LÄMPÖPUMPPUHANKKEIDEN HAASTEET

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan diplomityö

2025

Antti Mäkivuoti

Tarkastajat: Dosentti Ahti Jaatinen-Värri

Diplomi-insinööri Jari Pihlajamaa

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT energiajärjestelmien tiedekunta

Energiatekniikka

Antti Mäkivuoti

Lämpöpumppuhankkeiden haasteet

Energiatekniikan diplomityö

2025

86 sivua, 22 kuvaa, 8 taulukkoa ja 1 liitettä

Tarkastajat: Dosentti TkT Ahti Jaatinen-Värri ja Diplomi-insinööri Jari Pihlajamaa

Avainsanat: Energiatehokkuus, kylmäjärjestelmä, lämpöpumppu, päivittäistavarakauppa

Päivittäistavarakauppojen kylmäjärjestelmissä käytettävät HFC-kylmäaineet ovat kasvihuonekaasuja. Euroopan neuvoston ja parlamentin asetuksella (EU) N:o 517/2014 ja sen korvanneella asetuksella (EU) N:o 573/2024 fluoratuista kasvihuonekaasuista, on alettu rajaamaan kasvihuonekaasujen käyttöä. Jäähdytyslaitteiden huollossa saa käyttää vain kierrätettyjä tai regeneroituja kylmäaineita, joiden GWP-arvo on yli 2500 vuoteen 2030 asti. Tämän kiellon takia joudutaan päivittäistavarakauppojen kylmälaitokset, joiden GWP-arvo on yli 2500 (R404A-kylmäaine) uusimaan vuoteen 2030 mennessä luonnollisilla kylmäaineilla toimiviksi.

Päivittäistavarakauppojen kylmälaitoksissa R404A kylmäaineella syntyy korkeassa lämpötilassa olevaa lauhdelämpöä. Tämä lämpö on voitu käyttää kiinteistön lämmittämiseen sellaisenaan. Uusien luonnollisten kylmäaineiden lauhdelämmön lämpötila on huomattavasti matalampi, eikä sitä kannata hyödyntää ilman lämpötilan nostoa. Lämpötilan nostoa varten kauppoihin rakennetaan energiankierrätysjärjestelmiä lauhdelämpöpumppuja hyödyksi käyttäen.

Lauhdelämpöpumput ovat teknisesti monimutkaisia. Tutkimuksen tavoitteena oli lisätä ymmärrystä lämpöpumppuhankkeista ja niiden haasteista eri osapuolten näkökulmasta. Työssä keskityttiin päivittäistavarakauppojen lauhdelämpöpumppuihin, mutta siinä ei tehty rajauksia muunlaisten lämpöpumppujen osalta. Työhön tehtiin teoriaosio ja haastattelututkimus alan ammattilaisille. Haastattelututkimusten perusteella tehtiin analyysi sekä yhteenveto. Tutkimuksessa saavutettiin laaja kuva haasteista ja hyvistä toiminta tavoista tulevaisuuteen. Tutkimuksessa nousi esille puutteet lämpöpumppualan koulutuksessa ja haasteet lämpöpumppujen ohjausten ja käyntiaikojen kanssa.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Energy Technology

Antti Mäkivuoti

Challenges of heat pump projects

Master's thesis

2025

86 pages, 22 pictures, 8 tables and 1 appendice

Examiners: Docent, D.Sc. Ahti Jaatinen-Värri and Jari Pihlajamaa, M. Sc. (Tech)

Keywords: Energy efficiency, grocery store, heat pump, refrigerant system,

HFC refrigerants used in refrigeration systems in grocery stores are greenhouse gases. Regulation (EU) No 517/2014 of the European Parliament and of the Council and its successor Regulation No 573/2024 on fluorinated greenhouse gases have begun to limit the use of greenhouse gases. Only recycled or regenerated refrigerants with a GWP value of over 2500 may be used in the maintenance of refrigeration equipment until 2030. Due to this ban, refrigeration systems in grocery stores with a GWP value of over 2500 (R404A refrigerant) will have to be renovated to operate with natural refrigerants by 2030.

In the refrigeration plants of grocery stores, R404A refrigerant generates high temperature condensation heat. This heat could have been used to heat the property as it is. The condensation heat temperature of the new natural refrigerants is significantly lower, and it is not usable without raising the temperature. To raise the temperature, energy recycling systems are built in stores, using condensation heat pumps.

Condensation heat pumps are technically complex. The aim of the study was to increase understanding of heat pump projects and their challenges from different parties' perspective. The study focused on condensing heat pumps in grocery stores, but did not make any limitations regarding other types of heat pumps. The study included a theoretical section and an interview study with professionals. An analysis and summary were made based on the interview studies. The study achieved a broad picture of the challenges and good practices for the future. The study highlighted shortcomings in heat pump fields education, and challenges with heat pump controls and operating times.

KIITOKSET

Tämän diplomityön tilaajana toimi Kesko Oyj. Haluan antaa isot kiitokset Keskolle mahdollisuudesta toteuttaa tämä diplomityö. Erityisesti haluan kiittää työn ohjaajia Ahti Jaatinen-Värriä sekä Jari Pihlajamaat työn asiantuntevasta ohjauksesta ja kommentoinnista. Ilman tätä tukea työtä ei olisi saatu valmiiksi.

