

Olli Jaakola

JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ LABORATORIOLAITTEILLE

JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ LABORATORIOLAITTEILLE

Olli Jaakola
Opinnäytetyö
Syksy 2023
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Olli Jaakola

Opinnäytetyön nimi: Jäähdytysjärjestelmä laboratoriolaitteille

Työn ohjaajat: Jukka Ylikunnari, Mika Puirava, Kari Mäntyjärvi

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2023

Sivumäärä: 30 + 3 liitettä

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Tulevaisuuden tuotantoteknologiat tutkimusryhmä (FMT), joka toimii osana Oulun yliopiston Kerttu Saalasti instituuttia. FMT-tutkimusryhmä tutkii uusia materiaaleja ja valmistusteknologioita, joita voidaan hyödyntää kevyiden ja kestävien rakenteiden suunnittelussa ja valmistuksessa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella yhteinen jäähdytysjärjestelmä tutkimusryhmän mittaus- ja laserlaboratorioiden laitteille. Laboratoriot sijaitsevat ELME Studiassa, joka on Nivalan Teollisuus-
kylä Oy:n ylläpitämä TKI-infrastrukturi, jonka pääkäyttäjä on Oulun yliopiston Tulevaisuuden tuotantoteknologiat (FMT) ryhmä. Yhteisen jäähdytysjärjestelmän tarkoituksena on säästää jäähdytykseen käytettävää vettä.

Työ toteutettiin mittaamalla ja arvioimalla laitteiden nykyisiä ja tulevia jäähdytysveden tarpeita, pohjimalla mahdollisia laiteratkaisuja ja arvioimalla eri ratkaisujen toiminnallisuutta ja taloudellista kannattavuutta. Työtä varten mitattiin laboratoriolaitteiden jäähdytysveden kulutusta ja lämpötiloja. Mittausten pohjalta tehtiin Excel-laskuri, jonka avulla pystytään laskemaan laiteiden jäähdytystehon tarpeita. Työn tuloksena tehtiin suunnitelma, jossa käydään läpi tärkeimmät jäähdytysjärjestelmään tarvittavat laitteet ja komponentit. Lisäksi jäähdytyslaitteiston pääkomponenteista tehtiin kustannuslaskelmat. Suunnitelma toimii pohjana laboratorioon mahdollisesti rakennettavalle jäähdytysjärjestelmälle.

Lopputuloksena voidaan todeta, että veden säästöstä aiheutuvat kustannussäästöt voivat kattaa jäähdytysjärjestelmän arvioidut rakennuskustannukset jopa vuodessa, jos jäähdytysveden tarve pysyy korkeana. Koska mittauslaboratorion laboratoriolaitteet kuluttavat suurimman osan kaikesta tarvitusta jäähdytysvedestä, olisi todennäköisesti helpompaa ja taloudellisempiä rakentaa pienempi jäähdytysjärjestelmä vain kyseisille laitteille.

Asiasanat: jäähdytysjärjestelmä, veden kulutus, kylmätekniikka

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in energy technology

Author: Olli Jaakola
Title of thesis: Cooling system for laboratory equipment
Supervisors: Jukka Ylikunnari, Mika Puirava, Kari Mäntyjärvi
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2023
Number of pages: 30 + 3 appendices

The client of this thesis is the Future Production Technologies Research Group (FMT), which operates as part of the University of Oulu's Kerttu Saalasti Institute. The FMT research group investigates new materials and manufacturing technologies that can be utilized in the design and manufacture of light and durable structures.

The aim of this thesis was to design a shared cooling system for the equipment of the research group's measurement and laser laboratories. The laboratories are located in Nivala. The purpose of the shared cooling system is to save water used for cooling.

In the work, the current and future cooling water needs of the equipment were measured and evaluated, possible equipment solutions were considered, and the functionality and financial viability of the various solutions were evaluated.

As a result of the work, a plan was drawn up, which reviews the most important equipment and components needed for the cooling system. In addition, cost calculations were made for the main components of the cooling equipment. The plan serves as the basis for the cooling system that may be built in the laboratory.

Keywords: cooling system, water consumption, refrigeration technology

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TILAT JA LAITTEET	7
	2.1 Mittauslaboratorio	8
	2.2 Laserteknologialaboratorio	9
3	JÄÄHDYTYSTARPEET	11
	3.1 Instron 8802 -väsytestausjärjestelmä.....	11
	3.1.1 Mittaustulokset	12
	3.2 TruDisk 3001 ja 4001	13
	3.2.1 Mittaustulokset	13
4	EXCEL-LASKURI	14
	4.1 Materiaalin testausjärjestelmät	14
	4.2 Laserlaitteet.....	16
	4.3 Järjestelmä yhteensä	17
5	JÄÄHDYTYSLAITTEISTO	18
	5.1 Varaaja.....	18
	5.2 Vedenjäähdytin.....	19
	5.3 Pumppu.....	21
	5.4 Putkistot	22
	5.5 Suodatin	22
	5.6 Venttiilit.....	23
6	KUSTANNUSLASKELMAT	24
	6.1 Vedenjäähdytin.....	24
	6.2 Varaaja.....	24
	6.3 Pumppu.....	24
	6.4 Putkistot	24
	6.5 Venttiilit.....	25
	6.6 Koko järjestelmä.....	25
	6.7 Veden säästö	25
7	YHTEENVETO	27
	LÄHTEET.....	29

1 JOHDANTO

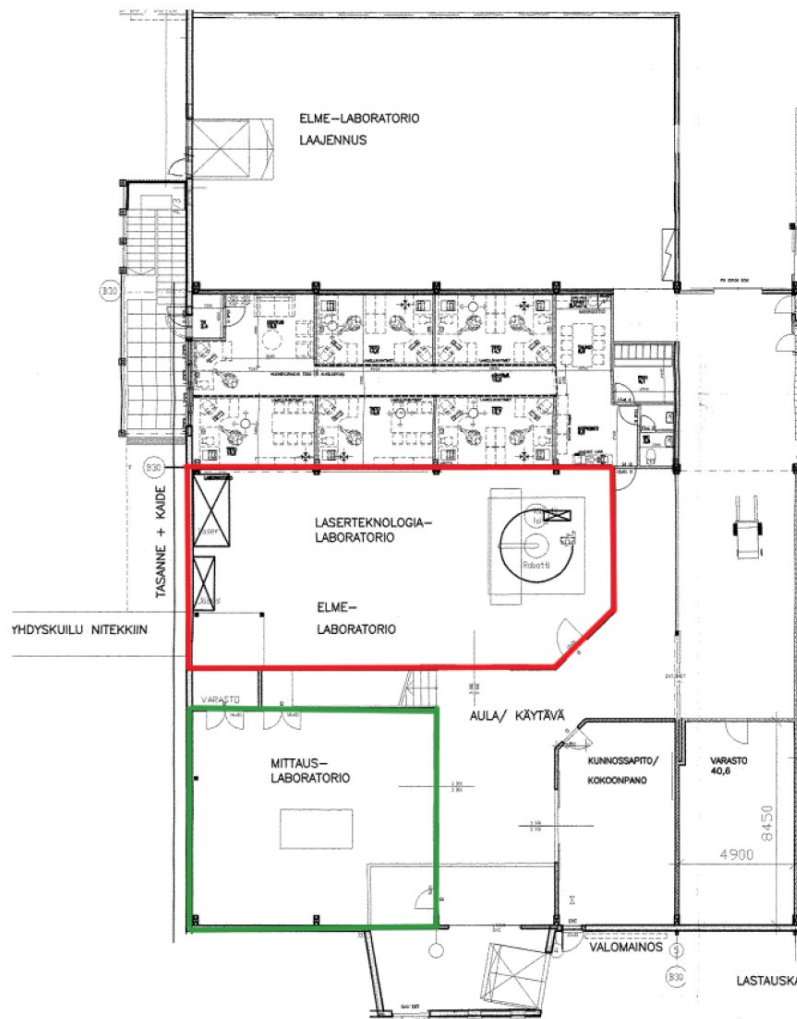
Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Tulevaisuuden tuotantoteknologiat tutkimusryhmä (FMT), joka toimii osana Oulun yliopiston Kerttu Saalasti instituuttia. FMT-tutkimusryhmä tutkii uusia materiaaleja ja valmistusteknologioita, joita voidaan hyödyntää kevyiden ja kestävien rakenteiden suunnittelussa ja valmistuksessa. Tutkimusryhmän tutkii laajasti tuotantotekniikan eri osa-alueita, kuten tuotantoautomaation kustannustehokkuutta ja erikoisterästen hyödyntämistä. Hanketoiminnalla tutkimusryhmä tuottaa tuotantoteknologioista tieteellistä tutkimusta, jota paikalliset yritykset voivat hyödyntää kilpailukykyensä parantamiseksi. Vuodesta 2004 lähtien FMT-ryhmä on toteuttanut yli 30 julkisrahoitteista hanketta. (1.)

