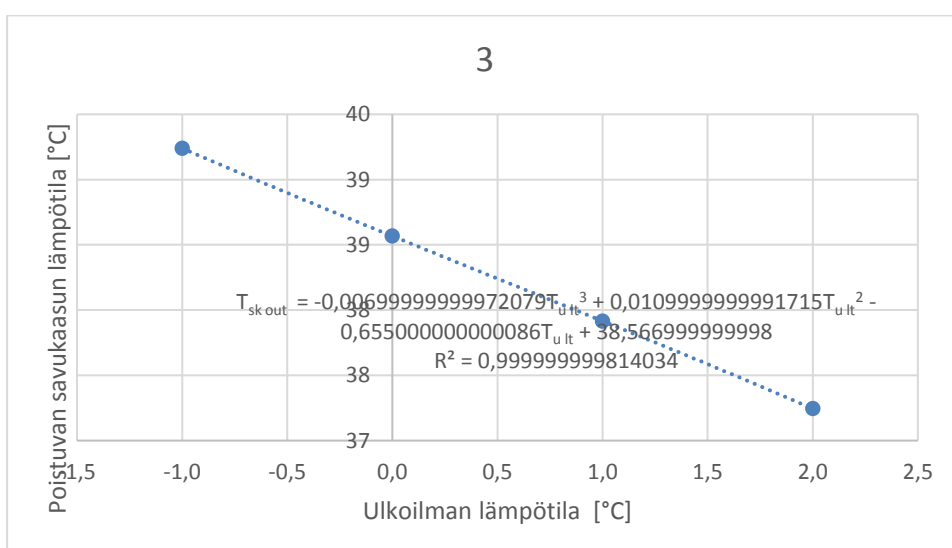
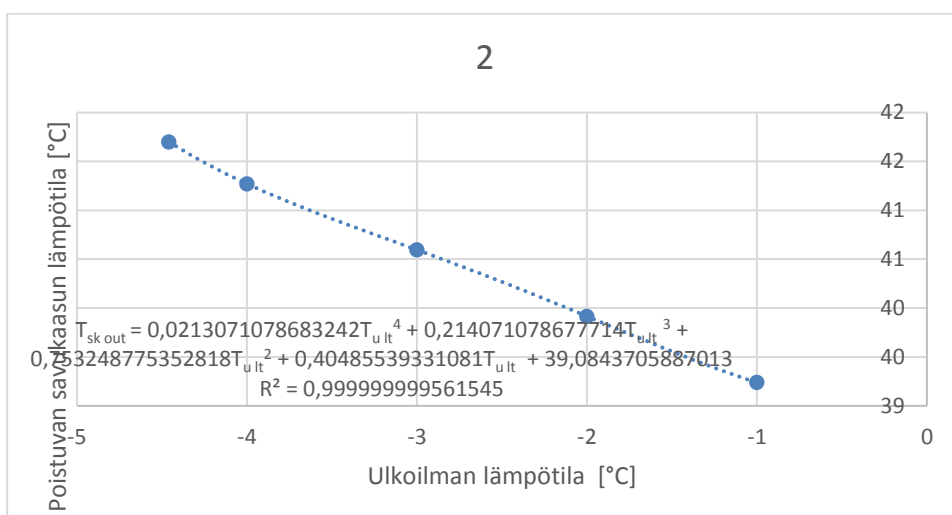
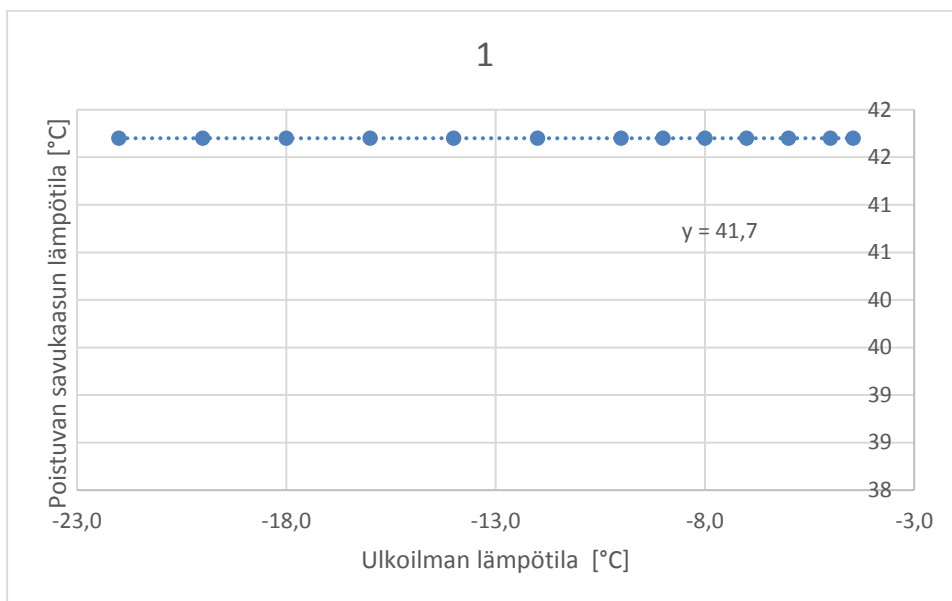
Pölynpoisto					
pp2	pp1	Tulko lt	Ti out	Ti out*	Erotus
kW	kW	°C	°C	°C	°C
151,895	303,79	-22	1,432	1,432	0,000
138,905	277,81	-20	3,215	3,214	0,001
125,955	251,91	-18	5,003	5,002	0,001
113,04	226,08	-16	6,795	6,795	0,000
100,33	200,66	-14	8,584	8,584	0,000
87,77	175,54	-12	10,347	10,347	0,000
75,14	150,28	-10	12,133	12,133	0,000
68,85	137,7	-9	13,032	13,032	0,000
62,62	125,24	-8	13,921	13,921	0,000
56,43	112,86	-7	14,805	14,805	0,000
50,28	100,56	-6	15,687	15,687	0,000
44,12	88,24	-5	16,572	16,572	0,000
37,97	75,94	-4	17,460	17,460	0,000
31,86	63,72	-3	18,348	18,348	0,000
25,78	51,56	-2	19,228	19,228	0,000
19,76	39,52	-1	20,105	20,105	0,000
13,68	27,36	0	20,992	20,992	0,000
7,62	15,24	1	21,881	21,881	0,000
1,6	3,2	2	22,764	22,764	0,000
0	0	2,267	23,000	23,000	0,000

