



Vähintään 3kg kylmäainetta sisältävän kylmäkoneiston käyttöönotto

Eetu Salmensuu

Opinnäytetyö, AMK

Helmikuu 2024

Tekniikan ala

Energia- ja ympäristötekniikka (AMK)

Salmensuu, Eetu

Vähintään 3kg kylmäainetta sisältävän kylmäkoneiston käyttöönotto

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Helmikuu 2024, 33 sivua.

Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Teollisuus ja lämmöntuotanto ovat tällä hetkellä energiamurroksessa päästövähennysten ja yleisen mielipiteen muutoksen vuoksi. Lämpöpumppujen osuus lämmön tuotannossa ja hukkalämmön käytössä on jatkuvassa kasvussa ja lämpöpumppujen tekninen kehitys on ottanut viime vuosina suuria harppauksia. Teknisen kehityksen ja asennusten määrän mukana nousee tarve tarkastella kylmäkoneistojen ja lämpöpumppujen käyttöönottojen standardienmukaisuutta.

Opinnäytetyöllä pyrittiin selvittämään kylmäkoneistojen ja lämpöpumppujen käyttöönottoon liittyvät standardit sekä nykyisten käyttöönottojen merkittävimmät kehityskohteet. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Calefa Oy. Kylmäainekoneistojen käyttöönoton nykytilannetta selvitettiin kyselytutkimuksella. Kysely lähetettiin useille kylmäalan ammattihenkilöille eri yrityksiin. Kyselyn tuloksia verrattiin standardeista saataviin ohjeistuksiin ja määräyksiin.

Opinnäytetyön tuloksena kirjattiin ylös tarvittavat standardit ja luvat kylmäkoneistojen ja lämpöpumppujen käyttöönottoa varten. Lisäksi löydettiin merkittävimmät kehityskohteet kylmäkoneistojen ja lämpöpumppujen käyttöönotossa ja ne ovat tieto painekokeen painerajoista, tiiveyskokeen tekeminen käyttöönotossa vain tyhjiöinnillä, dokumentoinnin puutteellisuus ja kylmäkoneiston tarkastuksen vajavuus käyttöönotossa.

Opinnäytetyön tuloksen perusteella kylmäkoneistojen käyttöönoton nykytilanne on kohtalaisella tasolla ja kehitettävää löytyy useammalla eri osa-alueella. Yritysten ja asentajien välillä on eroja toimintatavoissa ja niitä pitää saada yhtenäistettyä. Yhtenä mahdollisena ratkaisuna tähän ongelmaan on kylmäasentajille ja suunnittelijoille suunniteltu viiden vuoden välein suoritettava korttikoulutus.

Avainsanat (asiasanat)

Lämpöpumput, kylmäkoneet, standardi, käyttöönotto

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Salmensuu, Eetu

Commissioning of a refrigeration system containing at least 3kg of refrigerant

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, February 2024, 33 pages.

Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Industry and heat production are currently undergoing an energy transition due to emission reductions and a change in public opinion. The share of heat pumps in the production of heat and the use of waste heat is constantly growing, and the technical development of heat pumps has taken great strides in recent years. Along with the technical development and the number of installations, there is a need to examine the standard compliance of the commissioning of refrigeration systems and heat pumps.

The thesis figure out the standards related to the commissioning of refrigeration systems and heat pumps, as well as the most significant development targets of current commissioning. The client of the thesis was Calefa Oy. The current situation of the commissioning of refrigerant systems was investigated using the survey. The survey was sent to several refrigeration professionals in the different companies. The results of the survey were compared with the instructions and regulations from the standards.

As a results of the thesis, the necessary standards and permits for the commissioning of refrigeration systems and heat pumps were written down. In addition, the most significant areas for development in the commissioning of refrigeration systems and heat pumps were found, and they are information about the pressure limits of the pressure test, performing the tightness test during commissioning only by vacuuming, insufficient documentation and the lack of inspection of the refrigeration system during commissioning.

Based on the result of the thesis, the current situation of the commissioning of refrigeration systems is at a moderate level, and there is room for improvement in several areas. There are differences in operating methods between companies and installers and they need to be unified. One possible solution to this problem is a card training designed for refrigeration installer and designer to be completed every five years.

Keywords/tags (subjects)

Heat pumps, refrigeration systems, standard, commissioning

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	3
2	Tutkimusasetelma	4
2.1	Tavoitteet ja työn rajaus	4
2.2	Tutkimusasetelma ja eettisyys	4
3	Kylmäkoneiston tekniikka	5
4	Kylmäkoneiston historia	9
5	Kylmäkoneistojen käyttöönotto standardien mukaan.....	11
5.1	Painekoe	11
5.2	Tiiveyskokeen suoritus ja hyväksytty tiiveysraja.....	12
5.3	Kylmäkoneistojen vaatimuksenmukaisuus, tarkastukset ja dokumentointi	13
6	Kylmäkoneistoihin liittyvät pätevyysvaatimukset	13
6.1	Toiminnanharjoittajan vastuuhenkilön pätevyysvaatimukset.....	13
6.2	Henkilöiden pätevyysvaatimukset	14
6.3	EU:n täytäntöönpanoasetuksen L301/28 mukaisen henkilöiden pätevöinti	15
6.4	Pätevyysvaatimusten erot ja yhtenäisyydet	16
7	Luvat kylmäkoneiston käyttöönottoon.....	17
8	Kylmäkoneistojen käyttöönotto käytännössä	19
8.1	Painekoe	19
8.2	Tiiveyskokeen suoritus ja hyväksytty tiiveysraja.....	20
8.3	Kylmäkoneistojen vaatimuksenmukaisuus, tarkastukset ja dokumentointi	20
9	Kylmäkoneistojen käyttöönoton standardienmukaisuus.....	22
9.1	Painekoe	22
9.2	Tiiveyskokeen suoritus ja hyväksytty tiiveysraja.....	23
9.3	Kylmäkoneistojen vaatimuksenmukaisuus, tarkastukset ja dokumentointi	24
10	Tulokset.....	25
11	Pohdinta.....	27
	Lähteet	29
	Liitteet	32
	Liite 1. Kylmäkoneiston käyttöönottokysely	32

Kuviot

Kuvio 1. Kuinka lämpöpumppu toimii.....	6
Kuvio 2. Kylmäaineen R134a log p,h-tilapiirros	8

Kuvio 3. Willian Cullen	9
Kuvio 4. William Thompson / Lordi Kelvin	10

Taulukot

Taulukko 1. Kattilalaitoksen käytönvalvojan pätevyysvaatimukset paine- ja teholukurajoilla..	18
--	----

1 Johdanto

Teollisuus on tällä hetkellä energiamurroksessa päästövähennysten ja yleisen mielipiteen muutoksen vuoksi. Euroopan Unioni tavoittelee vuoteen 2023 mennessä 55 % päästövähennyksiä verrattuna vuoteen 1990 ja vuonna 2050 tavoitteena on hiilineutraalisuus (Puhdas energia 2022). Tämä aiheuttaa tarpeen päästä eroon fossiilisten aineiden polttamisesta ja hyötykäyttämään jo tuotettua lämpöenergiaa joko omassa prosessissa tai siirtämällä lämpöenergiaa kaukolämpöön. Tässä vaiheessa lämpöpumput tulevat kuvioon mukaan, koska niiden hyötysuhde energian siirtämisessä on hyvä ja niillä voidaan tuottaa lämpötiloiltaan kaukolämpöverkkoon soveltuvaa energiaa matalammista lämpötiloista. (Selvitysraportti: Sähköistyminen, hukkalämmöt ja lämpöpumput teollisuudessa 01/2023 2023.)

Kylmäkoneistojen käytön yleistyessä myös niihin liittyvien standardien ja käytäntöjen tuntemus on tärkeää. Lämpöpumppujen ja kylmäkoneistojen käyttöönottoa ja suunnittelua ohjaavat Eurooppalainen standardi EN 378 ja se on vahvistettu suomalaiseksi standardiksi SFS-EN 378. (SFS-EN 378-1:2016 + A1:2020) Lisäksi lainsäädännössä L766/2016 on määritelmät fluorattuja kasvihuonekaasuja tai otsonikerrosta heikentäviä aineita sisältävien laitteiden käsittelijöiden pätevyysvaatimukset. Kylmäkoneistot sisältävät lähestulkoon poikkeuksetta näitä aineita, joten tämä lainsäädäntö velvoittaa kylmäkoneistojen ja lämpöpumppujen käyttöönottajien pätevyyksien tarvetta.

Työelämän kehityksen kannalta tämä opinnäytetyö on hyödyllinen, koska vähintään 3 kg kylmäainetta sisältävien lämpöpumppujen käyttöönotosta ei ole juurikaan tehty opinnäytetöitä ja Suomessa 31.10.2022 insinööritason kylmäalan koulutusta tarjoaa vain yksi oppilaitos (Kylmäalan koulutus ei edelleenkään riitä alan tarpeisiin 2022). Lisäksi ymmärrys oikeanlaisiin toimintatapoihin vähentää riskiä kylmäainevuotoihin. Kylmäainevuodot ovat haitallisia ympäristölle ja sen lisäksi ne ovat yrityksille kalliita. Isoissa lämpöpumpuissa voi olla yli 200 kg kylmäainetta ja esimerkiksi kyseisestä koneesta R134a kylmäaineen vuotaessa on päästöt ovat 286000 CO₂-ekvalenttitonnia (R134a kylmäaine on monipuolisimpia kylmäaineitamme n.d) ja hinta voi olla jopa 5483€/kone ilman pullojen hintaa (R134a – Kylmäaine 2023). Vuodon hintaan lisätään toki myös kaikki vuotoon liittyvät selvittelykulut ja korjaukset, joten hinta voi helposti nousta yli kymmeneen tuhanteen euroon.

2 Tutkimusasetelma

2.1 Tavoitteet ja työn rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kylmäkoneistojen käyttöönottoon liittyviä standardeja, verrata niitä nykyisiin käyttöönottopoihin ja selvittää merkittävimmät kehityskohteet nykyisissä käytännöissä liittyen kylmäkoneistojen käyttöönottoon. Nykyisten kylmäkoneistojen käyttöönottoon liittyviä tapoja selvitettiin kyselytutkimuksella. Opinnäytetyössä pyrittiin vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mitä standardit määräävät kylmäkoneiston ja lämpöpumpun käyttöönotosta?
- Mikä on nykyisten asentajien ja yritysten käytännöt kylmäkoneistojen ja lämpöpumppujen käyttöönotosta?
- Mitkä ovat merkittävimmät kehityskohteet kylmäkoneistojen ja lämpöpumppujen käyttöönotossa?

Opinnäytetyö rajattiin yli 3kg kylmäainetta sisältäviin kylmäkoneistoihin. Lainsäädäntö jakaa kylmäaineluvat useampaan osaan, joista suurin käsittää yli 3kg kylmäainetta sisältävät kylmäkoneistot (L 766/2016). Opinnäytetyön rajaus suurimpiin lupiin oli luontevaa, koska se käsittää mm. suuret teolliset lämpöpumput ja kauppojen kylmäkoneistot. Osa opinnäytetyössä käsitellyistä asioista koskevat myös alle 3kg kylmäainetta sisältäviä kylmäkoneistoja.

