



# Muhvauksen lämmittimen kehitystyö

Vastusuunin korvaaminen infrapunauunilla

Liimatta Kimi

OPINNÄYTETYÖ  
Syyskuu 2020

Konetekniikka  
Automaatio

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikka  
Automaatio

LIIMATTA, KIMI:  
Muhvauksen lämmittimen kehitystyö

Opinnäytetyö 61 sivua, joista liitteitä 5 sivua  
Syyskuu 2020

---

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli määrittää, kannattaako Extron Mecanor Oy:n Mecabell -muhvauslaitteessa oleva vastusuuni korvata infrapunauunilla. Tavoitteena oli saada Extron Mecanor Oy:n asiakkaille laadultaan parempia muhveja, nopeampia prosesseja sekä saada aikaan rahallista hyötyä. Työ päätettiin toteuttaa vertailemalla laitteita keskenään.

Tämän työn perustana käytettiin termodynamiikkaan ja muovialaan liittyviä keskeisiä teoksia. Teoksien lisäksi hyödynnettiin infrapunaan ja muovialaan liittyvien yritysten ja toimijoiden nettisivuja. Näiden lähteiden valinnassa pyrittiin valitsemaan tunnettuja, sekä luotettavia lähteitä. Luotettavuus esimerkiksi muovilaatujen termodynaamisissa ominaisuuksissa perustuu siihen, että useiden suurten ja muovialalla pitkään toimineiden yritysten tiedot täsmäävät. Molemmilla uuneilla tehtiin lämmitystestit PP-, PE- ja PVC-muovilaaduille ja pyrittiin määrittämään parasta tehon ja ajan suhdetta, jolla päästään parhaaseen lopputulokseen. Lisäksi infrapunauunille suoritettiin lisätesti, jossa uunin toinen pää suljettiin säteilevällä materiaalilla kokonaan ja toinen pääty niin, että siitä mahtui vain muoviputki uuniin sisään. Lämmitystestien yhteydessä infrapunauunin energiankulutusta mitattiin tähän opinnäytetyöhön tehdyllä energiamittarilla, joka koostui Siemens-logiikasta ja -komponenteista.

Testeissä vastusuuni tuotti selvästi infrapunauunია tasaisempaa laatua, mutta oli myös paljon hitaampi. Oikea tehon ja ajan suhde löytyi vastusuunille helposti. Infrapunauuni lämmitti yllättävän epätasaisesti ja aiheutti suurimmassa osassa testejä muoviputkeen negatiivisia muodonmuutoksia eli huonoa laatua. Täten voidaan todeta, että oikeaa tehon ja ajan suhdetta infrapunauunille oli todella vaikea määrittää. Suljetun pään lisätesti infrapunauunilla havainnollisti, että samoilla arvoilla lämmitysaika putosi melkein puoleen siitä, mitä se oli avoimen infrapunauunin testeissä. Energiankulutustesti infrapunauunille puolestaan osoitti, että hetkellisessä kulutuksessa vastusuuni kuluttaa vähemmän sähköä, mutta pitkällä aikavälillä infrapunauuni kuluttaa (useiden lähteidenkin mukaan) vähemmän sähköä, välittömän lämmittämisensä kautta.

Opinnäytetyö toimii hyvänä pohjana infrapunauunin käyttöönoton jatkojalostamisessa ja loi vahvoja viitteitä siihen, että infrapunauunista mahdollisesti saataisiin irti merkittävää hyötyä muhvausprosessin kannalta. Testeissä käytössä olleessa infrapunauunissa oli selvästi väärä aallonpituus näille materiaaleille ja tärkeimpänä jatkokehitysehdotuksena pitää selvittää, mitä aallonpituutta lämmitettävä kappale lähettää tai absorboi ja asentaa infrapunauuniin sitä vastaavat infrapunalamput. Lämmitettävälle materiaalille sopivaa aallonpituutta lähettävillä infrapunalampuilla oikean tehon ja ajan suhteen löytyminen olisi paljon helpompaa,

eikä negatiivisia muodonmuutoksia tulisi yhtä paljon kuin tämän opinnäytetyön testeissä. Tällöin infrapunasäde menisi kappaleen läpi ja johtuisi kappaleessa, eikä jäisi lämmittämään putken pintaa tarpeettomasti. Oikeiden infrapunalamppujen asentamisen jälkeen pitäisi korjata ne infrapunauunin rakenteelliset asiat, jotka heikentävät lämmitystehoa ja mieltä mahdollisesti koko prosessin automatisointia. Tällöin markkinoille mahdollisesti saataisiin kokonaan modernisoitu tuote.

---

Asiasanat: muhvi, muhvaus, muoviputki, muovi, lämmitysmenetelmät, IR, infrapunalämmitys, sähkövastus

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Machine Automation

LIIMATTA KIMI:  
Muhvauksen lämmittimen kehitystyö  
Development of a Socketing machine heating

Bachelor's thesis, pages 61, appendices 5 pages  
September 2020

---

The purpose of this thesis was to find out whether the resistance oven of a Mecabell socketing machine at Extron Mecanor Oy should be replaced by an infrared oven. The aim was to improve quality, speed up the process and make economic benefit for users of Mecabell. This was made by comparing these heating systems.

This thesis is based on essential literature and online sources related to thermodynamics and plastic industry. Online sources are from trustworthy and well-known companies and corporations which operate in the fields of heating and plastic industry. The work includes heating tests for PP, PE and PVC pipe materials, done with both ovens, and an additional, specific test and an energy measurement test for the infrared oven. Finally, all data was combined into a comparison chart. In the additional test, both ends of the oven were sealed with radiant material, so that a single plastic pipe could be led into the oven at one end. The energy measurement device was made from Siemens logic and components just for this thesis.

According to the results, better quality was reached with the resistance oven, but it was much slower than the infrared oven. The infrared oven heated pipes quickly but lacked in quality. The additional test showed that the heating time of the infrared oven can be reduced and almost halved by these simple modifications. The energy measurement test for the infrared oven showed how much energy it takes per minute, and in comparison to the resistance oven it can be noticed that the resistance oven takes less energy per minute. However, within a longer period of time, the outcome would be opposite because of the imminent heating capability of the infrared oven.

In conclusion, this thesis can be used as a starting point when taking an infrared oven to use in the future. The tests showed that infrared lamps had a wrong wavelength for these materials. Therefore, it would be vital to examine which wavelength is the correct for each material and perform these tests again. The correct ratio of heating power and time would be much easier to find by using the right wavelengths, because infrared radiation would go through and conduct at the material. Therefore, negative transformations would not be generated so easily. When the infrared lamps are in order, the next thing to do would be to fix the

mechanical problems in the infrared oven which affect the heating process. Finally, automatizing infrared oven could be the start for a new product.

---

Key words: socket, socketing, pipe, plastic, heating, IR, infrared, resistance

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
2	YRITYSESITTELY .....	10
	2.1 Yleistä yrityksestä .....	10
	2.2 MECABELL muhvauskone.....	10
	2.3 Muhvi .....	12
3	ALKUTILANNE .....	14
	3.1 Yleistä .....	14
	3.2 Vastusuuni .....	14
4	KEHITYSEHDOTUS .....	16
	4.1 Yleistä .....	16
	4.2 Infrapunauuni .....	16
5	LÄMMITTÄMISEN TEORIAA.....	19
	5.1 Termodynamiikan pääsäännöt.....	19
	5.2 Johtuminen .....	20
	5.3 Konvektio .....	20
	5.4 Säteily (lämpösäteily).....	21
6	INFRAPUNASÄTEILY .....	26
	6.1 Yleistä .....	26
	6.2 Käytössä oleva infrapunasäteily.....	27
7	LÄMMITETTÄVÄT MUOVIT .....	29
	7.1 Muovien jaottelu .....	29
	7.2 Amorfisuus ja osakiteisyys .....	30
	7.3 Muovien esittelyt .....	31
	7.3.1 Polypropeeni .....	31
	7.3.2 Polyeteeni.....	31
	7.3.3 Polyvinyylikloridi .....	32
	7.4 Muovien lämpötekniset ominaisuudet .....	32
8	LÄMMITYSTESTIT .....	35
	8.1 Yleistä .....	35
	8.2 Mittavälineet .....	35
	8.3 Testin kulku vastusuunilla .....	37
	8.4 Testin kulku infrapunauunilla.....	38
	8.5 Lisätesti infrapunauunilla.....	40
	8.6 Energiamittaus infrapunauunilla.....	41
9	TESTITULOKSET.....	44
	9.1 Yleistä .....	44

9.2 Vastusuunin tulokset .....	44
9.3 Infrapunaunin tulokset .....	45
9.3.1 Lisätestin tulokset .....	48
9.4 Tuloksien vertailua .....	49
10 LÄMMITYSTAPOJEN VERTAILU .....	50
10.1 Painoarvotaulukko .....	50
10.2 Sähkönkulutus .....	50
11 POHDINTA JA KEHITYSEHDOTUKSET .....	53
LÄHTEET .....	55
LIITTEET .....	57
Liite 1. PP-MD mittaustulokset .....	57
Liite 2. PP mittaustulokset .....	58
Liite 3. PVC mittaustulokset .....	59
Liite 4. PE-HD mittaustulokset .....	60
Liite 5. Lisätestit (PP-MD) .....	61

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on muhvauksen lämmittimen kehitystyö ja sen tarkoituksena on määrittää, kannattaako vastusuuni korvata infrapunauunilla. Kumpi on parempi vaihtoehto muhvausprosessin lämmittimenä? Tämän kehitystyön tarve syntyi Extron Mecanor Oy:n halusta parantaa Mecabell muhvauslaitetta yhä kilpailukykyisemmäksi tuotteeksi. Tämän vuoksi tavoitteena tässä työssä on selvittää, saadaanko muhvauksen lämmityksen modernisoinnista hyötyä laatuun, valmistamisnopeuteen ja energiatehokkuuteen.

Yleisimmin käytettyjä muoveja lämpömuokkauksessa ovat styreenimuovit (PS, PS-HI, ABS ja niiden yhdistelmät), PMMA, PC, PE-HD, PVC ja PP. Tässä työssä materiaalit on rajattu polypropeeniin (PP), polyeteeniin (PE), sekä polyvinyylikloridiin (PVC), jotka ovatkin putkenvalmistuksen valtamuovit. Muutoin opinnäytetyön aihe on rajattu näiden uunien vertailuun ja sen lopputuloksien esittämiseen. Vertailun tulos tulee olemaan puolesta tai vastaan infrapunauunin käyttöönottamiselle, mutta toivottavasti työ tuo esiin epäkohdat, joita parantamalla muhvausprosessia saadaan parannettua.

Kiinnostukseni aiheeseen syntyi melko vaivattomasti, sillä olen kiinnostunut asioista, jotka ympäröivät meitä jokapäiväisessä arjessa. Mitä esiintyisikään ympärillämme enemmän kuin lämpöoppia? Lisäksi aiheesta mielenkiintoisen tekee aiheen tarpeellisuus. Mikäli infrapunauuni saadaan perusteltua tarpeeksi hyvin, hyödyt voivat olla merkittäviä.

Opinnäytetyön alkupuolella, luvussa 2, tutustutaan toimeksiantajaan, opinnäytetyötä koskevaan laitteeseen ja sen tekemään lopputuotteeseen -muhviin. Luvussa 3 käydään läpi alkutilanne ja sen jälkeen luvussa 4 alkutilanteen mahdollisesti korvaava kehitysehdotus. Luku 5 pitää sisällään lämpöopin teorian, alkaen termodynamiikan pääsäännöistä, lämmönsiirtymistavoista (johtuminen, konvektio ja lämpösäteily). Lämpösäteilyn jälkeen siirrytään, luvussa 6, luontevasti infrapunasäteilyyn, pureutuen ensin sen historiaan, teoriaan ja lopuksi siihen minikälaista infrapunasäteilyä tässä työssä käytetään. Luku 7 esittelee käytössä ole-



vat muovit ja niiden lämpöominaisuudet. Luvussa 8 vuorossa ovat lämmitystestit molemmille uuneille. Lisäksi luvussa 8 uunin mekaanista rakennetta muokkaamalla suoritettu lisätesti ja energiamittaus Siemens komponenteilla. Luku 9 esittelee näiden lämmitystestien tulokset. Luvussa 10 opinnäytetyössä esiintyneet asiat kootaan lopulta lämmitystapojen vertailuksi painoarvotaulukon avulla, jonka jälkeen luvussa 8 suoritettujen energiamittauksien tulokset pääsevät vertailuun vastusuunin laskettujen energiankäytön tulosten kanssa. Viimeisenä luvusta 11 löytyy pohdinta ja kehitysehdotukset.

## 2 YRITYSESITTELY

### 2.1 Yleistä yrityksestä

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii muoviteollisuudelle tuotantolinjoja, laitteita ja palveluita toimittava Extron Mecanor Oy. Extron Engineering Oy perustettiin vuonna 1991 ja Mecanor Oy vuonna 1975. Vuonna 2015 tapahtui fuusioituminen firman nykyiseen muotoon. Kaiken kaikkiaan muovikoneiden valmistamista ja kehittämistä on tehty jo lähes 40 vuotta maailman johtaville muoviyrityksille.

Täten, markkinoiden pitkäaikaisena toimijana, Extron Mecanorilla on laaja tietämys muovialan prosesseista (Extron Oy 2020).

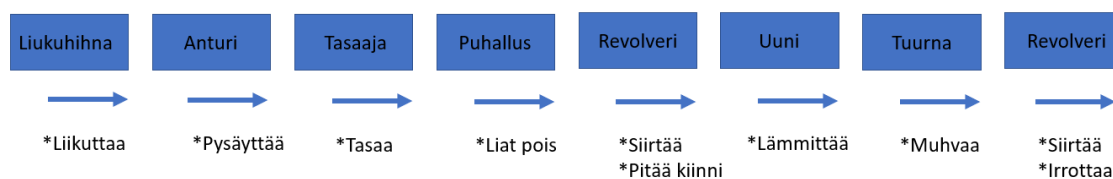
### 2.2 MECABELL muhvauskone

Tämän työn kehityskohteena toimii Extron-Mecanor Oy:n automaattiseen putkienvalmistustuotantolinjastoon kuuluvan Mecabell muhvauskoneen (kuva 1) lämmittysuuni. Tarkoituksena verrata nykyistä vastusuunia infrapunauuniin ja katsoa kummalla saadaan parempia tuloksia muhvauksen lämmityksessä.



KUVA 1. Mecabell muhvauskone (Extron-Mecanor Oy n.d.)