Tie LVI-asentajasta, energiatekniikan diplomi-insinööriksi on ollut haastava, mutta mielenkiintoinen. Kiitos opiskelutovereille, LUT:n henkilökunnalle sekä työkavereilleni tuesta ja kannustuksesta opiskelujeni aikana.

Lopuksi haluan kiittää perhettäni sekä ystäviäni tuesta ja kannustuksesta opiskelujeni aikana. Suurin kiitos kuuluu Minnalle, ilman häneltä saatua kannustusta ja tukea tämä diplomityö ei olisi tullut valmiiksi.

LYHENNELUETTELO

CFC	Kloorifluorivety
CO_2	Hiilidioksidi
COP	Kylmäkerroin / lämpökerroin, Coefficent of Performance
GWP	Kylmäaineen ilmastoa lämmittävä vaikutus, Global Warming Potential
F-kaasu	Fluorattu kasvihuonekaasu
HFC	Fluorihiilivety
HFO	Hydrofluoriolefiini
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli
KVR	Kokonaisvastuurakentaminen
LPU	Lämpöpumppu
ODP	Kylmäaineen otsonia tuhoava vaikutus, Ozone Depleting Potential
PFAS	Per- ja polyfluoratut alkyyliyhdisteet
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 1907/2006 kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista
SR-urakka	Suunnittele- ja rakenna-urakka
VAK	Valvonta-alakeskus

ILMOITUKSET

Turnitin

Tämän opinnäytetyön alkuperäisyys on tarkistettu Turnitin – samankaltaisuuden tarkastuspalvelun avulla.

Tekoäly

Tämän opinnäytetyön kirjoittaja Antti Mäkivuoti on käyttänyt seuraavia tekoälytyökaluja opinnäytetyön tekemisessä:

1. Microsoft Copilot
    a. Työkalun käytön tarkoitus: Haastattelun kysymysrungon luonti
    b. Selvitys työkalun käytöstä: Työssä käytettiin tekoälytyökalua haastattelututkimuksen kysymysrungon luontiin. Tekoälytyökalulla luotu runko haastattelukysymyksistä muokattiin, eikä sitä käytetty työssä sellaisenaan tekoälytyökalun luomana.

Vastuu

Kirjoittaja, Antti Mäkivuoti, ottaa täyden vastuun tämän opinnäytetyön sisällöstä ja on tarkistanut ja muokannut mahdollisen tekoälytyökalujen käytön myötä syntyneen sisällön.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Kiitokset

Lyhenneluettelo

Ilmoitukset

1 Johdanto ... 9
1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet ... 10
1.2 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen rakenne ... 10
2 Päivittäistavarakaupat Suomessa ... 12
2.1 Päivittäistavarakauppatoiminta Suomessa ... 12
2.1.1 Päivittäistavarakauppojen ryhmittyminen Suomessa ... 14
2.2 Päivittäistavarakauppojen vastuullisuus- ja päästötyö Suomessa ... 14
2.2.1 Keskon päästötavoitteet ja energiatehokkuustyö ... 17
2.2.2 S-ryhmän päästötavoitteet ja energiatehokkuustyö ... 18
2.2.3 Lidl Suomi päästötavoitteet ja energiatehokkuustyö ... 19
2.3 Päivittäistavarakauppojen energiankulutus ja -käyttö ... 20
3 Päivittäistavarakauppojen kylmäjärjestelmät ... 22
3.1 Kylmäjärjestelmien kehitys ... 22
3.2 F-kaasuasetus kaupan kylmätekniikan näkökulmasta ... 23
3.3 REACH-asetus ... 24
3.4 Waterloop-kylmäjärjestelmä ... 25
3.5 Keskuskoneellinen kylmälaitos CO_2-kylmäaineella ... 26
3.5.1 Toisen sukupolven CO_2-kylmäjärjestelmä ... 27
3.5.2 Kolmannen sukupolven CO_2-kylmäjärjestelmä ... 30
3.5.3 Kylmälaitoksen lauhdelämmön hyödyntäminen ... 31
4 Lämpöpumput ja energiankierrätys ... 33
4.1 Lämpövoimakone ... 33
4.2 Lämpöpumput ... 34

4.3 Lämpöpumppuprosessi 36
4.4 Lämpöpumppuprosessin vaiheet 37
4.5 Lämpöpumpun käyttö päivittäistavarakaupan energiankierrätysjärjestelmässä .. 40
4.6 Keskon energiakierrätysjärjestelmä 44
5 Haastattelututkimus 46
5.1 Haastatteluiden toteutus 46
5.2 Haastattelujen analysointi 48
5.2.1 Tekniset haasteet 49
5.2.2 Yhteistyö ja koordinointi 54
5.2.3 Vastaanotto ja käyttöönotto 62
5.2.4 Ylläpito ja käytönaika 64
5.2.5 Muut haastatteluissa esille nousseet asiat 71
5.3 Haastatteluaineiston epävarmuustekijät ja luotettavuus 72
6 Yhteenveto 75
7 Johtopäätökset 78
Lähteet 81

Liitteet

Liite 1. Haastattelututkimuksen kysymykset

1 Johdanto

Päivittäistavarakauppojen kylmälaitokset ovat Euroopan suurimpia fluorihiilivetyjen eli HFC-yhdisteiden kuluttajia. Päivittäistavarakauppojen kylmälaitosten yleisesti käytössä oleva kylmäaine on HFC-yhdiste R404A. Tämän kylmäaineen GWP-arvo on 3922, GWP-arvo kuvaa kylmäaineen ilmastoa lämmittävää vaikutusta. Tämä tarkoittaa sitä, että 10 kilogramman R404A-vuoto vastaa noin 40 000 kilogramman hiilidioksidiekvivalenttipäästöä.