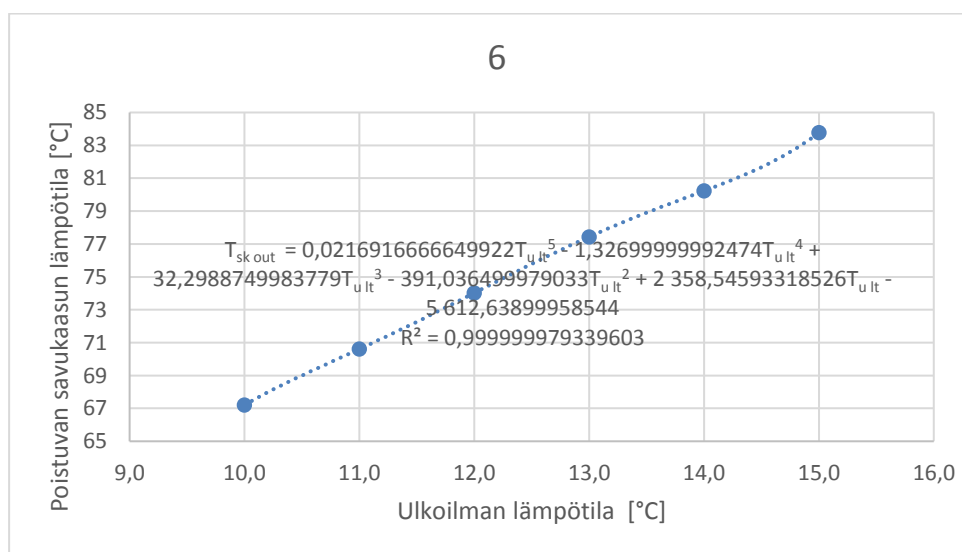
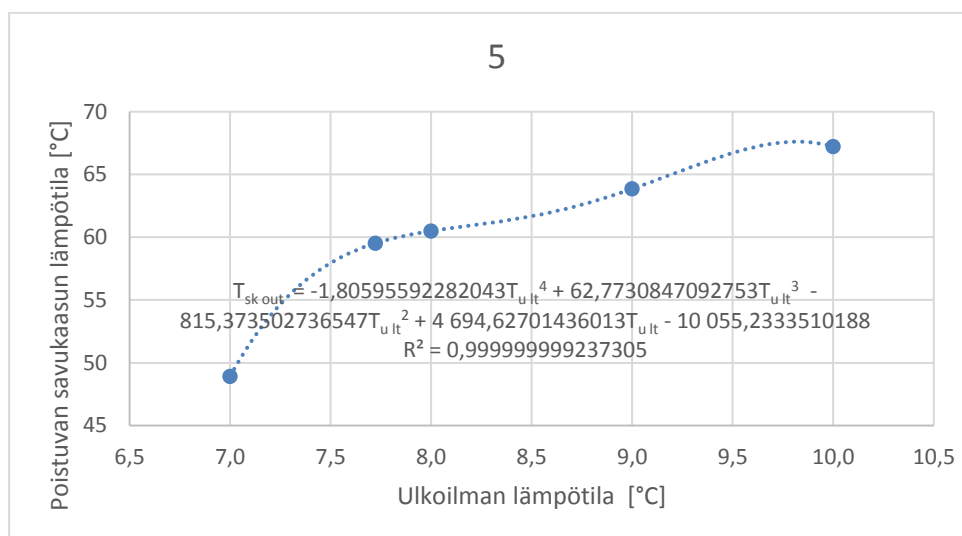
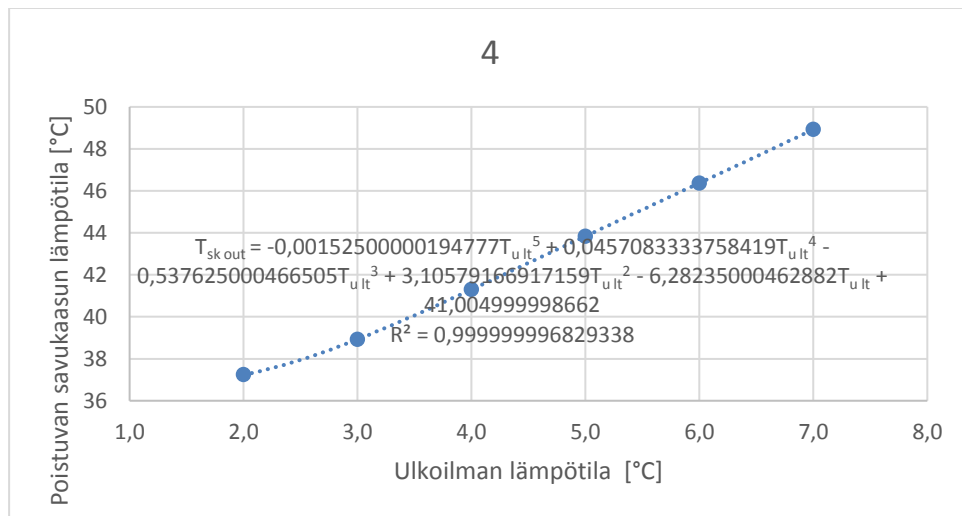
UUNIN TEHO SEKÄ POISTUVAN SAVUKAASUN LÄMPÖTILA ERI ULKOLÄMPÖTI-  
LOISSA