Mecabell muhvauskone toimii seuraavasti. Muhvia vailla oleva (muuten valmis) putki saapuu liukuhihnaa pitkin anturin ohi, joka pysäyttää putken. Tämän jälkeen laite kippaa sen tasaajalle, joka nimensä mukaisesti tasaa putken oikealle etäisyydelle (jotta muhvista tulee oikean pituinen). Tasaaja on säädettävissä. Tässä kohtaa putkesta puhalletaan paineilmalla sinne mahdollisesti sahauksesta jääneet epäpuhtaudet. Kun puhallus on toteutettu, putki painetaan tilaa säästävään revolveripidikkeeseen, johon laite voi asettaa useita putkia (joko odottamaan lämmitystä tai lämpenemään samanaikaisesti). Yhtäaikaisesti lämmitettävien putkien määrä riippuu käytössä olevien uunien määrästä. Revolverityökalu pyöräyttää putken oikeaan paikkaan, jolloin käytössä olevat uunit työntyvät eteenpäin ja alkavat lämmittämään putkia. Uunien jälkeen putki pyörähtää tuurnatyökalun (kuva 3) eteen, joka työntyessään muodostaa muhvin. Tämän jälkeen revolveripidike pyöräyttää putken poistopaikkaan ja irrottaa otteensa putkesta, jonka jälkeen putki on valmis. Alla toimintakuvaus havainnollistettuna (kuva 2).



KUVA 2. Toimintakuvaus

Tarkemmin esitettynä muhvausprosessi alkaa edellä käydyn toimintakuvauksen (kuva 2) mukaisesti muoviputken pään lämmittämällä oikeaan lämpötilaan oikealta matkalta. Tämän jälkeen muoviputkeen työntyvä tuurnatyökalu (kuva 3) muodostaa muhvin. Tuurnatyökalulta putki poistetaan vasta jäähdytysajan (noin 50 s) kuluttua. Tuurnatyökalun täytyy olla oikeassa lämpötilassa, jotta putki lähtee tuurnalta hyvin pois ja putki jäähtyy tasaisesti. Oikeassa lämpötilassa (noin 60 °C) tuurna pysyy temperointilaitteen avulla.



KUVA 3. Tuurnatyökalu

### 2.3 Muhvi

Muhvi on kahden putken liitoskohta ja yleisin muhviyppi on Mecabell muhvauslaitteen tuottama tiivistemuhvi. Tiivistemuhvissa putken sisäpuolella on myöhemmin asennettava kumitiiviste ja sen kestävät kemikaalit, paineet ja lämpötilat tulee tarkistaa aina putkea valittaessa. Muhvi voi löytyä putkesta tai mahdollisesti käytössä olevista yhteistä. Yhteet ovat tavallisesti kokoonpanoa helpottavia pienempiä putkikomponentteja, kuten kulmia. Kuvassa (kuva 4) muhvi vain putken toisessa päässä (Uponor Oy , 2015) ja kuvassa (kuva 5) erilaisia putkiyhteitä (Pipelife Oy , n.d.). Kuvan 4 muhvi on valmistettu tämän opinnäytetyön vastusuu-  
nin lämmitystestien yhteydessä Mecabell -muhvauslaitteella.



KUVA 4. Tiivistemuhvi putken päässä



KUVA 5. Putkiyhteitä muhvilla (Pipelife Oy n.d.)

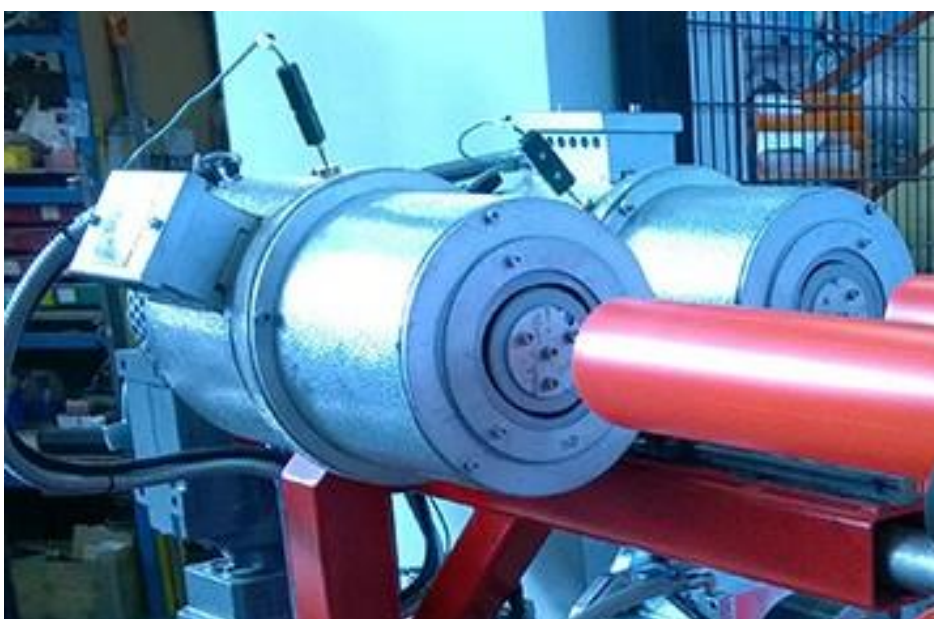
### 3 ALKUTILANNE

#### 3.1 Yleistä

Alkutilanteessa käytössä on valmiiksi Mecabell -muhvaulaitteessa kiinni oleva vastusuuni. Kyseisen uunin toiminta perustuu lämpösäteilyn kuljettamiseen kiertoilman avulla. Tällaista lämmitystapaa kutsutaan pakotetuksi konvektioksi, josta pakotetun tekee uunissa sijaitseva tuuletin. Lisäksi itse putkessa tapahtuu lämmön johtumista kuumennettavasta päästä poispäin. Näin ollen tässä teollisuuden tilanteessa, kolme lämmönsiirtymistapaa tekevät yhteistyötä. Tietoutta näistä lämmönsiirtymistavoista ja lämpöpöipistä löytyy kappaleesta 5.

#### 3.2 Vastusuuni

Käytössä oleva uuni on sylinterinmuotoinen ja varustettu 2000 W vastuksella (kuva 6). Uunissa on lämmitysanturi, jonka avulla lämpötila saadaan säädettyä haluttuun lämpötilaan. Uunin vastukset toimivat termostaatin tavoin, jolloin haluttu lämpötilan ympärillä ”pyöritään”, eikä uunin tarvitse olla koko ajan päällä. Näin ollen uuni muodostaa hystereesiä, joka säästää energiaa ja itse uunia. Uunin arvoja säädetään näytöllisestä käyttöliittymästä.



KUVA 6. Vastusuuni (Extron-Mecanor Oy n.d.)

Lämmön karkaamista on pyritty estämään eristeillä ja uunin etupäässä sijaitsevalla kauluksella. Eristeet ovat hyvä keino estää lämmön karkaaminen uunista ympäröivään ilmaan ja kaulus pitää lämmöt sisällä, jopa putken ollessa uunissa.

Seuraavassa kappaleessa esitellään infrapunauuni, joka toimii kehitysehdotuksena vastusuunille. Infrapunauunin tarkoituksena on tuottaa muhvien lämmitys nopeammin ja laadullisesti paremmin, kuin alkutilanteessa käytössä olevan vastusuunin.

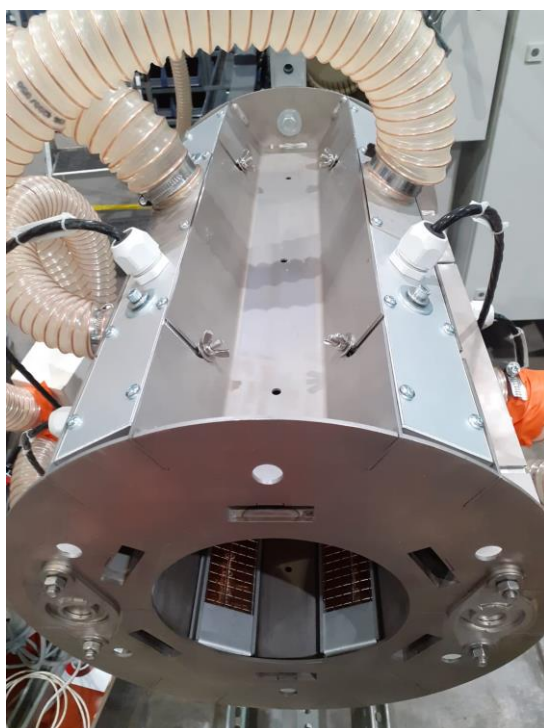
## 4 KEHITYSEHDOTUS

### 4.1 Yleistä

Kehitysehdotuksessa vastusuuni korvataan Core-Automation Oy:n infrapunauunilla, eikä kyseistä laitetta ole optimoitu juuri tämän tilanteen mukaan, sillä kyseessä on testilaitte. Myös infrapunauunissa sähkö muutetaan lämmöksi, mutta lämpö siirtyy säteilemällä kappaleeseen ja johtuu kappaleessa kappaleen arvojen mukaan. Konvektiota ei tapahdu.

### 4.2 Infrapunauuni

Käytössä olevassa testiuunissa (kuva 7) on kuusi kappaletta 3000 W infrapunalamppuja, jotka ovat pituudeltaan noin 500 mm . Muodoltaan tämä uuni on myös sylinterin muotoinen ja stabiili systeemi. Vastusuuniin verrattuna infrapunauuni on huomattavasti avonaisempi systeemi ja tämän vuoksi luovuttaa helposti lämpöä ympäröivään ilmaan termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan. Lämpöoppi löytyy kappaleesta 5.



KUVA 7. Infrapunauuni



Toinen lämmityksen kannalta olennainen asia infrapunauunissa on Ir-lamppujen väliin jäävä tila. Tämän vuoksi lämmitettävälle muoviputkelle täytyy kehittää pyöritys, jotta infrapunasäteet saadaan osumaan putkeen tasaisesti (kuva 8). Tarkemmin sanottuna ir-lamppujen välissä oleva pinta on huonosti säteilevää materiaalia ja vastaa likaantuneen uunin tilannetta. Kyseinen pinta on aivan toista luokkaa, kuin ir-lamppujen takana oleva pinta, joka puolestaan heijastaa 95% siihen osuvasta säteilystä (The ir handbook , 6).



KUVA 8. Infrapunauuni sisältä käytön aikana

Lisäksi on tärkeää tietää, mikä määrittelee suurimman käytettävissä olevan lämmityslämpötilan. Tähän vaikuttaa kuinka hyvin uuni on suunniteltu ja varsinkin, kuinka hyvin ir-lamput on suojattu lämmöltä (The ir handbook , 8). Suurien lämpötilojen sovelluksissa ir-lamput kannattaa suojata kvartsilasilla, joka suojaa ir-lamppuja lämmitettävästä kappaleesta takaisin tulevalta säteilyltä. Tämä sen takia, että ir-lamppujen päiden lämpötilat eivät saisi nousta yli 300 °C yläpuolelle. (The ir handbook , 64). Testiuunissa kvartsilasin tilalla on suojaava verkko, mutta ir-lamppuja viilennetään paineilman avulla, jota puhalletaan lamppujen taakse.

Kappaleessa 5 käydään läpi molempia uuneja koskevat lämmittämisen teorat, jossa selviää termodynamiikan pääsäännöt ja lämmönsiirtymistavat. Näistä tavoista varsinkin säteilyyn pureudutaan tarkemmin, sillä molemmat uunit säteilevät lämpöä (eri menetelmillä).

## 5 LÄMMITTÄMISEN TEORIAA

### 5.1 Termodynamiikan pääsäännöt

Jotta ymmärretään mitä vastusuunissa ja infrapunauunissa tapahtuu, käydään läpi lämpöoppi ja lämmön siirtymistavat. Lämpöoppi ja lämmittämiseen liittyvät asiat perustuvat termodynamiikan pääsääntöihin ja tieteellisen perustan lämpökäsitteiden perustalle muodostaa nollas pääsääntö. Tämän pääsäännön mukaan kaksi kosketuksissa olevaa kappaletta muodostavat lopulta termisen tasapainon tilan. Termisen tasapainon tilassa lämmin kappale viilenee ja kylmä kappale lämpenee niin, että lopulta molemmilla on sama lämpötila. (Fagerholm 1986 , 20.)

Termodynamiikan ensimmäinen pääsääntö tunnetaan energian häviämättömyyden sääntönä. Tämän säännön mukaan energia ei synny tyhjästä, eikä voi hävitä. Ensimmäisen pääsääntö (kaava 1) esittelee termin sisäenergia, joka kertoo systeemin sisältämän kokonaisenergiämäärän.

$$\Delta U = W + Q \quad [1]$$

, jossa  $\Delta U$  = sisäenergian muutos,  $W$  = työ ja  $Q$  = lämpö.

Sisäenergiaan lasketaan kaikki systeemin sisäpuolella oleva energia. Sisäenergian muutokseen vaikuttavat ainoastaan energiansiirrot (työ ja lämpö) ympäristöstä tai ympäristöön. (Fagerholm 1986 , 30.)

Toinen pääsääntö käsittelee tilasuuretta nimeltä entropia, joka määrittelee prosesseissa tapahtuvia ilmiöitä ja niiden luonnetta. Fagerholmin sanoin: ”Entropialla mitataan systeemin sisäenergian sisäistä järjestyneisyyttä.”. Entropia edustaakin epävarmuutta sisäenergian sisäisessä jakautumisessa. Näin ollen voidaan puhua epävarmuustekijästä tai systeemin tasapainotilan todennäköisyyskertomesta. (Fagerholm 1986 , 32.) Entropia toimii energian mittana lämmön siirtymisessä systeemin ja ympäristön välillä. Toisin sanoen entropia kuvaa mm. hukkalämpöä. Mikäli entropia on pieni, järjestelmällä on enemmän kykyä tehdä työtä ja päinvastoin. (Salonen, Laurson, Mäkelä & Herranen 2017, 14, 23, 26.)

Termodynamiikalla on olemassa myös kolmas pääsääntö. Kirjallisuutta aiheesta löytyy varsin vähän, sillä se on teoreettisesti tärkeä asia, mutta käytännössä sille on vähän käyttöä. Tämä pääsääntö koskee absoluuttista nollapistettä ja siitä onkin kirjoitettu näin: ”Jokaisen puhtaan kiinteän kiteisen aineen entropia absoluuttisessa nollapisteessä on nolla.” (Hemilä 1991 , 107.) Tilastollisesti kyseinen ajatus on luonnollista, mutta normaalisti kiteessä on epäpuhtausatomeja, kidevirheitä ja lämpöliikettä, jotka sotkevat täydellistä järjestystä aiheuttaen systeemiin entropiaa. (Hemilä 1991 , 107.)

Itse lämmönsiirtyminen tapahtuu johtumisen, konvektion, säteilyn ja näiden yhdistelmien kautta. Usein teollisuudessa näitä hyödynnetään toistensa kanssa. (Penttala & Törmi , 8.)