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella yhteinen jäähdytysjärjestelmä tutkimusryhmän mittaus- ja laserlaboratorioiden laitteille. Laboratoriot sijaitsevat ELME Studiossa, joka on Nivalan Teollisuuskylä Oy:n ylläpitämä TKI-infrastruktuuri, jonka pääkäyttäjä on Oulun yliopiston Tulevaisuuden tuotantoteknologiat (FMT) ryhmä. Yhteisen jäähdytysjärjestelmän päätavoitteena on säästää jäähdytykseen käytettävää vettä.

Työ toteutetaan mittaamalla ja arvioimalla laitteiden nykyisiä ja tulevia jäähdytysveden tarpeita, pohtimalla mahdollisia laiteratkaisuja ja arvioimalla eri ratkaisujen toiminnallisuutta ja taloudellista kannattavuutta.

2 TILAT JA LAITTEET

Nivalassa sijaitsevassa Oulun yliopiston rakennuksessa on useita tiloja, joissa tutkitaan materiaalien ominaisuuksia ja valmistusmenetelmiä. Tämä opinnäytetyö keskittyy laserteknologia- ja mittauslaboratorion laitteiden jäähdytysjärjestelmän suunnitteluun. Kyseiset laboratoriot sijaitsevat vierekkäin, mikä mahdollistaa yhtenäisen jäähdytysjärjestelmän kehittämisen laitteille. Laserteknologia-laboratorio on merkattu kuvaan 1 punaisella ja mittauslaboratorio vihreällä.



KUVA 1. Laboratorioiden pohjapiirustus (2)

2.1 Mittauslaboratorio

Mittauslaboratoriossa on tällä hetkellä käytössä kaksi materiaalien testausjärjestelmää. Ensimmäinen laitteista on Instron 8802 -servohydraulinen väsytestausjärjestelmä (Kuva 2). Laitteella testataan eri materiaaleista valmistettujen komponenttien väsymisenkestoa. Toinen laitteista on MTS 810 -materiaalintestausjärjestelmä, jolla voidaan testata materiaalien käyttäytymistä eri olosuhteissa (Kuva 3).

Testausjärjestelmät kuluttavat käytön aikana paljon jäähdytysvettä. Jäähdytyksessä käytetty vesi otetaan suoraan vesijohtoverkosta ja johdetaan testausjärjestelmien lämmönsiirtimien jälkeen suoraan viemäriin, mistä aiheutuu ylimääräisiä kustannuksia.



KUVA 2. Instron 8802 -servohydraulinen väsytestausjärjestelmä (3)



KUVA 3. MTS 810 -materiaalientestausjärjestelmä (4)

2.2 Laserteknologialaboratorio

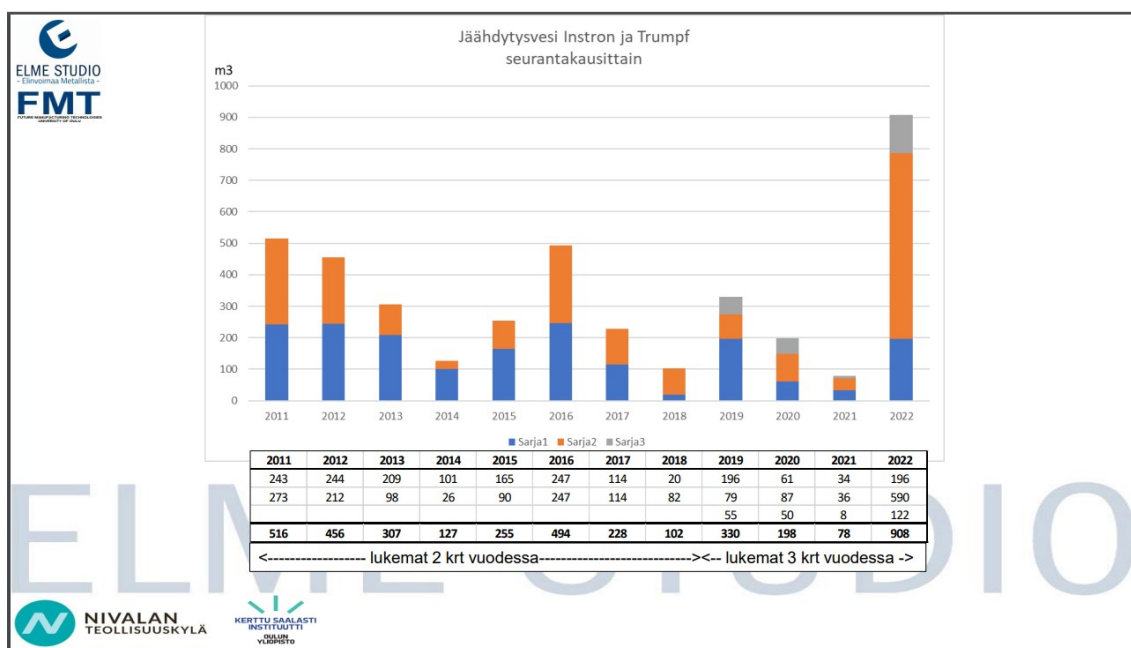
Laserteknologialaboratoriossa on käytössä kaksi Trumpfin TruDisk -laserlaitetta (Kuva 4). TruDisk 3001:n nimellisteho on 3 kW ja TruDisk 4001:n nimellisteho on 4 kW. Laserlaitteilla voidaan leikata eri materiaaleja haluttuun muotoon tai hitsata metallikappaleita. Myös laserlaitteet ottavat käytön aikana tarvitsemansa jäähdytysveden suoraan vesijohtoverkosta, ja se johdetaan laitteista suoraan viemäriin.