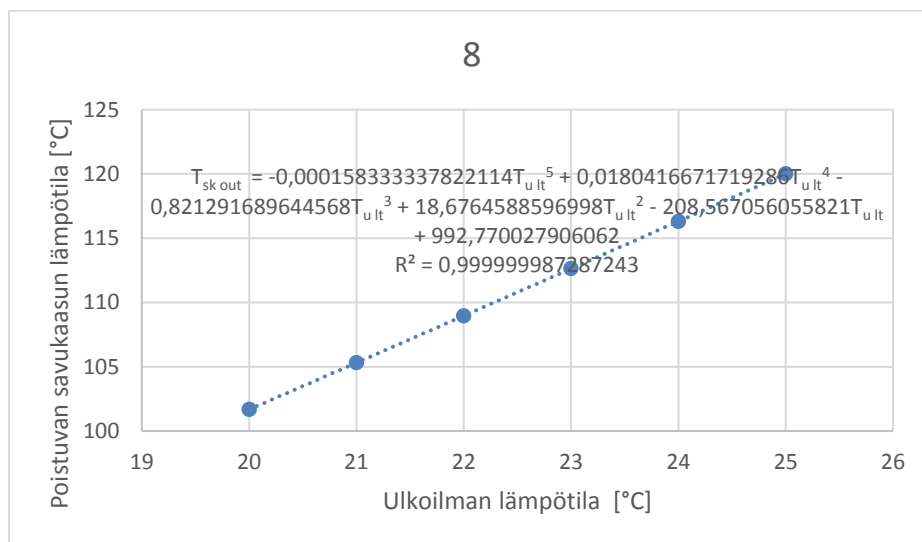
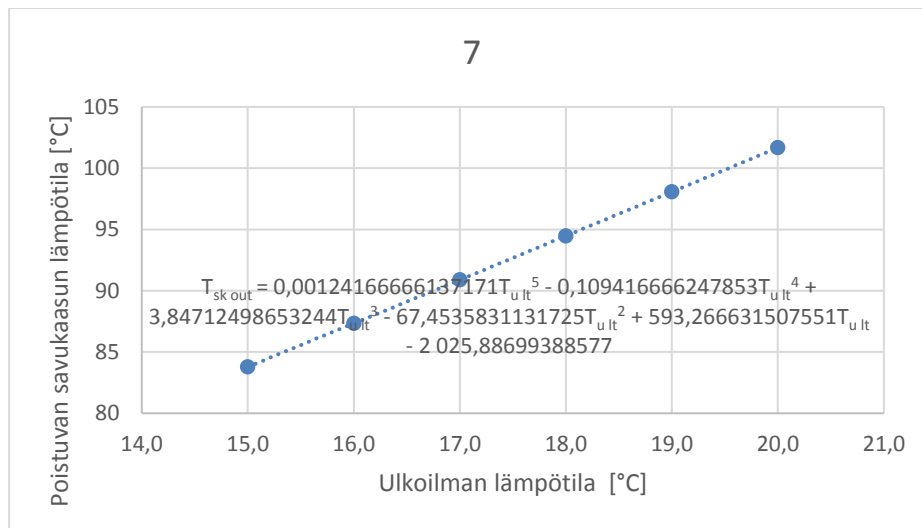
LIITE 27

Φ	Tu lt	Tsk out
kW	°C	°C
393,45	-22,0	41,700
393,45	-20,0	41,700
393,45	-18,0	41,700
393,45	-16,0	41,700
393,45	-14,0	41,700
393,45	-12,0	41,700
393,45	-10,0	41,700
393,45	-9,0	41,700
393,45	-8,0	41,700
393,45	-7,0	41,700
393,45	-6,0	41,700
393,45	-5,0	41,700
<b>393,45</b>	<b>-4,459</b>	<b>41,700</b>
395,88	-4,0	41,271
399,64	-3,0	40,595
403,42	-2,0	39,916
407,19	-1,0	39,240
410,96	0,0	38,567
414,61	1,0	37,916
418,38	2,0	37,245
408,98	3,0	38,926
395,7	4,0	41,300

Φ	Tu lt	Tsk out
kW	°C	°C
381,64	5,0	43,837
367,67	6,0	46,372
353,72	7,0	48,922
<b>296,79</b>	<b>7,7229</b>	<b>59,520</b>
291,61	8,0	60,503
273,94	9,0	63,858
256,46	10,0	67,212
238,92	11,0	70,610
221,44	12,0	74,021
204,1	13,0	77,435
186,75	14,0	80,230
169,44	15,0	83,775
152,18	16,0	87,337
135,14	17,0	90,885
118,02	18,0	94,474
101,01	19,0	98,066
84,06	20,0	101,679
67,13	21,0	105,310
50,23	22,0	108,964
33,42	23,0	112,629
16,67	24,0	116,308
0,00	25,0	120,000







Φ	Tu lt	Tsk out	Tsk out*	Erotus
kW	°C	°C	°C	°C
393,45	-22,0	41,700	41,700	0,000
393,45	-20,0	41,700	41,700	0,000
393,45	-18,0	41,700	41,700	0,000
393,45	-16,0	41,700	41,700	0,000
393,45	-14,0	41,700	41,700	0,000
393,45	-12,0	41,700	41,700	0,000
393,45	-10,0	41,700	41,700	0,000
393,45	-9,0	41,700	41,700	0,000
393,45	-8,0	41,700	41,700	0,000
393,45	-7,0	41,700	41,700	0,000
393,45	-6,0	41,700	41,700	0,000
393,45	-5,0	41,700	41,700	0,000
<b>393,45</b>	<b>-4,459</b>	<b>41,700</b>	<b>41,700</b>	<b>0,000</b>
395,88	-4,0	41,271	41,271	0,000
399,64	-3,0	40,595	40,595	0,000
403,42	-2,0	39,916	39,916	0,000
407,19	-1,0	39,240	39,240	0,000
410,96	0,0	38,567	38,567	0,000
414,61	1,0	37,916	37,916	0,000
418,38	2,0	37,245	37,245	0,000
408,98	3,0	38,926	38,926	0,000
395,7	4,0	41,300	41,300	0,000

