



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Mikko Taavela

Ilmajäähdytteisen kryolipolyysikahvan kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

02.6.2021

Tekijä Otsikko	Mikko Taavela Ilmajäähdysteisen kryolipolyysikahvan kehittäminen
Sivumäärä Aika	29 sivua 02.6.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	Tekninen johtaja Juha Yliollitervo Lehtori Timo Kasurinen
<p>Tämä Insinöörityö toteutettiin Cryotech Nordic AS:n ja Cryotech Finland Oy:n toimeksiantona. Työn tarkoituksena oli tutkia ja kehittää ilmajäähdysteinen hoitokahva Monolith Quattro kryolipolyysi -laitteelle sekä vertailla systeemien hintoja ja toteutuskelpoisuutta.</p> <p>Työssä rakennettiin annettujen vaatimusmäärittelyjen pohjalta ilmajäähdysteinen prototyyppikahva, jolla testattiin kahvan jäähdystyksen mahdollisuutta ilmaa käyttäen. Lopuksi vertailtiin vesijäähdysteistä kahvaa ilmajäähdysteiseen toimivuuden, toteutuskelpoisuuden ja hinnan kannalta.</p> <p>Lopputuloksena projektissa saatiin kehitettyä prototyyppikahva, joka täytti vaaditut parametrit sekä pystyi jäähdyttämään ihmisen ihoa ja rasvakudosta vaadittuun lämpötilaan. Ilmajäähdysteisen systeemin hinta-arvio oli lähellä vesijäähdysteistä ja kahvan oli todettu toimivan, mutta kahvan toiminnan kannalta välttämätöntä kylmälaitteistoa ei ollut realistinen rakentaa Monolith Quattro -laitteeseen.</p> <p>Ilmajäähdysteinen kahva kuitenkin todettiin yhteensopivaksi Cryotech Finland Oy:n toisen tuotteen kanssa, ja kahvan kehittäminen jatkuu insinöörityön päätyttyä. Kahvasta on tarkoitus tulla osa Cryotech Nordic AS:n tuoteluetteloa.</p>	
Avainsanat	Rasvanpoisto, Huippukylmä, Vesijäähdystys, Ilmajäähdystys

Author Title	Mikko Taavela Development of Air-Cooling Based Cryolipolysis Handle
Number of Pages Date	29 pages 2 June 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and automation engineering
Professional Major	Automation engineering
Instructors	Juha Yliollitervo, Technical director Timo Kasurinen, Senior Lecturer
<p>This thesis work was carried out for Cryotech Nordic AS and Cryotech Finland Oy. The aim of the thesis was to research and develop an air-cooling based cryolipolysis handle and to compare its effectiveness and price to the original water-cooled handle.</p> <p>Based on the given requirements, an air-cooled prototype handle was built to test the possibility of cooling a cryolipolysis handle using air. Finally, the original water-cooled handle was compared to an air-cooled one in terms of functionality, feasibility and cost.</p> <p>The end result of the project was the development of a prototype handle that met the required parameters and was able to cool human skin and adipose tissue to the required temperature. The price estimate for an air-cooled system was close to water-cooled and the handle had been found to work, but the refrigeration equipment necessary for the operation of the handle was not realistic to be built in the Monolith Quattro.</p> <p>However, the air-cooled handle was found to be compatible with Cryotech Finland Oy's other product, and the development of the handle will continue after the completion of the engineering work. The handle is intended to become part of Cryotech Nordic AS's product catalog.</p>	
Keywords	Lipo, Kryo, Water cooling, Air cooling

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rasvakudoksesta ja rasvanpoistomenetelmistä	2
2.1	Kryolipolyysi	2
2.2	Rasvaimu	3
2.3	Injektiolipolyysi	3
3	Kylmäyksikön toiminta	4
3.1	Kompressori	4
3.2	Lauhdutin	6
3.3	Paisuntaventtiili	7
3.4	Höyrystin	7
4	Kryolipolyysikahva	8
4.1	Peltier-elementti	8
4.2	Lämpötahna	10
4.3	Kahvan näyttö	11
4.4	Kahvan toimintaperiaate	11
5	Jäähdytysmenetelmistä	13
5.1	Ilmajäähdytys	13
5.2	Vesijäähdytys	13
5.3	Quattron vesijäähdytyksen ongelma	14
6	Työn vaiheet	15
6.1	Kahvan valmistelu testattavaksi	15
6.2	Jäähdytyselementin valinta	17
6.2.1	Matalaprofiiliset jäähdytyssiilit	18
6.2.2	Keskipakoispuhallin	19
6.3	Ensimmäinen prototyyppi	19

7	Testaus ja tulokset	21
7.1	Ilmajäähdytteisen kahvan testaus ja tulokset	21
7.2	Kylmällä ilmalla jäähdytetty kahva	22
7.3	Xcryo-huippukylmäpuhallin	22
7.4	Testitulokset	24
8	Systeemien hinta	26
9	Johtopäätös	27
	Lähteet	29

Lyhenteet

Lcd Liquid crystal display. Nestekidenäyttö.

RS-232 Recommended standard 232. Suositeltu standardi 232.

.

1 Johdanto

Tämä insinööriö toteutettiin Cryotech Finland Oy:n toimeksiannosta. Yritys on maailmanlaajuisesti toimiva huippukylmälaitteita, eli cryo-terapialaitteita ja -tarvikkeita kehittävä, valmistava ja myyvä yritys.

Työn tavoitteena oli kehittää Monolith Quattro -kryolipolyysilaitteen (kuva 1) ilmajäähdytteinen hoitopää vesijäähdytteisen tilalle, jonka oli todettu aiheuttavan ongelmia laitteen käyttäjille sekä tuottavan kuluja valmistajalle. Haluttiin tutkia vesijäähdytteisestä järjestelmästä ilmajäähdytteiseen järjestelmään siirtymisen mahdollisuutta. Tavoitteena siis oli rakentaa ilmajäähdytteinen systeemi ja tutkia sen tehokkuutta, toteutuskelpoisuutta ja hintaa.

Monolith Quattro on Cryotech Finland Oy:n suunnittelema kryolipolyysiin eli rasvanjäädäydyshoitoon tarkoitettu laite. Laitetta käytetään ei-invasiivisesti lokaalin rasvakudoksen poistamiseen jäädyttämällä rasvakudosta aiheuttaen kudoksessa kontrolloitua solukuolemaa poistaen näin poistaen rasvaa ongelma-alueilta. Moderneissa kryolipolyysilaitteissa hoitopäiden peltier-elementtien jäähdytys tapahtuu vedellä. Vesijäähdytys on tehokas jäähdytyksen muoto, joka on laajasti käytössä niin teollisuuden kuin kaupallisten systeemien ratkaisuisissa mutta on samaan aikaan kallis toteuttaa, huoltaa sekä altis erilaisille komplikaatioille.

Työn suorittamiseen hyödynnettiin erilaisia kaupallisia jäähdytyslaitteita ja tuulettimia sekä jäähdytysratkaisuja prototyyppiä rakentaessa ja testattaessa. Myös yhtiön toisen tuotteen, paikalliskryoterapiaan tarkoitetun X°CRYO-huippukylmäpuhaltimen todettiin olevan erittäin hyödyllinen sekä ilmajäähdytteisen kahvan testauksessa, että mahdollisena korvaajana Monolith Quattro -kryolipolyysilaitteelle.