KUVA 4. TruDisk laserlaitteet

3 JÄÄHDYTYSTARPEET

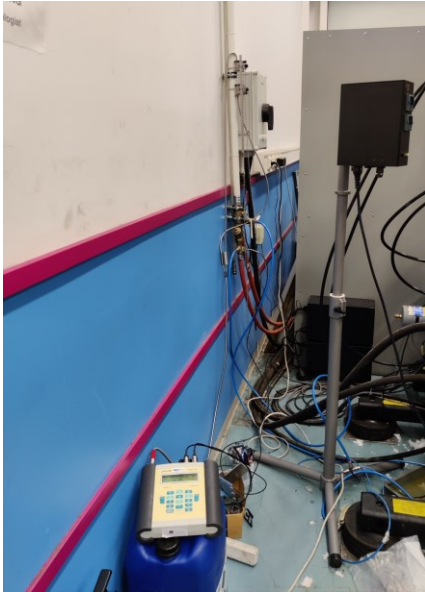
Laser- ja mittauslaboratorion laitteiden käyttö ja näin ollen jäähdytysveden kulutus ovat epäsäännöllisiä. Jäähdytysveden kulutusta voidaan kuitenkin tarkastella vuositasolla (Kuva 5). Vuosittaista jäähdytysveden kulutusta voidaan hyödyntää arvioitaessa suurinta tarvittavaa jäähdytysveden määrää. Opinnäytetyön toimeksiantaja arvioi, että kun verrataan Instron 8802- laitetta ja TruDisk-laitteita vuositasolla, Instron kuluttaa noin 95 % laitteiden yhteensä tarvitsemasta jäähdytysvedestä.



KUVA 5. Jäähdytysveden kulutus vuosittain (5)

3.1 Instron 8802 -väsytestausjärjestelmä

Instron 8802 -testausjärjestelmän käytön aikaisen jäähdytystarpeen selvittämiseksi suoritettiin mittauksia Flexim Fluxus F60x -ultraäänimittauslaitteella. Mittauksessa mittarin ultraääni- ja lämpötila-anturit asetettiin jäähdytysveden meno- ja tuloputkien pintaan. (Kuva 6.) Tämän jälkeen mittari voidaan asettaa ilmoittamaan haluttua arvoa kuten lämpövirtaa, lämpötilaa tai virtaamaa.



KUVA 6. Mittauslaitteisto

Mittausten avulla pystyttiin selvittämään testausjärjestelmän käytönaikainen jäähdytysveden meno- ja tulolämpötila sekä virtaama. Mittauslaitteen ilmoittamat lämpötilat pystyttiin myös varmistamaan lämpökameran avulla. Mittausilanteessa testausjärjestelmää käytettiin teholla, joka on hyvin lähellä järjestelmän maksimaalista tehoa.

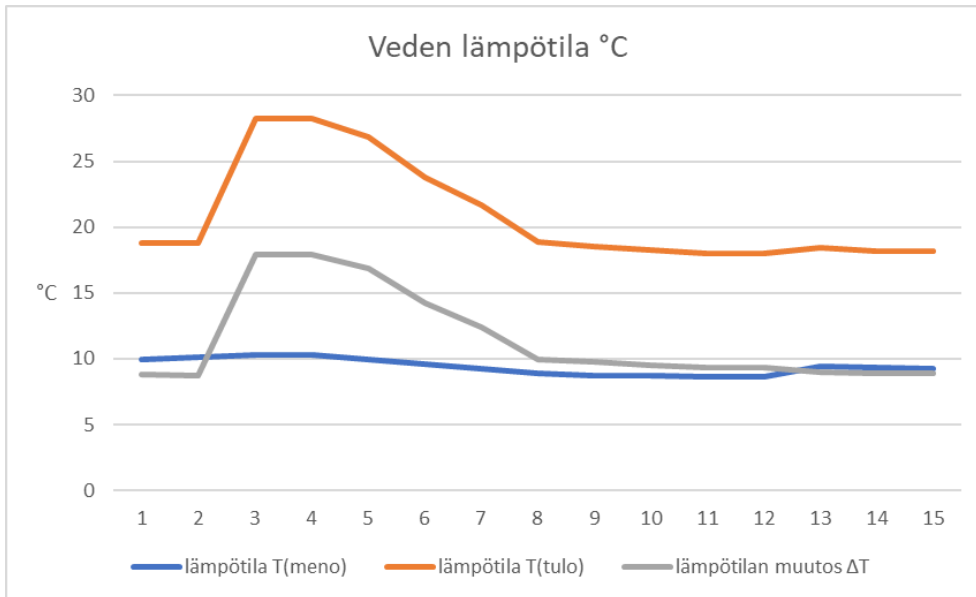
Testausjärjestelmän jäähdyttäminen käytön aikana ei ole jatkuvaa. Jäähdytyslaite ottaa vesijohtoverkosta jäähdytysvettä, kun järjestelmän öljyn lämpötila ylittää $38\text{ }^{\circ}\text{C}$, ja veden virtaus katkeaa, kun öljyn lämpötila jäähtyy $36\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilaan. Tarvittava lämpömäärä, joka tarvitaan testausjärjestelmän jäähdyttämiseen, vaihtelee myös hyvin paljon sen mukaan, millä teholla järjestelmää käytetään. Lisäksi järjestelmän jäähdytystarpeeseen vaikuttavat ulkoiset tekijät, kuten esimerkiksi laboratorion sisälämpötila ja vesijohtoverkosta otetun veden lämpötila.

3.1.1 Mittaustulokset

Mittaustuloksista pystyttiin arvioimaan, että käytetyllä teholla jäähdytysveden tulolämpötila on keskimuuttoa korkeammalla noin 30 sekuntia jäähdytysyöyklin alkamisesta ja tasoittuu sen jälkeen nopeasti. Ajetulla teholla lämpötila nousee aluksi noin $28\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilaan ja jäähtymisen jälkeen tasoittuu noin $18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilaan. (Kuva 7.) Jäähdytysveden menolämpötila öyklin aikana on noin $9,4$

°C. Tuloveden keskilämpötila syklin aikana on noin 21,4 °C. Jäähdytysveden virtaama on jäähdytysyksen aikana 0,2 l/s. Mittausten aikana jäähdytysyksen kesto oli keskimäärin 115 s ja tauko syklin välillä oli myös keskimäärin 115 s.

Mittaustuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että mittauslaite lopetti ilmoittamasta mitattua arvoa muutamiksi sekunneiksi epäsäännöllisin väliajoin. Tämän takia mittausarvojen väli ei ole mittaustuloksissa säännöllinen.



KUVA 7. Instron 8802 -laitteen jäähdytysveden lämpötilat

3.2 TruDisk 3001 ja 4001

Myös TruDisk 3001 ja 4001-laitteiden käytön aikaisen jäähdytystarpeen selvittämiseksi suoritettiin mittauksia Flexim Fluxus F60x -ultraäänimittauslaitteella. Mittaukset suoritettiin asettamalla mittarin ultraääni- ja lämpötila-anturit jäähdytysveden meno- ja tuloputkien pintaan. Mittausten avulla selvitettiin käytönaikainen jäähdytysveden meno- ja tulolämpötila sekä virtaama.

3.2.1 Mittaustulokset

TruDisk laitteissa jäähdytysveden virtaama pysyy tasaisena koko laitteen käytön ajan. Virtaamaan suuruus on noin 8 l/min. Jäähdytysveden menolämpötilaksi käytön aikana mitattiin noin 9,4 °C ja tulolämpötilaksi noin 25,1 °C. Jäähdytysveden menopaine on vesijohtoverkosta saatava 2,7 bar. TruDisk-laitteet vaativat toimiakseen jäähdytysvettä, jonka lämpötila on alle 10 °C.