Φ	Tu lt	Tsk out	Tsk out*	Erotus
kW	°C	°C	°C	°C
381,64	5,0	43,837	43,837	0,000
367,67	6,0	46,372	46,372	0,000
353,72	7,0	48,922	48,922	0,000
<b>296,79</b>	<b>7,7229</b>	<b>59,520</b>	<b>59,520</b>	<b>0,000</b>
291,61	8,0	60,503	60,502	0,000
273,94	9,0	63,858	63,858	0,000
256,46	10,0	67,212	67,212	0,000
238,92	11,0	70,610	70,610	0,000
221,44	12,0	74,021	74,021	0,000
204,1	13,0	77,435	77,435	0,000
186,75	14,0	80,230	80,230	0,000
169,44	15,0	83,775	83,775	0,000
152,18	16,0	87,337	87,337	0,000
135,14	17,0	90,885	90,885	0,000
118,02	18,0	94,474	94,474	0,000
101,01	19,0	98,066	98,066	0,000
84,06	20,0	101,679	101,679	0,000
67,13	21,0	105,310	105,310	0,000
50,23	22,0	108,964	108,964	0,000
33,42	23,0	112,629	112,629	0,000
16,67	24,0	116,308	116,308	0,000
0,00	25,0	120,000	120,000	0,000

Tu lt	Ensiö				Toisio				Erotus	
	Uuni	pp2	pp1	Kok.	FL100-1	TK80/4	LS1	Kok.	Φ	Suht.virh.
	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ
	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	%
-22,0	393,45	151,895	303,79	849,135	606,84	242,74	0,00	849,58	0,45	0,05
-20,0	393,45	138,905	277,81	810,165	578,81	231,53	0,00	810,34	0,17	0,02
-18,0	393,45	125,955	251,91	771,315	551,30	220,39	0,00	771,69	0,38	0,05
-16,0	393,45	113,04	226,08	732,57	523,58	209,32	0,00	732,9	0,33	0,05
-14,0	393,45	100,33	200,66	694,44	496,25	198,26	0,00	694,51	0,07	0,01
-12,0	393,45	87,77	175,54	656,76	469,32	187,6	0,00	656,92	0,16	0,02
-10,0	393,45	75,14	150,28	618,87	442,14	176,89	0,00	619,03	0,16	0,03
-9,0	393,45	68,85	137,7	600	428,62	171,45	0,00	600,07	0,07	0,01
-8,0	393,45	62,62	125,24	581,31	415,35	166,14	0,00	581,49	0,18	0,03
-7,0	393,45	56,43	112,86	562,74	402,12	160,85	0,00	562,97	0,23	0,04
-6,0	393,45	50,28	100,56	544,29	388,97	155,59	0,00	544,56	0,27	0,05
-5,0	393,45	44,12	88,24	525,81	375,52	150,21	0,00	525,73	0,08	0,02
-4,0	395,88	37,97	75,94	509,79	362,42	144,97	1,78	509,17	0,62	0,12
-3,0	399,64	31,86	63,72	495,22	349,39	139,76	5,63	494,78	0,44	0,09
-2,0	403,42	25,78	51,56	480,76	336,37	134,55	9,46	480,38	0,38	0,08
-1,0	407,19	19,76	39,52	466,47	323,39	129,36	13,31	466,06	0,41	0,09
0,0	410,96	13,68	27,36	452	310,48	124,19	17,16	451,83	0,17	0,04
1,0	414,61	7,62	15,24	437,47	297,34	118,94	21,01	437,29	0,18	0,04
2,0	418,38	1,6	3,2	423,18	284,49	113,8	24,86	423,15	0,03	0,01
3,0	408,98	0	0	408,98	271,70	108,68	28,72	409,1	0,12	0,03
4,0	395,7	0	0	395,7	258,93	103,57	32,57	395,07	0,63	0,16



Tu l <sub>t</sub>	Ensiö				Toisio				Erotus	
	Uuni	pp2	pp1	Kok.	FL100-1	TK80/4	LS1	Kok.	Φ	Suht.virh.
	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	Φ	%
°C	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	%
5,0	381,64	0	0	381,64	246,20	98,48	36,42	381,1	0,54	0,14
6,0	367,67	0	0	367,67	233,53	93,41	40,28	367,22	0,45	0,12
7,0	353,72	0	0	353,72	220,88	88,35	44,13	353,36	0,36	0,10
8,0	291,61	0	0	291,61	208,27	83,31	0,00	291,58	0,03	0,01
9,0	273,94	0	0	273,94	195,69	78,28	0,00	273,97	0,03	0,01
10,0	256,46	0	0	256,46	183,18	73,27	0,00	256,45	0,01	0,00
11,0	238,92	0	0	238,92	170,69	68,27	0,00	238,96	0,04	0,02
12,0	221,44	0	0	221,44	158,23	63,29	0,00	221,52	0,08	0,04
13,0	204,1	0	0	204,1	145,71	58,29	0,00	204	0,10	0,05
14,0	186,75	0	0	186,75	133,35	53,34	0,00	186,69	0,06	0,03
15,0	169,44	0	0	169,44	121,03	48,41	0,00	169,44	0,00	0,00
16,0	152,18	0	0	152,18	108,75	43,5	0,00	152,25	0,07	0,05
17,0	135,14	0	0	135,14	96,51	38,6	0,00	135,11	0,03	0,02
18,0	118,02	0	0	118,02	84,30	33,72	0,00	118,02	0,00	0,00
19,0	101,01	0	0	101,01	72,15	28,86	0,00	101,01	0,00	0,00
20,0	84,06	0	0	84,06	60,02	24,01	0,00	84,03	0,03	0,04
21,0	67,13	0	0	67,13	47,94	19,17	0,00	67,11	0,02	0,03
22,0	50,23	0	0	50,23	35,90	14,36	0,00	50,26	0,03	0,06
23,0	33,42	0	0	33,42	23,89	9,56	0,00	33,45	0,03	0,09
24,0	16,67	0	0	16,67	11,93	4,77	0,00	16,7	0,03	0,18
25,0	0,00	0	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,00