## 5.2 Johtuminen

Johtuminen tapahtuu kahden kiinteän kappaleen välillä suuremmasta lämpötilasta pienempään. Johtuneen lämmön määrä voidaan määrittää materiaalin lämmönjohtavuuskertoimen, mittojen ja lämpötilan välittymisen kautta. Mikäli lämmönlähde on paikallaan, on lämpötilan välittyminen tasaista, mutta mikäli lämmönlähde liikkuu – tapahtuu muutosta myös siirtyneen lämmön määrässä. (The ir handbook , 4.) Materiaalin lämmönjohtavuuden ollessa suuri, johtaa se myös hyvin lämpöä. Toisaalta, mikäli lämmönjohtavuus on pieni, on materiaalia parempi käyttää lämmöneristeenä. (Fluorotech Oy 2012.)

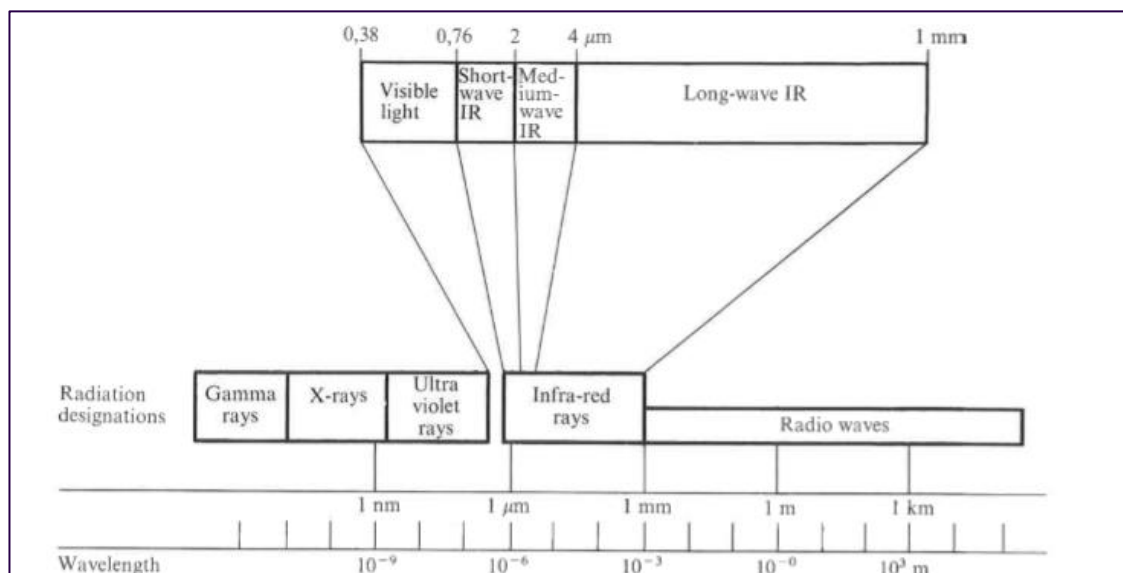
## 5.3 Konvektio

Lämmönsiirtyminen konvektion avulla tapahtuu nesteissä ja kaasuissa, jotka siirtävät lämpöä kahden kiinteän kappaleen välillä. Konvektio voi olla joko luonnollinen tai koneellinen/pakotettu. Luonnollisessa konvektiossa kaasun tai nesteen eri osat omaavat eri lämpötilat tai tiheydet, jolloin lämmönsiirtymistä tapahtuu. Esimerkiksi perinteinen lämpöpatteri lämmittää taloja luonnollisen konvektion avulla. Mikäli konvektio on pakotettu, tapahtuu nesteen tai kaasun liikuttaminen tuulettimen tai pumpun avulla. (The ir handbook , 4.)

## 5.4 Säteily (lämpösäteily)

Kun siirretään lämpöä säteilyn avulla, toinen kappale lähettää säteilyä ja toinen vastaanottaa sitä. Osuessaan toiseen kappaleeseen osa säteilystä absorboituu, osa heijastuu takaisin ja osa mahdollisesti läpäisee kappaleen. (The ir handbook , 4.) Ainoastaan absorboitunut säteily lämmittää kappaletta (Fagerholm 1986 , 258).

Säteilyä kutsutaan lämpösäteilyksi, sillä jokainen säteilijänä toimiva kappale on aina ympäristöään kuumempi, eli absoluuttisen nolapisteen (0K) yläpuolella (Penttala & Törmi 1977, 8; Hautala & Peltonen 2009 , 174). Lämpösäteily puolestaan on sähkömagneettista aaltoliikettä, johon kuuluvat sähkömagneettisen spektrin osa-alueet: gammasäteily, röntgensäteily, ultraviolettisäteily, näkyvä valo, infrapunasäteily, mikroaallot ja radioaallot (Penttala & Törmi 1977 , 8; The ir handbook n.d. , 5; Infradex Oy 2003 , 105). Alla olevassa kuvassa (kuva 9) osoitettu sähkömagneettinen säteily gammasäteilystä radioaaltoihin. Suurinta aallonpituutta lähettää radioaallot ja pienintä gammasäteily.



KUVA 9. Sähkömagneettinen spektri (The ir handbook n.d., 5)

Infrapunasäteilyä tapahtuu heti näkyvän valon jälkeen välillä (0,75  $\mu\text{m}$  – 100  $\mu\text{m}$ ) ja se on näkyvää valoa pitkäaaltoisempaa. Tarkemmin infrapunasta asiaa löytyy kappaleesta 6.

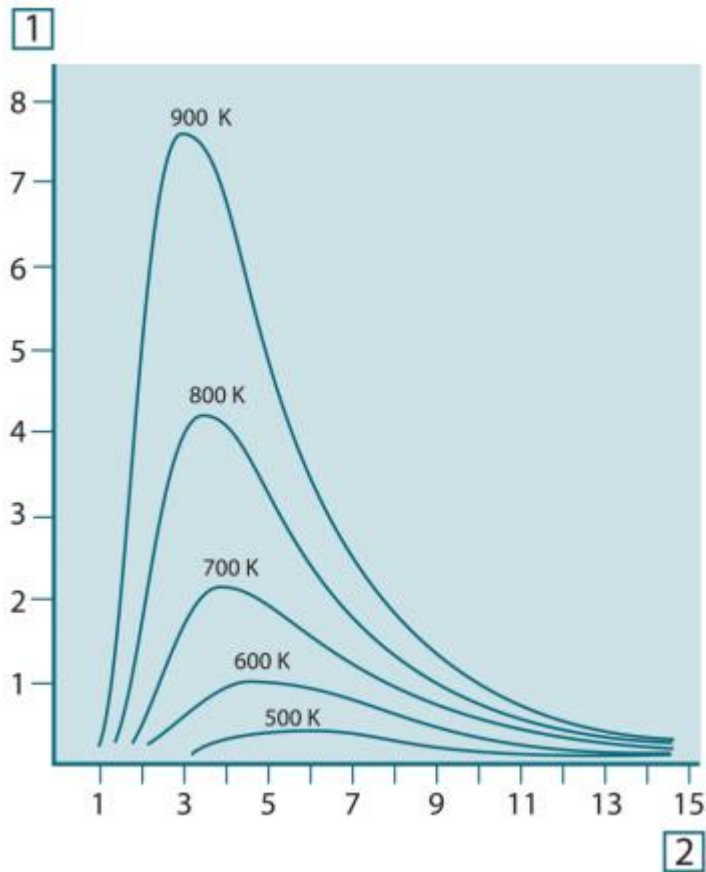
Todellisille säteilijöille käytetään vertailukohtana mustaa kappaletta (täydellistä säteilijää), joka teoreettisesti absorboi kaiken siihen tulevan säteilyn, eikä heijasta mitään takaisin. Teoriassa tämä toimii, mutta oikeissa kappaleissa on aina epävarmuutta, eikä täysin mustaa kappaletta ole olemassa ja esimerkiksi nokikin heijastaa 5 % siihen tulevasta säteilystä. Tarkoittaen, että kaikki kappaleet heijastavat lämpösäteilyä. (Fagerholm 1986 , 258.) Musta kappale nimitys on harhaanjohtava, sillä musta kappale absorboi millä tahansa aallonpituudella tulevan säteilyn ja pystyy myös lähettämään säteilyä (Infradex Oy 2003 , 106). Esimerkiksi aurinko on melko hyvä musta kappale (Hautala & Peltonen 2005 , 175).

Mustan kappaleen merkitys lämpösäteilyn kannalta on todella tärkeä, sillä sen säteilyn aallonpituuksien jakaumaan perustuu Planckin laki (kaava 2) (Infradex Oy 2003 , 106 - 108). Musta kappale liittyy myös pinnan absorbointikykyyn ja heijastavuuteen. Voidaankin todeta, että musta kappale toimii vertailukohtana/pohjana käytännön systeemeille.

Ensimmäinen säteilylaki on (edellä mainittu) Planckin säteilylaki, jonka kaava esitetty alla (kaava 2). Tämän kaavan avulla hän kuvasi mustan kappaleen säteilytehon tietyllä aallonpituudella ( $[Watt/m^2\mu m]$ ).

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^3}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} \times 10^{-6} \quad [2]$$

Planckin kaavan pohjalta muodostuu kuvaaja (kuvaaja 1), jossa eri lämpötiloille on muodostettu säteilytehon (1) ja aallonpituuksien (2) pohjalta käyrät, jotka kuvaavat aallonpituuksien vaikutusta saatavaan lämpötilaan. Huomataan, kuinka korkeat lämpötilat saavutetaan lyhyillä aallonpituuksilla ja matalat pitkillä aallonpituuksilla. Lisäksi mielenkiintoisen kuvaajasta (kuvaaja 1) tekee se, että osassa kohtaa (korkeissa lämpötiloissa) säteilyn aallonpituus osuu näkyvän valon puolelle. Tästä syystä ihmissilmä voi havaita raudan hehkuvan, kun sitä kuumennetaan tarpeeksi. Kuvaajassa (kuvaaja 1) aallonpituus  $\mu m$  ja säteilyteho  $W/cm^2 \times 10$ . (Infradex Oy 2003 , 107 – 108.)

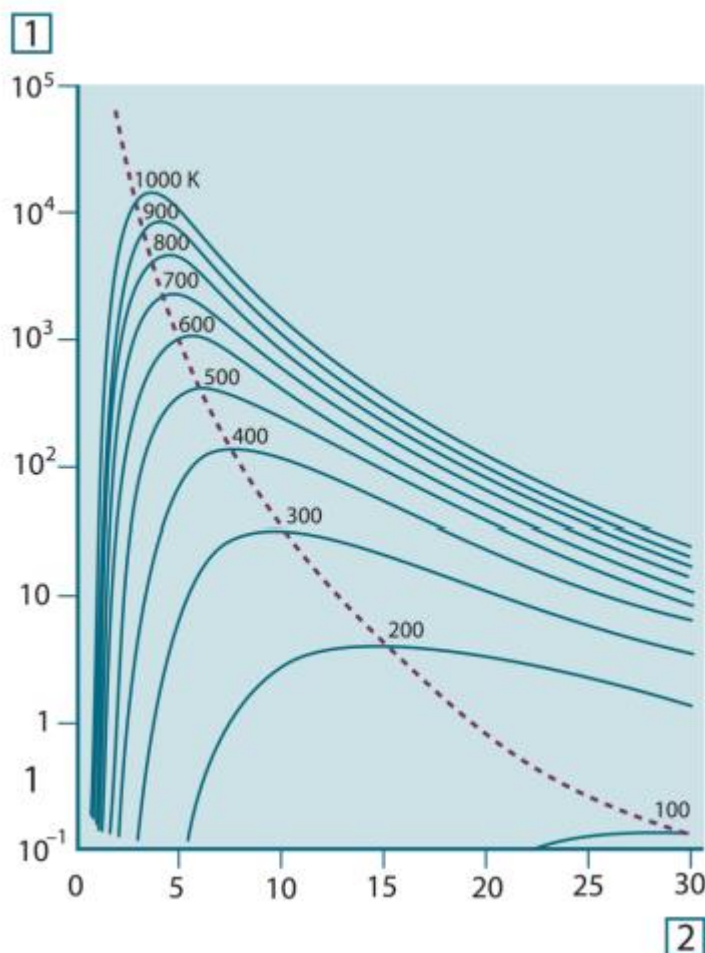


KUVAAJA 1. Planckin käyrät (Infradex Oy 2003, 108)

Kun halutaan tietää säteilyvoimakkuuden (aallonpituuden) maksimiarvo, derivoidaan Planckin kaavan (kaava 2) aallonpituuden arvoa ( $\lambda$ ). Tällöin päästään käsiksi Wienin lakiin ja sen kaavaan (kaava 3), joka kertoo aallonpituuden maksimiarvon. (Infradex Oy 2003, 108.)

$$\lambda_{max} = \frac{2898}{T} [\mu\text{m}] \quad [3]$$

Wienin lain kuvaaja esitetty alla (kuvaaja 2), josta kyseinen asia voidaan graafisesti havainnoida. Kuvaajassa y-akseli (1) kuvaa säteilytehoa ( $\text{W/cm}^2 \cdot \mu\text{m}$ ) ja x-akseli (2) aallonpituutta ( $\mu\text{m}$ ).



KUVAAJA 2. Wienin lain kuvaaja (Infradex Oy)

Edelleen Planckin lakia johtamalla päästään keskeiseen säteilylakiin, joka tunnetaan nimellä Stefan-Boltzmannin laki, joka liittyy vahvasti lämpösäteilyn tehoon ( $P$ ). Lämpösäteilyn teho esitetty alla (kaava 4).

$$P = MA \quad [4]$$

, jossa  $A$  on pinnan pinta-ala ja  $M$  on pinnan säteilemisvoimakkuus;  $[M] = \text{W/m}^2$ . (Arminen & Mäkelä & Mäkinen & Puhakka & Vierinen , 142.)

Stefan-Boltzmannin laki johdetaan Planckin säteilylaista integroimalla jälleen aallonpituuden arvo nolasta äärettömään. Tällöin saadaan mustan kappaleen kokonaissäteilyteho  $M$  (kaava 5), joka kasvaa verrannollisesti absoluuttisen lämpötilan ( $T$ ) neljänteen potenssiin. (Infradex Oy 2003 , 109 – 110.) Lämpötilan ollessa neljänteen potenssiin, lämpötilan kaksinkertaistuessa kappaleen lähettämä kokonaissäteilyteho muuttuu 16 kertaiseksi.



$$M = \sigma T^4 \quad [5]$$

, jossa stefan-boltzmannin vakio  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2} \cdot (^\circ K^4)$  (Arminen & Mäkelä & Mäkinen & Puhakka & Vierinen , 142).