HFC-yhdisteiden haitallisuuden takia, niiden käyttöä on alettu rajoittamaan. Uusin asetus, joka astui voimaan 11.3.2024, on Euroopan neuvoston ja parlamentin asetus (EU) N:o 573/2024 asetus fluoratuista kasvihuonekaasuista eli F-kaasuasetus. Siinä asetetaan kieltoja ja rajoituksia mm. kaupallisille kylmäjärjestelmille. F-kaasuasetuksen takia jäähdytyslaitteissa saa käyttää vain kierrätettyjä tai regeneroituja kylmäaineita, joiden GWP-arvo on yli 2500 vuoteen 2030 asti. Tämän takia päivittäistavarakauppojen kylmäjärjestelmät täytyy uusia asetuksen täyttävillä luonnollisilla kylmäaineilla kuten hiilidioksidilla vuoteen 2030 mennessä.

Päivittäistavarakauppojen perinteisistä kylmälaitoksista on saatu hyödynnettyä korkeassa lämpötilassa olevaa lauhdelämpöä. F-kaasuasetuksen myötä kylmälaitoksissa R404A:n korvaava CO_2-kylmäaine tuottaa myös lauhdelämpöä, mutta matalammassa lämpötilassa. Tällaisen kylmälaitoksen lauhdelämpöä ei kannata enää syöttää suoraan kiinteistön lämmitysverkostoihin, joten tätä varten päivittäistavarakaupoissa on alettu rakentamaan lauhdelämpöpumppuja sekä energiankierrätysjärjestelmiä. Lauhdelämpöpumpuilla voidaan nostaa kaupan kylmälaitoksessa syntyvän lauhdelämmön lämpötilatason korkeammaksi. Näin lauhdelämpöä voidaan käyttää kiinteistön lämmitysenergian tuotantoon. Lauhdelämmön käyttö päivittäistavarakaupoissa vaikuttaa merkittävästi energiakustannuksiin ja energiakulutukseen.

F-kaasuasetus vaikuttaa myös kiinteistöjen lämpöpumpuissa käytettäviin kylmäaineisiin. Asetuksen myötä ollaan myös näissä siirtymässä luontaisiin kylmäaineisiin, pääasiassa hiilidioksidiin eli CO_2 ja propaaniin eli R290. Muutokset laitteissa ovat tuoneet haasteita niin lämpöpumppujen suunnittelijoille, toteuttajille kuin valmistajille. Päivittäistavarakauppojen lauhdelämpö määrä vaihtelee nopealla syklillä minkä takia virtaama ei ole tasainen, joten

lauhdelämmön hyödyntämisessä on haasteita. Epätasainen lauhdelämmön tarjolla olo vaikuttaa lämpöpumpun mitoitukseen ja suunnitteluun. Väärin mitoitettu ja valittu lämpöpumppu aiheuttaa epätasaisen käynnin lauhdelämpöpumpuille. Näin käydessä lämpöpumppu käynti pysähtyy eikä lauhdetta saada hyödynnettyä, mikä johtaa sekundaarisen lämmönlähteen käyttöön. Tällöin kiinteistön energiatehokkuus heikkenee ja energiakustannukset nousevat.

1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Työn tavoitteena on laajentaa käsitystä lämpöpumppuhankkeiden haasteista hankkeiden eri osapuolten näkökulmasta, työssä käsitellään Keskon myymälöiden lauhdelämpöpumppuja. Lisäksi tutkimuksessa pyritään keräämään tietoa siitä, miten voidaan välttää virheratkaisujen tekeminen hankkeissa toteutuksen kuin ylläpidon näkökulmista. Työssä pyritään keräämään hyviä toimintatapoja alan eri toimijoilta, sekä saamaan kokemuksia niin hyvistä kuin huonoista ratkaisuista lämpöpumppuhankkeissa.

Kesko on Suomen suurin kaupan alan toimija, myymälöitä on n. 1800 kpl kahdeksassa eri maassa Pohjois-Euroopassa. Päivittäistavarakauppoja on n. 1100 kpl, nämä myymälät ovat kaikki Suomessa. Päivittäistavarakauppoihin on tehty energiankierrätysjärjestelmiä, hyödyntäen kaupan kylmälaitosten lauhdelämpöä lämpöpumppujen avulla. Lämpöpumppukohteissa on havaittu haasteita hankkeiden eri vaiheissa niin suunnittelusta käytönaikaan.