	Uuni (U)	Pölynpoisto (PP)	U+PP	LTO	
Tu lt	Φ	Φ	Φ	Φ	η
°C	kW	kW	kW	kW	%
-22	661,04	793,06	1454,10	849,36	55,7 %
-20	629,22	781,89	1411,11	810,25	54,7 %
-18	597,68	757,17	1354,85	771,50	54,1 %
-16	566,36	743,94	1310,30	732,74	53,0 %
-14	535,21	730,78	1265,99	694,48	51,9 %
-12	504,74	717,75	1222,49	656,84	50,6 %
-10	474,06	704,78	1178,84	618,95	50,9 %
-9	458,97	698,32	1157,29	600,04	50,2 %
-8	443,92	691,87	1135,79	581,40	49,6 %
-7	428,62	685,51	1114,13	562,86	48,9 %
-6	413,67	679,04	1092,71	544,43	48,1 %
-5	398,77	672,64	1071,41	525,77	47,6 %
-4	383,95	666,33	1050,28	509,48	47,1 %
-3	386,84	659,96	1046,80	495,00	45,9 %
-2	354,09	653,61	1007,70	480,57	46,3 %
-1	339,41	647,34	986,75	466,27	45,8 %
0	324,75	641,02	965,77	451,92	45,3 %
1	310,13	634,72	944,85	437,38	44,8 %
2	295,58	628,50	924,08	423,17	44,3 %
3	280,82	622,23	903,05	409,04	43,8 %
4	266,35	616,04	882,39	395,39	43,2 %

	Uuni (U)	Pölynpoisto (PP)	U+PP	LTO	
Tu lt	Φ	Φ	Φ	Φ	η
°C	kW	kW	kW	kW	%
5	251,94	609,86	861,80	381,37	42,6 %
6	237,56	603,64	841,20	367,45	42,0 %
7	223,22	597,43	820,65	353,54	35,5 %
8	208,95	591,35	800,30	291,60	34,2 %
9	194,70	585,18	779,88	273,96	32,9 %
10	180,50	579,07	759,57	256,46	31,5 %
11	166,34	572,99	739,33	238,94	30,0 %
12	152,24	566,91	719,15	221,48	28,4 %
13	138,17	560,80	698,97	204,05	26,7 %
14	124,15	554,76	678,91	186,72	25,0 %
15	110,09	548,79	658,88	169,44	23,1 %
16	96,17	542,72	638,89	152,22	21,1 %
17	82,30	536,72	619,02	135,13	19,1 %
18	68,47	530,79	599,26	118,02	16,9 %
19	54,69	524,83	579,52	101,01	14,5 %
20	40,95	518,87	559,82	84,05	12,0 %
21	27,26	512,99	540,25	67,12	9,3 %
22	13,61	507,06	520,67	50,25	6,4 %
23	0,00	501,16	501,16	33,44	3,3 %
24	0,00	495,31	495,31	16,69	0,0 %
25	0,00	489,43	489,43	0,00	0,0 %

NORMAALIVUODEN SEKÄ VUODEN 20XX LÄMMITYSTARVELUVUT OULUN ALU-  
EELLE

LIITE 32

	Lämmitystarveluvut [°Cvrk]	
	1981-2010	20XX
Tammikuu	824	1050
Helmikuu	742	924
Maaliskuu	677	800
Huhtikuu	465	600
Toukokuu	249	-
Kesäkuu	47	-
Heinäkuu	9	-
Elokuu	55	-
Syyskuu	224	-
Lokakuu	423	-
Marraskuu	593	-
Joulukuu	749	-
Koko vuosi	5057	-

## KAAVA 1

$$\rho = -0,00252 \cdot T^2 - 0,028389 \cdot T + 1055,77160$$

## KAAVA 2

$$\rho = 0,0000000000209626760394599 \cdot T^6 - 0,000000000637970343220218 \cdot T^5 + 0,0000000370479515954258 \cdot T^4 + 0,000000207124108086987 \cdot T^3 - 0,00249534906095317 \cdot T^2 - 0,291940157178015 \cdot T + 1\,059,41709244635$$

## KAAVA 3

$$c_p = -0,00000000000267221108522092 \cdot T^6 + 0,00000000030946291926584 \cdot T^5 - 0,000000012605747409019 \cdot T^4 + 0,000000219124084609862 \cdot T^3 - 0,00000163104313247696 \cdot T^2 + 0,00310123331965715 \cdot T + 3,49646286511734$$

## KAAVA 4

$$\text{Jos } T < -40\text{ }^{\circ}\text{C, niin } \rho = 0$$

$$\text{Jos } T \geq -40\text{ }^{\circ}\text{C, mutta } T \leq +50\text{ }^{\circ}\text{C niin,}$$

$$\rho = 0,00000000000873066473378536 \cdot T^6 - 0,000000000266515079048926 \cdot T^5 - 0,000000016881311846453 \cdot T^4 + 0,000000473780064506879 \cdot T^3 + 0,0000218324942675846 \cdot T^2 - 0,00491117749514181 \cdot T + 1,29310833766051\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{ja jos } T > +50\text{ }^{\circ}\text{C, mutta } T \leq +100\text{ }^{\circ}\text{C niin,}$$

$$\rho = 0,00000850000000000156 \cdot T^2 - 0,00420700000000035 \cdot T + 1,28182000000002$$

$$\text{ja jos } T > +100\text{ }^{\circ}\text{C, mutta } T \leq +500\text{ }^{\circ}\text{C niin,}$$

$$\rho = -0,00000000246666666666361 \cdot T^3 + 0,00000414999999999792 \cdot T^2 - 0,00290833333333296 \cdot T + 1,18150000000004$$