2 Rasvakudoksesta ja rasvanpoistomenetelmistä

Rasvakudos on löysää sidekudosta, joka koostuu pääosin adiposyyteistä eli rasvasoluista. Elimistön suurimpana energiavarastona ja rasvavarastona toimivat rasvasolut ja rasvakudos. Suurin osa elimistön varastoenergiasta on rasvaa, koska siinä on runsaasti energiaa painoyksikköä kohden. Rasvakudos toimii myös lämmöneristeenä, iskunvaimentimena sekä vaikuttaa kehon muotoihin. [1.]

2.1 Kryolipolyysi

Kryolipolyysi eli rasvanjäädytys on non-invasiivinen kosmeettinen toimenpide, jossa rasvakudosta tuhoetaan kylmän avulla. Kryolipolyysissä toteutetaan kontrolloitu jäähdytys, jossa tietty kehon kohta jäähdytetään kolmen–kymmenen celsiusasteen lämpötilaan tavoitteena jäähdyttää ihonalaista rasvakudosta. Rasvakudoksen altistuminen jäähtymiselle aiheuttaa soluissa kristallisoitumisen ja siitä ohjelmoidun solukuoleman, jonka jälkeen kuolleet solut ohjautuvat imusuonistoon ja poistuvat elimistöstä muun kuonan mukana. [2.]



Kuva 1. Cryotech Nordic Ltd:n Monolith Quattro-kryolipolyysi-laite

2.2 Rasvaimu

Rasvaimu on kosmeettinen leikkaus/toimenpide, jossa kehosta poistetaan rasvakudosta tietyiltä alueilta tavoitteena parantaa kehon muotoa. Toimenpiteessä lääkäri tekee pienen viillon ja työntää ruostumattomasta teräksestä tehdyn ontton putken (kanyylin) syvälle rasvakudokseen. Ihovaurioiden välttämiseksi hoito tehdään syvälle rasvakudokseen pintakudoksen sijasta. Menettelyn aikana lääkäri työntää ja vetää kanyyliä edestakaisin rikkoen rasvasoluja, jotka tyhjiöpumpulla (aspiraattorilla) imetään pois. [3.]

2.3 Injektiolipolyysi

Injektiolipolyysi on kiistanalainen kosmeettinen menettely, jossa lääkeseosta ruiskutetaan potilaisiin tavoitteena kohdennetusti tuhota rasvasoluja. Käytännössä yleisesti käytetään lääkkeitä, jotka perustuvat fosfatidyylikoliiniin ja deoksikolaattiin. 60-luvulla todettiin fosfatidyylikoliinia sisältävän liuoksen suonensisäisesti annettuna tuhoavan rasvaemboleita. Myöhemmin Saksassa hyväksyttiin fosfatidyylikoliinin ja deoksikolaatin lääkeyhdistelmän käyttö rasvaemبولien, dyslipidemian ja alkoholin aiheuttaman maksakirroosin hoidoissa. Ensimmäistä kertaa lipolysispistosta käytettiin rasvanpoistossa, kun demonstroitiin, että silmänalusrasvaa voitiin poistaa lipostabiilipistoksella. Vaikka menetelmällä ei ole tehty vielä kattavia tutkimuksia, on alustavat tutkimukset antaneet positiivista näyttöä menetelmän toimivuudesta. [4.]

3 Kylmäyksikön toiminta

Muun muassa jääkaapeissa ja ilmastointilaitteissa käytettävä kylmäyksikkö koostuu vähintään neljästä pääkomponentista: kompressorista, lauhduttimesta paisuntalaitteesta ja höyrystimestä. Kylmäyksikön toiminta perustuu kaasunpuristusprosessiin, jossa systeemissä liikkuva kylmäaine kulkee systeemissä syklissä höyrystyen matalassa paineessa muuttuen nesteeksi ja sitoen ympäristön lämpöä itseensä sekä lauhtuuntuen korkeassa paineessa, jolloin kylmäaine muuttuu nesteeksi ja luovuttaa lämpöä ympäristöön.

Kyseessä on suljettu systeemi, jossa kylmäaine muuttaa olomuotoaan kaasun ja nesteen välillä kompressorilla luodun paineen avulla.

Kylmäkoneistossa voi olla muitakin komponentteja, joilla voidaan ohjata ja säätää painetta, kylmäaineen virtausta, lämpötilaa tai jopa höyrystimen sulatusta. [5.]

3.1 Kompressorit

Kompressorit (kuva 2) ovat mekaanisia laitteita, jotka lisäävät kaasun painetta vähentämällä sen tilavuutta mekaanisella työllä. Kylmäyksikössä tämä tarkoittaa paineen korottamista höyrystymislämpötilasta lauhtumislämpötilaan.

Kompressorit voidaan luokitella joko toimintaperiaatteensa mukaisesti tai rakenteensa mukaisesti. Kompressorit jakautuvat yleisesti syrjäytyskompressoreihin ja dynaamisiin kompressoreihin, minkä lisäksi kompressorit voidaan luokitella myös kuoren rakenteen mukaisesti hermeettisiin, puolihermeettisiin ja avokompressoreihin.

Dynaamisissa kompressoreissa kaasun paine luodaan jatkuvasti pyörivällä roottorilla pakottaen nopeasti liikkuvaa ilmaa elementin läpi, joka muuttaa ilman nopeuden paineeksi. Dynaamiset kompressorit perustuvat Bernoullin lakiin, jonka mukaan virtausnopeuden laskiessa paine kasvaa. Kyseinen periaate toimii myös toiseen suuntaan, eli paineen laskiessa virtausnopeus nousee. Dynaamisissa kompressoreissa hyödynnetään keskipaikoisvoimaa paineen tuottamiseen.

Syrjäytyskompressoreissa painetta luodaan tietyn tilamäärän verran kerrallaan imien ilmaa tilaan ja puristaen sen mekaanisella työllä ulos avautuvasta venttiilistä luoden näin painetta. Staattisesti toimilla eli syrjäytyskompressoreilla voi olla useita sisääntuloja mutta puristusonteloita vain yksi. Vaikka kaikki toimivat samalla periaatteella, on kuitenkin olemassa useita ilmakompressorityyppejä.

Kompressoreiden kuoren rakenne eli onko kompressori hermeettinen, puolihhermeettinen vai avokompressori riippuu pitkälti kaupallisesta käyttötarkoituksesta.

Kaupallisissa sovelluksissa eli jääkaapeissa, ilmastointilaitteissa ja muissa pienkylmä-laitteistoissa käytettävät kompressorit ovat yleisesti hermeettisiä mäntäkompressoreja, eli kompressorirakenne koostuu kompressorista ja sähkömoottorista, jotka ovat kiinni hitsatun kuoren sisällä. Hermeettisiä kompressoreja ei yleensä huolleta, vaan ne vaihdetaan kokonaan laitteen rikkoutuessa.

Puolihhermeettisiä kompressoreja, joissa moottori ja kompressori ovat avattavan kuoren sisällä nähdään useammin kauppojen kylmäkoneistoissa ja ilmastoinnin sekä prosessien vedenjäähdytyskoneistoissa. Avattavan kuoren ansiosta puolihhermeettiset kompressorit ovat huoltokelpoisia.

Avokompressoreissa, joissa ei ole suojaavaa kotelointia ollenkaan, käytetään ajoneuvojen jäähdytyskoneistoissa ja kuormatilojen kylmäkoneistoissa sekä teollisissa kylmäkoneistoissa. Avokompressorin käyttövoima tuodaan akselilla kompressorin kuoren läpi. Voima siirretään moottorista avokompressoriin joko akselikytkimen tai hinnan välityksellä. [5.]