2.2 Tutkimusasetelma ja eettisyys

Opinnäytetyö on kehittämistutkimus, koska siinä on muutoksen kohteena menetelmä ja opinnäytetyö vaatii tutkimuksellista otetta ja tutkimusosion. Opinnäytetyö keskittyy prosesseihin ja toimintoihin. Lisäksi prosessissa on sekä kvalitatiivista että kvantitatiivista tutkimusta. (Kananen 2017)

Opinnäytetyöni eettiset kysymykset liittyvät haastateltujen anonymiteettiin, kehitystyön riippumattomuuteen ja opinnäytetyön läpinäkyvyyteen. Toikkon ja Rantasen (2009) mukaan haastateltujen henkilöiden anonymiteetin ja työn läpinäkyvyyden välillä täytyy taiteilla, mutta molemmat on otettava huomioon. Haastattelujen otannan on oltava sen verran laaja, ettei anonymiteetti vaarannu. Toikko ja Rantanen (2009) myös varoittavat intressien vaikutuksesta opinnäytetyön lopputulokseen ja opinnäytetyö on pystyttävä tarkastamaan

lähdemateriaaleista ja opinnäytetyötä tehdessä on pystyttävä katsomaan asioita objektiivisesti. Työn läpinäkyvyyteen vaikuttaa lähdetietojen selkeä esilletuonti ja lähteiden luotettavuus.

3 Kylmäkoneiston tekniikka

Kylmäkoneisto määritellään standardissa SFS-EN 378-1 seuraavasti: Kylmäkoneisto/lämpöpumppu on *”Yhdistelmä toisiinsa liitettyjä, kylmäainetta sisältäviä osia, jotka muodostavat yhden suljetun piirin, jossa kylmäaine kiertää sitoen ja luovuttaen lämpöä”*. Samaisessa standardissa (SFS-EN 378-1:2016 + A1:2020) todetaan lämpöpumpun kuuluvan kylmäkoneisto-termin alle, joten standardissa käsitellään lämpöpumppuja ja muita kylmäaineilla toimivia suljettuja koneistoja samalla termillä.

Lämpöpumput ovat kylmäkoneistoja, joiden tehtävänä on tuottaa lämpöä. Pääasiallisimmat lämmönlähteet niille ovat ilma, maa, vesi tai hukkalämpö. Lämpöä tuotetaan rakennuksen lämmitykseen, alue-/kaukolämpöön ja teollisuuden lämmityskäyttöön. Lämpö siirretään ilman, veden tai höyryn avulla lämmitettävään kohteeseen. Teollisuudessa voidaan lämpö siirtää myös suoraan lämmitettävään materiaaliin ilman väliaineita. (Future of heat pumps 2022.)

IEA:n maailman energianäkymien erikoisraportin (Future of heat pumps 2022) mukaan kotitalouksien lämpöpumpun COP-luku (coefficient of performance) on tyypillisesti neljän kieppeillä. COP-luku on yleisesti kylmätekniikassa käytetty tunnusluku ja se kuvastaa lämpöpumpun energiatehokkuutta. COP-luku lasketaan kaavalla 1.

$$COP = \frac{Q_{out}}{W_{in}} \quad (1)$$

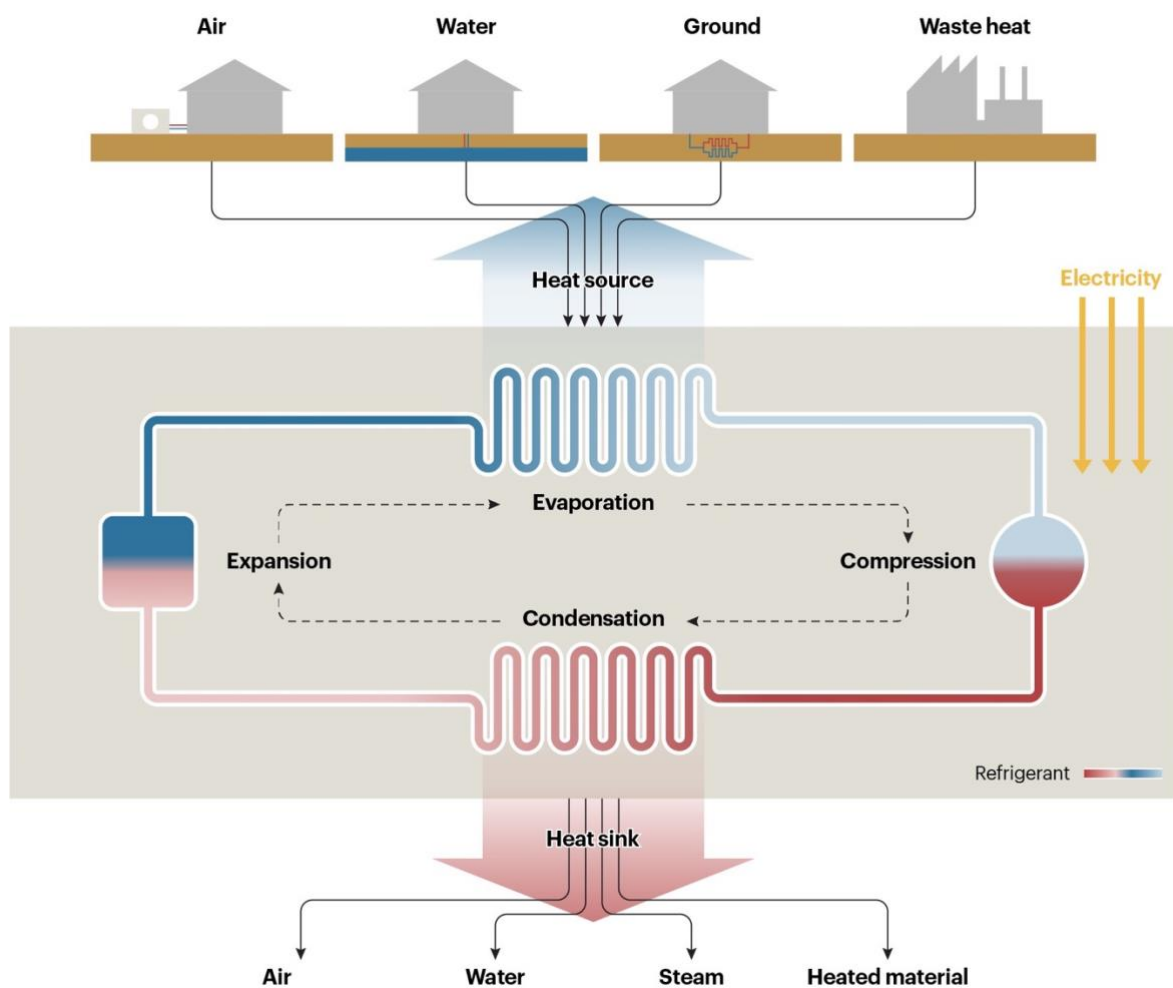
missä COP = lämpöpumpun hyötysuhde

Q_{out} = lämpöpumpun tuottama lämpöenergia

W_{in} = käytetty sähköenergia

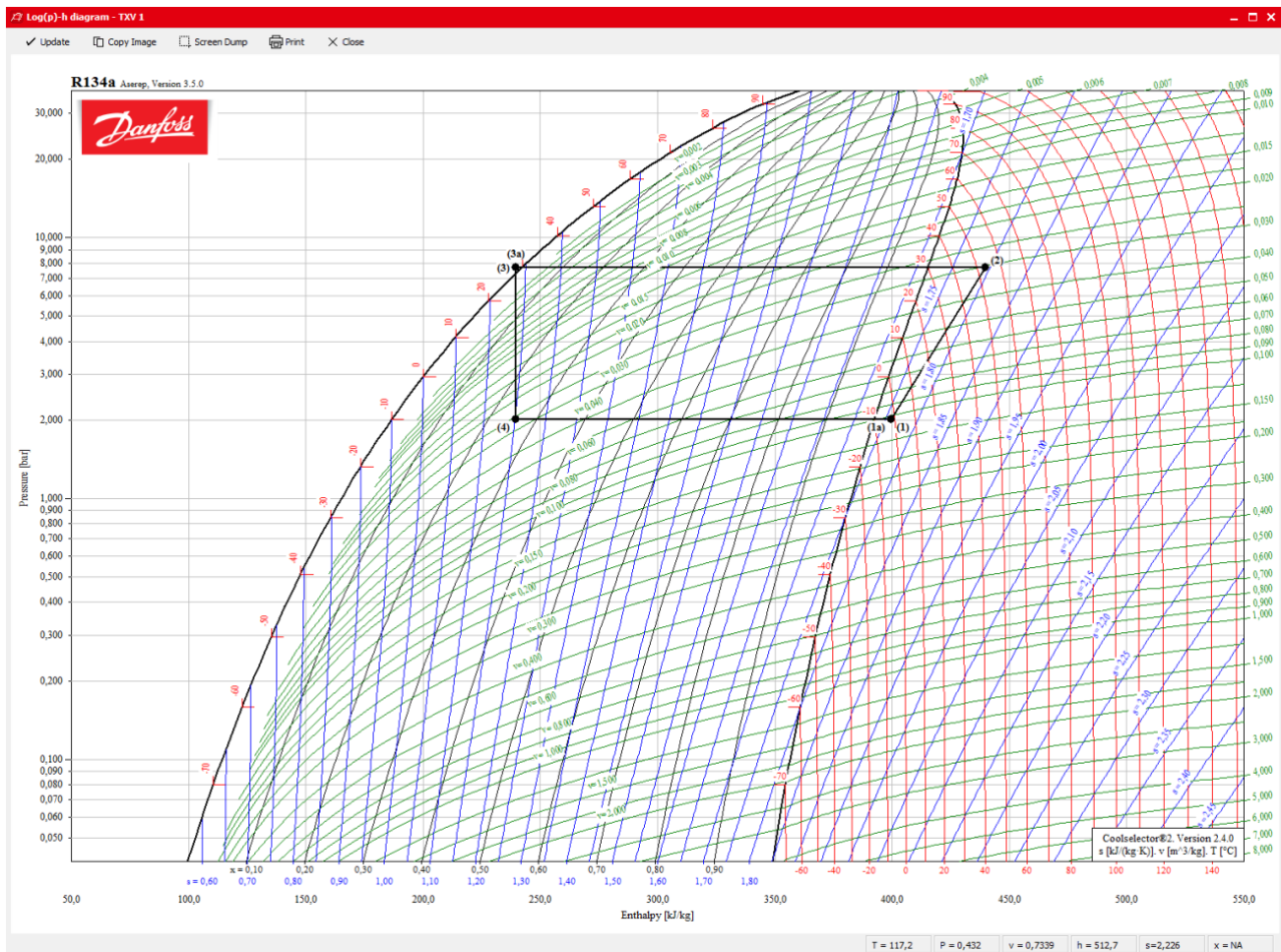
Lämpöpumpun hyötysuhteeseen vaikuttaa kotitalouksissa merkittävästi lämmönlähde, koska huonelämpötila pidetään yleensä vakiona. Ilmasta otettava lämpö on hyötysuhteeltaan huonompi kuin maasta tai vedestä otettava lämpö, koska talvella ilma kylmenee enemmän ja nopeammin kuin maa tai vesi. Hinnaltaan ilmasta energian ottava lämpöpumppu on halvempi asentaa kuin muissa vaihtoehdoissa. (Future of heat pumps 2022)

IEA:n maailman energianäkymien erikoisraportin (Future of heat pumps 2022) sekä Motivan selvitysraportin (2023) mukaan teollisuudessa saadaan tuotettua lämpöpumpuilla jopa 150 °C:ta lämpötiloja. Korkeampiin lämpötiloihin 200 °C:en asti vaaditaan erityiset kylmäaineet ja kompressorit, mutta ne ovat vielä prototyyppitasolla. Motivan selvitysraportin (2023) mukaan Suomessa voidaan tällä hetkellä kannattavasti tuottaa hieman yli 100°C:ta, vaikka tekninen potentiaali on 150°C:ta tuntumassa.