$$\text{ja jos } T > +500\text{ }^{\circ}\text{C, niin } \rho = 0$$

*KAAVA 5*

*Jos  $T < 100$ , niin  $c_p = 0$*

*Jos  $T \geq 100$  K, mutta  $T \leq 150$  K niin,*

$$c_p = -0,000334T + 1,06$$

*Jos  $T > 150$  K, mutta  $T \leq 250$  K niin,*

$$c_p = -0,000016T + 1,0093$$

*Jos  $T > 250$  K, mutta  $T \leq 350$  K niin,*

$$c_p = 0,000066T + 0,9859$$

*Jos  $T > 350$  K, mutta  $T \leq 450$  K niin,*

$$c_p = 0,000134T + 0,9604$$

*Jos  $T > 450$  K, mutta  $T \leq 550$  K niin,*

$$c_p = 0,000194T + 0,9325$$

*Jos  $T > 550$  K, mutta  $T \leq 650$  K niin,*

$$c_p = 0,000168T + 0,9543$$

*Jos  $T > 650$  K, mutta  $T \leq 750$  K niin,*

$$c_p = 0,000208T + 0,9296$$

*Jos  $T > 750$  K, mutta  $T \leq 850$  K niin,*

$$c_p = 0,000234T + 0,910600$$

*Jos  $T > 850\text{ K}$ , mutta  $T \leq 950\text{ K}$  niin,*

$$c_p = 0,000218T + 0,925$$

*Jos  $T > 950\text{ K}$   $c_p = 0$*

*KAAVA 6*

*Jos  $T < 4$ ,  $\rho = 0$*

*Jos  $T \leq 4$ , mutta  $T \leq 10$  niin,*

$$\rho = 0,000833333335322095 \cdot T^4 - 0,02333333334326744 \cdot T^3 + 0,224166668136604 \cdot T^2 - 0,901666674762964 \cdot T + 1\,001,20000001411$$

*jos  $T < 11$ , mutta  $T \leq 15$  niin,*

$$\rho = -0,0126249999957508 \cdot T^4 + 0,66474999973434 \cdot T^3 - 13,0603749943693 \cdot T^2 + 113,332249952451 \cdot T + 633,311000129552$$

*jos  $T < 15$ , mutta  $T \leq 21$  niin,*

$$\rho = 0,000858333281939849 \cdot T^5 - 0,0814166616182774 \cdot T^4 + 3,08487480413168 \cdot T^3 - 58,3630795693024 \cdot T^2 + 551,134730793535 \cdot T - 1\,078,25886438444$$

*jos  $T < 21$ , mutta  $T \leq 26$  niin,*

$$\rho = -0,0166250000111177 \cdot T^4 + 1,5960833344725 \cdot T^3 - 57,3953750434448 \cdot T^2 + 915,992917400436 \cdot T - 4\,475,26700464461$$

*jos  $T < 26$ , mutta  $T \leq 32$  niin,*

$$\rho = -0,0000166666723089293 \cdot T^5 - 0,00170833205629606 \cdot T^4 + 0,346833232062636 \cdot T^3 - 17,4852879297978 \cdot T^2 + 364,378117493106 \cdot T - 1\,774,61455096763$$

*jos  $T < 32$ , mutta  $T \leq 38$  niin,*

$$\rho = -0,0106083333230345 \cdot T^4 + 1,49661666533211 \cdot T^3 - 79,1138916019408 \cdot T^2 + 1\,856,87788194098 \cdot T - 15\,330,4819887918$$

*jos  $T < 38$ , mutta  $T \leq 70$  niin,*

$$\rho = 0,0000000620444513543816 \cdot T^6 - 0,0000211226688122679 \cdot T^5 + 0,00297244474938907 \cdot T^4 - 0,221216358830134 \cdot T^3 + 9,17629139997734 \cdot T^2 - 201,443825733732 \cdot T + 2\,825,16240685572$$

*jos  $T < 70$ , mutta  $T \leq 100$  niin,*

$$\rho = 0,000000997333337693362 \cdot T^5 - 0,00043640000247791 \cdot T^4 + 0,0761980005026004 \cdot T^3 - 6,63855004803808 \cdot T^2 + 288,026528882434 \cdot T - 3\,990,17303998632$$

*jos  $T > 100$ ,  $\rho = 0$*

*KAAVA 7*

*Jos  $T < 4$  niin  $h = 0$ ,*

*jos  $T \geq 4$ , mutta  $T \leq 11$  niin,*

$$h = -0,000204365079582658T^5 + 0,00770238095924469T^4 - 0,112859127106276T^3 + 0,800392858327541T^2 + 1,46806348714745T + 3,5619047664045$$

*jos  $T > 11$ , mutta  $T \leq 20$  niin,*

$$h = -0,00000416666671299026T^6 + 0,00039775640652806T^5 - 0,0157355765736611T^4 + 0,330092793104996T^3 - 3,87123913044661T^2 + 28,2530931675774T - 61,8103527227918$$

*jos  $T > 20$ , mutta  $T \leq 40$  niin,*





*KAAVA 10*

*Jos  $T_{i\ in} < -25\ ^\circ\text{C}$ , niin  $T_{n\ out} = 0\ ^\circ\text{C}$ ,*

*jos  $T_{i\ in} \geq -25\ ^\circ\text{C}$ , mutta  $T_{i\ in} \leq -11\ ^\circ\text{C}$  niin,*

$$T_{n\ out} = 0,00000194227430916349T_{i\ in}^6 + 0,000215264423490513T_{i\ in}^5 + \\ 0,00978303203829989T_{i\ in}^4 + 0,233140079248702T_{i\ in}^3 + 3,06833723928097T_{i\ in}^2 + \\ 22,0343160873083T_{i\ in} + 74,0024927495846$$