Kesko on ollut mukana energiatehokkuussopimuksessa vuosina 2017–2025, lisäksi Kesko on liittynyt uuteen kaupan alan yhteiseen vuosien 2026–2035 energiatehokkuussopimukseen. Lauhdelämpöä hyödyntävät energiankierrätysjärjestelmät ovat tehokkaimpia keinoja vähentää lämmitysenergian kulutusta ja tästä syntyviä päästöjä. Vuosien 2021–2025 välillä tehtyjen kauppojen kylmäjärjestelmien ja talotekniikan uudistuksilla on saavutettu noin 89 GWh:n energiansäästöt. (K-ryhmä 2025a.)

1.2 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen rakenne

Työn teoriaosassa tutustutaan suomalaisen päivittäistavarakaupan ryhmittymiseen, päästötavoitteisiin ja energiatoimenpiteisiin. Osiossa tarkastellaan myös kaupan kylmätekniikkaa, lämpöpumppuja ja energiankierrätystä päivittäistavarakaupoissa. Tämän lisäksi työssä

toteutetaan haastattelututkimus. Haastatteluiden avulla kerätään alan eri toimijoiden kokemuksia lämpöpumppuhankkeiden eri vaiheista, ja niiden haasteista. Tilaajan näkökulmasta lauhdelämpöpumput ovat oleellisin osa työtä, mutta tällaisten lämpöpumppujen kanssa toimivien kanssa haastateltavien määrä rajautuisi liikaa. Tämän takia haastatteluissa tullaan käsittelemään myös maalämpö, ja ilma-vesilämpöpumppuja. Haastattelututkimuksen toteutus on laadullinen eli kvalitatiivinen tutkimus.

Luvussa kaksi käydään läpi päivittäistavarakauppatoimintaa ja sen ryhmittymistä Suomessa. Luvussa käsitellään myös päivittäistavarakaupan vastuullisuus- ja päästötyötä. Luvussa perehdytään myös eri ryhmien päästötavoitteisiin ja energiatehokkuustyöhön. Luvussa kolme keskitytään päivittäistavarakauppojen kylmäjärjestelmiin. Tässä tehdään katsaus kylmäjärjestelmien kehitykseen, F-kaasuasetukseen ja erilaisiin kylmäjärjestelmiin, joita päivittäistavarakaupoissa on käytössä. Luvussa neljä perehdytään lämpöpumppuihin ja energiankierrätykseen. Luvussa tutustutaan lämpövoimakoneeseen, lämpöpumppuprosessiin ja sen eri vaiheisiin. Lisäksi esitetään lämpöpumppujen käyttöä päivittäistavarakaupan energiankierrätysjärjestelmässä sekä Keskon energiankierrätysjärjestelmä. Luvussa kuusi läpi käydään haastattelututkimuksen toteutus, ja esitellään kerätty aineisto. Tämän lisäksi pohditaan haastattelututkimuksen luotettavuutta. Luvussa 6 esitetään tutkimuksen yhteenveto ja luvussa 7 tehdään johtopäätökset.

2 Päivittäistavarakaupat Suomessa

Luvussa esitellään päivittäistavarakauppojen toimintaa Suomessa. Lisäksi luvussa käsitellään päivittäistavarakauppojen energiankäyttöä ja -kulutusta, sekä päivittäistavarakauppojen vastuullisuustavoitteita kiinteistöjen näkökulmasta.

2.1 Päivittäistavarakauppatoiminta Suomessa

Suomessa päivittäistavarakauppa keskittyy yhä enemmän suuriin myymälöihin. Pinta-alaltaan yli 1000m^2 myymälöiden osuus on n. 70 prosenttia. Taajamissa asuvien pääasiallinen elintarvikkeiden osto tapahtuu suurissa myymälöissä. Pienemmästä myyntivolyymista huolimatta pienillä myymälöillä on suuri merkitys Suomen asuttavuuden kannalta ja tärkeä rooli tarjota päivittäistavaroita ja elintarvikkeita paikallisesti. (PTY 2024a.)