4 EXCEL-LASKURI

Jäähdytysjärjestelmän suunnittelussa hyödynnettiin Excel-tilukkolaskentaohjelmaa. Työn toimeksiantajan pyynnöstä ohjelmalla tehtiin laskuri, jolla eri laitteiden jäähdytyksen tehon- ja energiantarpeet voidaan selvittää muuttamalla haluttuja alkuarvoja laskurissa. Laskurin avulla toimeksiantaja pystyy laskemaan laitteiden energiantarpeet, jos laboratorioon tuodaan tulevaisuudessa uusia vesijäähdytteisiä laitteita tai nykyisiin laitteisiin tehdään muutoksia. Tässä työssä esitettyjen laskujen alkuarvot perustuvat laboratorioissa tehtyjen mittausten tuloksiin. Kuvat Excel-laskurista löytyvät liitteistä.

4.1 Materiaalin testausjärjestelmät

Materiaalin testausjärjestelmien jäähdytysveden massavirta q_m laskettiin kaavalla 1.

KAAVA 1. Massavirran laskentakaava (6, s.99).

$$q_m = q_v * \rho$$

jossa,

q_v = jäähdytysveden tilavuusvirta

ρ = veden tiheys

Instron 8802 -laitteen massavirta:

$$q_m = 0,0002 \frac{m^3}{s} * 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$q_m = 0,2 \frac{kg}{s}$$

MTS 810 -laite otettiin käyttöön Nivalan laboratoriossa tänä syksynä. Laitteen tarvitsema jäähdytystehon tarve arvioitiin alun perin olevan yhtä suuri kuin Instron 8802 -laitteella. Käytön aikana kuitenkin huomattiin, että laitteen tarvitsema jäähdytysveden tarve on todellisuudessa 16 l/min eli 0,00027 m³/s.

MTS 810 -laitteen massavirta:

$$q_m = 0,00027 \frac{m^3}{s} * 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$q_m = 0,27 \frac{kg}{s}$$

Materiaalintestausjärjestelmien tuottama lämpöteho laskettiin kaavalla 2.

Kaava 2. Lämpötehon laskentakaava (6, s.111).

$$\phi = q_m c \Delta T$$

jossa,

q_m = jäähdytysveden massavirta

c = aineen ominaislämpökapasiteetti

ΔT = lämpötilaero

Instron 8802 -laitteen lämpöteho:

$$\phi = 0,2 \frac{kg}{s} * 4,2 \frac{kJ}{kgK} * 12 K$$

$$\phi = 10080 W$$

MTS 810 -laitteen lämpöteho:

$$\phi = 0,27 \frac{kg}{s} * 4,2 \frac{kJ}{kgK} * 12 K$$

$$\phi = 13608 W$$

Instron 8802 -laitteen jäähdytys tapahtuu sykleissä. Syklien ja niiden välisten taukojen kesto vaihtelee käytetyn tehon ja ulkoisten tekijöiden, kuten sisälämpötilan ja veden lämpötilan mukaan. Tämän vuoksi kumpaakin arvoa pystytään muuttamaan Excel-laskurissa. Kun syklin kesto on tiedossa, voidaan selvittää kaavalla 3 syklin aikana jäähdytysvedeen siirtynyt energiamäärä kertomalla lämpöteho syklin ajalla.

Kaava 3. Lämpöenergian laskentakaava (6, s.111).

$$Q = \phi * t$$

jossa,

$$Q = \text{lämpöenergia}$$

$$\phi = \text{lämpöteho}$$

$$t = \text{jäähdytysyökin aika sekunteina}$$

Instron 8802 -laitteen jäähdytysyökin aikana veteen luovutettu lämpöenergia:

$$Q = 10080 \text{ W} * 115 \text{ s}$$

$$Q = 1159,2 \text{ kJ}$$

Instron 8802 -laitteen jäähdytysveden virtaama tunnissa laskettiin kaavalla 4.

Kaava 4. Jäähdytysveden virtaama tunnissa.

$$\left(\frac{3600 \text{ s}}{\text{jäähdytysyöki} + \text{tauko}} \right) * \text{jäähdytysveden virtaama}$$

Instron 8802 -laitteen jäähdytysveden virtaama tunnissa:

$$\left(\frac{3600 \text{ s}}{115 \text{ s} + 115 \text{ s}} \right) * 0,2 \text{ l/s}$$

$$= 360 \text{ l/h}$$

4.2 Laserlaitteet

Myös laserlaitteiden jäähdytysveden massavirta laskettiin kaavalla 1. Kummankin laserlaitteen jäähdytysveden virtaama oletetaan samansuuruiseksi.

Laserlaitteiden massavirta:

$$q_m = 0,00013 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q_m = 0,13 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Laserlaitteiden lämpöteho laskettiin kaavalla 2.

Laserlaitteiden lämpöteho:

$$\phi = 0,13 \frac{kg}{s} * 4,2 \frac{kJ}{kgK} * 15,7 K$$

$$\phi = 8572,2 W$$

4.3 Järjestelmä yhteensä

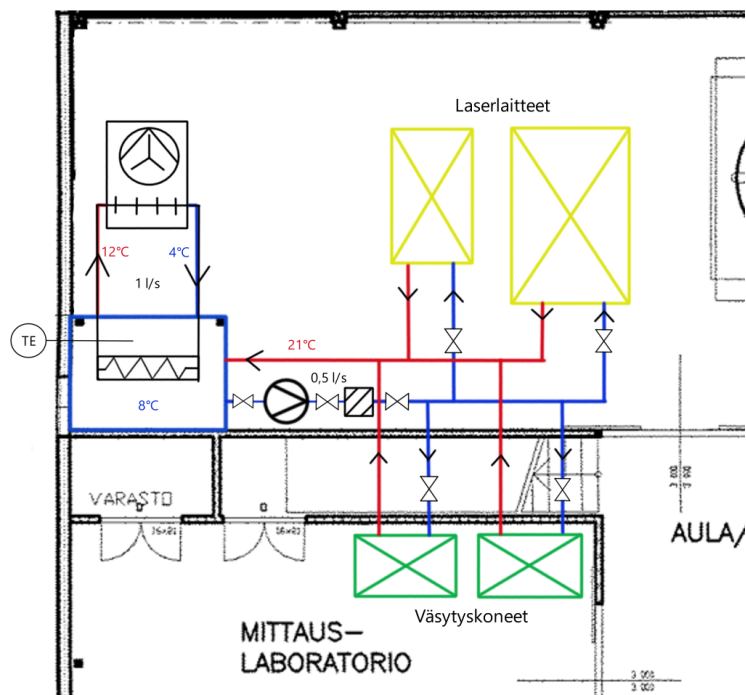
Kun kaikkien laitteiden lämpötehot lasketaan yhteen, saadaan selville, kuinka paljon koko järjestelmän lämpöteho on. Mitoitusarvoilla laskettuna koko järjestelmän jäähdytysveden hetkelliseksi maksimivirtaamaksi saadaan 0,73 l/s ja lämpötehoksi 40,8 kW. Jos laitteiden jäähdytysveden tarpeita tarkastellaan esimerkiksi tuntitasolla, huomataan, että todellinen jäähdytysveden tarve on hetkellistä maksimivirtaamaa pienempi. Instron 8802 syklisen jäähdytyksen takia niiden todellinen jäähdytysveden tarve on 360 l/h eli keskimäärin 0,1 l/s.