Kuvio 1. Kuinka lämpöpumppu toimii (Future of heat pumps 2022).

Kylmäkoneiston toiminta perustuu lämpöenergian siirtoon lämmönlähteestä lämpönieluun. Kuviossa yksi on kuvattu lämpöpumpun toiminta visuaalisesti ja siinä on kuvattu lämmönlähteenä ilmaa, vettä, maata ja hukkalämpöä sekä lämpönieluna ilmaa, vettä, höyryä tai lämmitettävää materiaalia. Lämpö kerätään höyrystimessä, mikä esitetään kuviossa 1 kohdassa *"evaporation"*, kylmäainepiiriin, missä kylmäaine muuttaa olomuotoaan neste-/höyryfaasista höyryksi. Höyrystintä ennen on paisuntaventtiili, kuviossa yksi *"expansion"*, mikä säätelee kylmäainepiirin painetta, jotta saataisiin kompressoriin pelkästään kaasumaista kylmäainetta. Paisuntaventtiili säädetään jollekin tulistustasolle eli pyritään varmistamaan kompressorille, kuviossa yksi *"compressor"*, menevän kylmäaineen olomuoto nostamalla kylmäaineen lämpötila kiehumispisteestä esim. 5°C. Seuraavaksi kylmäaine siirtyy kompressorille, missä se puristetaan korkeampaan paineeseen ja lämpötilaan. Kompressorilta siirtyy kylmäaineeseen työn tuottama energia, kuviossa yksi *"electricity"*. Kompressorilta kylmäaine siirtyy lauhduttimeen, kuviossa yksi *"condensation"*, jossa sen lämpötila laskee ja siirtyy ympäristöön tai seuraavaan välittäjäaineeseen. Lauhduttimen jälkeen kylmäaine on nesteinä tai neste-/höyryfaasina. Lauhduttimesta kylmäaine siirtyy paisuntaventtiiliin kautta höyrystimelle. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2014, 17 - 30.)

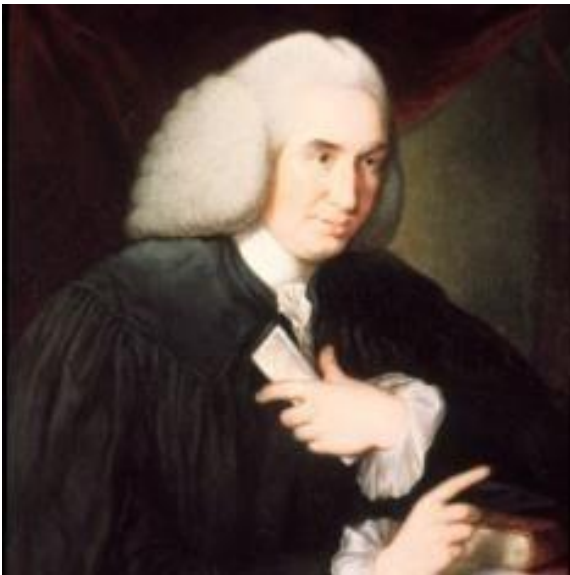


Kuvio 2. Kylmäaineen R134a log p,h-tilapiirros (Coolselector®2 v.3.0.0 – detailed log(p)-h diagrams for all available refrigerants 2018).

Kylmäaineen kylmätekniistä kiertoprosessia esitetään usein kuvion kaksi mukaisilla log p,h-tilapiirroksilla tai toiselta nimeltään Mollier-diagrammeilla. Piirroksessa esitetään absoluuttinen paine logaritmisena y-akselilla ja entalpia x-akselilla. Lisäksi piirroksessa on kylmäaineen olomuotojen muutokset kuvattu käyrällä. Muutoksien käyrille on merkattu lämpötilat kyseiselle paineelle. Lisäksi tilapiirroksessa ilmenee yleensä höyrytitoisuus neste/höyry osuudella ja entropia sekä vakiotiheys tulistuneen höyryn puolella. Log p,h-tilapiirroksia käytetään kylmäaineen toiminnan analysointiin eri vaiheissa kylmätekniistä kiertoprosessia ja sen perusteella pyritään valitsemaan jokaiseen kohteeseen erikseen soveltuva kylmäaine. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2014, 17 - 30) Lisäksi kylmäaineen valintaan vaikuttaa nykyisin myös kylmäaineen GWP-luku ja EU:n asettamat säädökset käytettävistä kylmäaineista.

4 Kylmäkoneiston historia

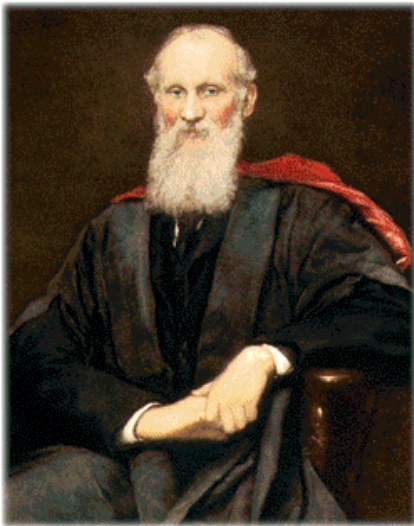
Kylmäkoneiston historiasta löytyy vaihtelevasti tietoa eri lähteistä ja jokainen lähde kertoo aihepiiriään koskevat tärkeimmät henkilöt. Selkein yhteneväisyys eri lähteistä löytyy henkilöstä nimeltä Peter von Rittinger, jota pidetään modernien lämpöpumppujen isänä (Explainer: What's the History of All-Climate Heat Pumps? 2023; Heat pump technology: a Brief history 2020; History of Heat Pumps n.d; The History of Heat Pump Technology n.d; Zogg 2008, 13). Toinen selkeä yhteneväisyys lähteistä löytyy Robert C. Webberistä, joka rakensi ensimmäisenä maalämpöpumpun (Explainer: What's the History of All-Climate Heat Pumps? 2023; Heat pump technology: a Brief history 2020; History of Heat Pumps n.d; Zogg 2008, 33). Kylmätekniikka kehitettiin kuitenkin aikaisemmin ja jo ennen Rittingeriä oli monta insinööriä ja tiedemiestä kantamassa kortensa kekoon kylmätekniikan kehittämisessä.



Kuvio 3. William Cullen (William Cullen n.d).

Ensimmäisen kylmäkoneiston prototyypin kehitti vuonna 1748 kuviossa kolme esiintyvä skotlantilainen professori William Cullen luomalla pumpulla tyhjiön lasiastiaan. Astiassa oli dietyylieetteriä, mikä alkoi kiehumään ja keräämään lämpöenergiaa ympäröivästä ilmasta (History of Heat Pumps n.d). Hamiltonissa 1710 syntynyt Cullen ei keksinnöllään saavuttanut taloudellista menestystä, mutta hänen keksintönsä oli lähtölaukaus muille kylmätekniikan sovellutuksille kuten jääkaapille ja lämpöpumpulle. (Heat pump technology: a Brief history 2020.)

Ensimmäisen tunnetun suljetun kierron jäähdytyslaitteiston suunnitteli vuonna 1826 Oliver Evans ja kuvaili sen toiminnan kirjassaan (Evans 1826, 137 - 139). Ensimmäisen patentoidun kompressorilla toimivan jäähdytyslaitteiston valmisti kuitenkin Jacob Perkins vuonna 1834. Laitteisto toimi dietyylieetterillä ja siinä oli jo kaikki neljä osaa, jotka kuuluvat nykyaikaiseen kylmäkoneistoon: kompressori, lauhdutin, paisuntaventtiili ja höyrystin. Aika ei ollut vielä valmis jäähdytyskoneistoille ja laitteita ei valmistettu ensimmäisen jälkeen enempää. Ensimmäinen maininta lehdissä kyseisestä laitteesta oli vasta lähemmäs viiden kymmenen vuoden päästä (Zogg 2008, 11). Vuonna 1844 valmisti John Gorrie kompressoitua ilmaa käyttävän jäähdytyskoneiston, mikä päätyi Amerikan markkinoille vasta vuonna 1856 (History of Heat Pumps n.d).



Kuvio 4. William Thomson / Lordi Kelvin (Zogg 2008, 9).

Lämpöpumppujen kannalta merkittävän huomion teki vuonna 1852 kuviossa neljä näkyvä Lordi Kelvininä tunnettu William Thomson. Hän havaitsi kylmäkoneiston toimivan jäähdytyksen lisäksi myös lämmitykseen. Hän myös osoitti tällaisen laitteen vaativan vähemmän primäärienergiaa lämmön tuottamiseen, koska se ottaa osan siitä laitteiston höyrystimen kautta. Tämä havainto toi pohjan tuleville vain lämmitykseen tarkoitetuille lämpöpumpuille (Zogg 2008, 9–10). Kelvinin havaintoa hyödyntäen kehitti ja valmisti Peter von Rittinger ensimmäisen nykyaikaisen lämpöpumpun vuosina 1855 - 1857 (History of Heat Pumps. n.d). Rittinger oli itävaltalainen tiedemies ja hän hyödynsi keksintöään suolakaivoksilla suolan kuivatukseen (Heat pump technology: a Brief history 2020). Genevessä Sveitsissä käytettiin vuonna 1928 ensimmäisen kerran von Rittingerin lämpöpumppua tilojen lämmittämiseen. Lämpöpumppu toimi lähtölaukauksena energia-alan pioneerimaan Sveitsin lämpöpumppujen massatuotannolle ja

vuonna 1937 Zürichin kaupungintaloon asennettu lämpöpumppujärjestelmä oli käytössä vuoteen 2001 asti. (Explainer: What's the History of All-Climate Heat Pumps? 2023.)

Ensimmäinen maalämpöpumppu keksittiin vahingossa vuonna 1945, kun amerikkalainen Robert C. Webber melkein poltti kätensä maahan asentamaansa syväjäähdytysputkeen. Hän alkoi selvittää tarkemmin syitä putken lämpenemiselle ja onnistui rakentamaan ensimmäisen maalämpöpumppujärjestelmän. Maalämpöpumpulla hän lämmitti kotinsa kuuman veden ja ylijäämälämmön järjestelmä puhalsi tuulettimella huoneistoon. Hän käytti järjestelmässä CFC-kylmäainetta ja lämpö kerättiin kahden metrin syvyydeltä maasta 152 metriä pitkällä kupariputkella. (Zogg 2008, 34) Tämä kyseinen keksintö oli lämpöpumppujen kehityksen kannalta käännteentekevä ja amerikkalaiset asensivat maalämpöpumppuja koteihinsa jo 1950- ja 1960-luvuilla (Explainer: What's the History of All-Climate Heat Pumps? 2023).

5 Kylmäkoneistojen käyttöönotto standardien mukaan

Kylmäkoneistojen käyttöönottoa ohjaa pääsääntöisesti standardin SFS-EN 378:n toinen osa, mikä käsittelee suunnittelua ja testausta. Lisäksi hyödynnetään saman standardin neljättä osaa, missä käsitellään käyttöä, huoltoa, korjausta ja talteenottoa. Opinnäytetyössä laadittiin kysely kylmäkoneistojen käyttöönoton nykytilasta ja se löytyy liitteestä 1. Käsittelemme tässä luvussa standardien mukaiset vastaukset kylmäkoneistojen käynnistykseen liittyviin kysymyksiin.