Kuva 2. Secop-valmistajan hermeettinen mäntäkompressori

3.2 Lauhdutin

Lämmönsiirrin on laite, jossa höyry tai kaasu muutetaan takaisin nesteeksi siirtämällä lämpöenergiaa ympäristöön tai toiseen nesteeseen. Kylmäkoneistossa lauhdutin (kuva 3) nesteyttää kompressorin puristaman kylmäainehöyryn. Lauhduttimia on joko ilmajähdytteisiä tai nestejäähdytteisiä. [5.]



Kuva 3. Kylmäyksikön lauhdutinyksikkö

3.3 Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiili (kuva 4) on kylmäaineen säätelyyn tarkoitettu laite, joka on rakenteeltaan kuristin ja varmistaa, ettei kompressorille päädy kylmäainetta nestemäisessä muodossa vaan kaikki kylmäaine höyrystyy kaasuksi höyrystimessä. Paisuntaventtiili pienentää hetkellisesti virtaavan kylmäaineen virtauspinta-alaa ja näin aikaan saa äkillisen paineen laskemisen, joka vuorostaan laskee kylmäaineen lämpötilaa. Paineen laskeminen putkessa perustuu Bernoullin lakiin perustuvaan Venturi-ilmiöön, jossa liikkuvan nesteen tai kaasun nopeus suurenee ja paine laskee putken kaventuessa. [5.]

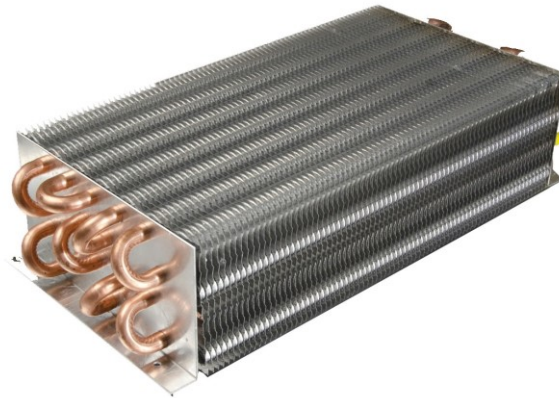


Kuva 4. Kylmäsystemin paisuntaventtiili

3.4 Höyrystin

Paisuntalaitteen jälkeen kylmäaine virtaa höyrystimeen (kuva 5), jossa se höyrystyy si-
toen ympäristöstä lämpöä. Lämmin ilma liikkuu höyrystimen läpi ja siirtyy kylmäaineeseen joko luonnollisen tai pakotetun konvektion avulla. Höyrystimen lohko on valmistettu

kupariputkista ja alumiinilamelleista, joilla varmistetaan mahdollisimman suuri kosketuspinta-ala jäähdytettävän materiaalin kanssa. [5.]



Kuva 5. Kylmäsystemin höyrystinyksikkö

4 Kryolipolyysikahva

4.1 Peltier-elementti

Peltier-elementti eli termoelektrinen moduuli (kuva 6) on lämpösähköiseen ilmiöön perustuva kaksipuolinen laite. Kun tasajännitettä syötetään peltierin läpi, niin laitteen toinen puoli kylmenee, kun taas toinen puoli lämpenee. Peltier-elementti siis siirtää lämpöä yhdeltä puolelta toiselle.

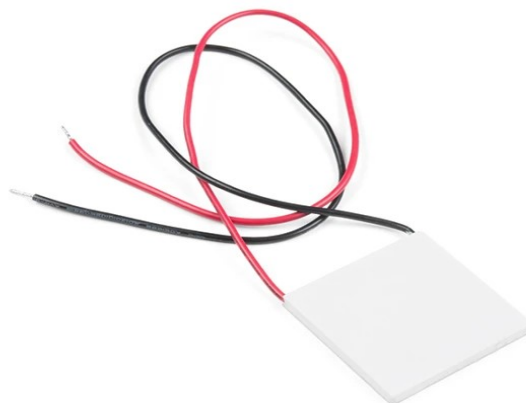
Peltier-efekti (ilmiö) löydettiin vuonna 1834, kun tutkija nimeltä Jean Charles Athanase Peltier havaitsi Seebeck-ilmiön toimivan myös käänteisesti. Seebeck-ilmiössä kaksi erilaista sähköä johtavaa metallia luovat jännitteen toistensa välille, kun toista metallia kuumennetaan ja toista kylmennetään.

Elementin rakenne koostuu useista p- ja n-tyypin puolijohteista, jotka on vuorotellen sijoitettu kahden lämpöä johtavan keraamisen levyn väliin. Puolijohteet ovat yhdistetty toisiinsa sähköjohteilla, jotka ovat yleensä kuparia. Puolijohteiden kahdesta vapaasta päästä johdetaan sähkövirta laitteeseen. p- ja n-tyypin puolijohteita on laitteessa aina pariton määrä, jotta jäljelle jäisi aina kaksi vapaata päätyä.

Peltier-elementtien käyttösovellukset kattavat laajan kirjon tuote alueita. Peltiereitä käytetään aina tietokoneiden prosessoreiden ja kylmälaukkujen jäähdyttimestä erittäin hienostuneisiin lämpötilojen ohjausjärjestelmiin ohjuksissa ja avaruussysteemeissä.

Suurimmat edut Peltier-elementtien käytössä on liikkuvien osien olemattomuus, tasajännitteisyys, yksinkertainen rakenne sekä mahdollisuus jäähdyttää kohdetta alle ympäristön lämpötilan. Moduulit ovat kustannustehokkaita rakentaa, ja ne mahdollistavat kohteen jäähdytyksen tai lämmityksen helposti sähkövirran suuntaa vaihtamalla sekä lämmityksen tarkan säädön jännitettä säätämällä ja ovat pienikokoisia mahdollistaen erilaiset ahtaiden tilojen ratkaisut. Moduulit ovat myös pitkäikäisiä, koska laitteessa ei ole liikkuvia osia, joiden pitkäaikainen kuluminen aiheuttaisi laitteen rikkoutumisen.

Suurin heikkous Peltiereillä on laitteen heikko hyötysuhde. Peltier-elementin kuluttavat paljon virtaa, ja kulutukseen nähden siirretty lämpö on vähäistä verrattuna nykyisiin kaasunpuristusprosesseihin. Siirtääkseen lämpöä Peltier-elementin kuuma puoli myös vaatii jäähdytintä, jona toimii yleisesti jäähdytyskiili. [6.]



Kuva 6. Peltier-elementti

4.2 Lämpötahna

Lämpötahna (kuva 7) on lämpöä johtavaa kemiallista yhdistettä, jota käytetään jäähdytysseiliin ja jäähdytettävien komponenttien kuten prosessorien ja näytönohjainten välissä lämmönjohtavuuden parantamiseksi.

Koska jäähdytysseiliin, Peltier-elementtien tai prosessorien pinta ei ole koskaan täysin tasainen, jää kahden pinnan väliin aina rakoja. Tämä tarkoittaa sitä, että jäähdytysselementin ja jäähdytettävän pinnan väliin jää aina ilmaa, joka toimii lämmöneristeenä. Jäähdytystehon maksimoimiseksi jäähdytysratkaisuissa käytetään lämpötahnaa pintojen välissä. Lämpötahna täyttää pinnoissa olevat raot, vähentää epätasaisuuksia ja johtaa lämpöä hyvin, mikä parantaa lämmönjohtavuutta pintojen välillä. [7.]



Kuva 7. Lämpötahnaa levitetään prosessorille

4.3 Kahvan näyttö

Kahvassa on 3,2 tuuman lcd-kosketusnäyttö, josta kahvaa pystyy säätämään päänäytön ohjelman lisäksi. Kahvasta pystyy säätämään hoitoaikaa, kahvan kylmyyttä sekä imun voimakkuutta. Kahva keskustelee tietokoneen kanssa RS-232-tietoliikenneportin välityksellä ja sekä kahvalla että kahdella Quattrossa sijaitsevalla näytöllä pystyy ohjaamaan laitetta.