Laserlaitteiden käytönajat ovat usein lyhyitä. Esimerkiksi, kun laitteiden jäähdytysveden kulutusta mitattiin, Trudisk 3001 -laitteella tehtiin useita leikkauksia metallilevyihin ja jokainen leikkaus kesti keskimäärin 100 sekuntia. Näin ollen laserlaitteet aiheuttavat lyhytkestoisia piikkejä jäähdytystehon tarpeeseen.

Kun edellä mainitut asia otetaan huomioon, voidaan arvioida, että todellinen jäähdytysveden virtaama, joka laitteille maksimissaan tarvitaan, on 0,5 l/s. Jos oletetaan, että laitteilta tulevan veden lämpötila on keskimäärin 21 °C ja vesi on jäähdytettävä 8 °C:een tarvitaan kaavalla 2 laskettuna 27,3 kW jäähdytysteho. Koska laboratoriolaitteita voidaan käyttää yhtäjaksoisesti hyvinkin pitkiä aikoja, jäähdytysjärjestelmän on pystyttävä jäähdyttämään laitteilta palaava lämmin vesi nopeasti.

5 JÄÄHDYTYSLAITTEISTO

Jäähdytysjärjestelmässä on kaksi erillistä jäähdytyskiertoa. Ensimmäisessä kierrossa jäähdytetty vesi kiertää varaajasta laboratoriolaitteille ja palaa sen jälkeen takaisin varaajan, jossa se jäähdytetään uudestaan. Toisessa kierrossa kulkee kylmä vesi-glykoliseos, jolla jäähdytetään varaajassa oleva vesi. (Kuva 8.) Jäähdytysjärjestelmä on toteutettava niin, että esimerkiksi järjestelmän huollon aikana laboratoriolaitteita on mahdollista jäähdyttää vesijohtoverkon vedellä.



KUVA 8. Jäähdytysjärjestelmän kytkentäkaavio

5.1 Varaaja

Järjestelmän varaajaksi tarvitaan hyvin eristetty vesisäiliö, jotta ympäristön lämpötila lämmittää säiliön vettä mahdollisimman vähän. Varaajan vettä jäähdytetään erillisellä kierrolla, joka kulkee säiliön sisällä olevassa jäähdytyskierukassa. Jäähdytyskierto käynnistyy, kun varaajassa olevan veden lämpötila nousee lähelle asetettua maksimilämpötilaa. Koska materiaalintestauslaitteiden käyttäjät ovat pitkiä, jäähdytyskierto olisi aina päällä, kun näitä laitteita käytetään. Esimerkiksi Gebwellin valmistama G-Energy Custom erikoisvaraaja, johon voidaan lisätä LK90 -lämminkäyttövesikierukka, voisi toimia järjestelmän varaajana (Kuva 9,10) (7). LK90 -lämminkäyttövesikierukka toimisi varaajan jäähdytyskierukkana. Kyseisessä kierukassa on suuri lämmönsiirtopinta-ala ja se soveltuu 2000–5000 litran varaajiin. (8.)



KUVA 9. Gebwell G-Energy Custom varaaja (7)



KUVA 10. Gebwell lämminkäyttövesikierukka (8)

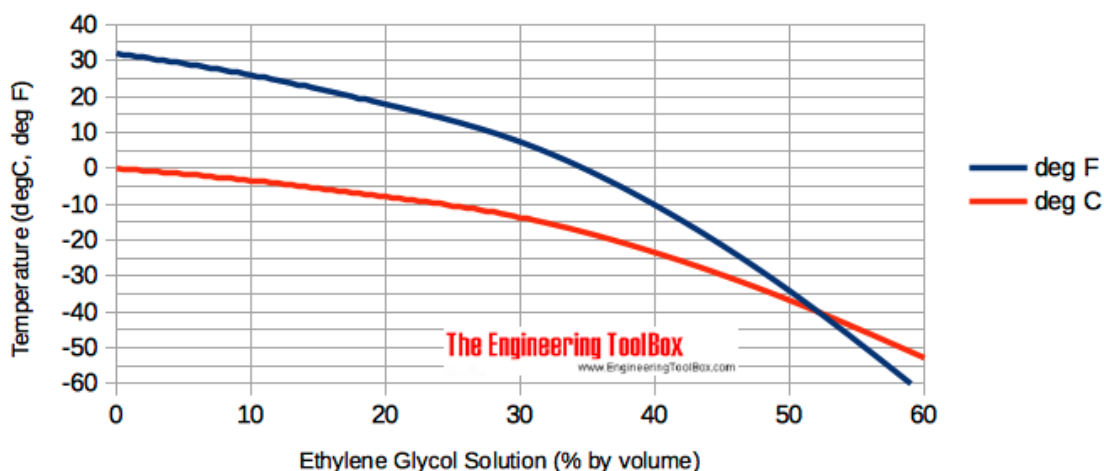
5.2 Vedenjäähdytin

Varaajan jäähdytyskierukassa kulkeva vesi-glykoliseos jäähdytetään ilmalauhdutteisella vedenjäähdytyskoneella. Vedenjäähdytyskone on välillinen jäähdytysjärjestelmä, jonka sisällä kulkeva kylmäaine jäähdytetään ilmavirran avulla. Jäähdytetty kylmäaine on lämmönsiirtimen välityksellä kosketuksissa jäähdytettävään aineeseen. (9, s.77.)

Vedenjäähdytin sijoitetaan laboratoriorakennuksen katolle, joten sen kautta kulkevaan kiertoon on lisättävä glykolia, joka estää seosta jäätymästä talvikuukausina. Seoksessa voidaan käyttää joko monoetyleeniglykolia (MEG) tai monopropyleeniglykolia (MPG). Monoetyleeniglykolilla on paremmat lämmönsiirto-ominaisuudet kuin monopropyleeniglykolilla ja se on hinnaltaan edullisempaa, mutta se on myös näistä kahdesta aineesta myrkyllisempää. Glykolin pitoisuus seoksessa on valettava tarpeeksi suureksi, jotta järjestelmä toimii myös vuoden kylmimpinä päivinä. (10.) Kuvasta 11 voidaan päätellä, että jos seoksen monoetyleeniglykolin pitoisuus on 40 %, seoksen jäätymispiste on noin -25 °C.

Water and Ethylene Glycol

Freezing Point



KUVA 11. vesi-glykoliseosten jäätymispisteet (11)

Taulukoista 1 ja 2 nähdään että 40 % monoetyleeniglykolin lämpökapasiteetti on 3,595 kJ/kgK ja tiheys 1072 kg/m³. Jos vedenjäähdyttimen tuottama virtaama on 1 l/s voidaan massavirraksi laskea kaavalla 1 1,072 kg/s. Jos vedenjäähdyttimeltä tulevan seoksen lämpötila on 4 °C ja arvioidaan että seos lämpenee varaajassa 12 °C:een voidaan kaavalla 2 laskea lämpötehoksi 30,8 kW, joka on suurempi kuin koko järjestelmän jäähdytykseen tarvittava lämpöteho.