5.1 Paineekoe

Standardin SFS-EN 378-2 kohdan 6.3.2 mukaan painekokeessa, mikä suoritetaan laitekokonaisuudelle, on käytettävä vaaratonta kaasua esimerkiksi happivapaata tyyppiä. Standardin mukaan happea ei saa käyttää painekokeessa.

Standardin SFS-EN 378-2 kohdan 6.3.2 mukaan painekokeessa on kategoriaan 2 kuuluvat putkistot ja liitokset testattava kappalekohtaisesti vähintään 1,43 x PS. Kylmäteknikan termeinä PS tarkoittaa suurinta sallittua käyttöpainetta ja lyhennettä käytetään tässä opinnäytetyössä samaa tarkoittavana asiana. Kategorian 2 etukäteen testaamattomat ja 1,43 x PS paineessa mahdolliset rikkoutuvat osat voidaan testata 1,1 x PS paineessa.

Kategorian 1 laitteet on testattava vähintään 1,1 x PS paineessa pois lukien putkistot ja niiden liitokset, jotka jäävät edellisestä kohdasta jäljelle. Ne voidaan testata tiiveyskokeella. Myös alle kategoria 1:sen jäävät putkistot ja niiden liitokset voidaan testata tiiveyskokeella.

5.2 Tiiveyskokeen suoritus ja hyväksytty tiiveysraja

Standardin SFS-EN 378-2 kohdan 6.3.3 mukaan tiiveyskoe on suoritettava tehtaalla tai työmaalla riippuen koneiston kokoonpanopaikasta. Tiiveyskoe voidaan suorittaa vaiheittain koneiston valmiusasteen mukaisesti.

Standardin SFS-EN 378-2 kohdan 6.3.3 mukaan tiiveyskokeessa on käytettävä inerttiä kaasua esimerkiksi typpeä, hiilidioksidia tai heliumia. Turvallisuussyistä tiiveyskokeessa ei saa käyttää ilmaa, happea tai hiilivetyjä. Myös sekoituksia on vältettävä vaarallisuuden takia. Tarvittaessa voidaan käyttää tyhjiömenettelyä karkean arvion saamiseksi laitoksen tiiveydestä.

Standardin SFS-EN 378-2 kohdan 6.3.3.3, mikä käsittelee 5kg tai yli kylmäainetäytöksiä, mukaan on tiiveyskokeessa käytettävä testipaine oltava vähintään laitteiston suunniteltu maksimipaine. Lisäksi hyväksytty tiiveysraja riippuu käytettävän kylmäaineen GWP-luvusta. Kylmäaineen GWP:n ollessa yhtä suuri tai suurempi kuin 150 on käytettävä herkkyydeltään 10^{-6} Pa m³/s tunnistinlaitetta vuotoja havainnoitaessa. Tällaisena tunnistuslaitteena toimii esimerkiksi heliumilmaisín.

Kylmäaineen GWP:n ollessa alle 150 riittää tunnistinlaitteelle herkkyys 10^{-3} Pa m³/s vuotojen havaitsemiseen. Tällaisia tunnistuslaitteita ovat esimerkiksi vaahdotusainetta sisältävä vesi tai vuodontunnistussuihke. Kylmäaineen GWP:n ollessa alle 150 voidaan myös käyttää myös vaihtoehtoisia menetelmiä standardin EN 1779 mukaan. Tarvittaessa voidaan käyttää pienempiä testipaineita, jos vaadittu vastaava herkkyys voidaan todistaa. Kylmäkoneistojen korjaustehtävissä voidaan tiiveyskokeessa käyttää standardin SFS-EN 378-4 kohdan 5.3.8 mukaan myös tyhjiömenettelyä.

5.3 Kylmäkoneistojen vaatimuksenmukaisuus, tarkastukset ja dokumentointi

Standardin SFS-EN 378-2 kohdan 6.3.4.1 mukaan kylmäkoneiston vaatimuksenmukaisuus on tarkistettava ennen käyttöä. Tämä kohta täyttyy koneistoille, joilla on tarkoituksenmukainen vaatimustenmukaisuusvakuutus. Muussa tapauksessa on tarkistettava kylmälaitoksen vaatimustenmukaisuus laitoksesta laadittujen piirustusten ja diagrammien avulla.

Standardin SFS-EN 378-2 kohdan 6.3.4 mukaan kylmäkoneistosta on tarkastettava painelaitteiden dokumentointi, turvalaitteet ja laitteistot, hitsien ja kovajuotosliitosten standardienmukaisuus, kylmäaineputkistot, avointen kompressoreiden ohjauskytkimien, pumppujen, puhaltimien jne. kohdistukset ja dokumentaatiot, tiiveysasiakirjat ja merkinnät. Lisäksi on tehtävä silmämääräinen tarkastus kylmäkoneistolle ja kaikki tarkastuksen kohdat on dokumentoitava ennen kylmäkoneiston käyttöönottoa. Lisäksi standardin SFS-EN 378-2 kohdan 6.4.3.5 mukaan kylmäainetäytöksen ylittäessä 3kg on aloitettava käyttöpäiväkirjan täyttö kylmäkoneiston asennuksen yhteydessä.

6 Kylmäkoneistoihin liittyvät pätevyysvaatimukset

Suomen lainsäädännön mukaan kylmäkoneiston parissa työskentelevällä henkilöllä ja yrityksellä, jolla hän työskentelee, on oltava asianmukainen pätevyys. Lainsäädäntö jakaa toiminnanharjoittajan vastuuhenkilön pätevyysvaatimukset neljään luokkaan, joista ensimmäinen ja neljäs luokka on vielä jaettu kahteen osaan (L 766/2016, 2§). Henkilöiden pätevyysvaatimukset on jaettu kuuteen eri luokkaan, joista ensimmäinen ja kuudes luokka on jaettu kahteen osaan (L 766/2016, 3§). Suomen lainsäädäntö pohjautuu EU:n täytäntöönpanoasetukseen, jossa määritellään neljä eri luokkaa kylmäaineiden ja niitä sisältävien koneiden käsittelyyn (L301/28 2014, 3 artikla).

6.1 Toiminnanharjoittajan vastuuhenkilön pätevyysvaatimukset

Toiminnanharjoittajalla on oltava vastuuhenkilö, jonka pätevyudet riittävät toiminnanharjoittajan alaisuudessa tehtyihin kylmäaineita sisältävien laitteistoihin tehtäviin töihin. Ensimmäinen pätevyysluokka kattaa kiinteät jäähdytys-, ilmastointi- ja lämpöpumppulaitteet. Tähän pätevyysluokkaan kuuluu toimena laitteiden huolto, asennus, kunnossapito, korjaaminen,

talteenotto ja käytöstä poistaminen. Se on lisäksi jaettu vähintään kolme kiloa kylmäainetta sisältäviin laitteisiin ja alle kolme kiloa kylmäainetta sisältäviin laitteisiin. (L 766/2016, 2§.) Tämän ensimmäisen luokan vähintään kolme kiloa kylmäainetta sisältävien laitteiden pätevyysvaatimukset vaaditaan tämän opinnäytetyön aiheena olevan kylmäkoneistojen käyttöönoton tekvän yrityksen vastuuhenkilön vaatimuksiin.

Toinen pätevyysluokka kattaa kiinteät sammutuslaitteistot ja toimet ovat samat kuin edeltävässä pätevyysluokassa. Kolmantena luokkana on ajoneuvojen ilmastointilaitteet ja toimenä ovat samat kuin edellisissä lisättynä vuototarkastuksella. Viimeisenä eli neljäntenä luokkana on kylmäaineiden talteenotto sähkö- ja elektroniikkaromusta ympäristöluvan saaneessa varastointi- ja käsittelypaikassa. Neljännen pätevyysluokan sallittuna toimenä on vain talteenotto. Viimeisen luokka on jaettu kahteen osaan. Ensimmäinen osa kattaa vähintään kolme kiloa ja vähintään viisi hiilidioksidiekvivalenttonnia kylmäainetta sisältävät laitteet. Toinen osa kattaa edellisten raja-arvojen alapuolelle jäävät kylmäainetta sisältävät laitteet. (L 766/2016, 2§.) Neljäs luokka on ainut edellä mainituista luokista, joka sisältää kylmäaineen hiilidioksidiekvivalenttirajoituksen.

6.2 Henkilöiden pätevyysvaatimukset

Kylmäaineiden parissa työskentelevillä henkilöllä täytyy olla tarvittavat pätevydet tehtäviin töihin. Henkilöiden pätevyysvaatimukset ovat lähtökohtaisesti vahvemmat kuin vastuuhenkilöiden pätevyysvaatimukset, koska ne sisältävät kylmäaineiden ja niillä toimivien koneistojen ymmärryksen lisäksi vaatimukset käytännön osaamisesta laitteistoihin tehtävistä töistä.

Ensimmäinen pätevyysluokka kattaa kiinteät ilmastointi-, jäähdytys- ja lämpöpumppulaitteet, kylmäkuljetuskuorma-autojen ja kylmäkuljetusperävaunujen jäähdytysyksiköt sekä laivojen ja vesialusten ilmastointi-, jäähdytys- ja lämpöpumppulaitteet. Tähän pätevyysluokkaan kuuluu toimenä laitteiden huolto, asennus, kunnossapito, korjaaminen, talteenotto, käytöstä poistaminen ja vuototarkastus. Pätevyysluokka on jaettu vähintään kolme kiloa kylmäainetta sisältäviin laitteisiin ja alle kolme kiloa kylmäainetta sisältäviin laitteisiin. (L 766/2016, 3§). Tämän ensimmäisen luokan vähintään kolme kiloa kylmäainetta sisältävien laitteiden pätevyysvaatimukset vaaditaan tämän opinnäytetyön aiheena olevan kylmäkoneistojen käyttöönoton tekvän henkilön vaatimuksiin.

Toinen pätevyysluokka kattaa kiinteät sammutuslaitteistot ja toimet ovat samat kuin edellisessä luokassa. Kolmas pätevyysluokka kattaa ajoneuvojen ilmastointilaitteet ja toimet ovat samat kuin edellisissä luokissa. Neljäs pätevyysluokka kattaa sähköiset kytkinlaitteet. Tähän pätevyysluokkaan kuuluvat toimet ovat kunnossapito, asennus, korjaaminen, huolto, käytöstä poistaminen ja kiinteistä laitteista talteenotto. Viides pätevyysluokka kattaa fluorattuihin kasvihuonekaasuihin pohjautuvat liuottimia sisältävät laitteet ja toimenä on vain talteenotto.

Viimeinen eli kuudes pätevyysluokka koskee talteenottoa sähkö- ja elektroniikkaromusta ympäristöluvan saaneessa varastointi- ja käsittelypaikassa ja toimenä on vain talteenotto. Lisäksi kuudes luokka on jaettu kahteen osaan. Ensimmäinen osa kattaa vähintään kolme kiloa ja vähintään viisi hiilidioksidiekvivalenttitonnia kylmäainetta sisältävät laitteet. Toinen osa kattaa edellisten raja-arvojen alapuolelle jäävät kylmäainetta sisältävät laitteet. (L 766/2016, 3§). Kuudes luokka on ainut edellä mainituista luokista, joka sisältää kylmäaineen hiilidioksidiekvivalenttirajoituksen.