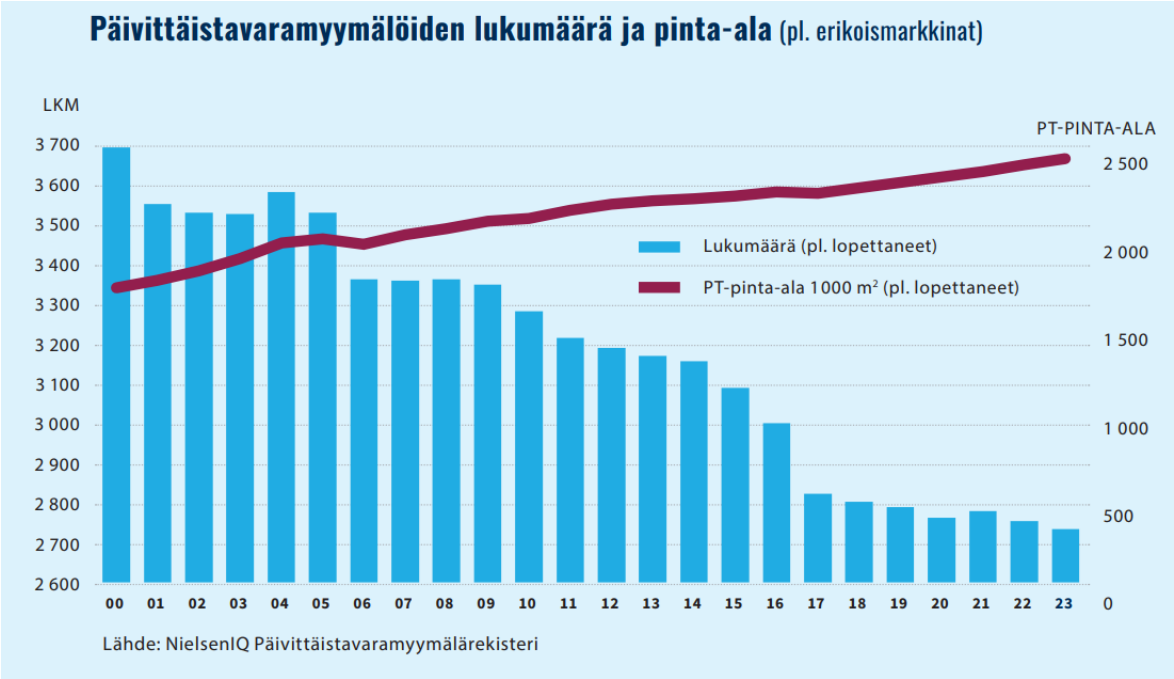
Kaupungistuminen, väestön ikärakenteen muutos sekä muutokset kuluttajien tottumuksissa tuovat haasteita kaupoille. Näihin haasteisiin päivittäistavarakauppa ketjut pyrkivät vastaamaan kehittämällä palveluitaan niin kaupungeissa, taajamissa kuin haja-asutusalueilla. Alalla tarjoaa uusia kehityskohteita muun muassa verkkokauppa (kuva 1), kuvassa 1 näkyy päivittäistavarakaupan verkkokaupan arvon muutos vuosilta 2019–2023.

Kuva 1. Päivittäistavarakaupan verkkokaupan arvo. (PTY 2024a.)

Päivittäistavarakaupan verkkokaupan kasvussa näkyy nousua Covid-pandemian takia. Pandemian jälkeen verkkokaupan markkinaosuus on pysynyt samana, mutta sen arvo on kasvanut muun liiketoimen arvon nousun myötä. (PTY 2024a.)

Ketjutoiminta ja hankintojen ja logistiikan keskittyminen ovat ominaispiirre suomalaisessa päivittäistavarakauppatoiminnassa. Samanlainen toiminta on ominaista myös muissa Pohjoismaissa. Harvaan asutuissa maissa logistiikkaa ei saada järjestettyä kustannustehokkaasti ilman suuria volyymeja. Mikäli kauppojen kustannustehokkuus olisi heikompaa, heijastuisi tämä asiakkaille hintatasojen nousuna, valikoimien heikkenemisenä ja heikompana palveluna. (PTY 2024a.)

Keskeisenä kilpailutapana päivittäistavarakaupoilla on tehokkuus. Myymälöiden kasvuun ovat ajaneet asiakastarpeiden muutos sekä kilpailutilanne liiketoimialalla. Suuremmat myymälät mahdollistavat laajemman valikoiman ja edullisemman hintatason. Myymälöiden lukumäärä on laskenut ja pinta-ala jäljelle jääneissä on kasvanut tasaisesti koko 2000-luvun (kuva 2).



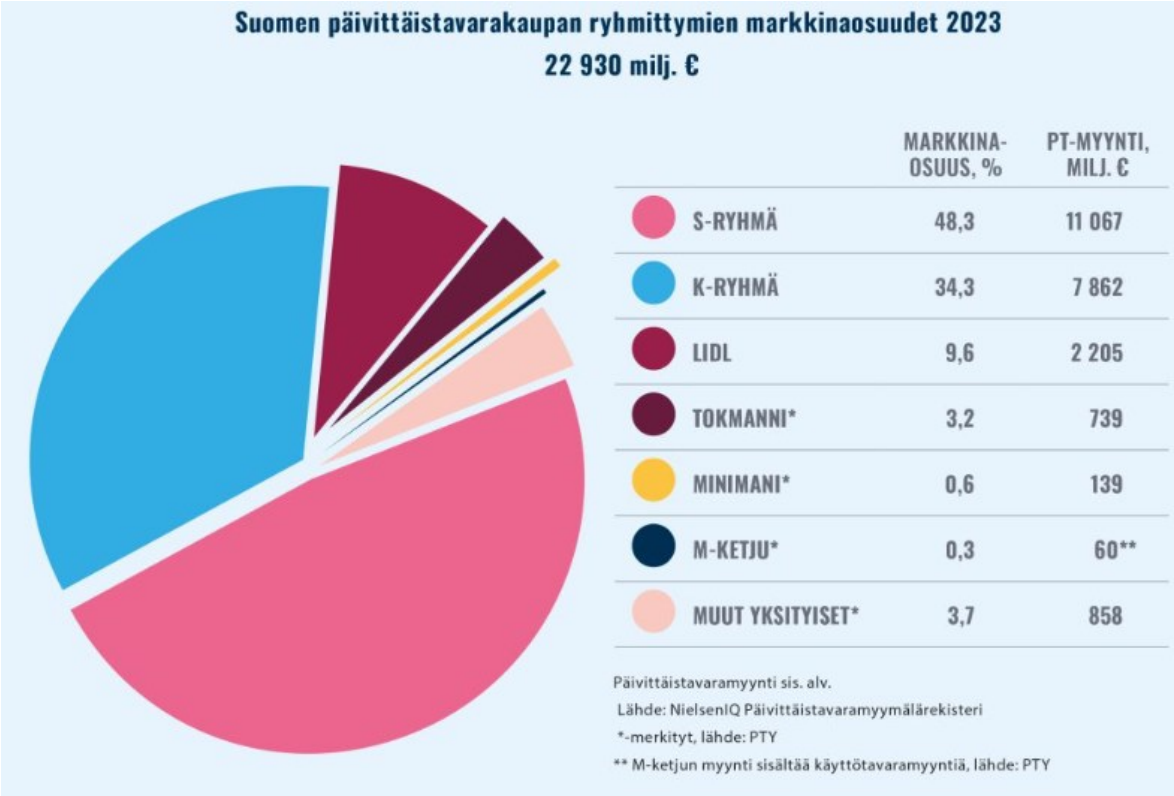
Kuva 2. Päivittäistavaramyymälöiden lukumäärä ja pinta-ala (PTY 2024b.)