4.4 Kahvan toimintaperiaate

Kryolipolyysikahvan (kuva 8) tarkoituksena jäähdyttää ihoa ja siten rasvakudosta. Tämä tapahtuu imemällä ihoa kuppiin, jonka sisäpuolella on kaksi metallista alumiinilevyä, jotka jäähdyttävät ihoa Peltier-elementtien avulla ollessaan kosketuksessa ihoon.

Kahva painetaan hoidettavaa aluetta vasten ja kytketään päälle. Tällöin kahvassa oleviin Peltier-elementteihin johtuu virtaa aiheuttaen alumiinilevyn kylmenemisen. Samaan aikaan Quattrossa oleva tyhjiöpumppu kytketään päälle, jolloin kahvan ollessa tiiviisti ihossa kiinni kuppiin muodostuu lievä tyhjiö ja näin ollen hoidettavalla alueella oleva löysä iho imeytyy kahvaan sisään muodostaen kosketuspinta-alaa alumiinilevyn kanssa. Kahva pidetään kiinni hoidettavassa alueessa 55 minuuttia, minkä jälkeen kahva kytketään pois päältä, jolloin kahva irtoaa hoidettavalta alueelta ja pystytään siirtymään hoitamaan seuraavaa ongelma-aluetta.

Jokaisen hoidon yhteydessä ihon ja kahvan väliin laitetaan "antifreeze membrane" eli kangaspala, joka on kyllästetty vedellä sekä jäätymättömällä lämpöä johtavalla geelillä. Kangas on ihon ja alumiinilevyn välissä ja varmistaa ettei ihon pinnalle kondensoidu vettä, joka saattaisi jäätyä ja aiheuttaa paleltumaa.

Kryolipolyysikahva toimii neljällä Peltier-elementillä, kaksi kummallakin puolella, joiden jäähdytyksestä vastaa kaksi vesijäähdytysblokkia. Peltier-elementtien, vesijäähdytysblokin ja alumiinilevyn välissä on lämpötahnaa parantamassa lämmönjohtavuutta. Pumppu pumppaa vesitankista vettä kahvaan vesiletkua pitkin, jossa vesi jakautuu molemmille vesijäähdytysblokeille ja niistä takaisin vesitankkiin radiaattorin läpi letkua pitkin. Blokit

jäähdyttävät Peltier-elementtien kuumaa puolta mahdollistaen vastakkaisen puolen jäähdytymisen. Peltier-elementtien kylmäpuoli jäähdyttää kahvassa olevaa kahta alumiinilevyä, jotka tulevat suoraan kosketusten ihoa vasten. Kuppiin muodostuva tyhjiö luodaan Quattrossa sijaitsevalla tyhjiöpumpulla, johon kahva on kytköksissä ilmaletkun kautta. Tyhjiöpumpusta ilmaletku siirtyy säätöruuvien kautta kahvaan, jonka kupin pohjassa on reikä, johon ilmaletku on kytketty. Säätöruuvi mahdollistaa paineen kalibroinnin, jotta joka kahvassa olevan tyhjiön paine on kutakuinkin sama. Myös tyhjiöpumput ovat jännitteellisesti säädettäviä, mikä mahdollistaa asiakkaalle sopivan tyhjiöpaineen säätämisen.



Kuva 8. Monolith Quattro-kryolipolyytilaitteen hoitopää

5 Jäähdytysmenetelmistä

5.1 Ilmajäähdytys

Ilmajäähdytys on esineen jäähdyttämistä ilman ja konvektion avulla. Kyseessä voi olla joko luonnollinen konvektio tai pakotettu konvektio.

Luonnollisessa konvektiossa ilma liikkuu painovoiman ansiosta, koska kylmä ilma on tiheämpää kuin lämmin ilma ja näin ollen painavampaa. Kylmä ilma liikkuu alaspäin ja kuuma ilma ylöspäin luoden näin ilmanvirtausta kohteen ympärille. Tämä on luonnollista kiertoa eli nesteessä tai ilmassa tapahtuvaa jatkuvaa painovoiman muutosta lämpöenergian muutoksen kanssa. Luonnollisen konvektion liikkeellepaneva voima on siis painovoima.

Pakotetussa konvektiossa ilman liikkuminen on pakotettua käyttämällä ulkoista voimaa kuten tuuletinta, pumppua, imulaitetta jne. Luonnolliseen konvektioon verrattuna pakotetulla konvektiolla saavutetaan suurempi lämmönsiirto kappaleesta ja näin ollen suurempi jäähdytysteho. [8.]

5.2 Vesijäähdytys

Nestejäähdytyksellä tarkoitetaan yleisesti pumpun avulla saavutettua nestekiertoa, jossa nestettä käyttäen jäähdytetään kohdetta. Lämpö johtuu kappaleesta veteen, joka siirretään muualle. Tietokoneissa nestejäähdytystä käytetään yleisesti jäähdyttämään suorintinta ja mahdollisesti muita komponentteja. [9.]

Nestejäähdytys on usein suosittu vaihtoehto tietokoneiden jäähdytysjärjestelmäksi sen tehokkuuden ja hiljaisuuden takia. Vedellä on suuri lämpökapasiteetti, ja vesi johtaa lämpöä paremmin kuin ilma. Ongelmiksi nestejäähdytyksen suhteen nousevat suuri hinta, vaikea asennus ja mahdolliset vuotojen aiheuttamat vahingot. Samat ongelmat, jotka pätevät tietokoneissa, pätevät myös Quattrossa. Neljällä pumpulla toimivan vesijäähdytysjärjestelmän rakentaminen on tarkkuutta vaativaa sekä aikaa vievää työtä,

jäähdytysjärjestelmä on kallis ja komplikaatioita ilmenee herkästi näin ollen tehden Quattrojen rakentamisesta ja testauksesta hidasta ja kallista yritykselle. Myös vesikiertojärjestelmän huoltaminen sekä vian etsiminen on aikaa vievää ja kallista.

Quattrossa tislattua vettä käytetään kahvoissa olevien Peltier-elementtien jäähdyttämiseen, jonka jälkeen vesi ohjataan tuulettimilla jäähdytettävän radiaattorin läpi vesitankkiin ja siitä takaisin pumpuille.

5.3 Quattron vesijäähdytyksen ongelma

Quattron ongelmat vesijäähdytyksen kanssa johtuvat paljolti siitä tekijästä, että kyseessä ei ole suljettu systeemi, vaan jokainen kahva on irrotettavissa sekä vaihdettavissa. Veteen pääsee siis helposti epäpuhtauksia, vesiletkujen sisäpinnoille muodostuu levää, vesipumput tukkeutuvat tai eivät jaksa pumppaa vettä ilmakuplan takia ja kahvojen vesikanavat tukkeutuvat limaisen levän muodostaman tukoksen takia.