6.3 EU:n täytäntöönpanoasetuksen L301/28 mukaisen henkilöiden pätevöinti

EU: täytäntöönpanoasetuksen L301/28 artiklan 2 toimet koskevat luonnollisten henkilöiden tekemiä seuraavia toimia:

- a) vuototarkastus vähintään viisi hiilidioksidiekvivalenttitonnia fluorattua kasvihuonekaasua sisältäviin laitteisiin, jos ne eivät ole sisällytetty solumuoviin, paitsi jos laitteet ovat suljettuina ilmatiiviisti ja ne on siitä merkittynä sekä ne sisältävät alle kymmenen hiilidioksidiekvivalenttitonnia fluorattuja kasvihuonekaasuja
- b) talteenotto
- c) asennus
- d) kunnossapito, korjaus tai huolto
- e) käytöstä poistaminen (L301/28 2014, 2 artikla.)

Yrityksien tekemät toimet samassa artiklassa koskevat kiinteästi asennettujen ilmastointi-, jäähdytys- ja lämpöpumppulaitteisiin liittyviä toimia, jotka ovat:

- a) asennus
- b) kunnossapito, korjaus tai huolto
- c) käytöstä poistaminen (L301/28 2014, 2 artikla.)

EU:n asetuksissa kylmäaineita käsitteleville henkilöille on määritelty neljä luokkaa. Luokka I kattaa kaikki 2 artiklan 1 kohdassa säädetyt toimet eli luonnollisten henkilöiden tekemät toimet. Luokka II kattaa kaikki luonnollisten henkilöiden tekemät toimet rajatusti. Kohdassa a tarkoitettuja toimia saa suorittaa, jos toimeen ei kuulu jäähdytyspiirin avaaminen. Kohtien b, c, d ja e toimia saa suorittaa, jos laitteissa on alle kolme kiloa fluorattua kasvihuonekaasua tai alle kuusi kiloa fluorattua kasvihuonekaasua ja laite on varustettu ilmatiiviisti suljetulla järjestelmällä sekä merkitty sellaiseksi. Luokka III kattaa luonnollisten henkilöiden kohdassa b tehdyt toimet, jos laitteissa on alle kolme kiloa fluorattua kasvihuonekaasua tai alle kuusi kiloa fluorattua kasvihuonekaasua ja laite on varustettu ilmatiiviisti suljetulla järjestelmällä sekä merkitty sellaiseksi. Luokka IV kattaa luonnollisten henkilöiden kohdassa a tehdyt toimet, jos toimiin ei kuulu kylmäainepiirin avaamista. (L301/28 2014, 3 artikla.)

Poikkeuksina edeltäviin luokkiin on kaksi. Hitsausta ja kova- tai pehmeäjuottoa järjestelmään tai laitteen osaan voidaan suorittaa ilman edellä mainittuja pätevyyskysymyksiä, jos pätevyys omaava henkilö valvoo työtä ja on vastuussa toimien asianmukaisista täytäntöönpanoista. Lisäksi talteenottoa voidaan suorittaa alle kolme kiloa ja alle viisi hiilidioksidiekvivalenttitonnia kylmäainetta sisältävästä laitteesta, joka on direktiivin 2012/19/EY alainen ja on kyseisen direktiivin soveltumisalaan kuuluvissa tiloissa. Talteenottajan on oltava luvan saaneen yrityksen palveluksessa ja hänellä on oltava edellä mainitun direktiivin liitteen I luokan III vähimmäistietoja ja -taitoja koskeva koulutus ja kelpoisuudesta kertova todistus. (L301/28 2014, 3 artikla.)

Yritys saa toimeenpanoasetuksen L301/28 2 artiklan toimea koskevan luvan, jos toimia suorittavat edellä mainitun toimeenpanoasetuksen 3 artiklan mukaisesti pätevyityneet henkilöt ja heitä on toimien määrään nähden lukumääräisesti tarpeeksi sekä henkilöillä on todistetusti tarvittavat menettelyt ja välineet toimien suorittamiseen (L301/28 2014, 6 artikla).

6.4 Pätevyysvaatimusten erot ja yhtenäisyydet

EU:n pätevyysvaatimukset antavat lähinnä suuntaviivat ja minimivaatimukset jäsenmailleen yritysten ja henkilöiden pätevyyksistä. Suomen lainsäädännössä on jäänyt kokonaan pois alle kuuden kilon kylmäainemäärä ilmatiiviisti suljetussa järjestelmässä. Lisäksi Suomessa on erikseen luvat sähkö- ja elektroniikkaromusta tehtävälle talteenotolle, mikä on EU:n lainsäädännössä eritelty direktiivin 2012/19/EY taakse.

Suomen lainsäädäntö on paljon tarkempi vaatimusten osalta ja pätevyudet on jaoteltu useampaan osaan kuin EU:n täytäntöönpanoasetuksessa. EU:n täytäntöönpanoasetuksessa määritellään luvat toimien kautta eikä siinä erotella laitteistoja eri lohkoihin. Suomen lainsäädäntö määrittelee erilaiset laitteistot eri lupien taakse. Esimerkiksi ajoneuvojen ilmastointilaitteet ovat oman lupansa takana ja kiinteillä sammutuslaitteilla on omat lupansa. Yhtenäistä molempien lainsäädännön luvissa on suurimpien lupien kattavuus lähes kaikkiin kylmäainetta käsitteleviin toimenpiteisiin.

7 Luvat kylmäkoneiston käyttöönottoon

Vähintään 3kg kylmäainetta sisältävän kylmäkoneiston käyttöönottajalta vaaditaan erilaisia TUKESin myöntämiä lupia. Tärkeimpänä lupana on kylmäalan asentajan pätevyystodistus y3a. Y3a on vähintään 3kg kylmäainetta sisältävän kylmäkoneiston parissa toimivan kylmäasentajan pätevyystodistus. Kyseinen todistus kattaa lainsäädännön L 766/2016, 3§ ensimmäisen pätevyysluokan mukaiset pätevyysvaatimukset. Lisäksi yritykseltä voi löytyä henkilö, jolla on pätevyystodistus y3. Se kattaa lainsäädännön L 766/2016, 2§ ensimmäisen pätevyysluokan vähintään 3kg kylmäainetta sisältävän kylmäkoneiston vastuuhenkilön pätevyysvaatimukset. Vastuuhenkilö ei saa tehdä itse asennus-, kunnossapito- tai huoltotöitä. Henkilöllä voi olla molemmat pätevyudet ja hän voi silloin toimia sekä asentajana että vastuuhenkilönä. (Henkilöpätevyudet ja pätevyysvaatimukset n.d.)

Taulukko 1. Kattilalaitoksen käytönvalvojan pätevyysvaatimukset paine- ja tehokurajoilla.
(Painelaitteen käytönvalvoja n.d.)

Kattilalaitoksen käytönvalvojan pätevyyskirjat	
B-koneenhoitajankirja	$\leq 16 \text{ bar ja } \leq 40 \text{ bar x MW}$
A-koneenhoitajankirja	$\leq 25 \text{ bar ja } \leq 100 \text{ bar x MW}$
Alikonemestarinkirja	$\leq 40 \text{ bar ja } \leq 500 \text{ bar x MW}$
Konemestarinkirja	$\leq 5000 \text{ bar x MW}$
Ylikonemestarinkirja	$> 5000 \text{ bar x MW}$

Kylmäkoneiston käyttöönottajalla täytyy olla riittävä ymmärrys ja osaamistaso painelaitteista. Toisinaan käyttöönottaja jää käyttöönoton jälkeen painelaitteiden käytönvalvojaksi laitteiston luovutukseen asti. Silloin käyttöönottajalla täytyy olla TUKESin vaatima koulutus ja työkokemus, mikä soveltuu kyseiselle painelaitteelle. Koulutuksessa huomioidaan henkilön pohjakoulutus ja saatu painelaite-alan koulutus. Työkokemuksessa huomioidaan henkilön työkokemus käytönvalvojan tehtävistä, työkokemus painelaitteiden käytöstä ja kunnossapidosta sekä työkokemus muiden teknisten laitteiden käytöstä ja kunnossapidosta. Jos kyseessä on kattilalaitos, täytyy käytönvalvojalla olla tarvittavat pätevyyskirjat. Ne on esitetty taulukossa yksi. Poikkeuksena pätevyyskirjoihin ovat insinöörit ja diplomi-insinöörit joilla on tarvittava koulutus ja työkokemus kattilalaitoksien suunnittelusta, hoidosta ja siellä tehtävistä työtehtävistä. (Painelaitteen käytönvalvoja n.d.)

Kylmäkoneiston käyttöönottajalla tulee monesti olla myös TUKESin myöntämä sähköpätevyys. Useimpiin kohteisiin riittää sähköpätevyys 3 eli S3, mikä kattaa yksittäisen ryhmäjohtoon

asennuksen keskukselta tai asennusrasialta kylmäkoneistolle. S3-luvilla ei saa tehdä muutoksia keskukseseen. Isompien kylmäkoneistojen kokonaisuuksissa tarvitaan sähköpätevyys 2 eli S2, mikä kattaa enintään 1000V sähkötyöt. Jos kylmäkoneiston käyttöönottajalta ei itseltään löydy tarvittavia sähköpätevyyskatsastuksia, voi sähkötyöt tehdä erillinen sähköasentaja, joka hoitaa asennukset ja käyttöönottotarkastuspöytäkirjat ennen laitteen käynnistämistä. (Sähköpätevyys ja työalueet n.d.)

Työmaalla tehtävä kylmäkoneiston käyttöönotto vaatii monesti käyttöönottajalta erilaisia työturvallisuuteen liittyviä korttikoulutuksia. Näistä tärkeimmät ovat työturvallisuuskortti, tulityökortti ja hätäensiapukortti. Lisäksi SFS 6002 sähkötyöturvallisuuskortti vaaditaan, jos käyttöönottaja tekee itse sähkötyöt. Nämä kaikki kortit suoritetaan kylmäasentajan ammattitutkinnon yhteydessä, mutta ne pitää uusida viiden vuoden välein. Poikkeuksena ovat ensiapukortit jotka täytyy uusida kolmen vuoden välein. (Opetushallitus: Kylmäasentajan ammattitutkinnon perusteet 2011.)

8 Kylmäkoneistojen käyttöönotto käytännössä

Kylmäkoneistojen käyttöönoton nykytilaa ja käytännön osaamista selvitettiin tässä opinnäytetyössä kyselyllä. Kysely lähetettiin kylmäalan ammattilaisille ja asennukseen vaadittavat luvat omaaville. Kyselyyn saatiin kuusi vastausta, mikä ei vielä anna laajaa kuvaa yleisestä osaamisesta. Vastanneet olivat kuitenkin pääosin eri yrityksistä, joten kysely antaa hyvän pohjatiedon eri yritysten käytännöistä.

8.1 Painekoe

Ensimmäisessä ja toisessa kysymyksessä selvitettiin painekokeeseen käytettävää ainetta ja painekokeessa aseteltavaa painetta kylmäkoneistoon. Kaikki vastaajat käyttivät painekokeessa kuivaa typpeä. Paineen määrässä oli enemmän vaihtelua.