*jos  $T_{i\ in} > -11\ ^\circ\text{C}$ , mutta  $T_{i\ in} \leq 0\ ^\circ\text{C}$  niin,*

$$T_{n\ out} = 0,0000038194444513806T_{i\ in}^6 + 0,000130689102874726T_{i\ in}^5 + \\ 0,00168402778164278T_{i\ in}^4 + 0,0100390807204178T_{i\ in}^3 + 0,0249944083666733T_{i\ in}^2 + \\ 0,88856844141786T_{i\ in} + 14,325875048594$$

*jos  $T_{i\ in} > 0\ ^\circ\text{C}$ , mutta  $T_{i\ in} \leq 25\ ^\circ\text{C}$  niin,*

$$T_{n\ out} = -0,0000000119257127229044T_{i\ in}^6 + 0,00000103234130222063T_{i\ in}^5 - \\ 0,0000342676462992131T_{i\ in}^4 + 0,000541068580787396T_{i\ in}^3 + 0,0249944083666733T_{i\ in}^2 + \\ 0,88856844141786T_{i\ in} + 14,325875048594$$

*jos  $T_{i\ in} < +25\ ^\circ\text{C}$ , niin  $T_{n\ out} = 0\ ^\circ\text{C}$*

*KAAVA 11*

*Jos  $T_{i\ in} < -22\ ^\circ\text{C}$ , niin  $T_{n\ out} = 0\ ^\circ\text{C}$*

*jos  $T_{i\ in} \geq -22\ ^\circ\text{C}$ , mutta  $T_{i\ in} \leq -10\ ^\circ\text{C}$*

$$T_{n\ out} = -0,00000681423610338072 \cdot T_{i\ in}^6 - 0,00066197916599009 \cdot T_{i\ in}^5 - \\ 0,0264314235858407 \cdot T_{i\ in}^4 - 0,554739582798618 \cdot T_{i\ in}^3 - 6,45179027073502 \cdot T_{i\ in}^2 - \\ 38,4501999399996 \cdot T_{i\ in} - 85,309999721325$$

*jos  $T_{i\ in} > -10\ ^\circ\text{C}$ , mutta  $T_{i\ in} \leq 7\ ^\circ\text{C}$*

$$T_{n\ out} = 0,000000000545285705477738 \cdot T_{i\ in}^6 + 0,000000299534338221719 \cdot T_{i\ in}^5 - 0,000000307570026780724 \cdot T_{i\ in}^4 - 0,000033531333567538 \cdot T_{i\ in}^3 - 0,00180285111510337 \cdot T_{i\ in}^2 + 0,916212774613932 \cdot T_{i\ in} + 13,1656446538574$$

$$jos\ T_{i\ in} > 7\ ^\circ C, mutta\ T_{i\ in} \leq 25\ ^\circ$$

$$T_{n\ out} = -0,0000000181196810888906 \cdot T_{i\ in}^6 + 0,00000156113439020444 \cdot T_{i\ in}^5 - 0,0000511557620697101 \cdot T_{i\ in}^4 + 0,000780457977689331 \cdot T_{i\ in}^3 - 0,00687583626780319 \cdot T_{i\ in}^2 + 0,922817228653536 \cdot T_{i\ in} + 13,1931537272909$$

$$jos\ T_{i\ in} > 25\ ^\circ C, niin\ T_{n\ out} = 0\ ^\circ C$$

#### KAAVA 12

$$T_{u\ lt} = -0,408823529411765T_{pahuu\ lt} + 28,1764705882353$$

#### KAAVA 13

$$T_1 = \frac{q_{v\ (TK80/4)} \cdot T_{n\ out\ v\ (TK80/4)} + T_{n\ out\ v\ (TK80/4)} + q_{v\ (FL100-1)} \cdot T_{n\ out\ (FL100-1)}}{q_{v\ (TK80/4)} + q_{v\ (FL100-1)}}$$

$T_1$  Pölynpoistoon tulevan nesteen lämpötila

$q_{v\ (TK80/4)}$  TK80/4:ltä tulevan nesteen tilavuusvirta

$T_{n\ (TK80/4)}$  TK80/4:ltä tulevan nesteen lämpötila

$q_{v\ (TK80/4)}$  FL100-1:lta tulevan nesteen tilavuusvirta

$T_{n\ (TK80/4)}$  FL100-1:lta tulevan nesteen lämpötila

#### KAAVA 14

$$Jos\ T_u < -22\ ^\circ C, niin\ T_{out} = 1,423\ ^\circ C$$

$$Jos\ T_u \geq -22\ ^\circ C, mutta\ T_u \leq -10\ ^\circ C, niin$$

$$T_{out} = 0,00000186631940479742T_{u\ lt}^6 + 0,000189062496176007T_{u\ lt}^5 + 0,00788845471818433T_{u\ lt}^4 + 0,173244789161458T_{u\ lt}^3 + 2,10816630170831T_{u\ lt}^2 + 14,340745868986T_{u\ lt} + 56,1240008993168$$

*Jos  $T_u > -10\text{ °C}$ , mutta  $T_u \leq -4\text{ °C}$ , niin*

$$T_{out} = -0,000015277779311873T_{ult}^6 - 0,000654166731692385T_{ult}^5 - \\ 0,0115069456660422T_{ult}^4 - 0,105729180912022T_{ult}^3 - 0,531977888545953T_{ult}^2 - \\ 0,498117126058787T_{ult} + 19,5509993906396$$

*Jos  $T_u \geq -4\text{ °C}$ , mutta  $T_u \leq +2,267\text{ °C}$ , niin*

$$T_{out} = 0,000046469610879285T_{ult}^6 + 0,000238125641772058T_{ult}^5 - \\ 0,000431031054176856T_{ult}^4 - 0,00251278455834836T_{ult}^3 + 0,00201998767443001T_{ult}^2 + \\ 0,890238097985275T_{ult} + 20,9916509743371$$