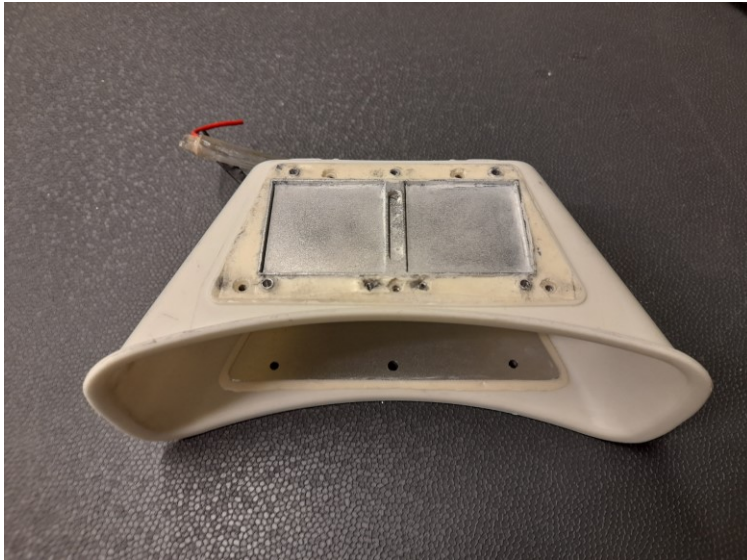
Säännöllinen veden vaihtaminen saattaa pitää leväkasvuston poissa systeemistä tai edes hidastaa sen kasvua, mutta silti useimmissa laitteissa ajan myötä vesikierto kahvoissa oli heikentynyt tai jopa estynyt kokonaan. Useiden huoltoon tulleiden Quattrojen vesitankit olivat täynnä limaista leväkasvustoa, vaikka asiakkaat olivat tiheään tahtiin vaihtaneet laitteesta vedet.

Kun veden kierto estyy tavalla tai toisella oli se sitten vesikanavan tukkeutumisella tai pumpun toiminnan estymisellä, aiheuttaa se peltier-elementin kuumenemisen. Kun vesiblokkiin ei virtaa vettä kunnolla, ei vesiblokki jäähdytä peltierin kuumaa puolta mikä aiheuttaa elementin kuumenemisen. Tämä tarkoittaa sitä, että kahvan jäähdytys joko ei toimi ollenkaan tai pahimmillaan voi jopa aiheuttaa palovamman käyttäjälle.

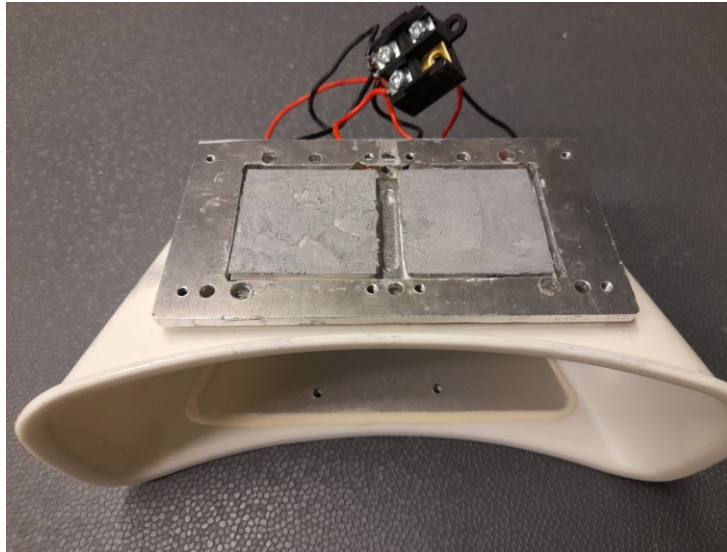
6 Työn vaiheet

6.1 Kahvan valmistelu testattavaksi

Jotta erilaisia jäähdytysratkaisuja pystyttiin testata, piti olemassa oleva kahva purkaa (kuva 9) ja muokata siten, että kahvaan pystyttiin asentamaan erilaisia jäähdytysosia tai jäähdytysjärjestelmiä ja saada vertailukelpoista dataa. Kahvassa valmiiksi sijaitsevaa lämpöanturia hyödynnettiin tulosten vertailuissa minkä lisäksi kupin alumiiniselle sisäpinnalle sijoitettiin lämpöantureita mittaamaan metallin lämpötilaa.



Kuva 9. Purettu kryolipolyysikahva



Kuva11. Työstetty pidike kryolipolyysikahvassa

6.2 Jäähdytyslementin valinta

Testattavat jäähdytyslementit valikoitiin annettujen kokovaatimusten mukaisesti. Liian suuri elementti kahvan kyljissä painaisi liikaa mikä tekisi kahvan käytöstä vaivalloista sekä olisi tiellä hoidon aikana. Varsinkin vatsan alueelle tehtävässä kryolipolyysihoidossa vatsaan laitetaan monta kahvaa vierä viereseen, jolloin liian suuri jäähdytyslementti estää kahvojen asettelun lähekkäin.

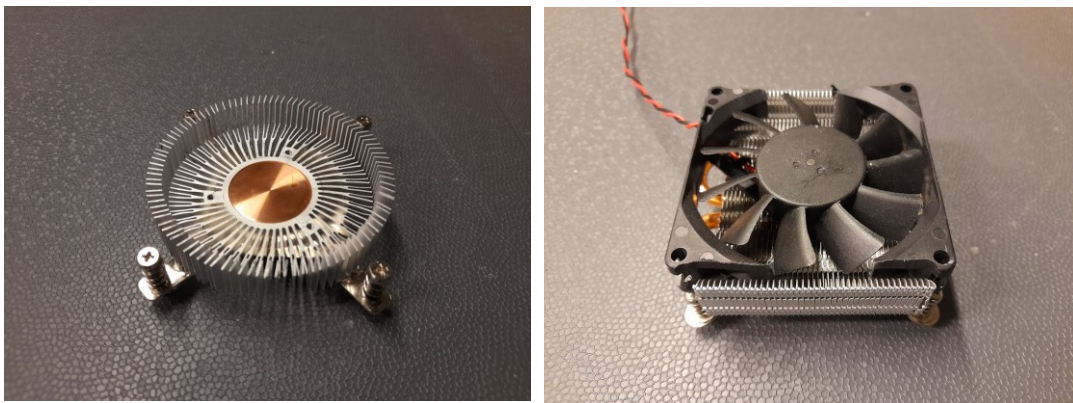
Maksimimitat jäähdytyslementille siis ovat 120 mm x 80 mm x 25 mm. Tämä tarkoitti sitä, että perinteiset jäähdytysiilit, joissa tuuletin on kiinnitetty siilin päälle, olivat liian suuria kahvalle. Vaihtoehdoksi jäi, että käytettävä jäähdytysiili on joko matalaprofiilinen tai siiliin tuleva ilmavirta oli tuotava muualta.

Kahvassa testatun jäähdyttimen piti myös kyetä saavuttamaan - 3 celsiusasteen lämpötila alle kymmenessä minuutissa sekä ylläpitää se, kun kahva laitettiin koehenkilön ihoa vasten.

Elementin valinnassa piti myös ottaa huomioon systeemin tuottama melu. Asiakaskäyttöön tarkoitettu kahva, jota tulnaisiin todennäköisesti käyttämään pienissä tiloissa, ei siis saisi tuottaa kohtuutonta ääntä, mikä häiritsisi käyttökokemusta. Kohtuuttoman melun raja määriteltiin 60 desibeliin.

6.2.1 Matalaprofiiliset jäähdytys­siilit

Matalaprofiiliset jäähdytys­siilit (kuva 12) ovat nimensä mukaisesti hyvin ohuita jäähdytys­siilejä, joiden paksuus vaihtelee muutamasta kymmenestä millistä sadan millin välillä. Tällaisissa siileissä käytettävät tuulettimet on usein integroitu siilin sisälle, jotta voidaan säästää jäähdytys­siilin paksuudessa. Kannettavissa tietokoneissa käytetään matalaprofiilisia jäähdytys­siiliä juuri tilan puutteen vuoksi.