Ethylene Glycol Water Solution Heat-Transfer Fluid - Specific Heat																	
Ethylene Glycol Solution (% by weight)	Specific Heat - c_p (Btu/lb °F) [kJ/kg °C]																
	Temperature (°C) (°deg F)																
	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
0						1.0038 4.203	1.0018 4.195	1.0004 4.189	0.99943 4.185	0.99902 4.183	0.99913 4.186	0.99978 4.191	1.0009 4.198	1.0026 4.208	1.0049 4.219	1.0076 4.219	
10						0.97236 4.071	0.97422 4.079	0.97619 4.087	0.97827 4.096	0.98047 4.105	0.98279 4.115	0.98521 4.125	0.98776 4.136	0.99041 4.147	0.99318 4.158	0.99607 4.171	
20						0.93576 3.918	0.93976 3.935	0.94375 3.951	0.94775 3.968	0.95175 3.985	0.95574 4.002	0.95974 4.018	0.96373 4.035	0.96773 4.052	0.97173 4.069	0.97572 4.085	
30					0.89373 3.742	0.89889 3.764	0.90405 3.785	0.90920 3.807	0.91436 3.828	0.91951 3.85	0.92467 3.872	0.92982 3.893	0.93498 3.915	0.94013 3.936	0.94529 3.958	0.95044 3.979	
40			0.84605 3.542	0.85232 3.569	0.85858 3.595	0.86484 3.621	0.87111 3.647	0.87737 3.674	0.88364 3.7	0.88990 3.726	0.89616 3.752	0.90243 3.778	0.90869 3.805	0.91496 3.831	0.92122 3.857	0.92748 3.883	
50		0.79288 3.32	0.80021 3.35	0.80753 3.381	0.81485 3.412	0.82217 3.442	0.82949 3.473	0.83682 3.504	0.84414 3.534	0.85146 3.565	0.85878 3.596	0.86610 3.626	0.87343 3.657	0.88075 3.688	0.88807 3.718	0.89539 3.749	
60	0.72603 3.04	0.73436 3.075	0.74269 3.11	0.75102 3.145	0.75935 3.179	0.76768 3.214	0.77601 3.249	0.78434 3.284	0.79267 3.319	0.80100 3.354	0.80933 3.389	0.81766 3.424	0.82599 3.458	0.83431 3.493	0.84264 3.528	0.85097 3.563	
70	0.67064 2.808	0.67992 2.847	0.68921 2.886	0.69850 2.925	0.70778 2.963	0.71707 3.002	0.72636 3.041	0.73564 3.08	0.74493 3.119	0.75422 3.158	0.76350 3.197	0.77279 3.236	0.78207 3.275	0.79136 3.313	0.80065 3.352	0.80993 3.391	
80	0.61208 2.563	0.62227 2.605	0.63246 2.648	0.64265 2.691	0.65285 2.733	0.66304 2.776	0.67323 2.819	0.68343 2.862	0.69362 2.904	0.70381 2.947	0.71401 2.99	0.72420 3.032	0.73439 3.075	0.74458 3.118	0.75478 3.16	0.76497 3.203	
90			0.58347 2.443	0.59452 2.489	0.60557 2.536	0.61662 2.582	0.62767 2.628	0.63872 2.674	0.64977 2.721	0.66082 2.767	0.67186 2.813	0.68291 2.859	0.69396 2.906	0.70501 2.952	0.71606 2.998	0.72711 3.044	0.73816 3.091
100				0.53282 2.231	0.54467 2.281	0.55652 2.33	0.56838 2.38	0.58023 2.429	0.59209 2.479	0.60394 2.529	0.61579 2.578	0.62765 2.628	0.63950 2.678	0.65136 2.727	0.66321 2.777	0.67506 2.826	0.68691 2.875

TAULUKKO 1. Vesi-glykoliseosten lämpökapasiteetit (11)

Ethylene Glycol Water Solution Heat-Transfer Fluid - Density												
Mass Fraction of Ethylene Glycol in Solution	Density - ρ - (kg/m ³) (lb/ft ³)											
	Temperature - t - (°C) (°F)											
	-48	-35	-25	-14	-8	-4	0	20	40	60	80	100
0							1000	998	992	983	972	958
0.1						1019	1018	1014	1008	1000	992	984
0.2					1038	1037	1036	1030	1022	1014	1005	995
0.3				1058	1056	1055	1054	1046	1037	1027	1017	1007
0.4			1080	1077	1075	1073	1072	1063	1052	1041	1030	1018
0.5		1103	1100	1096	1093	1092	1090	1079	1067	1055	1042	1030
0.6	1127	1124	1120	1115	1112	1110	1107	1095	1082	1068	1055	1042

TAULUKKO 2. Vesi-glykoliseosten tiheydet (11)

Vedenjäähdyttimen teho kannattaa kuitenkin olla suurempi kuin jäähdytykseen tarvittava teho koska jäähdyttimen hyötysuhde ei ole 100 %. Lisäksi Vedenjäähdyttimen valinnassa kannattaa ottaa huomioon, että laboratorion jäähdytystarpeet voivat kasvaa tulevaisuudessa. Esimerkiksi Carrierin AquaSnap 30RB -ilmalauhdutteinen vedenjäähdytin voisi olla järjestelmän vedenjäähdytin (Kuva 12). Vedenjäähdyttimen teho on 40–160 kW ja siihen on saatavilla useita järjestelmässä tarvittavia lisävarusteita kuten integroitu puskurisäiliö ja pumppumoduuli. (12.)



KUVA 12. Carrier AquaSnap 30RB -ilmalauhdutteinen vedenjäähdytin (12)

5.3 Pumppu

Jäähdytysveden pumppaamiseen laitteille tarvitaan pumppu, jolla pystytään pumppaamaan hetkellinen maksimivirtaama eli 0,73 l/s. Lisäksi pumpulla pitää pystyä tuottamaan laitteille vähintään 2,7 bar:in paine, joka saadaan tällä hetkellä vesijohtoverkosta. Esimerkiksi Grundfos valmistaa kiertovesipumppuja, joita käytetään usein jäähdytysjärjestelmissä. Yhtenä tärkeimpänä tekijänä

pumpulle on, että sen toimintaa pitää pystyä säätämään ja valvomaan mahdollisimman tehokkaasti. Näin ollen yhtenä vaihtoehtona pumpuksi olisi Grundfos Magna3 32-120F kiertovesipumppu (Kuva 13). (13.)



KUVA 13. Grundfos Magna-sarja kiertovesipumppu (13)

5.4 Putkistot

Tällä hetkellä laboratoriolaitteiden menovesiputkissa on käytössä useita putkikokoja ja -materiaaleja. Suunnitellussa jäähdytysjärjestelmässä varaajalta laitteille ja vedenjäähdyttimestä jäähdytyskierukkaan kulkevat putket olisi valmistettu komposiitista. Komposiittiputket ovat metallisia putkia halvempia ja kestävät hyvin korroosiota ja lämpötilan vaihtelua. Putkikokona voidaan käyttää DN 32:ta.

5.5 Suodatin

Suljettuihin jäähdytysjärjestelmiin kertyy usein käytön aikana epäpuhtauksia. Epäpuhtauksia pääsee järjestelmiin esimerkiksi pumpun kulumisen, korroosion tai järjestelmän työstön aikana. Epäpuhtauksia voidaan ehkäistä suodattimien avulla. (14.)

Suodatus voidaan tehdä joko täysvirtasuodatuksella tai sivuvirtasuodatuksella. Täysvirtasuodatuksessa koko virtaus kulkee suodattimen läpi. Koska suodattimesta aiheutuva painehäviö ei saa

olla liian suuri, voidaan täysvirtasuodattimella suodattaa vain suurempikokoisia partikkeleita. Täysvirtasuodatin sijoitetaan usein järjestelmän lämmönvaihtimen eteen. (14.)