Saman kaltainen muutos myymälöiden koossa on näkynyt jo pidemmän aikaan. Market kokoisten myymälöiden määrä Suomessa on laskenut vuodesta 1978 merkittävästi. Vuonna

1978 myymälöitä oli 9398. Vuonna 2023 tämän kokoisia myymälöitä oli enää 2734. (PTY 2024a)

2.1.1 Päivittäistavarakauppojen ryhmittyminen Suomessa

Suomen päivittäistavarakaupat ovat vahvasti ryhmittyneet. Päivittäistavarakauppojen markkinaosuuksien jakautuminen (kuva 3.).



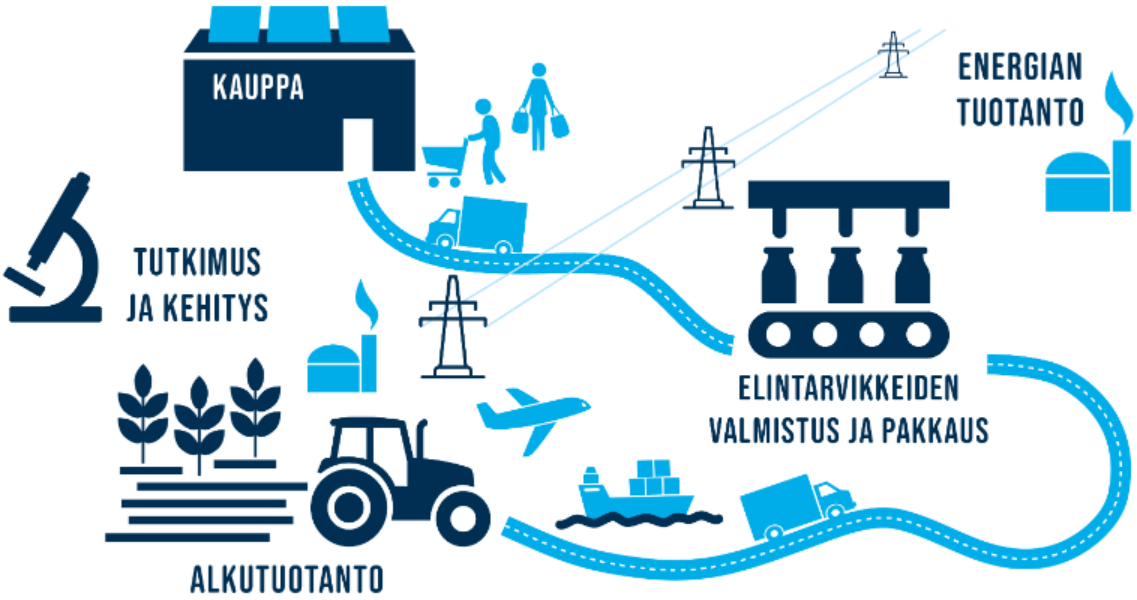
Kuva 3. Päivittäistavarakaupan markkinaosuudet vuonna 2023. (PTY 2024a.)

Kuvassa näkyy, että Suomen suurin markkinaosuus kuuluu S-ryhmälle 48,3 % toiseksi suurin K-ryhmälle 34,3 % ja kolmanneksi suurin Lidl:lle 9,6 %. Nämä kolme ryhmittymää kattavat yli 90 % koko Suomen päivittäistavarakaupan myynnistä. (PTY 2024a.)

2.2 Päivittäistavarakauppojen vastuullisuus- ja päästötyö Suomessa

Kaupan alan ilmastotavoitteisiin kuuluu olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja lähes nollapäästöinen vuoteen 2050. Usealla yrityksellä on tavoitteena olla hiilineutraali ennen

vuotta 2035, joka on myös Suomen hallituksen tavoite. Päivittäistavarakauppa yhdistää yhteen monta eri tekijää (kuva 4). (PTY 2022)



Kuva 4. Päivittäistavarakaupan eri tekijät. (PTY 2022.)