Kolmessa vastauksessa mainittiin paineen täytössä varoventtiili, mutta kaikissa asia huomioitiin eri tavalla. Yksi näistä vastauksista oli alle varoventtiilin laukeamisrajan, toinen vastaaja nosti paineet varoventtiilin laukeamisrajaan asti ja kolmas nosti paineet yli yhden bar:n varoventtiilin

laukeamisrajan. Kaksi vastaajista otti kantaa vain paineisiin. Näistä toinen nosti paineet yleensä 30 bar:n ja toinen nosti imulinjassa paineet 80 bar:n ja lauhdepuolella 130 bar:n.

Viimeinen vastaajista koeponnisti laitoksen ilman kylmäainetta 1,1 x PS bar:n ja jos laitoksessa on kylmäainetta, oli koepaine alle kylmäaineen paineen. Viimeinen vastaaja otti esimerkiksi ilmalämpöpumpun, jossa on kylmäaine sisällä. Hän mainitsi riskiksi typen vuotamisen Rotaloc-venttiilin läpi kylmäaineeseen, jos typen paine on suurempi kuin kylmäaineen.

8.2 Tiiveyskokeen suoritus ja hyväksytty tiiveysraja

Kolmas ja neljäs kysymys käsittelivät kylmäkoneiston tiiveyskoetta. Kaikki vastaajat tekivät tiiveyskokeen työmaalla. Kolme vastaajista teki tiiveyskokeen typellä, kaksi tyjiöinnillä ja yksi käytti molempia menetelmiä. Kaksi vastaajista piti tiiveyskokeessa koepainetta vuorokauden ajan. Toinen näistä suoritti sen jälkeen tyjiöinnin ja seurasi yhdestä kahteen tuntiin paineen pysymistä.

Yksi vastaajista otti hyväksytyssä tiiveysrajassa kantaa vain sallittuun tyjiöintirajaan ja tyjiöi järjestelmän alle 2,7 mbar:n paineeseen. Toinenkin vastaaja tyjiöi järjestelmän alle 2,7mbar:n paineeseen, mutta hän tarkisti ensin painekokeessa tyypitäytön paineen pysymisen. Yhdessä vastauksessa tarkkailtiin painetta tarkkailujakson ajan ja hyväksyi tiiveysrajan paineen pysyessä muuttumattomana. Viimeisessä vastauksessa tiiveyskoe tehtiin isolle järjestelmälle tyjiöintipaineella ja siinä tarkkailtiin paineen pysymistä 12 tunnin ajan analogisella mittarilla.

8.3 Kylmäkoneistojen vaatimuksenmukaisuus, tarkastukset ja dokumentointi

Viides kysymys käsitteli kylmäkoneiston vaatimuksenmukaisuuden tarkastamista työmaalla ja siinä kaikki vastaajat ilmoittivat tekevänsä tarkastuksen. Kuudennessa kysymyksessä käytiin läpi kylmäkoneiden tarkastuksen vaiheita. Tähän kysymykseen vastasi viisi henkilöä, joista yksi vastasi tekevänsä tarkastuksen käynnistyksen yhteydessä, mutta ei avannut vaiheita sen enempää. Neljä muuta vastasivat pidemmät listaukset tarkastuksen vaiheista työmaalla suoritettavassa järjestyksessä. Ensimmäisen listaus meni seuraavasti:

1. aistinvarainen tarkastus
2. toiminta-arvot/olosuhteet
3. putkiston ja koneikon kiinnitys

4. sähköliitosten tarkastus
5. vuototarkastus vuodonilmaisijalla ja vuotovahdin toiminnan tarkastus
6. puhdistus esim. lauhdutin/kaasujäähdytin
7. dokumentointi ja päiväkirjan täyttö

Toisen vastaajan listaus oli kaksivaiheinen ja se käsitteli aihetta ennen ja jälkeen kylmäkoneiston käynnistystä.

Ennen käynnistystä:

1. Silmämääräinen tarkastus esim. vuodot ja mahdolliset vauriot
2. höyrystimen ja lauhduttimen liuospiirien toiminta
3. öljynlämmittimien toiminta
4. kylmäpiirin paineen ja kylmäaineen pinnan tarkastus

Käynnistyksen jälkeen:

1. kompressorin oikean pyörimissuunnan tarkastus
2. öljyn virtauksen varmistus
3. kylmäaineen täyttömäärän tarkistus
4. tulistusten, paineiden ja toimintaikkunoiden tarkistus
5. kompressorin virran mittaus
6. varolaitteiden testaukset simuloimalla vastaamaan todellista tilannetta (virtauskytkimet, painekytkimet yms.)
7. vuototarkastus elektronisella vuodonilmaisimella

Kolmas vastaaja kertoi suorittavansa tarkastukset tarkastuspöytäkirjojen mukaan. Hän avasi vastausta seuraavasti:

1. visuaalinen tarkastus
2. mittaukset
3. dokumentointi
4. puhtaus ja puhdistukset
5. korjaus / kunnossapito parannuksien kirjaus seuraavaa huoltoa varten

Viimeisellä vastaajalla oli seuraavanlainen listaus:

1. tiiveyskoe
2. painekoe
3. sähköturvallisuusmittaukset
4. varolaitteiden toimintakoe
5. pressostaattien säätäminen
6. koneiden käyttörajat

Seitsemäs ja kahdeksas kysymys käsittelivät tarkastusten dokumentointia ja käyttöpäiväkirjan käytön aloittamista. Neljä vastaajista ilmoittivat dokumentoivansa tarkastuksen huollon pöytäkirjaan, käynnistyspöytäkirjaan, pöytäkirjaan tai asennuspöytäkirjaan. Lisäksi yksi vastaaja kertoi valokuvaavansa epäkohdat ja lähettävänsä ne asiakkaalle. Kaksi vastaajista ilmoitti painetodistusten/painekokeen pöytäkirjan toimittamisesta asiakkaalle.

Viimeiseen kysymykseen vastasi vain viisi henkilöä ja kaikki ilmoittivat aloittavansa käyttöpäiväkirjan koneiston käyttöönoton yhteydessä. Käyttöpäiväkirja oli vastaajilla paperisena konehuoneessa tai muuten koneiston läheisyydessä ja lisäksi kaksi vastaajista kertoi huoltoraporttien olevan myös sähköisenä.

9 Kylmäkoneistojen käyttöönoton standardienmukaisuus

Kylmäkoneistojen ja lämpöpumppujen käyttöönoton nykytilaa selvitetään vertaamalla liitteessä 1 olevaan kyselyyn saaduilla vastauksilla peilaamalla niitä standardeihin. Vastauksia kyselyyn ei ollut montaa, mutta niiden poikkeavuus toisistaan antaa kuvaa eri käytännöistä yritysten ja asentajien välillä.

9.1 Paineekoe

Ensimmäisessä vastauksessa kaikki vastaajat kertoivat käyttäneensä tyypeä, mikä on standardin SFS-EN 378-2 mukainen suositus. Toisessa kysymyksessä selviteltiin laitoksen paineentäyttöä painekokeessa. Vastauksissa tuli enemmän hajontaa kuin ensimmäisessä kysymyksessä. Standardi antaa painerajoiksi 1,43 x PS ja 1,1 x PS riippuen laitteiden ja putkistojen kategoriasta.

Vastauksista ei suoraan selviä laitosten painelaitteiden kategoriata, mutta niistä voidaan päätellä niiden olleen kategoriassa 1 tai kategoriassa 2, missä on 1,43 x PS paineessa rikkoutuvia osia.

Yhdessä vastauksessa paine nostettiin alle varoventtiilin laukeamisrajan. Standardin SFS-EN 378-2 kohdan 6.3.2 mukaan on paineenrajoituslaitteet tarvittaessa poistettava testauksen ajaksi. Kyseisissä laitoksissa saattaa siis testipaine jäädä liian alhaiseksi.

Kahdesta vastauksesta ei voinut päätellä laitoksen maksimipaineita, koska niissä oli mainittu vain täytetty paine, eikä laitoksen mitoituspaineita. Yhdessä vastauksessa paine nostettiin 1,3 x PS. Paine on vaatimuksia parempi kategoriassa 1 ja kategoriassa 2, missä on 1,43 x PS paineessa rikkoutuvia osia, mutta liian alhainen kategoriassa 2. Lisäksi vastauksessa mainittiin varoventtiili, mutta ei kerrottu miten se huomioidaan paineissa.

Yhdessä vastauksessa paine nostettiin varoventtiilin aukeamispaine kertaa 1,xx eli oletettavasti yli yhden barin yli varoventtiilin aukeamispaineen. Varoventtiili on mitoitettava järjestelmän maksimipaineen mukaan, joten tällä tavalla paineistettu järjestelmä on testattu standardin vaatimalla tavalla, jos vastaaja tarkoittaa vastauksellaan kategoriassa 1 1,1 kertaa varoventtiilin paine ja kategoriassa 2 1,4 kertaa varoventtiilin paine.

9.2 Tiiveyskokeen suoritus ja hyväksytty tiiveysraja

Kolmas kysymys käsitteli työmaalla tehtävää tiiveyskoetta ja siinä käytettyä kaasua tai tyhjiöintiä. Kaikki vastaajat ilmoittivat tekevänsä tiiveyskokeen työmaalla, mikä viittaa laitteiston lopullisen kokoonpanon tapahtuvan työmaalla. Standardin SFS-EN 378-2 kohdan 6.3.3 mukaan tiiveyskoe on suoritettava tehtaalla tai työmaalla riippuen laitteiston kokoonpanopaikasta. Lisäksi saman kohdan mukaan tiiveyskoe on tehtävä inertillä kaasulla esimerkiksi typellä, hiilidioksidilla tai heliumilla. Tyhjiöintiä voidaan käyttää karkean arvion saamiseksi.

Neljä vastaajista käytti tiiveyskokeeseen standardin mukaisesti typpeä. Näistä neljästä yksi mainitsi myös tyhjiöinnin. Kaksi vastaajista käytti vain tyhjiöintiä. Tyhjiöinnillä saadaan yleisarvio tiiveydestä, mutta se ei ole suositeltava tapa tiiveyskokeeseen. Korjaustoimenpiteissä se on hyväksyttävä tapa, mutta käyttöönotossa, varsinkin isommissa laitoksissa, täytyy käyttää inerttiä kaasua koneiston tiiveyden varmistamiseksi.

Neljännessä kysymyksessä selvitettiin hyväksytyn tiiveysrajan määritelmää. Standardi SFS-EN 378 ei ota kantaa paineenpitoajasta tiiveyskokeessa, joten se jää kylmäasentajan vastuulle.

Standardissa käsitellään vuodontestauslaitteiden vaatimuksia eri GWP-arvoilla oleville kylmäaineille.

Kahdessa vastauksessa koepaine on koneistossa 24 tuntia ja toisessa vastauksessa mainittiin koepaineen jälkeinen tyhjiöinti. Kahdessa vastauksessa puhuttiin vain tarkkailujaksosta. 24 tunnin paineenpidolla saadaan jo luotettava kuva koneiston tiiveydestä, varsinkin jos koneisto pidetään tyhjiöinnissä tiiveyskokeen jälkeen. Paine ei saa muuttua tiiveyskokeen aikana.

Kaksi henkilöä mainitsi vain tyhjiöinnin, joista toinen mainitsi ajaksi 12 tuntia ja paineen muuttumattomuuden. Kyseisessä ajassa pidetty tyhjiöinti on luotettava testaus huolto ja korjaustehtävissä. Kaksi vastaajista mainitsi tyhjiöinnin paineeksi alle 2,7 mbar, mikä on standardin SFS-EN 378-4 kohdan 5.3.8 mukainen eli sillä paineella saavutetaan oikeaoppinen tyhjiöinti.