*Jos  $T_u > +2,267\text{ °C}$ , niin  $T_{out} = 23\text{ °C}$*

#### *KAAVA 15*

*Jos  $T_{ult} < -4,459\text{ °C}$ , niin  $T_{sk out} = 41,7\text{ °C}$*

*Jos  $T_{ult} \geq -4,459\text{ °C}$ , mutta  $T_{ult} \leq -1\text{ °C}$*

$$T_{sk out} = 0,0213071078683242T_{ult}^4 + 0,214071078677714T_{ult}^3 + 0,753248775352818T_{ult}^2 + \\ 0,40485539331081T_{ult} + 39,0843705887013$$

*Jos  $T_{ult} > -1\text{ °C}$ , mutta  $T_{ult} \leq 2\text{ °C}$*

$$T_{sk out} = -0,00699999999972079T_{ult}^3 + 0,0109999999991715T_{ult}^2 - \\ 0,655000000000086T_{ult} + 38,5669999999998$$

*Jos  $T_{ult} > 2\text{ °C}$ , mutta  $T_{ult} \leq 7\text{ °C}$*

$$T_{sk out} = -0,00152500000194777T_{ult}^5 + 0,0457083333758419T_{ult}^4 - \\ 0,537625000466505T_{ult}^3 + 3,10579166917159T_{ult}^2 - 6,28235000462882T_{ult} + \\ 41,004999998662$$

*Jos  $T_{ult} > 7\text{ °C}$ , mutta  $T_{ult} \leq 10\text{ °C}$*

$$T_{sk\ out} = -1,80595592282043T_{u\ lt}^4 + 62,7730847092753T_{u\ lt}^3 - 815,373502736547T_{u\ lt}^2 + 4\ 694,62701436013T_{u\ lt} - 10\ 055,2333510188$$

$$jos\ T_{u\ lt} > 10\ ^\circ C, mutta\ T_{u\ lt} \leq 15\ ^\circ C$$

$$T_{sk\ out} = 0,0216916666649922T_{u\ lt}^5 - 1,32699999992474T_{u\ lt}^4 + 32,2988749983779T_{u\ lt}^3 - 391,036499979033T_{u\ lt}^2 + 2\ 358,54593318526T_{u\ lt} - 5\ 612,63899958544$$

$$jos\ T_{u\ lt} > 15\ ^\circ C, mutta\ T_{u\ lt} \leq 20\ ^\circ C$$

$$T_{sk\ out} = 0,00124166666137171T_{u\ lt}^5 - 0,109416666247853T_{u\ lt}^4 + 3,84712498653244T_{u\ lt}^3 - 67,4535831131725T_{u\ lt}^2 + 593,266631507551T_{u\ lt} - 2\ 025,88699388577$$

$$jos\ T_{u\ lt} > 20\ ^\circ C, mutta\ T_{u\ lt} \leq 25\ ^\circ C$$

$$T_{sk\ out} = -0,000158333337822114T_{u\ lt}^5 + 0,0180416671719286T_{u\ lt}^4 - 0,821291689644568T_{u\ lt}^3 + 18,6764588596998T_{u\ lt}^2 - 208,567056055821T_{u\ lt} + 992,770027906062$$

$$jos\ T_{u\ lt} > 25\ ^\circ C, niin\ T_{sk\ out} = 120\ ^\circ C$$

#### KAAVA 16

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\ vp\kunta}}{S_{toteutunut\ vp\kunta}} \cdot Q_{toteutunut} + Q_{l\ddot{a}mmin\ k\ddot{a}ytt\ddot{o}vesi}$$

#### KAAVA 17

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\ vp\kunta}}{S_{toteutunut\ vp\kunta}} \cdot Q_{toteutunut}$$

#### KAAVA 18

$$Q_{opt.} = Q_{red.norm.his.} - (Q_{red.norm.mit.} + Q_{red.norm.uusi})$$

### FUNKTIO 1 Pyöristystoiminnon syöttäminen Exceliin

```
=PYÖRISTÄ( 2,09626760394599E-12*Q2^6 - 6,37970343220218E-10*Q2^5 +  
3,70479515954258E-08*Q2^4 + 2,07124108086987E-07*Q2^3 - 0,00249534906095317*Q2^2 -  
0,291940157178015*Q2 + 1059,41709244635;2)
```

### FUNKTIO 2 Osafunktioiden yhdistäminen JOS- sekä JA-toiminnoilla Excelissä

```
=JOS(H3<-40;0;JOS(JA(H3>=-40;H3<=50);PYÖRISTÄ(8,73066473378536E-12*H3^6 - 2,66515079048926E-10*H3^5 -  
1,6881311846453E-08*H3^4 + 4,73780064506879E-07*H3^3 + 0,0000218324942675846*H3^2 - 0,00491117749514181*H3 +  
1,29310833766051;3);JOS(JA(H3>50;H3<=100);PYÖRISTÄ( 8,500000000000156E-06*H3^2 - 0,00420700000000035*H3 +  
1,281820000000002;4);JOS(JA(H3>100;H3<=500);PYÖRISTÄ(-2,466666666666361E-09*H3^3 + 4,14999999999792E-06*H3^2 -  
0,0029083333333296*H3 + 1,181500000000004;4);0))))
```

### FUNKTIO 3 Excel-funktio ilman ominaislämpökapasiteetille lämpötilavälille 100 K... 950 K

```
=PYÖRISTÄ(JOS(M4<100;0;JOS(JA(M4>=100;M4<=150);-0,000334*M4+1,06;JOS(JA(M4>  
150;M4<=250);-0,000016*M4+1,0093;JOS(JA(M4>250;M4<=350);0,000066*M4+0,9859;  
JOS(JA(M4>350;M4<=450);0,000134*M4+0,9604;JOS(JA(M4>450;M4<=550);0,000194*  
M4+0,9325;JOS(JA(M4>550;M4<=650);0,000168*M4+0,9543;JOS(JA(M4>650;M4<=750);  
0,000208*M4+0,9296;JOS(JA(M4>750;M4<=850);0,000234*M4 + 0,9106;JOS(JA(M4>850;  
M4<=950);0,000218*M4 + 0,925;0)))))))));4)
```