Kuitenkaan mustan kappaleen säteilytehoa ei voida hyödyntää oikealle kappaleelle suoraan, vaan huomioon täytyy ottaa kappaleen emissiivisyys ja absorbointikyky. Emissiivisyys riippuu pinnan laadusta (materiaali, väri, karheus). Ideaaliselle täysin heijastavalle peilipinnalle arvo on nolla ja täysin absorboivalle (mustalle pinnalle) arvo on yksi. Käytännön sovelluksissa pintojen emissiivisyydet ovat näiden arvojen välissä. Emissiivisyyden lisäksi alla olevassa kaavassa (kaava 6) kokonaissäteilyvoimakkuuteen on otettu huomioon ympäristön lämpötila, sillä lämmönsiirtymistä tapahtuu (termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan) ympäristöään kuumemmasta lämpötilasta ympäristöön.

$$M = \varepsilon \sigma (T^4 - T_0^4) \quad [6]$$

Kaavassa 6 on lisäksi otettu huomioon, että kappaleen absorbointikyky on yhtä suuri kuin emissiviteetti. (Arminen & Mäkelä & Mäkinen & Puhakka & Vierinen , 142.)

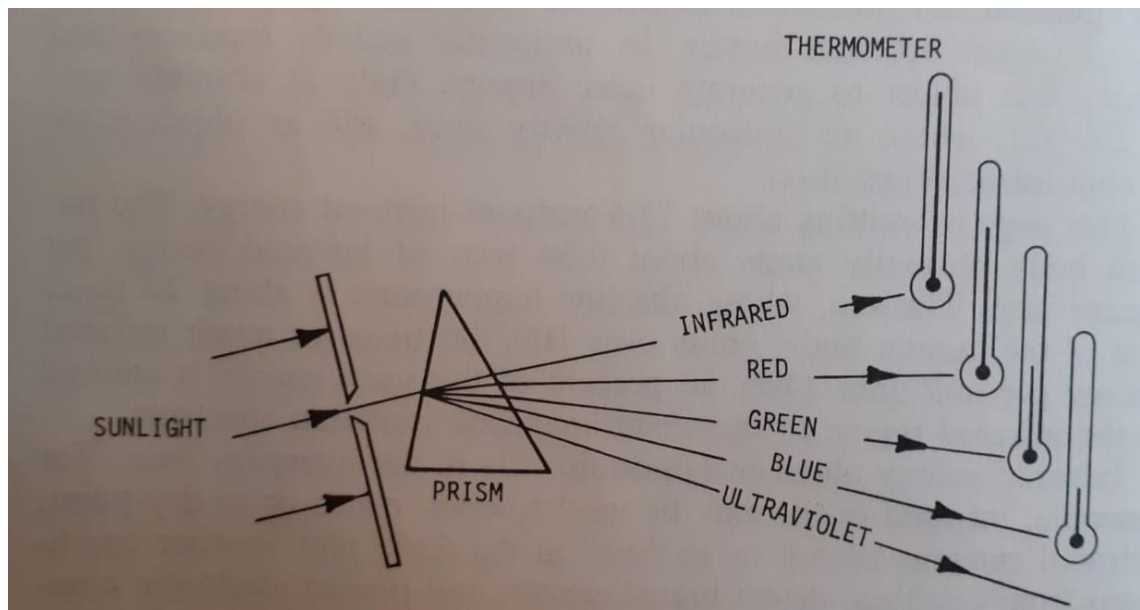
Yleisen luonnonlain mukaan hyvä säteilijä on myös hyvä absorboija ja päinvastoin. Tämä sääntö on voimassa kaikilla säteilyspektrin osa-alueilla. Kappaleen säteily- ja absorbointikyky riippuu itse aineen ominaisuuksista. Tähän luonnonlakiin perustuen edullisin säteilylämmitys saadaan, kun säteilyä vastaanottava kappale on absorptiospektriltään mahdollisimman yhteneväinen säteilijän säteilyspektrin kanssa. (Penttala & Törmi 1977 , 10.)

Lämpöopin ja säteilyn teorioiden jälkeen pureudutaan tarkemmin itse infrapunasäteilyyn, joka onkin tämän työn tärkeimpiä asioita. Tästä seuraavassa kappaleessa 6.

## 6 INFRAPUNASÄTEILY

### 6.1 Yleistä

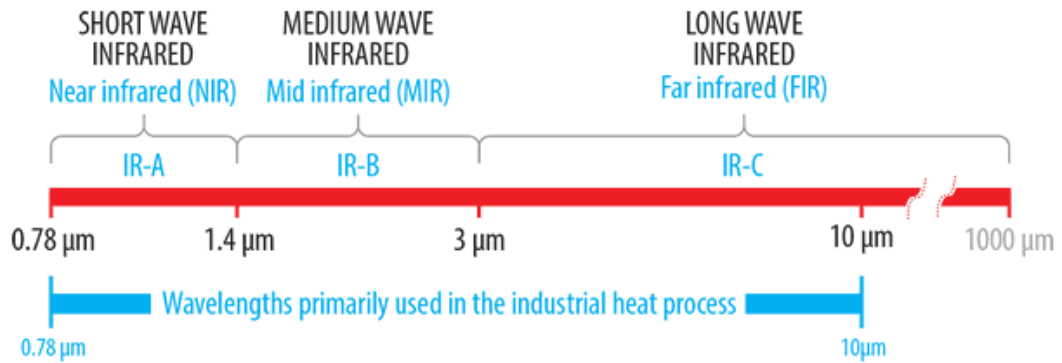
1800 -luvulla William Herschel huomasi, että taittuessaan prisman läpi, auringonvalo muuttui erivärisiksi ja eri hyötyteholla lämmittäviksi valonsäteiksi (kuva 10). Parhaiten lämmittävää ja näkymätöntä valoa hän kutsui infrapunaksi. (Bernard 1970 , 8.)



KUVA 10. Valon taittuminen (Bernard 1970 , 8).

Kuten luvussa 5.4 kerrottiin, infrapunäsäteily on sähkömagneettista säteilyä ja tottelee samoja lainalaisuuksia. Voidaan puhua sähkömagneettisesta aallosta. Osuessaan kappaleeseen, osa säteilystä reflektoituu, osa menee läpi ja osa absorboituu. Absorboitunut säteily lämmittää kappaletta. (Ceramicx Oy n.d.)

Infrapuna jakaantuu sähkömagneettisessa spektrissä (kuva 11) neljään mielivaltaisesti jaettuun osa-alueeseen/kaistaan, jotka ovat: lähi-infrapuna ( $0,75 \mu\text{m} - 3 \mu\text{m}$ ), keski-infrapuna ( $3 \mu\text{m} - 6 \mu\text{m}$ ), pitkäaaltokaista ( $6 \mu\text{m} - 15 \mu\text{m}$ ) ja ääri-infrapunakaista ( $15 \mu\text{m} - 100 \mu\text{m}$ ) (Infradex Oy 2003, 105). Yleensä teollisuudessa käytetyt infrapunan osa-alueet kuitenkin jakautuvat  $0,75 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$ , kuten alla olevasta kuvasta havainnoidaan.



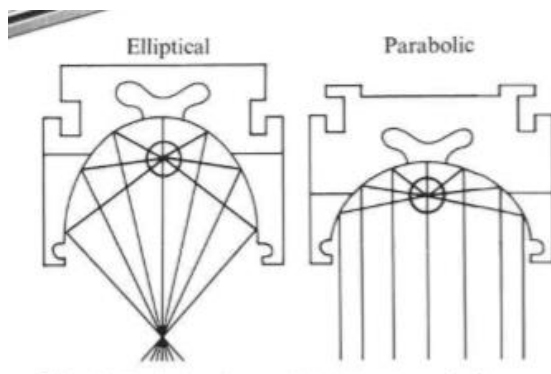
KUVA 11. Infrapunan osa-alueet (Ceramicx Oy, n.d.)

Infrapunan osa-alueita voidaan nimittää myös nimillä IR-A (lähi-infrapuna), IR-B (keski-infrapuna) ja IR-C (pitkäaaltokaista ja ääri-infrapuna). Energisintä infrapunasäteily on lyhyillä aallonpituuksilla, joten niillä siirtyy suurin määrä lämpöenergiaa. (Ceramicx Oy, n.d.) Toisin sanoen lyhytaaltoinen säteily omaa suurimman intensiteetin, eli hyötysuhteen.

Infrapunaa käytetään nykypäivänä aina autoteollisuudesta kemianteollisuuteen varsinkin sen hinnan, välittömän lämmittämisen, sekä pienen koon takia.

## 6.2 Käytössä oleva infrapunasäteily

Työssä käytettävä säteily on lyhytaaltoista ja parabolista. Aallonpituudeltaan 1,2 μm. Parabolisuutensa ansiosta säteet ohjautuvat lampulta suoraan kohti kappaletta, eivätkä muodosta (elliptistä) vain yhtä lämmityspistettä (kuva 12).



KUVA 12. Elliptinen- ja parabolinen lamppu (The ir handbook n.d., 6)

Mitä olisikaan lämmittäminen ilman lämmitettävää kappaletta? Tässä työssä lämmitettiin muoviputkia ja kappaleessa 7 käydään läpi näiden putkien raaka-aineet, eli muovit. Aluksi muovien jaottelua ja rakennetietoa, jotta saadaan parempi kuva mitä kukin muovi todellisuudessa on. Tämän jälkeen esitellään muovit ja lopuksi kootusti niiden lämpöominaisuudet. Lämpöominaisuuksista päästään käsiksi lämpötiloihin, joihin muoveja lämmitysteissä (kappaleessa 8) lämmitetään.

## 7 LÄMMITETTÄVÄT MUOVIT

### 7.1 Muovien jaottelu

Tässä työssä lämmitettävät muovit polypropeeni (PP), polyeteeni (PE) ja polyvinyylikloridi (PVC) ovat Suomessa ja Euroopassa yleisimmin käytettyjä muoveja. Yhteensä ne kattoivat Suomessa vuonna 1998 noin 76% muovien kokonaiskäytöstä. (Muovin suomalainen käsikirja sivu. 17.) Tälle työlle nämä muovit ovat erityisen tärkeitä, sillä kyseessä ovat putkenvalmistuksen valtamuovit (Järvinen 2017 , 160).

Muoveja voidaan jaotella usealla eri tavalla. Tässä työssä ne jaotellaan kolmella tavalla, joissa otetaan kantaa ominaisuuksiin, käyttökohteisiin, hintaan, uudelleenmuokattavuuteen ja rakenteeseen. (Järvinen 2008 , 22.)

Ensin jaottelu tapahtuu käyttökohteen, käytön ja hinnan mukaan erikoismuoveihin, teknisiin muoveihin ja valtamuoveihin. PP, PE ja PVC lukeutuvat valtamuoveihin, jotka ovat hinnaltaan edullisimpia, sekä ovat eniten valmistettuja ns. kuluttajamuoveja. Hinnaltaan ne ovat 1,5 – 2 €/kg, kun taas äärimmäisiin käyttökohteisiin valmistetut erikoismuovit maksavat 60 – 100 €/kg. (Muoviteollisuus RY n.d.)

Toisella kertaa edellä jaotellut pääryhmät jaotellaan edelleen kestumuoveihin ja kertamuoveihin sen mukaan hajoavatko niiden kemialliset rakenteet uudestaan sulatettaessa ja muotoiltaessa. (Muoviteollisuus RY n.d.) Tässä työssä käytettävät muovit (PP, PE ja PVC) kuuluvat kestumuoveihin, joilla kemialliset rakenteet eivät hajoa, mutta kertamuoveilla näin pääsee käymään (Järvinen 2008 , 18).

Lopuksi muovit jaotellaan niiden rakenteiden mukaan. Kestumuovit amorfisiin ja osakiteisiin muoveihin, kertamuovit elasteihin. (Muoviteollisuus RY n.d.) Elastit jaetaan kumeihin ja termoelasteihin. Elasteja yhdistää erittäin suuri kimmoisuus, eli palautuva venyvyys. (Järvinen 2008 , 22). Kuten yllä mainittiin, tässä työssä lämmitettävät muovit ovat kuitenkin kestumuoveja ja ne jaetaan seuraavan kappaleen 7.2 mukaisesti amorfisiin ja osakiteisiin muoveihin

## 7.2 Amorfisuus ja osakiteisyys

Käytössä olevista muoveista PP ja PE ovat osakiteisiä ja PVC amorfista. Tämä jako tapahtuu polymeerimolekyylien järjestäytymisen perusteella. (Muoviteollisuuden keskusliitto 2001 , 10.)

Sulasta olomuodosta jäähtyessään useat materiaalit/rakenteet muodostavat molekyyleistään kiderakenteita. Mikäli tätä kiteytymistä ei tapahdu, kutsutaan muovia amorfiseksi. (Järvinen 2008 , 22.) Amorfista muovia voisi verrata esimerkiksi lasiin. Kuumennettaessa se alkaa pehmenemään ja sitä voidaan lämpömuovata. Amorfisilla muoveilla ei täten ole sulamispistettä, vaan niille käytetään mieluummin arvoa lasisiirtymälämpötila. Tämän lämpötilan ylittäessä amorfisen muovin molekyyliketjut pääsevät liikkumaan suhteessa toisiinsa. Osakiteisellä muovilla sulamislämpötila löytyy ja sen ylittäessä muovi alkaa muuttumaan sulasta neste-mäiseksi. (Muoviyhdistys ry 2016.)

Kiteytetysti voidaan sanoa, että amorfiselle muoville tarkan sulamislämpötilan määrittäminen ei onnistu, mutta osakiteiselle onnistuu (Muoviteollisuuden keskusliitto 2001 , 85).

Muovin amorfisuus tai osakiteisyys vaikuttaa todella paljon muovin käyttäytymiseen niin lämpömuovauksessa kuin mekaanisissa tilanteissa (Muoviteollisuuden keskusliitto 2001 , 10).

## 7.3 Muovien esittelyt

### 7.3.1 Polypropeeni

PP on PE:n (kappale 7.3.2) tavoin kemikaalinkestävää, vettä kevyempää (ominaispaino on  $0,91 \text{ g/cm}^3$ ), mutta sen lämmönkestävyys ja iskulujuus ovat nykyisin PE-HD:ta parempia (Järvinen & Viitanen 2000 , 27). Kuitenkin PE-HD:n markkinoita PP on valloittanut monipuolisuuden, lämmönkeston ja helpomman prosessoitavuuden ansiosta. Käyttökohteita PP:lle on miltei rajattomasti. (Järvinen 2017 , 34.) Sitä käytetään niin viemäriputkena, kuin proteesina ihmiskehoon.

Lisäksi tässä työssä lämmitetään PP-MD putkea, joka on polypropeenin ja mineraalitäyteaineen seos, joka absorboi ääntä muita kiinteistöviemärijärjestelmiä paremmin (Meltex Oy n.d.).