Kuva 12. Matalaprofiilisia jäähdytys­siiliä

Jo varhaisessa vaiheessa huomattiin, että käytettävien matalaprofiilisten siilien teho ei yksinkertaisesti riittänyt jäähdyttämään kahta Peltier-elementtiä kahvassa. Kahvan lämpötila ei laskenut alle 10 celsiusasteen, ja jäähdytys­siilit kuumenivat jopa 60 celsiusasteeseen. Sallitun kokoluokan jäähdytys­siiliyhdistelmissä ei yksinkertaisesti riittänyt jäähdytys­teho.

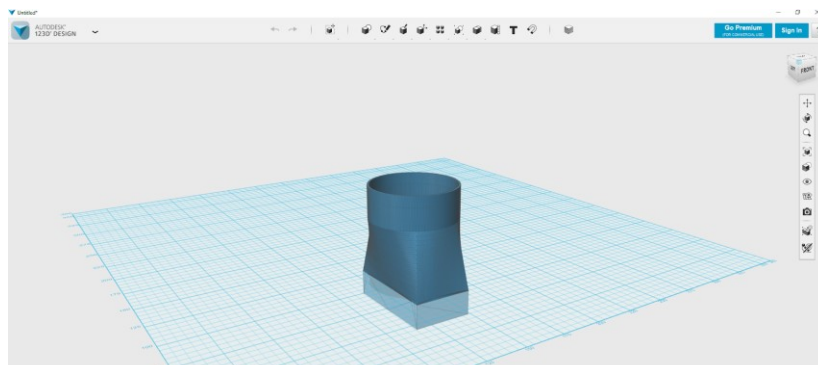
6.2.2 Keskipakoispuhallin

Keskipakoispuhallin eli radiaalipuhallin perustuu hyödyntää keskipakoisvoimaa puhalluksen tuotossa. Puhaltimen imuaukosta akselin suuntaisesti tuleva ilma kiertää keskipakoisvoimaisesti puhaltimen sisällä ja tulee kohtisuorasti akseliin nähden olevasta aukosta ulos. Keskipakoispuhaltimet ovat suosittuja teollisuudessa, mikä johtuu niiden paineenkorotuskyvystä ja hyvästä massavirrasta. [10.]

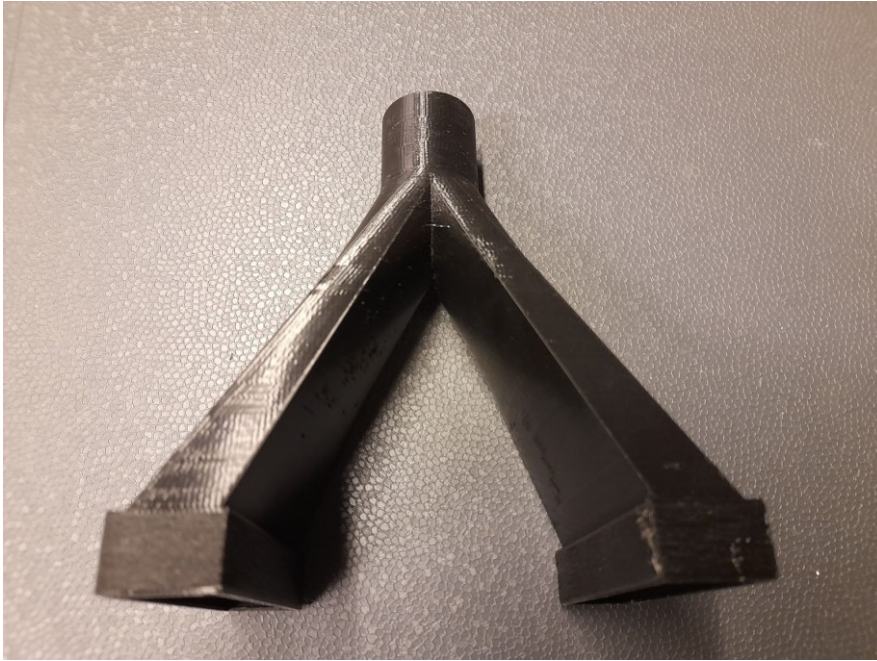
Vaikka Quattro-kahvaan sijoitettavan jäähdytyspiilin koko on rajoitettu, on silti Quattrossa sisällä huomattavasti tilaa puhaltimelle, eli ratkaisu, johon päädyttiin, oli sijoittaa keskipakoispuhallin Quattron kuoren sisälle ja siirtää jäähdytysilma ilmanavaa pitkin. Tällöin kahvan siilin paksuutta oli mahdollista korottaa ja siilin jäähdytykseen tarkoitettu ilma tulisi Quattrosta ilmanavaa pitkin kahvalle, josta se jakautuisi molemmille puolille.

6.3 Ensimmäinen prototyyppi

Kahvaan asennettiin kaksi verkosta tilattua jäähdytyspiiliä, joiden mitat olivat 120 mm x 75 mm x 18 mm. Kahvan omia reikiä hyödynnettiin siilien kiinnityksessä. Siilien kiinnityksen jälkeen tarvittiin ilmanjakaja, jonka pystyi kiinnittämään ilmanavaletkun päähän. Ilmanjakaja (kuva 14) suunniteltiin 123D design-nimisellä ilmaisohjelmalla (kuva 13), joka on tarkoitettu 3D-mallintamiseen sekä piirtämiseen ja tulostettiin 3D-printterillä. Jäähdytyspiilit päällystettiin alumiiniteipillä, jolla varmistetaan, että ilma kulkee koko siilin läpi ja tulee päädyistä ulos eikä karkaa välissä mihinkään. Lopuksi 3D-tulostettu ilmanjakaja kiinnitettiin kahvaan (kuva 15).



Kuva 13. 123D Design 3d-suunnitteluohjelma ja ilmanjakajan varhainen versio



Kuva 14. 3D printterillä tulostettu kahvan ilmanjakaja



Kuva 15. Valmis kahvaprototyyppi

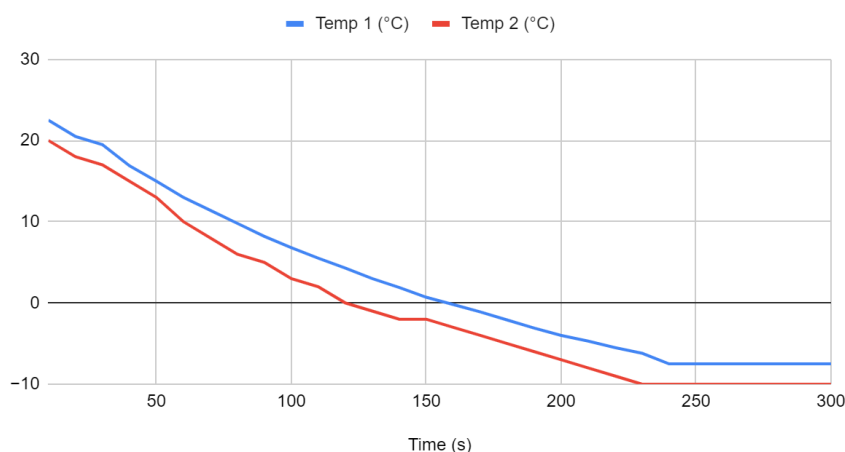
7 Testaus ja tulokset

7.1 Ilmajäähdytteisen kahvan testaus ja tulokset

Kahvaan sijoitettiin kupin sisäpinnalle alumiinilevyyn lämpöanturi, jonka antama data kirjattiin ylös. Samalla myös kahvan oman anturin lukema kirjattiin ylös. Kahva testattiin 23 m/s puhalluksella, mikä oli maksimaalinen puhallusteho, jonka tuottama ääni pysyi vaaditussa meluasteikossa. Lämpötilalukemat kirjoitettiin ylös Excel-taulukkoon ja niistä tehtiin kaavio.