9.3 Kylmäkoneistojen vaatimuksenmukaisuus, tarkastukset ja dokumentointi

Viidennessä kysymyksessä selvitettiin kylmäasentajien vaatimuksenmukaisuuden tarkastamista. Standardin SFS-EN 378-2 kohdan 6.3.4.1 mukaan kylmäkoneiston vaatimuksenmukaisuus on aina tarkastettava ennen käyttöä. Viisi vastaajista ilmoitti tarkastavansa vaatimuksenmukaisuuden. Yksi vastaajista ilmoitti tarkastuksen riippuvan tapauksesta. Vaatimuksenmukaisuuden tarkastamista käyttöönoton yhteydessä ei saa jättää väliin. On vähintään tarkastettava koneistosta löytyvä vaatimuksenmukaisuusvakuutus.

Kuudennessa kysymyksessä käytiin läpi kylmäkoneen tarkastuksen vaiheita. Standardin SFS-EN 378-2 kohdassa 6.3.4 on laajasti avattu tarkastuksessa suoritettavia kohtia. Kylmäasentajien vastauksissa on käsitelty tarkastuskohtia yleispätevästi ja nostettu esille omaan työhön tärkeitä kohtia. Pääsääntöisesti asentajat suorittavat tarvittavan visuaalisen/silmämääräisen tarkastuksen koneistosta. Standardin mukaisen vuototarkastuksen ilmoitti tekevänsä kaksi vastaajista. Varolaitteiden testauksen ilmoitti tekevänsä kaksi vastaajaa. Lisäksi vastauksissa esiintyi tarkempia tietoja toiminta-arvojen tarkastuksista ja mittauksista.

Seitsemäs kysymys selvitti tarkastukseen liittyvää dokumentointia. Standardin SFS-EN 378-2 kohdan 6.3.4.2 mukaan kylmäkoneiston tarkastus on aina dokumentoitava tai sitä ei saa ottaa käyttöön. Vastaajista neljä kertoi tekevänsä pöytäkirjan tarkastuksesta tosin eri nimillä.

Pöytäkirjoja oli huollon pöytäkirja, käynnistyspöytäkirja, pelkkä pöytäkirja ja asennuspöytäkirja. Kaksi vastaajaa kertoi ottavansa vain painetodistukset tai -pöytäkirjat käynnistyksestä. Pelkästään painelaitteisiin liittyvä dokumentointi ei riitä standardin mukaiseen kylmäkoneiston dokumentointiin.

Viimeinen kysymys käsitteli käyttöpäiväkirjan aloittamista. Standardin SFS-EN 378 kohdan 6.4.3.5 mukaan kylmäainetäytöksen ylittäessä 3 kg on aloitettava käyttöpäiväkirjan täyttö asennuksen yhteydessä. Kaikki vastaajat ilmoittivat aloittavansa päiväkirjan täytön koneiston käyttöönoton yhteydessä. Pöytäkirja oli vastaajilla paperisena, mutta sen rinnalla oli kahdella sähköinen pöytäkirja.

10 Tulokset

Tässä opinnäytetyössä pyrittiin vastaamaan kolmeen kysymyksen. Ensimmäiseen kysymyksen kylmäkoneiston käyttöönottoon liittyvistä standardien vaatimuksista on avattu laajasti luvussa 5. Lisäksi tarvittavista pätevyysvaatimuksista ja luvista kylmäkoneistojen käyttöönottajalle on avattu laajasti luvuissa 6 ja 7. Toinen kysymyksistä käsitteli nykyisiä asentajien ja yritysten käytäntöjä kylmäkoneistojen ja lämpöpumppujen käyttöönotossa. Se selvitettiin kyselytutkimuksella ja vastaukset on avattu luvussa 8 jaettuna kysymysten mukaisiin aiheisiin.

Kolmas kysymys käsitteli merkittävimpiä kehityskohteita kylmäkoneistojen ja lämpöpumppujen käyttöönotossa. Merkittävimmät puutteet käyttöönotossa löytyvät painekokeen painerajoista, tiiveyskokeen tekemisestä vain tyhjiöinnillä, dokumentoinnin puutteellisuudesta ja kylmäkoneen tarkastuksen vajavaisuudesta. Etenkin kylmäkoneiston tarkastuksessa jäi osalta puuttumaan tarkastuksen kannalta oleellisia kohtia kuten vuototarkastus. Kokonaisuutena kylmäasentajien osaamistaso oli kuitenkin kohtalaisella tasolla, mutta tasoeroja löytyi. Vastausten poikkeavuutta voi selittää erilaiset yrityskäytännöt. Niitä pitäisi saada yhtenäistettyä enemmän ja kylmäasentajien ymmärrystä käyttöönoton tärkeydestä pitäisi saada parannettua. Osa vastauksista antoi kuvan tiedosta miten asia tehdään, mutta ei ymmärrystä syystä. Erilaiset yritys- ja asentajakäytännöt aiheuttavat ongelmia siirryttäessä yrityksestä toiseen ja tehtäessä tarkastuksia erilaiselle kylmäkoneelle kuin on totuttu. Edempänä on avattu tarkemmin kylmäkoneistojen käyttöönottoon liittyviä kehityskohteita.

Kylmäasentajien käytännöt vaihtelivat painekokeissa. Osa ilmoitti vain täytetyt paineet, mikä antaa kuvan asentajista, jotka tekevät vain yhdenlaisia koneita. Näissä tilanteissa olisi tärkeää ymmärtää myös syy asetettuihin painemääriin. Kolme vastaajista selkeästi ymmärsi painekokeiden painemäärin tarkoituksen ja he ilmoittivatkin käyttävänsä kertoimia laitoksen mitoituspaineisiin. Yksi vastaajista paineisti alle varoventtiilin laukeamisrajan. Tässä tilanteessa tulee epäily kylmäasentajan ymmärryksestä painetason määrästä painekokeessa. Näiden tulosten pohjalta voidaan sanoa vain puolen vastaajista tietävän painekokeen merkityksen tai ainakin ymmärtävän eri koneistoille tehtävän painekokeen painemäärien muutoksen.

Kaikki asentajat tekivät tiiveyskokeen työmaalla. Kaksi vastaajista teki tiiveyskokeen tyhjiöinnillä. Molemmat vastaajat vaikuttivat ymmärtävän tyhjiöinnin tarkoituksen vastausten perusteella. Toinen näistä ilmoitti tyhjiöinnin keston ja toinen paineen tason tyhjiöinnissä. Tyhjiöinnillä saadaan kuitenkin vain karkea arvio tiiveydestä ja isompien koneistojen kohdalla se on riittämätön tapa käyttöönotossa. Neljä vastaajista suoritti tiiveyskokeen typellä, mutta vain yksi ilmoitti tiiveyskokeessa käytettävän painetason. Voi toki olla, että tiiveyskoe tehdään painekokeen yhteydessä, jolloin painekokeen paine jätetään järjestelmään ja sen tasoa seurataan. Typellä tiiveyskokeen tehneistä vain kaksi mainitsi tyhjiöinnin tiiveyskokeen jälkeen. Se on kuitenkin välttämätöntä typpitäytön jälkeen, jotta koneistoon ei jää typpeä kylmäainetäytön aikana. Vastausten pohjalta voidaan päätellä, että vastaajista kaksi kolmasosaa ymmärsi tiiveyskokeen toiminnan. Voi toki olla, että loput eivät pitäneet typpitäyttöä osana tiiveyskoetta.

Kylmäkoneiston vaatimuksenmukaisuuden tarkistus oli hyvällä tasolla. Vain yksi vastaajista ilmoitti tarkastuksen riippuvan tapauksesta, mutta ei avannut asiaa enempää. Vaatimuksenmukaisuus pitää aina tarkistaa kylmäkoneiston käyttöönoton yhteydessä. Kylmäkoneen tarkastuksessa käyttöönoton yhteydessä tehtävissä työvaiheissa oli aika paljon vaihtuvuutta. Yhdestä vastauksesta ei voi ottaa selvää asentajan osaamistasoa, koska siinä oli maininta vain käynnistyksen yhteydessä tehtävästä tarkastuksesta. Vastaaja oli ilmeisesti ymmärtänyt kysymyksen väärin. Kolmessa vastauksessa käytiin pääosin tärkeimmät tarkastuskohteet läpi ja niiden lisäksi kohdekohtaisia mittauksia tai tarkastuksia. Yksi vastauksista oli todella yleispätevä ja siitä puuttuivat silmämääräiset ja vuototarkastukset kokonaan. Vastausten perusteella kylmäasentajilla on hyvä perusnäkemys kylmäkoneiston käyttöönoton tarkastuksista, mutta parannettavaa vielä löytyy. Vastausten perusteella saa kuvan yritysten erilaisista käytännöistä.

Käytäntöjä olisi hyvä saada enemmän yhtenäistettyä ja seurata tarkemmin standardin asettamia vaatimuksia kylmäkoneistojen testaukseen.

Tarkastusten dokumentoinnissa löytyi parannettavaa. Suurin osa kylmäasentajista dokumentoi tarkastuksen, mutta osa dokumentoi vain painekokeet ja painetodistukset. Kaikki tarkastuksen vaiheet tulisi dokumentoida. Käyttöpöytäkirjan aloituksen tärkeys oli hyvin tiedossa vastaajilla, sillä kaikki aloittivat pöytäkirjan käyttöönoton yhteydessä ja pöytäkirja pidettiin konehuoneessa koneen lähettyvillä.

11 Pohdinta

Opinnäytetyössä käsiteltiin kylmäkoneistojen käyttöönottoa standardien pohjalta. Standardit pohjautuvat lainsäädäntöön sekä kansainvälisiin standardeihin ja ne ovat helposti saatavilla ja selkeälukuisia. Standardien pohjalta sai luotua kyselyn kylmäalan ammattilaisille kylmäkoneistojen käyttöönotosta. Kyselyyn sisällytettiin olennaisimmat asiat käyttöönottoon liittyen ja sillä pyrittiin selvittämään kylmäkoneistojen käyttöönottojen nykytila.

Opinnäytetyön eettisyyttä tarkasteltiin lähteiden kriittisyydellä ja haastattelun anonymiteetillä. Lähteinä käytettiin pääosin standardeja ja lainsäädäntöä, joita voidaan pitää varmoina lähteinä ja niiden uskottavuutta ei tarvitse kyseenalaistaa. Niitä pyrittiin olemaan lainaamatta suoraan ja suorat lainaukset tuotiin selvästi esille. Kylmäkoneistojen historiasta käytettiin useita lähteitä, jotta saatiin mahdollisimman luotettavaa ja yhdenmukaista tietoa. Kysely lähetettiin useammalle kylmäalan ammattilaiselle ja ne lähettivät sitä eteenpäin, jotta anonymiteetti säilyy. Vastausten hankalan saamisen vuoksi, myös soitettiin useammalle kylmäasentajalle, jotta kyselyyn saatiin tarpeeksi vastauksia. Vastausten perusteella voidaan päätellä vastaajien ammattimaisuus, mutta ei voida yksilöidä henkilöä tai yritystä vastausten takaa.