### 7.3.2 Polyeteeni

Polyeteeniä on saatavilla kolmena eri päätyyppiä: pienitiheyspolyeteeni (PE-LD), keskitiheyspolyeteeni (PE-MD) ja suuritiheyspolyeteeni (PE-HD). Pienitiheyspolyeteeni, eli PE-LD on Suomessa kaikkein käytetyin tyyppi. Jokaiselle PE-LD on tuttu muovikassina ja sen ominaisuudet kuvaavat kyseistä muovia hyvin. Se on kestävä, venyvä ja joustavaa. PE-HD tunnetaan paremmin jäykkänä pullomaisina pakkausastiona ja putkien materiaalina, sillä se on jäykempää ja painavam-  
paa. Kuitenkin perusominaisuudet pätevät samalla tavalla kuin ”pikkusiskollaan” PE-LD:llä. (Järvinen 2017 , 21.) Tässä työssä polyeteenien osalta pääpaino siirtyy PE-HD:lle.

PE-HD on ominaisuuksiltaan todella lähellä PP:n ominaisuuksia. Ominaispaino, kitkakerroin, työstölämpötilat, kuin mekaaniset ominaisuudetkin jäljittelevät toisiaan. Välillä eroja kuitenkin ilmaantuu ja riippuu käyttökohteesta kumpaa materiaalia, on fiksumpi käyttää. PE-HD kestää huomattavasti enemmän lämpöä hetkellisesti ja omaa paremman lovi-iskulujuuden, mutta muuten se jää monilta osin (kuten aiemmin mainittiin) PP:n varjoon. (Fluorotech Oy 2012.)

### 7.3.3 Polyvinyylikloridi

PVC on vanhin kestmuovi, jota on olemassa kovana tai pehmitettynä. PVC-U tarkoittaa pehmittämätöntä (kovaa) PVC:tä kun taas PVC-P tarkoittaa pehmitettyä. Karkeasti ilmaistuna PVC-U:sta valmistetaan putket, levyt ja profiilit, kun taas PVC-P:stä kalvot, letkut ja pinnoitteet. (Järvinen 2017, 41 & Järvinen 2008, 48.)

Putkimateriaaleista PVC on ominaispainoltaan suurin  $1,40 \text{ g/cm}^3$  ja omaa kolminkertaisen kimmomoduulin muihin materiaaleihin verrattuna. PVC kestää täten todella hyvin sitä muovaavia voimia sekä taivutusjännitystä. Kuitenkin se omaa alhaisen loviherkkyyksiluvun, joten epäjatkuuskohdat eivät ole parhaita asioita, kun käsitellään PVC:tä. (Fluorotech Oy 2012.)

Haitallisena ominaisuutena PVC tarvitsee aina kemiallisia stabilisaattoreita prosessin helpottamiseksi. Myöskin usein sitä käsitellään pehmittimillä kovuuden säätelemiseksi. Nykyään tiedetään, että monet työstöä ja ominaisuuksia parantavat lisäaineet ovat olleet terveydelle haitallisia. Vaikkakin nykyään onkin olemassa turvallisia lisäaineita, niin PVC:n käyttö on vähentynyt, sillä PVC luovuttaa palaessaan klooria, joka yhdessä vedyn kanssa aiheuttaa syövyttäviä ja myrkyllisiä happoja (Järvinen 2008, 48 – 49). Tästä on suurta haittaa laituksille, jotka polttavat yhdyskuntajätettä energiakäyttöön. (Järvinen, Saarinen 2016, 95.) Kuitenkin PVC oikein jatkokäsiteltynä (esimerkiksi mekaanisesti rouhimalla) on yhä uudestaan ja uudestaan käytettävissä oleva muovi.

### 7.4 Muovien lämpötekniset ominaisuudet

PP:n, PE-HD:n ja PVC-U:n lämmittämiseen liittyvät arvot esitetty alla olevassa taulukossa 1. Tästä taulukosta löytyy niin lämpömuovaukseen tarvittava lämpötila (muotoilulämpötila), kuin lämpötila, jossa materiaali pehmenee käyttökeltamaksi (kidesulamislämpötila). Lisäksi taulukkoon on vertailun vuoksi listattu halutut käyttölämpötilat, josta huomataan, että materiaalin käyttöikä on edes-



autettu rajaamalla käyttölämpötila riittävän alhaiseksi suhteessa lämmönkestävyyteen lyhytaikaisesti. Sekä tietysti lämmönkestävyys lyhytaikaisesti kertoo minkälaisia lämpötiloja materiaalit lyhytaikaisesti kestävät ilman pysyviä muodonmuutoksia. Esimerkiksi PP kestää lämpöä melko lähelle lämpömuovauslämpötilaa, kun taas PVC-U:n lämmönkesto lyhytaikaisesti jää melko kauas lämpömuovauslämpötilasta. (Fluorotech Oy 2012.)

TAULUKKO 1. Muovien lämpötekniset ominaisuudet (Järvinen 2000 , 25 , 33; Järvinen 2008 , 47 , 50; Metalliteollisuuden keskusliitto 2001 , 16, 41, 43, 86).

Lämpötekniset ominaisuudet	PP	PE-HD	PVC-U
Muotoilu (°C)	155-170	120-140	120-140
Kidesulamislämpötila (°C)	163	130	*
Lämmönkestävyys lyhytaik. (°C)	140	90	70
Max käyttölämpötila (°C)	-10-+100	-40 -+80	-10 -+60
Lämmönjohtavuus (W/°K m)	0,22	0,37	0,16
Lämpölaajenemiskerroin (mm/m°C)	0,16	0,2	0,08

Lisäksi yllä olevasta taulukosta (taulukko 1) löytyvät myös käytettävien muovien lämmönjohtavuudet ja lämpölaajenemiskertoimet. Materiaali johtaa sitä paremmin lämpöä, mitä suurempi lämmönjohtavuuskerroin on. Käytössä olevista muoveista PE-HD johtaa parhaiten lämpöä. Lämmittämisessä lämmönjohtavuus on kuitenkin samalla hyvä, että huono asia. Lämpö johtuu paremmin kappaleessa, sekä kappaleesta pois, joten on mielenkiintoista nähdä kuinka materiaalit reagoivat lämmitystesteissä.

Kappaleessa 7.2 mainitusti PVC:lle tarkan sulamispisteen määrittäminen on mahdotonta, sillä kun muovin lämpötila nousee yli lasittumispisteen, amorfisten muovien fysikaaliset ominaisuudet muuttuvat radikaalisti (Muoviyhdistys ry 2016).

Teoriaosuuden jälkeen päästään itse lämmitystesteihin (kappale 8), jossa ensin käydään läpi mittavälineet ja tämän jälkeen testien kulut vastus- ja infrapunauu-

neilla. Lämmitystestien jälkeen käydään läpi myös lisätesti (kappale 8.5) ja energianmittaus (8.6) infrapunauunille. Lisätestissä ir-uunin lämmitysaikaa pyritään lyhentämään sulkemalla uunin päät säteilevällä materiaalilla, jolloin uunin eristävyys ja heijastavuus paranee. Energianmittauksessa pyritään määrittämään kuinka paljon energiaa ir-uuni kuluttaa, jotta sitä voidaan vertailla vastusuunin laskennalliseen arvoon.

## 8 LÄMMITYSTESTIT

### 8.1 Yleistä

Testeissä yritettiin vakioida mahdollisimman monta asiaa, kuten samat mittaajat, mittavälineet, olosuhteet ja materiaalit. Testit tehtiin tammi-, helmikuun aikana, joten suurta vaihtelua testiin vaikuttavissa ulkoisissa tekijöissä ei päässyt synty-  
mään. Ulkoisiin tekijöihin lukeutuu mm. hallin ulko-ovista sisään pääsevä ul-  
koilma.

Vastusuunilla pyrittiin havainnollistamaan nykyinen tilanne ja infrapunauunilla py-  
rittiin saamaan mahdollisimman hyviä lopputuloksia. Vastusuunin etuja mittauk-  
sien kannalta on sen vankka historia muhvin lämmitysmuotona, kun taas infrapu-  
nauunia ei ole vakioitu millään tavalla tähän käyttötarkoitukseen.

### 8.2 Mittavälineet

Tärkeimpänä mittavälineenä toimi laserlämpömittari (kuva 13), jolla putken sisä-  
ja ulkolämpötilat mitattiin. Mittausalue  $-20\sim 320\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja tarkkuus  $\pm 2\%$  (Sentrytek  
Oy n.d.).



KUVA 13. Laserlämpömittari

Putkien sisähalkaisijoita tarkisteltiin schnelltaster sisämittalaitteen avulla (kuva 14). Mittausalue 80 – 120 mm ja lukematarkkuus 0,1 mm (kuva 15).



KUVA 14. Schnelltaster sisämittalaite



KUVA 15. Schnelltaster sisämittalaitteen mittausalue ja -tarkkuus

Putkien seinämien paksuuksia mitattiin Schnelltaster ulkomittalaitteella (kuva 16). Mittausalue 0 – 10 mm ja lukematarkkuus 0,025 mm (kuva 17).



KUVA 16. Schnelltaster ulkomittalaite



KUVA 17. Schnelltaster ulkomittalaitteen mittausalue ja -tarkkuus

### 8.3 Testin kulku vastusuunilla

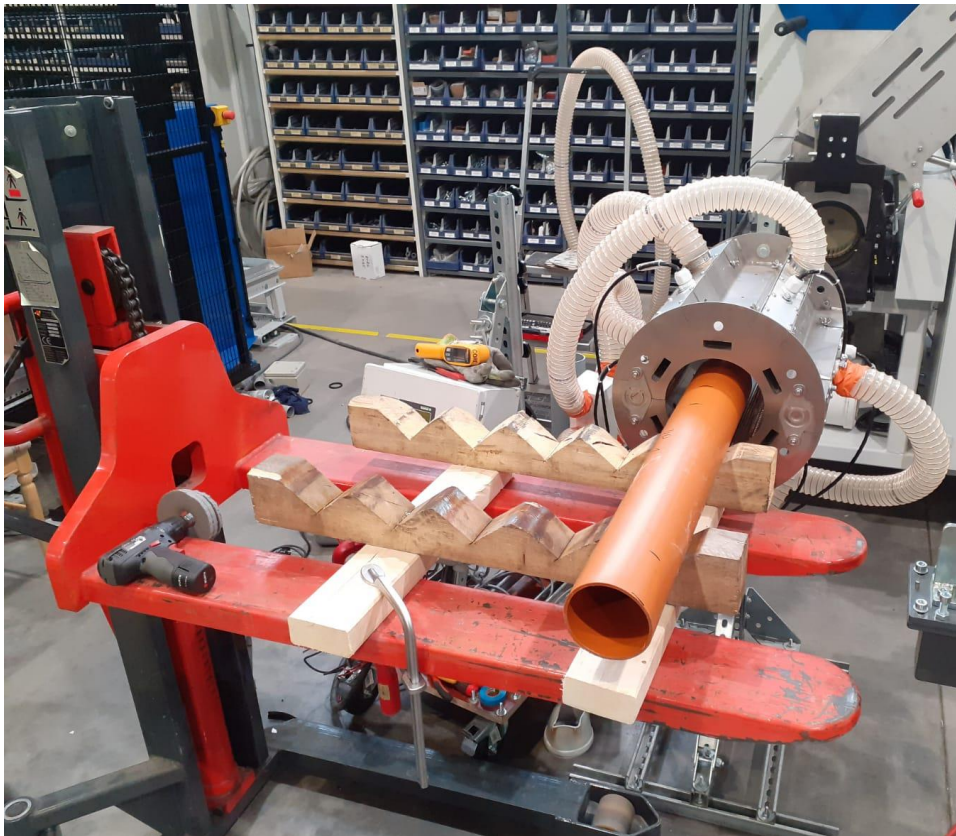
Vastusuunilla lämmitettäessä putki syötettiin Mecabell -muhvauslaitteelle, joka käytti putkea uunissa sekä tuurnalla asetettujen lämmitys- ja jäähdytysaikojen mukaisesti. Suurin työ olikin saada lämmitysaika vakioitua, jotta muhvista tulisi mahdollisimman hyvä.

Vastusuunilla lämmittäessä laatu on tasaista, mutta silti vaarana on, että putken pää pääsee sulamaan. Tähän yhtenä syynä on lämmittäminen vain putken ulkopuolelta. Lisäksi suhteellisen pitkä lämmitysaika (150 s – 200 s) on vastusuunin

huono puoli. Kuten sanottua, nämä kaksi asiaa, laatu ja nopeus ovatkin kaksi avainasemassa olevaa kehityskohdetta tässä opinnäytetyössä.

#### 8.4 Testin kulku infrapunauunilla

Aluksi lämmitystestejä varten infrapunauunin eteen tehtiin työtaso nostimesta ja lovipuusta. Putki asetettiin työtasolle lovipuiden väliin ja passattiin rullamittaa käyttäen keskelle uunia (kuva 18).



KUVA 18. Putki työtasolla (Liimatta 2019)

Ir-lamppujen välissä oleva tila (kuva 8) aiheutti sen, että putkea täytyi pyörittää testin aikana, jotta putkeen ei muodostuisi eri tavalla lämpiäviä alueita. Pyörittäminen ratkaistiin akkuporakoneeseen kiinnitetyillä vaahtomuovilla, joka oli leikattu niin, että se puristi putken sisäseinämiä.

Ennen lämmittämistä täytyi määrittää syvyys, jolla putki tulisi olemaan uunissa. Tämä syvyys määritettiin muhvin mittojen mukaan ja yleensä pituudeksi muodostui 120 – 150 mm. Tämä pituus merkattiin putkeen tussilla, niin että juuri oikean verran putkea on uunissa.

Infrapunauunin tehoja (10 – 100 %) säädettiin, sekä aikaa tarkkailtiin laitteen vieressä olevasta näytöllisestä käyttöliittymästä (kuva 19). Kun infrapunauunin laittoi päälle, käynnistyi myös käyttöliittymän näytössä oleva sekuntikello. Sovitun ajan jälkeen infrapunauuni sammutettiin jälleen manuaalisesti. Putken alku- ja loppulämpötilat mitattiin laserlämpömittarilla (kuva 13) ja kirjattiin ylös. Aluksi infrapunauunille käytettiin keksittyjä arvoja, katsottiin kuinka käytössä ollut materiaali (PP, PP-MD, PE-HD tai PVC-U) reagoi ja säädettiin arvoja sen mukaan.



KUVA 19. Käyttöliittymä (Liimatta 2019)

Työn suorittaminen vaati kaksi testaajaa (nimitetään testaaja A ja testaaja B). Testaaja A operoi infrapunauunia, kellotti lämmitysaikaa ja kirjasi arvoja ylös. Testaaja B merkitsi putkeen lämmittämismatkan tussimerkit, pyöritti putkea ja

käytti laserlämpömittaria lämpötilojen selvittämiseen. Useimpiin putkiin paksuudet oli merkitty, mutta niidenkin paikkansa pitävyyksiä selvitettiin ulkomittalaitteella (kuva 16).