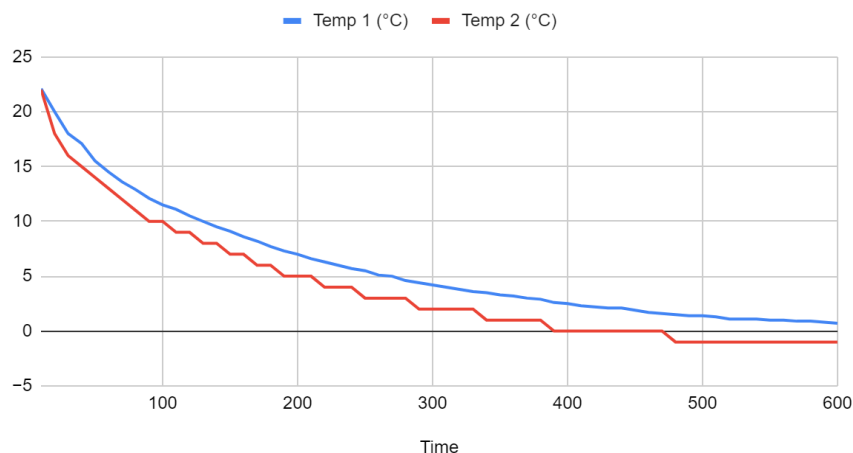
Todettiin, että pelkästään ilmalla jäähdytetty suurimman sallitun kokoluokan omaava siili ja tehokkaimmalla puhalluksella oleva keskipakoispuhallin eivät saaneet jäähdytettyä kahvaa -3 asteeseen vaaditussa aikamäärässä eli kymmenessä minuutissa puhumatakaan siitä, että kahvan pitäisi pystyä lisäksi vielä jäähdyttämään rasvakudosta. Eli voitiin todeta, että hienosäädölläkään ei pelkällä ambientilla ilmanlämpötilalla jäähdyttävästä laitteesta saataisi toimivaa yksikköä (kuvat 16 ja 17).

Vesijäähdytteisen kahvan jäähdytys



Kuva 16. Monolith Quattron vesijäähdytteisen kahvan testikaavio

Puhallus 23 m/s, Ilmanlämpötila 22 °C



Kuva 17. Ilmajäähdytteen kahvan testikaavio ambientilla lämpötilalla

7.2 Kylmällä ilmalla jäähdytetty kahva

Koska ambientilla huoneenlämmöllä ei saatu kahvaa jäähdytettyä, siirryttiin tutkimaan, miten jäähdytyslaitteelle puhalletun ilman lämpötilan laskeminen vaikuttaa siilin jäähdytystehtoon. Eli siilille oli tarkoituksena puhaltaa ambienttia lämpötilaa kylmempää ilmaa ja tarkastella, miten siilen jäähdytysteho parantui puhallettavan ilman lämpötilan laskiessa.

7.3 Xcryo-huippukylmäpuhallin

Kylmän ilman tuottamiseen käytettiin Cryotech Nordicin X°CRYO-paikalliskryoterapia laitetta (kuva 18). X°CRYO on kaasunpuristusprosessiin perustuvan kylmälaitteiston omaava laite, joka puhaltaa kylmää ilmaa suurella virtausnopeudella.

Xcryoa käytetään huippukylmähoitossa paikallisella tasolla ihon pintakudoksen nopeaan jäähdytykseen. Kylmän ilman ja tuulikertoimen avulla tavoitteena on tuottaa hoideville alueelle termoshokki. Ihon lämpötilan pudotessa lyhyessä ajassa lähelle nollaa aiheuttaa ihon pinnalla termoshokin eli eräänlaisen kehon paniikkitilan. Laitteella siis huijataan ihmisen aivoja luomalla jäätymisestä aiheutuvan solukuoleman vaaran. Shokki

aktivoi kehon sympaattista hermostoa ja käynnistää keskushermoston kautta hälytystilan, mikä korostaa elämää suojaavien ja selviytymistä tehostavien hormonien ja entsyymien tuotantoa. [11.]

Xcryossa kylmän ilman tuottamisesta vastaa laitteen sisällä oleva kylmäyksikkö, joka luo kylmää ilmaa höyrystinkotelon sisällä, jonka läpi laitteessa oleva keskipakoispuhallin puhalttaa ilmaa letkuun ja siitä hoitopäähän. Keskipakoispuhallin imee lämmintä ilmaa laitteen päädyistä ja puhalttaa ilman höyrystinkoteloon. Höyrystinkotelossa sijaitsee höyrystin, jossa tapahtuu kylmäaineen höyrystymistä vieden lämpöä höyrystimen ympäristöstä. Puhallettu ilma kylmenee tämän johdosta virratessa höyrystimen läpi ja kyseisen ilman lämpötila putoaa jopa 40 asteella. Kotelosta kylmennyt ilma siirtyy letkuun ja siitä hoitopäähän, josta se virtaa hoidettavalle ihoalueelle madaltaen ihon lämpötilaa.

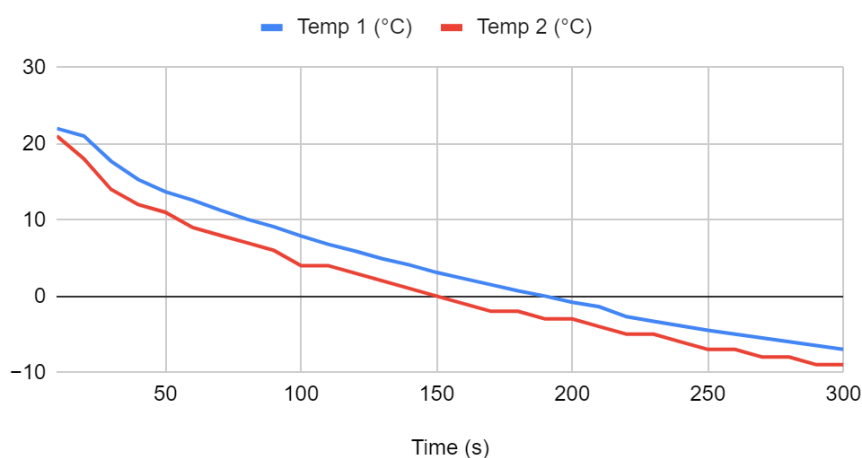


Kuva 18. Cryotech Nordic Ltd:n Xcryo-paikalliskryoterapialaite

7.4 Testitulokset

Kun ilmajäähdytteistä kahvaa jäähdytettiin lämpötiloilla, todettiin, että ilman lämpötilan laskemisella oli merkittävä vaikutus siilin jäähdytystehoon. 15 m/s:n puhalluksella ja -13 °C ilmanlämpötilalla saavutettiin melkein yhtä hyvä jäähdytysteho kuin kahvan omalla vesijäähdyttimellä. Käytössä siis on täysin toimiva ilmajäähdytteinen kryolipolyysikahva (kuva 19).