Kylmäkoneistojen käyttöönottajien osaamisen nykytilan selvittäminen osoittautui haastavaksi. Selvittelyä tehtiin kyselytutkimuksella, mikä lähetettiin suurelle määrällä kylmäalan ammattilaisia. Alkuvaiheessa ei vastauksia saatu ollenkaan, vaikka kysely olikin täysin anonyymi. Lopulta erikseen henkilöille soittamalla saatiin muutama vastaus kyselyyn. Vastausten vähäinen määrä ei anna välttämättä todellista kuvaa kylmäkoneistojen käyttöönoton nykytilanteesta. Vastaukset ovat

kuitenkin eri yritysten palveluksessa olevilta henkilöiltä, joten suuntaviivat osaamisesta voidaan vetää kyselyn pohjalta.

Vastausten vähäisestä määrästä huolimatta puutteita ja vaihtuvuutta vastauksista löytyi yllättävän paljon. Pienessä otannassa oleva suuri vaihtuvuus ei anna kovin positiivista kuvaa kylmäasentajien ymmärryksestä ja osaamisesta kylmäkoneistojen käyttöönotossa. Tämän opinnäytetyön tulokset jättävät tarpeen suuremmalle selvitykselle kylmäalan ammattilaisten ymmärryksestä kylmäkoneistojen käyttöönotossa.

Kyselyn tulosten pohjalta nousee esille kysymys: Tarvitseeko kylmäasentajille järjestää kertaavaa koulutusta? Kylmäala on tällä hetkellä jatkuvassa murroksessa ja kylmäaineet ja niihin liittyvät tekniikat kehittyvät kokoajan vauhdilla. Osasyynä muutoksille on EU:n tahtotila poistaa käytöstä liian suuren GWP-luvun omaavia kylmäaineita. Eri kylmäaineet käyttäytyvät eri tavalla erilaisissa paineissa, joten ymmärrys koneistossa olevan kylmäaineen toiminnalle on tärkeää, jotta koneistojen käyttöönotto saataisiin tehtyä standardien mukaan. Oikeaoppisesti tehty käyttöönotto vähentää virheiden ja vuotojen mahdollisuutta, joten se on samalla ympäristöteko. Varsinkin fluorattujen kylmäaineiden kohdalla vuodot ovat aina ympäristölle haitallisia. Vuodot ja vauriot ovat myös yrityksille kalliita. Osasyynä vajeeksi jääneille käyttöönotoille on todennäköisesti työmailla oleva jatkuva kiire, kun työvoiman lisähankinta on haastavaa ja aikataulut ovat tiukat. Kiireessä saatetaan jättää osa tarkastusta vaativista kohdista tekemättä ja pitemmällä tähtäimellä ne jäävät yleisiksi käytännöiksi yrityksiin.

Jatkuvalle kehitykselle ja kertaukselle on selkeästi tarvetta kylmäalalla. Yhtenä vaihtoehtoisena tapana tuottaa suositeltavaa kertausta kylmäalalle on suunnittelijoille ja asentajille tarkoitettu korttikoulutus. Nykyisin on paljon korttikoulutuksia ja sähköalan ammattilaisetkin suorittavat oman SFS 6002 sähkötyöturvallisuuskorttikoulutuksen viiden vuoden välein. Lisäksi pääsääntöisesti kaikki työmaalla toimivat suorittavat työturvallisuuskorttikoulutuksen viiden vuoden välein. Asentajille nämä koulutukset tuntuvat monesti turhilta, mutta jatkuva kertaaminen ylläpitää ammattitaitoa ja siellä nostetaan myös esille lainsäädännössä tapahtuneita muutoksia. Tällainen kylmäasentajille suunnattu korttikoulutus antaisi myös asiakkaalle kuvan asentajan osaamisesta tehdä asiat oikeaoppisesti ja turvallisesti. Lisäksi korttikoulutuksen kokeiden tuloksilla saataisiin myös kuvaa kylmäasentajien ammattitaidon kokonaiskuvasta.

Lähteet

Coolselector®2 v.3.0.0 – detailed log(p)-h diagrams for all available refrigerants. 2018. Danfossin artikkeli Coolselectorin uudesta ominaisuudesta. Viitattu 12.1.2024.

<https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/news/dcs/coolselector-2-includes-detailed-log-p-h-diagrams/>.

Evans, O . 1826. Young steam engineer’s guide. Philadelphia, H. C. Carey and I. Lea

Explainer: What’s the History of All-Climate Heat Pumps? 2023. Mitsubishi Electric:n artikkeli lämpöpumppujen historiasta. Viitattu 4.10.2023.

<https://www.mitsubishicomfort.com/blog/history-variable-capacity-heat-pumps>.

Future of heat pumps. 2022. IEA:n maailman energianäkymien erikoisraportti. Viitattu 22.9.2023.

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/4713780d-c0ae-4686-8c9b-29e782452695/TheFutureofHeatPumps.pdf>.

Heat pump technology: a Brief history. 2020. Klima Therm:n artikkeli lämpöpumppujen historiasta. Viitattu 4.10.2023. <https://klima-therm.co.uk/news/heat-pump-technology-a-brief-history/>.

Henkilöpätevyydet ja pätevyysvaatimukset. N.d. TUKESin ohjeistus kylmäalan pätevyysvaatimuksista. Viitattu 10.1.2024. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/kylmaala/henkilopatevyydet-ja-patevyysvaatimukset#625fa622>.

History of Heat Pumps. N.d. Automatic Heating:n artikkeli lämpöpumppujen historiasta. Viitattu 4.10.2023. <https://www.automaticheating.com.au/complete-guide-to-heat-pumps/history-of-heat-pumps/>.

Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M., Kianta, J. 2014. Kylmätekniiikan perusteet. Helsinki: Juvenes Print – Suomen Yliopistopaino Oy

Kylmäalan koulutus ei edelleenkään riitä alan tarpeisiin. 2022. SKLL:n lehdistötiedote. Viitattu 31.3.2023.

https://www.skll.fi/ajankohtaista/uutiset/skll_n_lehdistotiedote_31.10.2022_kylmaalan_koulutus_ei_edelleenkaan_riita_alan_tarpeisiin.1587.news.

L 150/195. 2014. EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON ASETUS (EU) N:o 517/2014. Viitattu 18.10.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32014R0517>.

L 301/28. 2015. EU:n komission täytäntöönpanoasetus 2015/2067. Viitattu 18.10.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32015R2067>.

L 766/2016. Valtioneuvoston asetus fluorattuja kasvihuonekaasuja tai otsonikerrosta heikentäviä aineita sisältävien laitteiden käsittelijän pätevyysvaatimuksista. Viitattu 2.4.2023.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20160766>.

Opetushallitus: Kylmäasentajan ammattitutkinnon perusteet. 2011. Määräys D:21/011/2011. Viitattu 10.1.2024. <https://www.finlex.fi/data/normit/37962/oph210112011su.pdf>.

Painelaitteen käytönvalvoja. N.d. TUKESin ohjeistus painelaitteiden käytönvalvojista. Viitattu 10.1.2024. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/painelaitteet/painelaitteen-kaytto/painelaitteen-kaytonvalvoja#625fa622>.

Puhdas energia. 2022. Eurooppa-neuvoston artikkeli EU:n päästötavoitteista. Viitattu 11.8.2023. <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/clean-energy/>.

R134a – Kylmäaine. 2023. Alvadin hinnasto R134a kylmäaineelle. Viitattu 15.10.2023. <https://alvadi.fi/gas/r134a>.

R134a kylmäaine on monipuolisimpia kylmäaineitamme. N.d. Darmentin tiedote R134a kylmäaineesta. Viitattu 15.10.2023. <https://darment.fi/kylmaaine/r134a/>.

Sähköpätevyys ja työalueet. N.d. TUKESin ohjeistus sähköpätevyyksistä ja niiden työalueista. Viitattu 10.1.2024. <https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/sahkopatevyydet-ja-tyoalueet#625fa622>.

Selvitysraportti: Sähköistyminen, hukkalämmöt ja lämpöpumput teollisuudessa 01/2023. 2023. Motivan raportti sähköistyminen, hukkalämmöt ja lämpöpumput teollisuudessa-yhteishankkeesta. Viitattu 11.8.2023. [https://www.motiva.fi/files/21007/Selvitysraportti - Sahkoistyminen hukkalammot ja lampopumput teollisuudessa.pdf](https://www.motiva.fi/files/21007/Selvitysraportti_-_Sahkoistyminen_hukkalammot_ja_lampopumput_teollisuudessa.pdf).

SFS-EN 378-1:2016 + A1:2020. Kylmäkoneistot ja lämpöpumput. Turvallisuus- ja ympäristövaatimukset. Osa 1: Perusvaatimukset, määritelmät, luokitus ja valintakriteerit. Vahvistettu 6.11.2020. Viitattu 2.9.2023. <https://janet.finna/>, SFS Online.

SFS-EN 378-2:2016. Kylmäkoneistot ja lämpöpumput. Turvallisuus- ja ympäristövaatimukset. Osa 2: Suunnittelu, rakenne, testaus, merkintä ja dokumentointi. Vahvistettu 9.12.2016. Viitattu 2.9.2023. <https://janet.finna/>, SFS Online.

SFS-EN 378-4:2016 + A1:2019. Kylmäkoneistot ja lämpöpumput. Turvallisuus- ja ympäristövaatimukset. Osa 4: Käyttö, huolto, korjaus ja talteenotto. Vahvistettu 4.10.2019. Viitattu 2.9.2023. <https://janet.finna/>, SFS Online.

The History of Heat Pump Technology. N.d. Finn Geothermin artikkeli lämpöpumpun kehityksestä. Viitattu 4.10.2023. <https://finn-geotherm.co.uk/the-history-of-heat-pumps/>.

Toikko, T., Rantanen, T. 2009. Tutkimuksellinen kehittämistoiminta : näkökulmia kehittämisprosessiin, osallistamiseen ja tiedontuotantoon. Tampere University Press.

William Cullen. N.d. Edinburghin kuninkaallisen lääkärikorkeakoulun artikkeli. Viitattu 12.1.2024. <https://www.rcpe.ac.uk/heritage/college-history/william-cullen>.

Zogg, M. 2008. History of Heat Pumps: Swiss Contributions and International Milestones. Swiss Federal Office of Energy SFOE

Liitteet

Liite 1. Kylmäkoneiston käyttöönottokysely



Kylmäkoneiston käyttöönotto

Tämän kyselyn tarkoituksena on kartoittaa kylmäkoneistojen käyttöönottoon liittyviä tapoja ja käytäntöjä. Kysely on osana Jyväskylän ammattikorkeakoulun insinööriopiskelijan opinnäytetyötä. Kysely suoritetaan anonyymisti.

1. Mitä ainetta käytätte painekokeeseen?

2. Mihin paineeseen täytätte laitoksen painekokeessa?

3. Teettekö tiiveyskoetta työmaalla?

Jos teette, teettekö sen kaasulla (millä kaasulla?) vai tyhjiöinnillä?

☐ Kyllä

☐ Ei

4. Miten määritätte kylmäkoneiston hyväksytyn tiiveysrajan?

5. Tarkistatteko työmaalla kylmäkoneiston vaatimuksenmukaisuuden (esim. piirustusten yms. paikkansapitävyyden)?

6. Mitä vaiheita suoritatte kylmäkoneen tarkastuksessa ja missä järjestyksessä? (vastaa ranskalaisin viivoin)

7. Miten tarkasti dokumentoitte tarkastuksen vai dokumentoitteko ollenkaan?

8. Milloin aloitatte käyttöpäiväkirjan käytön ja missä muodossa se on (paperisena vai sähköisenä)?