Päivittäistavarakaupan prosessiin liittyvät alkutuotanto, elintarviketeollisuus, pakkaaminen ja logistiikka. Kumppaneina ilmastotyössä ovat energiayhtiöt, tutkimus- ja kehitysorganisaatiot. Päivittäistavarakaupat luovat kysyntää ilmastoystävällisemmälle tuotannolle ja elintarviketeollisuudelle. Päivittäistavarakaupat edistävät innovaatioita, kiertotaloutta ja uusiutuvan energian käyttöä. (PTY 2022)

Päivittäistavarakaupan ryhmittymät keräävät päästödataa niin kauppojen omasta toiminnasta kuin kaupan arvoketjusta. Yritysten kasvihuonekaasupäästöt jaotellaan seuraavasti: Scope 1: Suorat omat kasvihuonepäästöt, Scope 2: Ostoenergian kasvihuonepäästöt (ml. sähkö, kaukolämpö, kaukokylmä ja höyry), Scope 3: Epäsuorat kasvihuonepäästöt (yrityksen tuotantoprosesseissaan tarvitsemien tavaroiden ja palvelujen sekä myytyjen tuotteiden loppukäytöstä aiheutuvat päästöt). Taulukossa 1 esitetään kaupan alan oman toiminnan CO2 päästöjen muutokset (Scope 1 ja Scope 2). (PTY 2022.)

Taulukko 1. Kaupan oman toiminnan CO2 päästöt. (Muokattu lähteestä PTY 2022.)

Kaupan oman toiminnan päästöt (t CO2e)				
	2018	2020	2021	2022
Suorat Scope 1				
Oma lämmöntuotanto fossiilisista lähteistä (lämmitysöljy ja maakaasu)	11 744	14 348	11 904	7 032
Kylmäainevuodot	79 347	14 348	11 904	7 032
Logistiikka	38 634	34 905	35 653	44 829
Epäsuorat Scope 2				
Ostettu sähkö (hankitaperusteinen)	164 032	1 577	1 521	4 311
Ostettu sähkö (sijaintiperusteinen)	210 597	172 509	189 567	130 484
Ostettu kaukolämpö ja jäähdytys (hankitaperusteinen)	134 268	116 411	127 323	85 169
Ostettu kaukolämpö ja jäähdytys (sijaintiperusteinen)	135 148	117 603	130 313	101 942
Scope 1 ja 2 yhteensä (hankintaperusteinen)	**428 052**	**224 335**	**237 856**	**189 665**
Scope 1 ja 2 yhteensä (sijaintiperusteinen)	**475 496**	**396 459**	**428 894**	**332 611**

Suomen kasvihuonepäästöistä kauppojen omat päästöt ovat alle prosentin. Taulukosta 1 nähdään, että kaupan alan oman toiminnan päästöt ovat pudonneet vuodesta 2018 vuoteen 2022 yli 100 000 t CO2e, molemmilla lähestymistavoilla tarkastellessa. Kaupan alan yritykset ovat tavoitteellisesti siirtyneet kohti päästöttömiä, vähäpäästöisiä ja uusiutuvia energianlähteitä.

Päivittäistavarakaupoissa sähköenergia on pääsääntöisesti hiilineutraalia. Lämmitysjärjestelmissä on siirrytty lämpöpumppujen ja uusiutuvan kaukolämmön käyttöön, lisäksi automatisointia ja lämmöntalteenottoja on parannettu. Alalla on myös tehty laajoja investointeja uusiin energiatehokkaampiin toimitiloihin. Logistiikassa on siirrytty kohti päästöttömiä voimanlähteitä, sekä reititystä tehostetaan jatkuvasti. Pakkaustekniikoiden kehityksellä saadaan materiaali- ja ruokahävikkiä pienennettyä. Tämän kehitystyön avulla on pystytty vähentämään muovin käyttöä tuotteiden pakkauksissa. (PTY 2022.)

2.2.1 Keskon päästötavoitteet ja energiatehokkuustyö

Keskon suurimmat oman toiminnan päästölähteet scope 1 ja scope 2 ovat kaukolämpö sekä kuljetuksen polttoainepäästöt. Tärkeimpänä toimenpiteenä päästövähennyksissä on energiatehokkuuden parantaminen kiinteistöissä, madaltaen lämmitysenergiasta syntyviä päästöjä. Tavoitteena on myös lisätä sähköistä kalustoa logistiikkaan vähentämään polttoainepäästöjä. Scope 1 ja scope 2 päästötavoitteena on 50 %:n vähennys 2034 vuoden loppuun mennessä, käyttäen lähtötasona vuotta 2024. (K-ryhmä 2025b.)