Lopuksi infrapunauunille tehtiin lisätesti päiden sulkemisen vaikutuksista, sekä mittaus sähkön kulutuksesta. Alla olevassa kappaleessa on kuvattu päiden sulkemistestin kulku, jonka jälkeen energianmittaustesti.

### **8.5 Lisätesti infrapunauunilla**

Haluttiin selvittää, minkälaisia muutoksia lämmitysajassa syntyy, kun uunin molemmat päät suljetaan hyvin heijastavalla materiaalilla. Tähän tarkoitukseen folio sopi oikein hyvin ja uunin tausta suljettiin perinteisellä foliolla. Uunin etuosaan täytyi kehittää systeemi, josta putki pääsee sisään, mutta lämpö/säteet eivät pääse pois. Tällainen tehtiin grillialustasta, johon paikoitettiin putkelle reikä ja kiinnityskohdat uuniin nähden. Näin uunin molemmat päät saatiin pitämään lämpö sisällä, eikä päästämään sitä ulos (kuva 20).





KUVA 20. Infrapunauunin päiden sulkeminen

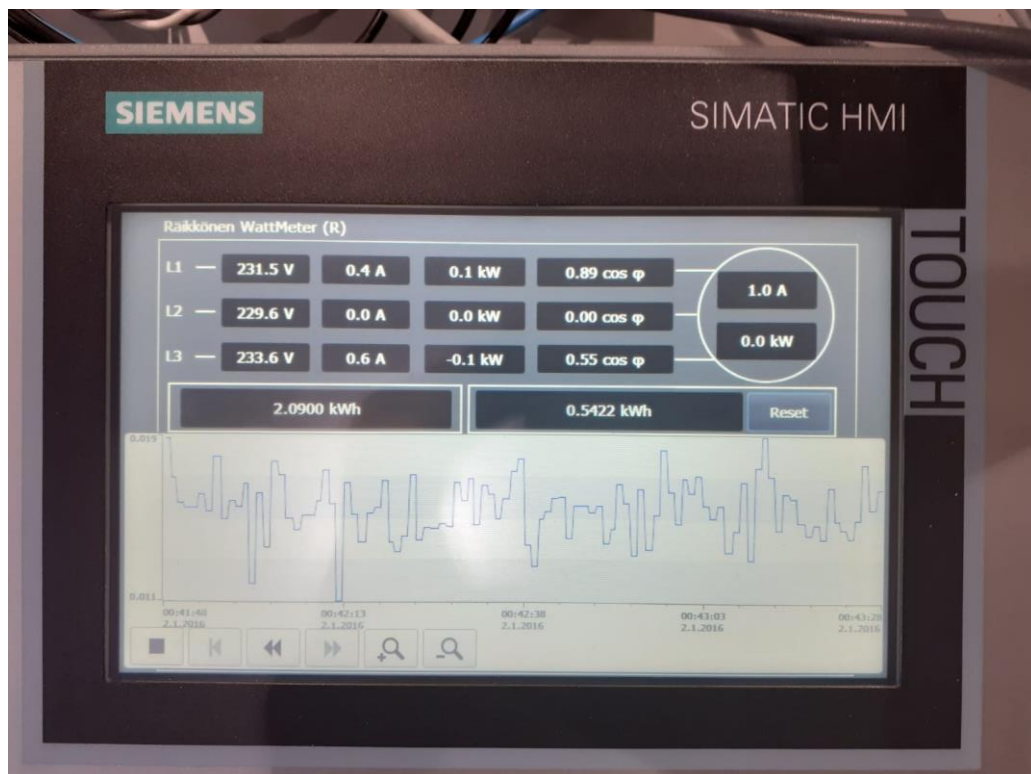
## 8.6 Energiamittaus infrapunauunilla

Lämmitystestien yhteydessä infrapunauunille tehtiin kWh laskuri, energiamittari, jotta saadaan verrattua infrapunauunin ja vastusuunin käyttämien sähköjen määriä toisiinsa. Kyseinen laskuri muodostui Siemens komponenteista (kuva 21), Siemens LOGO! ohjelmoitavasta logiikasta ja HMI-näyttöpaneelista (kuva 22). HMI-näyttöpaneelista näkyvät mm. eri vaiheiden käyttämät jännitteet, virrat ja tehot. Lisäksi näytölle piirtyi reaaliaikaista käyrää, josta huomataan kuinka infrapunalamput todellisuudessa eivät ole koko ajan täysin päällä, vaan niitä pätkitkään, eli pulssitetaan. Kyseisen laskurin tulokset kappaleessa 10.2 (sähkönkulutus),

jossa niitä verrataan vastusuunin sähkönkulutukseen. Vastusuunille tällaista lasuria ei tarvinnut tehdä, sillä sen sähkönkulutuksen voi laskea helposti, kun tiedetään vastuksen teho.



KUVA 21. Siemens komponentit



KUVA 22. kWh laskurin näyttöpaneeli

Testien jälkeen pureudutaan itse pihviin, eli testituloksiin seuraavassa kappaleessa (kappale 9). Testitulokset esitetty graafisina kuvaajina selkeyden vuoksi. Numeraaliset tulokset löytyvät liitteistä.

## 9 TESTITULOKSET

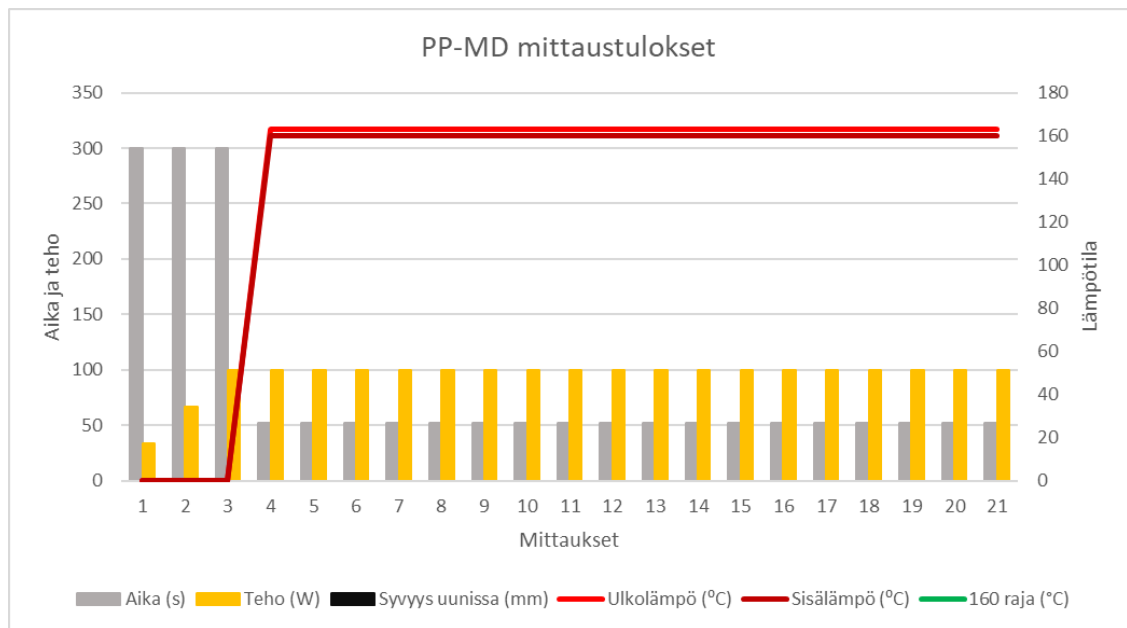
### 9.1 Yleistä

Testeissä haettiin parasta tehon (%) ja ajan (s) suhdetta. Exceliin kirjatut mittaus-tulokset esitetään visuaalisesti graafisien Excel yhdistelmäkaavioiden muodossa ja alkuperäiset mittaus-tulokset löytyvät liitteistä. Yhdistelmäkaavioissa vasem-malla Y-akselilla on sekä ajalle, että teholle käytettävät arvot. Aika esitetään se-kunteina ja teho prosentuaalisena osuutena kokonaistehosta. Infrapunatesteissä putken syvyyttä uunissa kuvaa musta pylväs, joka on kaavion onnistumisen takia optimoitu niin, että nollakohtana toimii 220 mm ja sitä pidemmälle uuniin laitettut mitat näkyvät mustana pylväänä kuvaajassa. Vastusuunilla putki oli koko ajan samalta pituudelta uunissa, joten sille ”syvyys uunissa” pylväitä ei ole. Oikealla Y-akselilla lämpötilan arvot. Putken ulkolämpötila osoitettu kirkkaamman punai-sella ja putken sisälämpötila tummemman punaisella viivakaaviolla. Havainnolli-suuden vuoksi kaaviosta löytyy sen lämpötilan arvon kohdalta vihreä viiva, joka on kullekin materiaalilla optimoiduin lämpömuovauksessa. Esimerkiksi PP:lle tämä arvo on muotoilulämpötilojen keskiarvo 160 °C.

### 9.2 Vastusuunin tulokset

Vastusuunin tulokset esitetty kuvaajassa 3. Mittauksia ei suoritettu kaikille mate-riaaleille erikseen, sillä vastusuunin toiminta saatiin mallinnettua kuvaajaan to-della hyvin jo PP-MD mittaustulosten avulla. Muiden materiaalien testaamisesta ei olisi saatu lisäarvoa tälle opinnäytetyölle.

Aluksi uunia esilämmitetään 15 minuuttia (900 s), jonka jälkeen yhden muhvin lämmittäminen kestää noin 52 sekuntia. Putken sisä- ja ulkolämpötilat saatiin to-della lähelle toisiaan, jolloin laatu oli todella hyvää ja tasaista. Tämä voidaan ha-vainnoida alla olevasta kuvaajasta (kuvaaja 3).

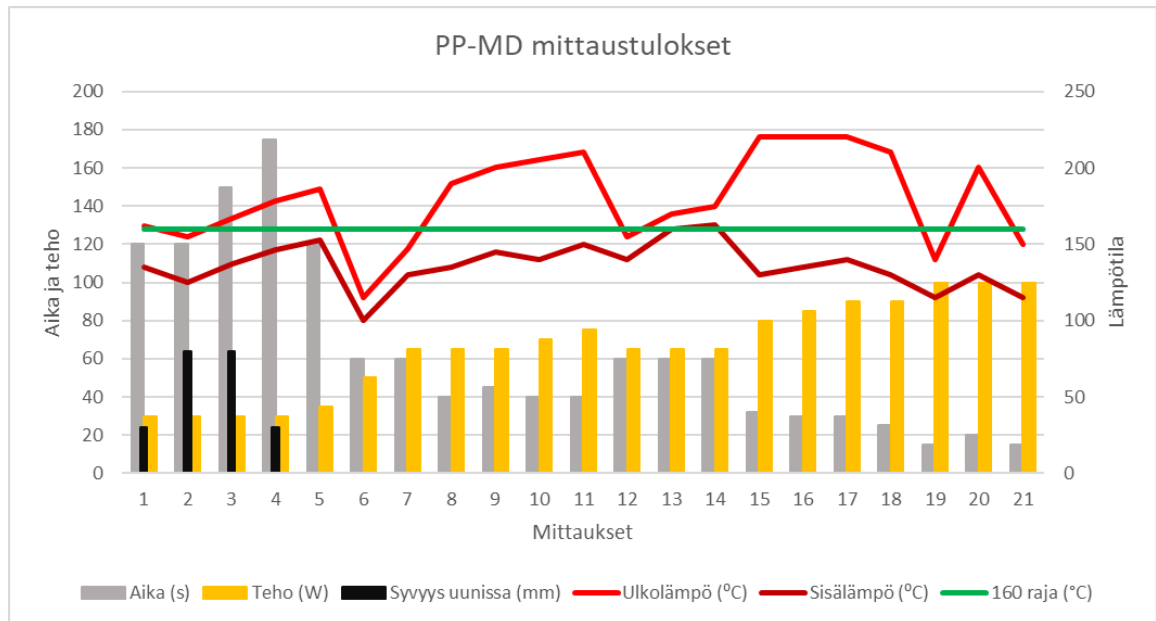


### KUVAAJA 3. Vastusuunin tulokset

Vastusuunin tulosten suurin ongelma oli aika, mutta laatu oli yllättävän hyvää. Putken päihin muodostui välillä negatiivisia muodonmuutoksia, mutta kokonaisuudessaan testi oli onnistunut.

### 9.3 Infrapunauunin tulokset

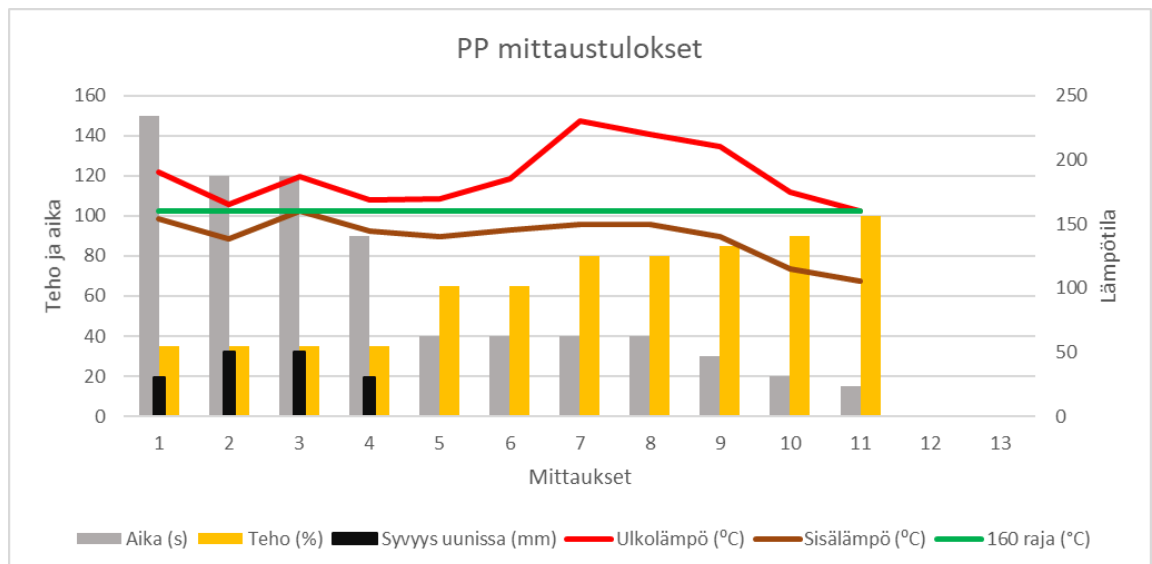
Infrapunauunin tuloksien esittely aloitetaan havainnollisuuden vuoksi PP-MD mittaustuloksien läpikäymisellä. Tämä johtuu siitä, että PP-MD:lle mittauksia tehtiin enemmän kuin muille materiaaleille, joten siitä saadaan kattavin kuva, miten infrapunauuni käyttäytyy. Näiden mittauksien tulokset esitetty visuaalisesti alla olevassa kuvaajassa (kuvaaja 4).