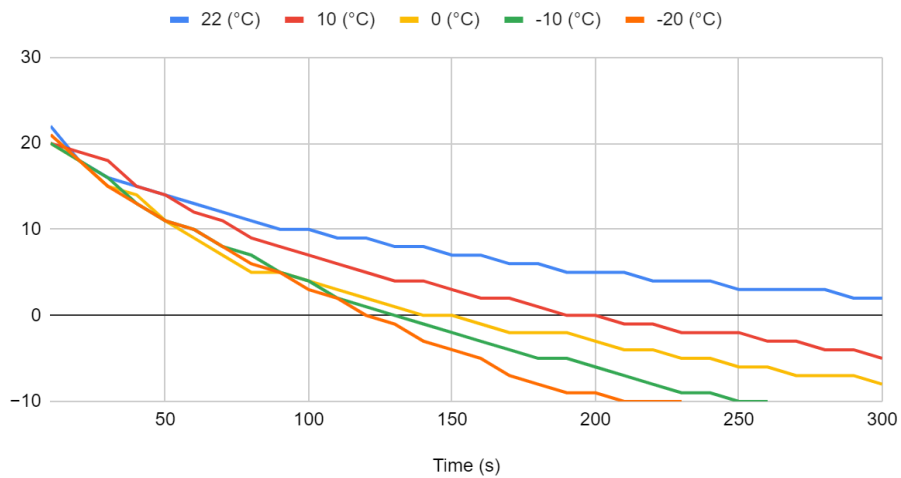
Puhallus 15 m/s, Ilmanlämpötila -13°C



Kuva 19. Ensimmäinen testi kahvalla ambienttia ilmaa kylmemmällä ilmalla

Lisäksi haluttiin vielä tietää, kuinka lineaarisesti ilman lämpötilan pudottaminen vaikutti jäähdytystehoon ja kahvan lämpötilakäyrään. Tämä haluttiin tietää siksi, että saataisiin selville, kuinka lämpimällä ilmalla ilmajäähdytteinen kahva vielä täyttäisi vaadittavat kriteerit sekä riittäisikö kylmä ilma neljälle kryolipolyysikahvalle. Kahvalla tehtiin viisi testiä, joiden tulokset kirjattiin kaavioon ylös. Viidessä testissä (kuva 20) oli kaikissa sama ilman virtausnopeus, mutta puhallettavan ilman lämpötila vaihteli.

Puhallus 20m/s, Kaikki lämpötilat



Kuva 20. Kahvan testaus viidellä eri ilmanlämpötilalla

Tuloksista huomattiin puhallettavan ilman lämpötilan laskemisen korreloivan varsin lineaarisesti jäädyttimen tehon kanssa. Lämpötilakäyrien välinen suhde pysyi lähes samana virhemarginaalin huomioon ottaen. Kaaviosta näkee, että jo kymmenen asteen pudotus ilman lämpötilassa riitti, jotta jäädytyn läpäisi jäädyttimeltä vaaditut edellytykset.



Kuva 21. Ilmajäädytteisen kahvan testaus-asema

8 Systemien hinta

Kun tiedettiin ilmajäähdytteisen kahvan olevan mahdollinen ja toteutuskelpoinen, oli selvitettävä, tulisiko ilmajäähdytteinen Quattro kalliimmaksi kuin vesijäähdytteinen ja jos tulisi niin kuinka paljon. Siispä molempien systemien osista tehtiin luettelo ja osien kokonaiskustannuksista tehtiin arvio.

Vesijäähdytteisen systemin hinta-arvio:

- Vesitankki: 25 €
- Radiaattori: 55 €
- 3 Tuuletinta: 65 €
- 4 Vesipumppua: 105 €
- Vesiliittimet: 40 €
- Neljän kahvan vesiblokit: 60 €

Yhteensä: 350 €

Ilmajäähdytteisen systemin hinta-arvio:

- Kylmätuottokoneisto + kylmäaine: 500 €

- 2 Keskipakoispuhallinta: 70 €
- 8 Jäähdytyskoneita: 80 €
- Ilmaliittimet: 20 €

Yhteensä: 680 €

Systeemien hinnoissa ei hinta arvioiden perusteella ollut merkittävää eroa. Vaikka ilmajäähdytteinen systeemi tulisi kalliimmaksi kuin vesijäähdytteinen, muutaman sadan euron erolla ei ole vaikutusta päätökseen systeemin valinnasta.

9 Johtopäätös

Projektin tarkoituksena siis oli rakentaa ilmajäähdytteinen kryolipolyysikahva sekä tutkia ilmajäähdytteisen systeemin rakentamisen käytännöllisyyttä toteutuskelpoisuutta. Lisäksi kahvan ilmajäähdytysjärjestelmän tilavuuksille sekä melutasolle annettiin parametrit, joita ei saanut ylittää.

Annetuissa tavoitteissa onnistuttiin kahvan kehittämisen ja testaamisen suhteen. Kylmällä ilmalla jäähdyttäessä kahva jäähdytti yhtä hyvin, ellei jopa paremmin kuin vesijäähdytteinen kahva. Tulos oli mielenkiintoinen, joskin oli lievä pettymys, ettei kahvaa saatu jäähdytettyä pelkällä ympäristön ilmanlämpötilalla.

Ilmajäähdytteisen systeemin toteutuskelpoisuutta miettiessä päädyttiin lopputulokseen, että kylmäntuottokoneiston suunnitteleminen ja implementoiminen Monolith Quattro-kryolipolyysilaitteeseen ei olisi järkevää toteuttaa. Laitteen olemassa olevaa kuorta pitäisi muuttaa huomattavasti, jotta kylmäkoneisto saataisiin mahdutettua kuorien sisään. Lisäksi jäi epävarmaksi, mikäli kylmäntuottokoneistossa riittäisi kapasiteetti Quattron neljän kryolipolyysikahvan jäähdyttämiseen samanaikaisesti.

Positiivinen seuraus työstä oli kuitenkin se, että ilmajäähdytteinen kahva todettiin yhteensopivaksi Cryotech Nordic Ltd:n Xcryo paikalliskryoterapia laitteen kanssa. Tämä tarkoitti sitä, että ilmajäähdytteisen kahvan kehitys tulisi jatkumaan Xcryo-laitteelle tarkoitettuna lisä osana ja kahvan kehitys tulisi jatkumaan opinnäytetyön jälkeenkin.

Lähteet

1. Egil Haug, Olav Sand, Öysten V. Sjaastad: Ihmisen fysiologia. WSOY 1999.
2. Fat removal procedures. Wikipedia. Verkkoaineisto. https://en.wikipedia.org/wiki/Fat_removal_procedures. Luettu 01.05.2021.
3. Melvin A. Shiffman, Alberto Di Giuseppe: Liposuction-Principles and Practise. Springer 2006.
4. Melvin A. Shiffman, Alberto Di Giuseppe: Body Contouring. Springer 2010.
5. Kaappola Esko, Aulis Hirvelä, Matti Jokela, Jani Kianta: Kylmätekniiikan perusteet. Opetushallitus 2012.
6. Peltier guide. The heatsink guide. Verkkoaineisto. <http://www.heatsink-guide.com/peltier.htm>. Luettu 28.04.2021.
7. Thermal paste. Intel. Verkkoaineisto. <https://www.intel.com/content/www/us/en/gaming/resources/how-to-apply-thermal-paste.html#>. Luettu 01.05.2021.
8. Forced convection. Energy education. Verkkoaineisto. https://energyeducation.ca/encyclopedia/Forced_convection. Luettu 01.05.2021.
9. Water cooling. Energy education. Verkkoaineisto. https://energyeducation.ca/encyclopedia/Forced_convection. Luettu 29.04.2021.
10. Centrifugal fan. ScienceDirect. Verkkoaineisto. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/centrifugal-fan>. Luettu 01.05.2021.
11. Jane E. Olson, M.A., Vincent D. Stravino, M.D: Physical Therapy. American Physical Therapy Association, Inc 1972.