Sivuvirtasuodatuksessa suodatetaan vain osa järjestelmässä virtaavasta liuksesta. Suodatin sijoitetaan pumpun yhteyteen ja virtaus suodattimessa syntyy pumpun paine-erosta. Sivuvirtasuodatuksessa voidaan käyttää huomattavasti suurempaa suodatintihelyttä kuin täysvirtasuodatuksessa. (14.)

5.6 Venttiilit

Jäähdytysjärjestelmään on sijoitettava useita sulkuventtiileitä. Koska kaikki laboratoriolaitteet eivät ole aina yhtäaikaisesti käytössä, ne pitää pystyä sulkemaan pois järjestelmästä, kun niitä ei käytetä. Sulkuventtiilit mahdollistavat myös sen, että putkiverkoston kytketyt laitteet ja komponentit voidaan irrottaa verkostosta helposti esimerkiksi laitteiden huollon aikana. Yleisimmin käytettyjä sulkuventtiileitä ovat palloventtiilit, koska niillä on pieni painehäviö, ne ovat edullisia ja niissä on hyvä tiiviys (14). Esimerkiksi Oraksen valmistama palloventtiili, jotka sopivat järjestelmään (Kuva 14) (15).



KUVA 14. Oraksen valmistama palloventtiili (15)

6 KUSTANNUSLASKELMAT

6.1 Vedenjäähdytin

Kun tiedetään jäähdytysjärjestelmän pääkomponentit, voidaan arvioida paljonko järjestelmän rakentamisen tulisi maksamaan. Vedenjäähdytin on kallein osa jäähdytysjärjestelmää. Vedenjäähdyttimen lopullinen hinta riippuu valitusta tehosta ja lisävarusteista. Esimerkiksi Carrierin AquaSnap 30RB -ilmalauhdutteen vedenjäähdyttimen jälleenmyyntihinta on noin 20 000 € (16).

6.2 Varaaja

Yhtenä vaihtoehtona järjestelmän varaajaksi olisi Gebwell G-Energy Custom- varaaja. Kyseinen varaajatyypin kustomoidaan asiakkaalle, joten sen lopullista hintaa on vaikea arvioida. Gebwell G-Energy -sarjan 2000 litran varaajien hinnat jälleenmyyjillä ovat noin 4500 €. (17.) Lisäksi varaajaan on lisättävä jäähdytyskierukka. G-Energy Custom -varaajaan voidaan lisätä lämminkäyttövesikierukka, jota voidaan käyttää tässä järjestelmässä vesi-glykolikierrolle. Esimerkiksi LK90-käyttövesikierukan jälleenmyyntihinta on noin 1000 € (18).

6.3 Pumppu

Järjestelmään soveltuvia pumppumalleja on tarjolla useilla eri valmistajilla. Yhtenä vaihtoehtona jäähdytysjärjestelmän pumpuksi olisi Grundfos Magna3 32-120F kiertovesipumppu. Pumpun jälleenmyyntihinta on 2 256 €. (13.)

6.4 Putkistot

Suunnitellussa jäähdytysjärjestelmässä varaajalta laitteille ja vedenjäähdyttimestä jäähdytyskierukkaan kulkevat putket on valmistettu komposiitista. Putkikoko järjestelmän putkistoille olisi DN 32. Jäähdytysjärjestelmän eri osien ja laboratoriolaitteiden lopullisia sijoituspaikkoja ei vielä tiedetä,

mutta voidaan arvioida, että putkea tarvitaan noin 35 metriä koko järjestelmään. Eräällä jälleenyjällä Uponorin komposiittiputki maksaa 23,4 € per metri eli koko putkiston hinnaksi tulisi 819 € (19).

6.5 Venttiilit

Järjestelmään tarvitaan sulkuventtiilit jokaisen laboratoriolaitteen menovesiputkeen ja lisäksi pumppun ja suodattimen mahdolliseen eristämiseen. Järjestelmään tarvitaan siis ainakin kahdeksan palloventtiiliä. Esimerkiksi Oras valmistaa palloventtiileitä, jotka sopivat DN 32 putkeen. Yhden venttiilin suositushinta on 63,59 €, eli kahdeksan venttiilin hinnaksi tulee 508,72 €. (15.)

6.6 Koko järjestelmä

Kun kaikki järjestelmän pääkomponenttien hinnat lasketaan yhteen, saadaan tulokseksi noin 29 084 €. Todellisuudessa järjestelmän rakentamisesta aiheutuisi useita muita kustannuksia, joita ei tässä laskelmassa ole otettu huomioon. Kustannuksissa olisi otettava huomioon järjestelmän pienemmät komponentit kuten suodattimet tai laitteiden kiinnikkeet. Lisäksi laitteiden ohjausjärjestelmät ja laitteiden asennuttaminen ovat suuria kulueriä. Jos arvioidaan että pääkomponentit ovat noin puolet koko järjestelmän kustannuksista, koko järjestelmän arvioiduksi hinnaksi saadaan 60 000 €. Lisäksi järjestelmän huoltamisesta aiheutuisi kustannuksia myös järjestelmän rakentamisen jälkeen.

6.7 Veden säästö

Kuvasta 1 nähdään että jäähdytysveden käyttö vaihtelee paljon eri vuosien välillä. Mittauslaboratoriossa tänä vuonna käyttöön otettu MTS 810 -laite on lisännyt jäähdytysveden tarvetta ja toimeksiantajan mukaan tänä syksynä veden kulutus on ollut noin 1000 m³/kk. Käyttöveden hinta Nivallassa on 1,34 €/m³ ja jätevesimaksu on 3,75 €/m³ (20). Jos laboratoriolaitteiden jäähdytysveden tarve pysyy jatkossakin yhtä korkeana kuin tänä syksynä, laitteiden vuosittainen jäähdytysveden tarve olisi 12 000 m³. Tällöin jäähdytysjärjestelmä säästäisi vuositasolla 61 080 euroa vesimaksuista. Tällöin järjestelmästä saatu säästö kattaisi sen arvioidut rakennuskustannukset noin vuodessa. Tämä arvio perustuu kuitenkin siihen, että jäähdytysveden tarve pysyy korkeana. Vuonna

2022 koko vuoden jäähdytysveden tarve oli 900 m³. Vuonna 2022 jäähdytysjärjestelmä olisi säästänyt siis 4 581 euroa vesimaksuissa. Tällaisella vuositason säästöllä järjestelmästä saatu säästö kattaisi sen rakennuskustannukset noin 13 vuodessa.

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella yhteinen jäähdytysjärjestelmä Oulun Yliopiston Tulevaisuuden tuotantoteknologiat tutkimusryhmän mittaus- ja laserlaboratorioiden laitteille. Työtä varten mitattiin laboratoriolaitteiden jäähdytysveden kulutusta ja lämpötiloja. Mittausten pohjalta tehtiin Excel-laskuri, jonka avulla pystytään laskemaan laiteiden jäähdytystehon tarpeita.

Työn tuloksena tehtiin suunnitelma, jossa käydään läpi tärkeimmät jäähdytysjärjestelmään tarvittavat laitteet ja komponentit. Suunnitelman avulla pystytään päättelemään, onko jäähdytysjärjestelmän rakentaminen kustannusten kannalta kannattavaa. Suunnitelma toimii pohjana laboratorioon mahdollisesti rakennettavalle jäähdytysjärjestelmälle.