KUVAAJA 4. PP-MD mittaustulokset

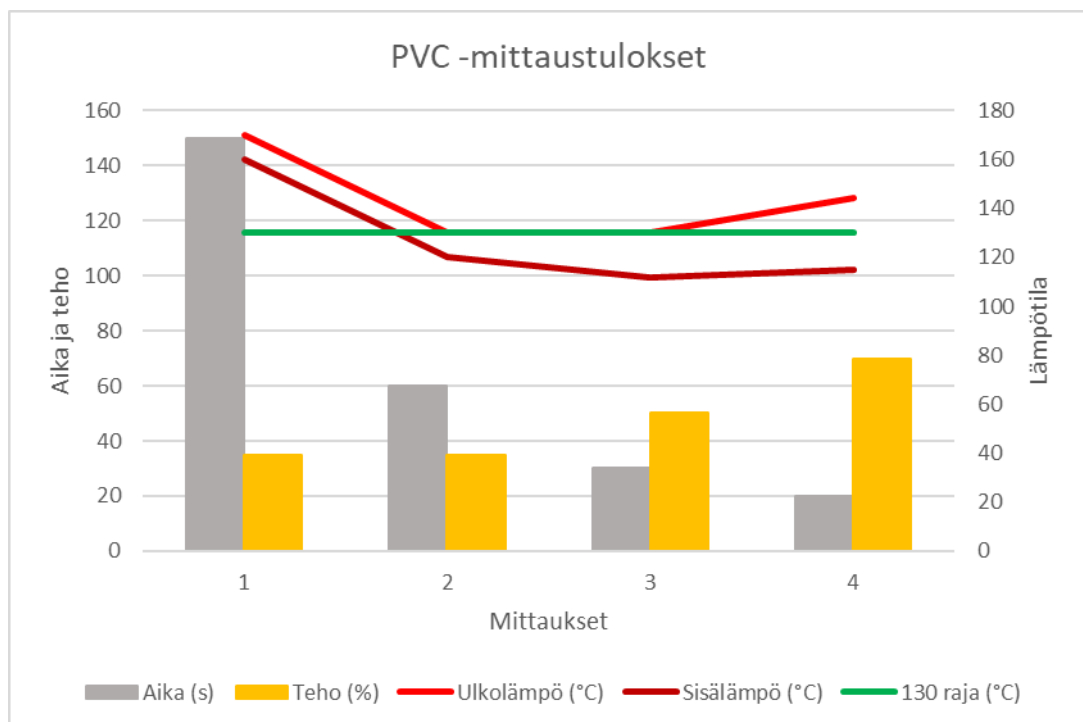
Kuvaajasta huomataan kuinka ajan kasvattaminen lisää lämmittämisen tasaisuutta, kun taas tehon lisääminen kasvattaa lämpötilaeroja. Juuri tämän vuoksi oikean ajan ja tehon suhteen löytäminen ei ole kaikille materiaaleille niin helppoa. Suhteellisen lähelle haluttuja lämpötila-arvoja päästään kohdissa kolme ja neljä, mutta muuten lämpötilat ovat liian alhaisia tai korkeita. Suuret nousut putken ulkolämpötilassa kertovat putken pinnan sulamisesta, koska materiaali ei noin suurilla lämpötiloilla kestä. Parhaat mittaustulokset löytyvät kuitenkin mittauksista 13 ja 14, joissa putken sisälämpötila oli 160 celsiusasteen rajalla, eikä ulkolämpötila noussut todella korkeaksi. Paras tehon ja ajan suhde PP-MD:lle oli 65% / 60 s.

PP:lle mittaustuloksien perusteella tehdyn kuvaajan 5 mukaan parhaat ajan ja tehon suhteet löytyvät kohdista viisi ja kuusi. Näiden mittausten jälkeen tehoa on lähdetty kasvattamaan, jolloin lämpötilaerot ovat kasvaneet. Fiksumpaa olisi ollut kasvattaa aikaa ja saada putken sisälämpötilakin nousemaan halutulle tasolle.



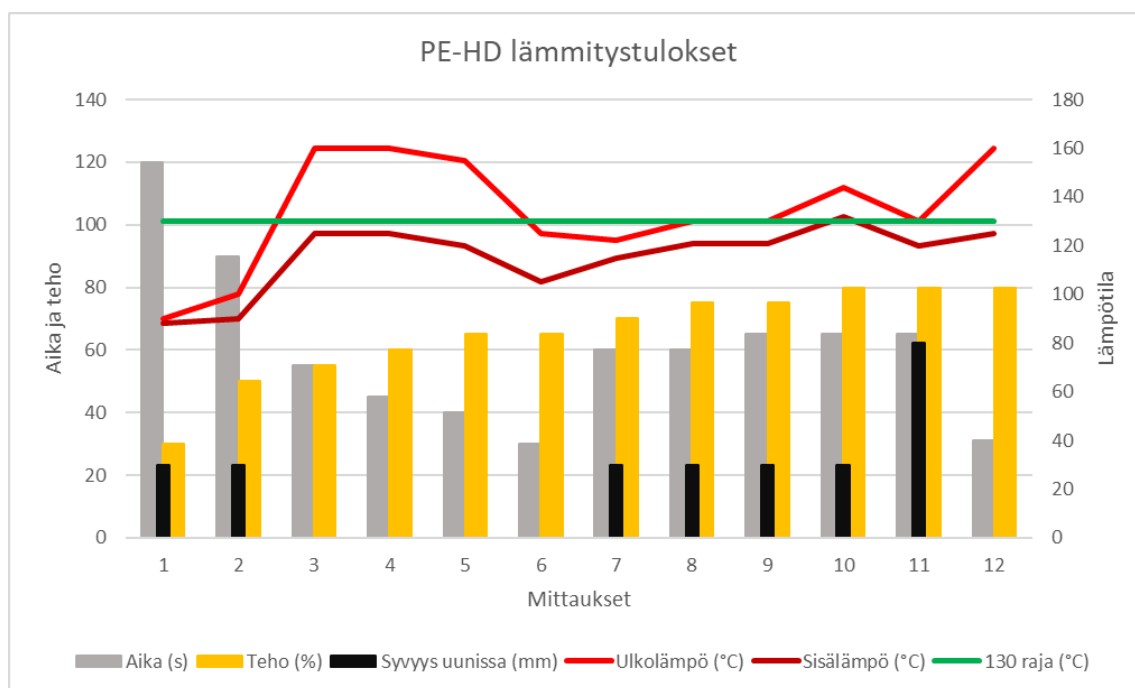
KUVAAJA 5. PP mittaustulokset

PVC reagoi puolestaan melko alhaisiinkin tehoihin ja testituloksia tehtiinkin pääosin 35 % kokonaistehosta. Kuitenkin sisälämpötilan jäädessä alle halutun rajan kuvaajasta 6 havaitaan, että jälleen kerran täydellinen ajan ja tehon suhde jäi saavuttamatta. Mielestäni (todennäköisesti) parhaat lukemat PVC:lle ovat noin 55 % tehoa ja 40 sekuntia aikaa. Näin ollen tehon ja ajan suhdetta on tasattu suhteessa toisiinsa.



KUVAAJA 6. PVC mittaustulokset

PE-HD:n lämmitys oli melko hankalaa ja tuloksia tuli laidasta laitaan (kuvaaja 7). Alussa putken lämpötilat olivat liian alhaisia, jonka jälkeen putken pinta jo paloi-kin. Tämän jälkeen lämpötilat saatiin jollakin tavoin aisoihin. Tosin PE-HD putkea sai lämmittää melko kovilla tehoilla ja pitkillä ajoilla, jotta päästiin lähellekään oikeita lämpötiloja. Todettiin, ettei näiden infrapunalamppujen aallonpituus ole ihanteellinen varsinkaan tälle materiaalille.

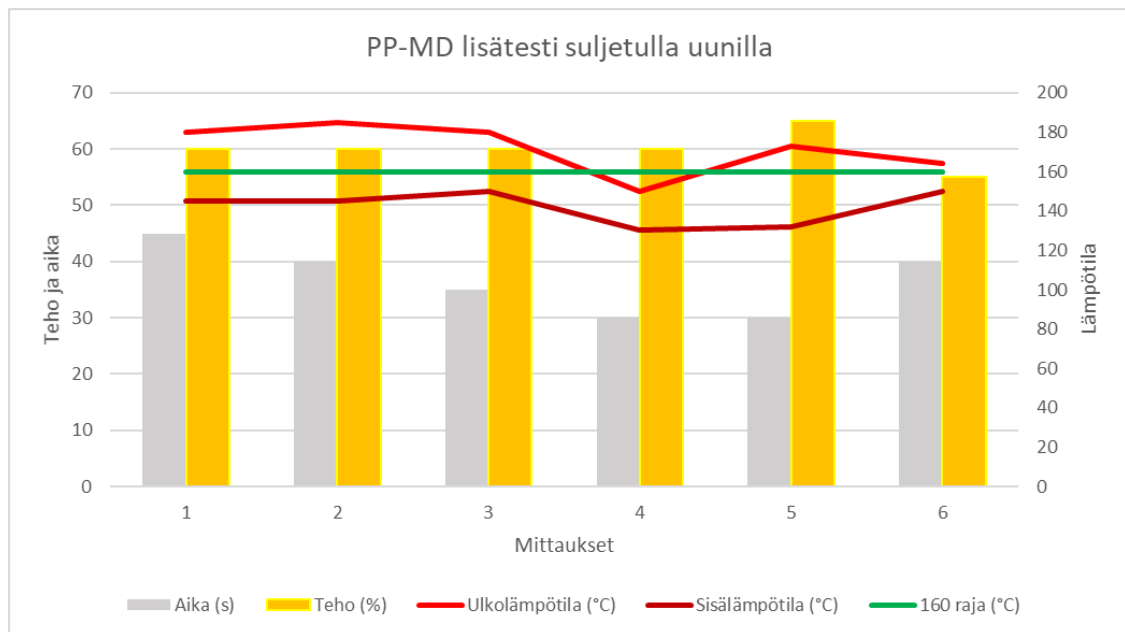


KUVAAJA 7. PE-HD mittaustulokset

### 9.3.1 Lisätestin tulokset

Lisätestin tuloksista (kuvaaja 8) huomattiin, että melkein puolet pienemmällä ajalla päästiin samoihin lämpötiloihin. Täten on erityisen tärkeää kiinnittää huomiota siihen, että uuni olisi mahdollisimman suljettu, jotta kaikki lämpö ja säteet tulisivat hyötykäyttöön. Suljetulla uunilla parhaat arvot ovat noin 60 prosenttia tehoa ja 35 sekuntia aikaa. Lisää testejä tarvittaisiin, jotta voitaisiin tarkasti arvioida paras tehon ja ajan suhde.





KUVAAJA 8. Suljetun uunin lisätetit (PP-MD)

Energianmittaustestin tulokset löytyvät painoarvotaulukon jälkeen (kappale 10.2 sähkönkulutus), jossa niitä vertaillaan vastusuunin laskettuihin energiankulutus arvoihin.

#### 9.4 Tuloksien vertailua

Vastusuuni tuotti selvästi laadultaan tasaisempia lämmityksiä ja täten parempia muhveja. Tämä johtuu vastusuunin suhteellisen pitkästä lämmitysajasta ja tasaisesta lämmityksestä. Infrapunauunille tarvittaisiin paljon enemmän testejä, jotta oikeat sekä tarkat ajan ja tehon suhteet löytyisivät tälle testiuunille. Ennen tätä kannattaa kuitenkin selvittää putkenvalmistuksen valtamuoveille mitä aallonpituuksia ne säteilevät ja absorboivat mieluiten. Kuten kappaleessa 5.4 mainittiin, edullisin infrapunälämmitys saadaan aikaan, kun säteilyn taajuus ja kappaleen absorbointitaajuus kohtaavat. Kuten tuloksista voidaan havaita, laatua ja nopeutta ei saatu infrapunauunilla halutulle tasolle, sillä putken ulkopinta kärsi todella usein negatiivisista muodonmuutoksista, eivätkä infrapunasäteet menneet täten muoviputkien läpi halutulla tavalla.

## 10 LÄMMITYSTAPOJEN VERTAILU

### 10.1 Painoarvotaulukko

Lämmitystapoja vertailtiin alla olevan painoarvotaulukon (taulukko 1) avulla, josta löytyvät tärkeimmät ominaisuudet, sekä niiden painotukset ja arvosanat. Nykyisten testien ja tietojen perusteella vastusuuni selviytyi vertailusta voittajana, mutta infrapunauuni kykenee ohittamaan sen, mikäli sen epäkohdat saadaan korjattua. Tärkeimpiä epäkohtia ovat heikko laatu, energian kulutus ja kustannukset. Kyseiset epäkohdat saadaan korjattua, mutta ne vaativat jatkotutkimuksia. Heikko laatu saadaan korjattua oikeilla ir-lampuilla, energian kulutus laajemmilla energiamittauksilla ja kustannukset lisäselvityksillä tai tietotaidolla. Tietotaidolla tarkoitetaan, että mikäli laitteen infrapunalämmittimen osaa tehdä itse, eikä osta välikäsiä kautta hinta laskee huomattavasti. Kuten painoarvotaulukosta voidaan havaita, on tässä työssä käytetty infrapunauuni ollut huomattavasti kalliimpi kuin vastusuuni. Kustannuksilla tarkoitetaan laitteiden ostohintoja. Huollettavuutta pohdittiin opinnäytetyön toimeksiantajan kanssa, eikä niistä löytynyt merkittäviä eroja.

TAULUKKO 1. Painoarvotaulukko

Ominaisuudet	Vastusuuni	Arvosana	Infrapunauuni	Arvosana
Laatu	0,3	4	0,3	2
Nopeus (lämmitysaika)	0,3	2	0,3	4
Energian kulutus	0,2	3	0,2	3
Kustannukset	0,1	5	0,1	2
Huolto/huollettavuus	0,1	2	0,1	2
Arvosana	1	3,1	1	2,8

Alla olevassa kappaleessa käsitellään painoarvotaulukkaan liittyvää energiankulutusta. Kyseisessä luvussa vertaillaan vastusuunin ja infrapunauunin sähkönkulutuksia lyhyillä ajanjaksoilla ja pyritään tekemään sen pohjalta johtopäätöksiä.

### 10.2 Sähkönkulutus

Vastusuunilla lämmitykseen kuluvan sähkön määrä alla olevassa taulukossa (taulukko 2). Taulukossa lähtöarvo 2000 W tarkoittaa käytössä olevan vastuksen tehoa, josta lasketaan kuinka paljon sähköenergiaa, kuluu minuutissa. Huomiona, että uunin toiminnan kautta tulevan hystereesin vaikutuksia ei ole otettu huomioon.

TAULUKKO 2. Vastusuunin sähkönkulutus

2000 W = 2 kW
2 kW * 1h = 2 kWh
2 kWh / 60 min = 0,033 ... kWh/min

Infrapunauunille mitattiin Siemens logiikoita hyväksikäyttämällä kullekin tehon prosentuaaliselle arvolle (10 % välein) sähkönkulutus minuutin aikana (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Infrapunauunin sähkönkulutus

Lämmitysaika (s)	Teho (%)	Sähköenergian määrä (kWh)
60	10	0.0156
60	20	0.0319
60	30	0.0549
60	40	0.0755
60	50	0.0987
60	60	0.1199
60	70	0.1468
60	80	0.1738
60	90	0.2029
60	100	0.2296

Johtopäätöksenä todetaan, ettei infrapunauunin sähkönkulutus ole alkuperäisten olettamusten mukainen, vaan hieman suurempi. Ainoastaan 20 % teholla päästään samaan lukemaan mitä vastusuuni käyttää minuutin aikana. Näiden arvojen perusteella infrapunauunin käyttö on perusteltua, mikäli lämmitysaika saadaan sekuntien, eikä niinkään minuutin/minuuttien tasolle.

Esimerkiksi infrapunalla PVC saatiin lämpenemään 10 sekunnin aikana haluttuun lämpötilaan. Alla olevassa taulukossa (taulukko 4) lasketaan 60 % teholla, mikä on infrapunauunin teoreettinen sähkönkulutus 10 sekunnin aikana.

## TAULUKKO 4. Infrapunauuni lasku

$$0.1199 \text{ kWh} / 6 = 0,01998333 \dots \text{ kWh}/10\text{s}$$

Infrapunan hyöty selittyykin sen välittömällä lämmittämällä, kun taas vastusuunilla kestää 10 – 15 minuuttia päästä haluttuun lämpötilaan. Lisäksi infrapunauunin hyöty kertaantuu mitä suurempaan vastusuuniin sitä verrataan, sillä silloin vastusuunin esilämmitysaika suurenee.

Jotta sähkönkulutuksia voitaisiin luotettavasti vertailla, pitäisi vastusuunille tehdä pitkiä sähkönkulutusmittauksia suoraan asiakkaalla putkien valmistuksen aikana. Tällöin vastusuunin hystereesivaikutus saataisiin mukaan vertailuun. Karkeasti arvioituna infrapunauunin sähkönkulutus on noin 20 – 30 % pienempi, mikä tarkoittaa myös rahallista säästöä (Kiukas 2010). Lisäksi infrapuna-alan asiantuntija Ceramicx Oy arvioi, että oikein toimitettuna ja toteutettuna infrapunalämmitys tukee huomattavaa tuotannon ja tehokkuuden kasvua, vähintään 30 % saakka (Ceramicx Oy n.d.).

## 11 POHDINTA JA KEHITYSEHDOTUKSET

Tämä opinnäytetyö sujui kaiken kaikkiaan hyvin ja loi hyvän pohjan infrapunauunin mahdollisen käyttöönoton jatkojalostamiseen. Tässä työssä saaduista tuloksista pääsi hyvin käsiksi itse asiaan, mutta mikäli tekisin työn uudestaan. Suorittaisin mittaukset eri tavalla ja ottaisin mittauksia enemmän. Aluksi ottaisin ylös sen verran mittaustuloksia, jotta saisin kuvaajat tehtyä ja kuvaajien pohjalta tekisin uudet testit. Näissä uusissa testeissä päästäisiin jo huomattavasti lähemmäksi haluttua lopputulosta. Lisäksi työn pohjalta selvisi liuta asioita, joita pitäisi kehittää, jotta työ onnistuisi paremmin ja mahdollisesti infrapunauunin käyttöönottan firman tuotanto ja tehokkuus kasvaisivat. Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, voi infrapunälämmitys Ceramicx Oy:n mukaan parantaa tuotannon ja tehokkuuden kasvua 30 % (sähkönkulutuksen säästöjä unohtamatta). Parannettavat asiat selvitetty alla olevassa listauksessa.

1. Seuraavissa testeissä pitäisi päästä käsiksi siihen, mikä aallonpituus on paras kullekin käytössä olevalle materiaalille, joten niille pitäisi määrittää parhaiten absorboituva infrapunan aallonpituus. Tässä opinnäytetyössä kaikki infrapunatestit tapahtuivat käytössä olleella infrapunasäteilyllä, eikä muita aallonpituuksia päästy kokeilemaan.
2. Infrapunälämmitys myös putken sisälle, jotta prosessi nopeutuu ja lämmitys tapahtuisi tasaisemmin.
3. Kvartsilasit lamppujen eteen, jotta ir-lamppuja viilentävä paineilma ei viilennä myös putkea lämmitettäessä.
4. Infrapunauunista säteilevämpi ja umpinaisempi. Säteilevyyttä voitaisiin parantaa muuttamalla uunin sisäpintojen materiaalia paremmin säteileväksi. Umpinaisempi uunista saataisiin muokkaamalla uunin päädyt kunkin lämmitystilanteen mukaisiksi. Tämä tarkoittaa uunin päätyjen sulkeamista mahdollisimman tiiviisti, mieluiten säteilevällä materiaalilla.

5. Ratkaisuna päädyn negatiivisille muodonmuutoksille voisi olla vakioida putki ir-lämmittimelle niin, että hieman putken lämmitettävästä päädyistä jäisi uunin ulkopuolelle ja päädyn lämmitykseen vaadittava lämpö määrä johtuisi sinne putkea pitkin.
6. Laajemmat energianmittaukset, kun infrapunauuni käytössä työmaalla. Tällöin saataisiin paljon laajempaa ja tarkempaa tietoa infrapunauunin säästöistä sähkönkäytön saralla.
7. Muhvaus infrapunauunilla voitaisiin automatisoida niin, että ainakaan putken pyörykseen ei tarvitsisi ihmistä. Pidemmälle vietyinä infrapunauuni kannattaisi implementoida samanlaiseen laitteeseen kuin Mecabell ja kehitettäväksi asiaksi jäisi mm. ir-lamppujen sijoittelu. Päätettäväksi jäisi saataisiinko kaikki tarvittavat lamput yhden uunin sisälle vai vaadittaisiinko jokaiselle lämmitettävälle materiaalille omat uuninsa.

## LÄHTEET

Bernard 1970. Abc`s of infrared. Howard W. Sams & co., inc. & The bobs-merrill co., inc.

Ceramicx Oy. n.d. Why infrared. Luettu 20.3.2020

<https://www.ceramicx.com/fi/information/support/why-infrared/>

Extron-Mecanor Oy. 2020a. Tietoa yrityksestä. Luettu 22.11.2019

<https://www.extron-mecanor.com/fi/tietoa-yrityksesta/>

Extron-Mecanor Oy. 2020b. Mecabell muhvauskoneet. Luettu 22.11.2019

<https://www.extron-mecanor.com/fi/tuotteet/putken-muhvaus-ja-tiivisteiden-asentaminen/mecabell-muhvauskoneet/>

Fagerholm. 1986. Termodynamiikka. Espoo: Otakustantamo.

Fluorotech Oy. 2012. Tekniset muovit. Luettu 12.2.2020.

<https://www.fluorotech.fi/files/mittakuvat/Teknisetmuovit.pdf>

Hautala & Peltonen 2009. Insinöörin (AMK) fysiikka. Lahden teho-opetus Oy.

Hemilä. 1991. Lämpöoppi. Tampere: Fysiikan kustannus.

Infradex Oy. 2003. Lämpökuvauksen teoria. Luettu 10.1.2020

<https://www.infradex.com/wp-content/uploads/2016/08/teoria.pdf>

Järvinen. 2017. Muovit ja muovituotteiden valmistus. Söderkulla: Muovifakta Oy.

Järvinen 2008. Uusi muovitieto. Söderkulla : Muovifakta.

Järvinen & Viitanen 2000. Muovin suomalainen käsikirja. Muovifakta.

Meltex Oy. n.d. Kiinteistöviemäriputket ja -yhteet. Luettu 2.1.2020

<https://www.meltex.fi/fi/tuotteet/lampo-vesi-ja-ilma/24-kiinteistoviemariputket-ja-yhteet-pp/kiinteistoviemariputket-ja-yhteet-db-pp>

Muoviyhdistys ry. 2016. Hyvä tietää muovista. Luettu 02.10.2019

<http://www.muoviyhdistys.fi/2016/07/15/osa-1-hyva-tietaa-muovista/>

Muoviteollisuuden keskusliitto 2001. Muovit ja kumit. Helsinki : Metalliteollisuuden kustannus.

Muoviteollisuus ry. n.d. Muovien luokitus. Luettu 10.11.2020

[https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/muovien\\_luokitus/](https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/muovien_luokitus/)

Penttala & Törmi. 1977. Betonirakenteiden infrapunasäteilylämmitys työmaaolosuhteissa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Philips & Infrarödteknik AB. n.d. The ir handbook. Julkaisematon. Opinnäytetyöntekijän hallussa.

Pipelife Oy. n.d. Kiinteistöviemärijärjestelmä. Luettu 16.3.2020

[https://www.pipelife.fi/fi/tuotteet/talotekniikka/HT\\_PP\\_Nordic.php](https://www.pipelife.fi/fi/tuotteet/talotekniikka/HT_PP_Nordic.php)

Salonen, E. Laurson, L. Mäkelä, T & Herranen, T. 2017. Aalto University.  
PHYS-C0220 Termodynamiikka ja statistinen fysiikka. Luento 4: entropia. Luettu 21.9.2020

[https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/442106/mod\\_resource/content/1/PHYS-C0220\\_L04\\_MyCourses.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/442106/mod_resource/content/1/PHYS-C0220_L04_MyCourses.pdf)

Sentrytek Oy. n.d. Infrared thermometer. Luettu 24.3.2020

[https://www.sentrytek.com.tw/products\\_detail/28.htm](https://www.sentrytek.com.tw/products_detail/28.htm)

Uponor Oy. 2015. Kiinteistöviemärointi käsikirja. Luettu 16.3.2020

[file:///C:/Users/kimil/Downloads/37701\\_Kiinteistoviemari\\_kasikirja\\_02\\_2015.pdf](file:///C:/Users/kimil/Downloads/37701_Kiinteistoviemari_kasikirja_02_2015.pdf)

Yle Oy.

<https://yle.fi/aihe/artikkeli/2010/02/25/infrapunasaunojen-ihmelupaukset>





## Liite 2. PP mittau tulokset

Mittauspäivä	21.10.2020
Mittauskloona	12.00-13.00
Mittauspaikka	IR-Lämmitin

PP-Puh	Väri	(Keskiarvo) Ulkoilmasija (mm)	(Keskiarvo) Sennän vahuus (mm)	(Keskiarvo) Hällin lämpötila (°C)	(Puhken) Alkulupe (mm)	(Puhken) Lämpötila (°C)	(Aseusarvo) Lämpöyksikö (s)	(Aseusarvo) Terve (%)	(Puhken) Loppulupe (mm)	(Puhken) Loppulupe (°C)	(Puhken) Syytunnus (mm)	Kommentit
1.	Harma	110,11	3,82	20	21	150	150	35	154	190	250	Ulian pöytä alka. Puhken päässä laagattuihin muovimuutoksia.
2.	Harma	110,11	3,82	20	21	150	150	35	154	190	250	Ulian pöytä alka. Puhken päässä laagattuihin muovimuutoksia.
3.	Harma	110,11	3,82	20	23	160	120	35	160	185	300	Alkaa muuttamaan muotoaan. Puhkeet liian soikeat ja pöytä keskiosissa muuttamassa muotoaan.
4.	Harma	110,11	3,82	20	24	160	90	35	144	169	250	Alkaa irvoitua vähenemään. Ei muodonmuutoksia. Ulian kylmä muuttavaksi.
5.	Harma	110,11	3,82	20	20	150	40	65	140	170	220	Hyvä. Siinä ja sinä suluttamien kanssa.
6.	Harma	110,11	3,82	20	20	150	40	65	145	185	220	Kohellian muutama Pää hiukan sulunut. Sitä hi yhä.
7.	Harma	110,11	3,82	20	20	150	40	65	145	185	220	Muuttam suoraan. Ei lämpötilaa.
8.	Harma	110,11	3,82	20	20	150	40	65	145	185	220	Muuttam suoraan. Ei lämpötilaa.
9.	Harma	110,11	3,82	20	20	160	40	80	150	220	220	Suut Puhkeet suluttamien kanssa.
10.	Harma	110,11	3,82	20	20	160	40	80	150	220	220	Suut Puhkeet suluttamien kanssa.
11.	Harma	110,11	3,82	20	20	160	30	85	140	210	220	Suut Puhkeet suluttamien kanssa. Lämpötila ei loppunut than niin raskaslaista. Eikä muuttavassa.
12.	Harma	110,11	3,82	20	20	150	20	90	115	175	220	Sama väli. Ja sekunnissa tippui ulko 135 °C. Ei muuttavassa.
13.	Harma	110,11	3,82	20	20	150	15	100	105	160	220	Lämpötilaero. Heti lämpötila tippui 130 °C. Ei liian sulanut. Melkein.





## Liite 5. Lisätestit (PP-MD)

Mittauspäivämäärä: 18.2.2020

Mö: 8-16

IR-Lämmitys

PP-MD Puhki	Väri	Ulkoalkaisija (mm)	Seinänän vahvuus (mm)	(Keskianvo)	Hallin lämpötila (°C)	(Puitien)	Alkuelämpö (°C)	Lämmityspötila (°C)	(Pintään)	Lämmityspötila (°C)	(Asetusarvo)	Teno (%)	(Puitien)	Loppulämpö sisä (°C)	(Puitien)	Loppulämpö ulko (°C)	(Puitien)	Syvyys uunissa (mm)	Kommentit
1.	Hermaa	110	3,4- 3,8	20	20,5	20	160	160	160	145	45	60	180	145	180	185	220	Melkein sulii ja päässä negatiivisia muodonmuutoksia.	
2.	Hermaa	110	3,4- 3,8	20	20	20	160	160	160	150	40	60	180	150	180	185	220	Pinta ei sulanut, putken päässä negatiivisia muodonmuutoksia (pää sulii vähän)	
3.	Hermaa	110	3,4- 3,8	20	20,5	20	160	160	160	150	35	60	180	150	180	185	220	Ei sulanut. Pää siinä ja siinä.	
4.	Hermaa	110	3,4- 3,8	20	20,5	20	160	160	160	130	30	60	175	132	173	179	220	Ei muutoksia. Liian kylmä jo.	
5.	Hermaa	110	3,4- 3,8	20	21	20	160	160	160	132	30	65	173	132	173	179	220	Liian kylmä. Lämpötilaero kaavo.	
6.	Hermaa	110	3,4- 3,8	20	20	20	160	160	160	150	40	55	164	150	164	164	220	Alka läheltä. Ei sulanut, eka negatiivisia muodonmuutoksia.	