Jäähdytysjärjestelmän suunnittelussa ja mitoituksessa oli useita haasteita. Laboratoriolaitteiden epäsäännölliset käyttöajat ja jäähdytysveden tarpeet hankaloittavat optimaalisen järjestelmän suunnittelua. Lisäksi tarkat laitemitoitukset vaatisivat yksityiskohtaisempia lähtötietoja kuin tähän opinnäytetyön oli saatavilla, kuten pitkäaikaisia jäähdytysveden kulutuksen mittauksia. Tämän takia jäähdytysjärjestelmää suunnitellessa jouduttiin olettamaan ja arviomaan paljon mitoitusarvoja ja tuloksia. Tarkat laitteiden mitoitukset vaatisivat todennäköisesti erilaisten mitoitusohjelmien käyttöä, kuten virtaussimulaation käyttöä varaajan ja vedenjäähdyttimen mitoituksessa. Lisäksi alan yritykset, jotka valmistavat laitteita jäähdytysjärjestelmiin, olivat haluttomia ehdottamaan sopivia laitteita tarkoitukseen tai kertomaan tietoja valmistamistaan laitteista.

Jos mietitään järjestelmän kannattavuutta sen perusteella kuinka paljon rahaa säästetään säästämällä käyttö- ja jätevesimaksuista, järjestelmän rakentaminen voi olla kannattavaa riippuen siitä, kuinka suuri vedenkulutus on tulevaisuudessa. Jos jäähdytysveden tarve pysyy samalla tasolla kuin tänä syksynä, Jäähdytysjärjestelmä voi kattaa sen rakentamisesta aiheutuvat kulut jopa vuodessa.

Koska materiaalintestausjärjestelmät kuluttavat suurimman osan tarvitusta jäähdytysvedestä, olisi todennäköisesti taloudellisesti kannattavampaa rakentaa pienempi jäähdytysjärjestelmä vain kyseisille laitteille. Laserlaitteet käyttävät vähän jäähdytysvettä, jos niitä verrataan materiaalintestauslaitteisiin. Näin ollen laserlaitteita kannattaisi jatkossakin jäähdyttää vesijohtoverkosta saatavalla

vedellä. Tällöin jäähdytysvettä ei myöskään tarvitsisi pitää alle 10 °C:ssa, mikä mahdollistaisi yksinkertaisemman jäähdytysjärjestelmän toteuttamisen.

LÄHTEET

1. Oulun yliopisto 2023. Tulevaisuuden tuotantoteknologiat (FMT). Hakupäivä 8.5.2023. <https://www oulu.fi/fi/tutkimusryhmat/tulevaisuuden-tuotantoteknologiat-fmt>.
2. Alpo Hietala 2006. Elme-Center pohjapiirustus.
3. Instron 2012. 8802 Servohydraulic fatigue testing system. Hakupäivä 8.5.2023. <https://www.instron.com/-/media/literature-library/products/2012/10/8802-servohydraulic-fatigue-testing-system.pdf>.
4. MTS Systems Corporation 2006. MTS 810 & 858 Material Testing Systems. Hakupäivä 10.12.2023. <https://rihof.org/wp-content/uploads/2019/11/MTS-810-Brochure.pdf>.
5. Mika Puirava 2023. Elme Studio.
6. Tammertekniikka Oy 2005. Tekniikan kaavasto.
7. Gebwell Oy 2023. Energiavaraajat. Hakupäivä 10.12.2023. <https://gebwell.fi/tuotteet/energiavaraajat/g-energy-custom-erikoisvaraaja/>.
8. Gebwell Oy 2023. Energiavaraajat. Hakupäivä 10.12.2023. <https://gebwell.fi/tuotteet/energiavaraajat/lamminkayttovesikierukka/>.
9. Hirvelä, Aulis, Jokela, Matti, Kaappola, Esko & Kianta, Jani 2022. Kylmätekniiikan perusteet. Opetushallitus.
10. Saarihahti Ari 2019. Jäähdytys-, lauhdutus- ja LTO-järjestelmissä käytettävien glykolien valinta ja soveltuvuus eri käyttötarpeisiin. KL-Lämpö 6.8.2023. <https://www.kl-lampo.com/artikkelit/jaahdytys-lauhdutus-ja-lto-jarjestelmissa-kayttavien-glykolien-valinta-ja-soveltuvuus-eri-kayttotarpeisiin/73-51>.
11. The Engineering ToolBox 2003. Ethylene Glycol Heat-Transfer Fluid Properties. Hakupäivä 10.12.2023. https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html.
12. Carrier Oy 2023. Ilmalauhdutteiset vedenjäähdyttimet. Hakupäivä 10.12.2023. <https://www.carrier.com/commercial/fi/fi/tuotteet/ilmastointi/ilmajaahdytteiset-vedenjaahdyttimet/30rb-40r-160r/>.
13. Oy Grundfos Pumput AB 2023. Tuotteet. Hakupäivä 10.12.2023. <https://product-selection.grundfos.com/fi/products/magna/magna3/magna3-32-120-f-97924259?pumpsystemid=2220117155&tab=variant-specifications>.
14. Kapanen, Mika, Kianta, Jani 2019. Välilliset jäähdytysjärjestelmät. Suomen kylmäyhdistys ry.

15. Oras Oy 2023. Tuoteperheet. Hakupäivä 10.12.2023 <https://www.oras.com/fi/tuoteperheet/oras/palloventtiili/400032>.
16. Shopclima 2023. Hydronic systems. Hakupäivä 10.12.2023. <https://www.shopclima.it/en/carrier-30rb-90r-cooling-only-air-cooled-chiller-r32-90-kw-three-phase.html>.
17. Taloon.com 2023. Lämminvesivaraajat. Hakupäivä 10.12.2023. <https://www.taloon.com/energiavaraaja-gebwell-g-energy-ev-2000l-3-bar>.
18. Gebwell Oy 2021. Varaajahinnasto. Hakupäivä 10.12.2023. <https://gebwell.fi/app/uploads/2021/09/Gebwell-varaajahinnasto-01052021-2.pdf>.
19. Taloon.com 2023. Komposiittiputket. Hakupäivä 10.12.2023. <https://www.taloon.com/komposiittiputki-uponor-uni-pipe-plus-salkona-s-32-x-3-0-3-m>.
20. Nivalan Vesihuolto Oy 2023. Liittyminen ja maksut. Hakupäivä 10.12.2023. <https://www.nivalanvesihuolto.fi/liittyminen-ja-maksut/>.

Koko järjestelmä	Koko järjestelmän max φ		Vesisäiliön jäähdytys		Glykokierto		
Koko järjestelmän max φ	40832,4 W	40,8324 kW	Vesisäiliö	2000 l			
väsytyskoneiden max virtaama	0,47 l/s						
lasereiden max virtaama	0,26 l/s						
koko järjestelmän max virtaama	0,73 l/s	2628 l/h	virtaama	0,5 l/s	virtaama	1 l/s	
Instron 8802 virtaama tunnissa	360 l/h	0,1 l/h	c	4,2 kJ/kgK	c	3,595 kJ/kgK	
MTS-810 virtaama käytön aikana	81 l		ρ	1000 kg/m3	ρ	1072 kg/m3	
Laser 1 virtaama käytön aikana	13 l		qm	0,5 kg/s	qm	1,072 kg/s	
Laser 2 virtaama käytön aikana	13 l		T(tavoite)	8 °C	T(meno)	4 °C	
			T(tulo)	21 °C	T(tulo)	12 °C	
			ΔT	13 K	ΔT	8 K	
			lämpöteho φ	27300 W	φ	30830,7 W	
			Energia	1,09E+08 J			
				4000 s			
				66,66667 min			
			(Aika jossa säiliöllinen vettä on jäähdytetty)				