Keskon tavoitteena on parantaa kiinteistöjen energiatehokkuutta 10 %:a vuosien 2024–2030 välillä. Jotta tavoite saavutettaisiin, Keskon on toteutettava energiatehokkuustekoja 95 GWh:n verran. Kauppojen suurimmat energian kuluttajat ovat kylmälaitokset. Keskeisimpänä energiatehokkuustyönä on kylmälaitteiden ja valaisimien uudistaminen, sekä kylmälaitosten hukkalämmön kierrättäminen lämmitysjärjestelmissä. Energiaremontteja toteutetaan pääasiassa kauppojen uudistusremonttien yhteydessä, jolloin myös kaupan kylmälaitos uudistetaan. Keskon hukkalämmönkierrätysjärjestelmä hyödyntää niin kylmäjärjestelmän hukkalämpöä kuin poistoilman lämpöä, järjestelmä tuottaa lämmitys- ja jäähdytysenergiaa kiinteistön järjestelmiin. Energiankierrätysjärjestelmällä katetaan noin 50 % lämmöntarpeesta. Vuonna 2024 Keskon energiankulutus oli 573 770 MWh. Uudistusten yhteydessä tehdyt valaistusremontit laskevat K-Citymarket-luokassa noin 550 MWh:n, yhteensä K-Citymarket valaisinuudistusten säästöt ovat n. 28 GWh. (K-ryhmä 2025c.)

Pitkäjänteiset investoinnit ja energiakulutuksen jatkuva tarkkailu sekä teknisten järjestelmien toiminnan varmistaminen sekä poikkeamiin aktiivisesti puuttuminen vähentävät energiankulutusta aktiivisesti. Vuosien 2018–2023 välillä Kesko toteutti noin 4000 energiatehokkuustoimenpidettä, saavuttaen n. 115 GWh:n energiansäästövaikutukset. Taulukosta 2 nähdään, että Kesko saavutti vuoden 2024 aikana energiantehokkuustoimenpiteillä yhteensä n. 20,9 GWh:n säästöt. Tavoitteena vuoteen 2030 on saavuttaa 95 GWh:n säästöt energiatehokkuustoimenpiteillä. Hukkalämpöä hyödyntäviä energiankierrätysjärjestelmiä asennettiin 20 kiinteistöön, arvio saavutetusta kaukolämmön kulutuksen alenemasta on n. 10 GWh:a. Taulukosta 2 nähdään, että vuoteen 2030 mennessä kasvihuonekaasupäästöjä on tavoitteena saada alennettua n. 30 % vuoden 2024 vertailuarvoon nähden. (K-ryhmä 2025c.)

Taulukko 2. Ilmastotavoitteet 2024, 2026 ja 2030 (K-ryhmä 2024.)

Tavoite	Yksikkö	2024	2026	2030
Kasvihuonepäästöt (scope 1 ja scope 2 markkinaperusteisesti)	tCO_2-ekv.	84 576		~59 000
Kasvihuonekaasupäästöt (scope 3 ostetut tuotteet ja palvelut), tavaran- ja palveluntoimittajien päästövähennystavoitteet	%	48	67	
Energiatehokkuustoimenpiteet	GWh	20,9		95,0

2.2.2 S-ryhmän päästötavoitteet ja energiatehokkuustyö

S-ryhmän tavoitteena on olla hiilinegatiivinen Scope 1 ja 2 päästöjen osalta vuonna 2025, tavoite ollaan saavuttamassa. Oman toiminnan päästöistä vuoden 2015 tasosta on tarkoituksena laskea 90 % vuoteen 2030. Ilmastotyössä on edetty tavoitteita nopeammin kuin investointeja on tehty tuuli- ja aurinkosähköhankkeisiin sekä parannettu kiinteistöjen energiatehokkuutta. (S-ryhmä 2024a.)

Tällä hetkellä S-ryhmällä on n. 200 nollapäästöistä toimipaikkaa. Lohjan kauppakeskus Lohi on S-ryhmän ensimmäinen hiilinegatiivinen kiinteistö. Uudistushankkeet ovat vaikuttaneet energiatehokkuuteen. Uudistuksissa kaupan kylmäjärjestelmiin on lisätty ovet sekä valaisimet vaihdettu energiatehokkaampiin LED-valaisimiin. Myymälöissä hyödynnetään kylmälaitoksissa syntyvää hukkalämpöä lämmitykseen. (S-ryhmä 2024a.)

Energiatehokkuustavoitteena S-ryhmällä on parantaa kiinteistöjen energiatehokkuutta 20 % vuoden 2015 tasosta vuoteen 2030. Taulukosta 3. nähdään, että vuoden 2024 energian ominaiskulutus S-ryhmällä oli 259 kWh/brm^2, joka on 15 % alempi kuin vuoden 2015 energian ominaiskulutus 303 kWh/brm^2. Kylmälaitos- ja valaisinuudistuksilla sekä lämpöpumppuasennuksilla on suhteellista energiankulutusta vähennetty yli 40 % vuoden 2010 tasosta. Tavoitteena on energiatehokkuuden kokonaisvaltainen parantaminen mm. hukkalämpöä hyödyntäen sekä kiinteistön järjestelmien tarpeenmukaisen käytön avulla. (S-ryhmä 2024b.)

Taulukko 3. Energian ominaiskulutus (kWh/brm^2) (S-ryhmä 2024b.)

Vuosi	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
kWh/ brm^2	320	303	311	306	292	283	257	259	256	258	259

Energiatehokkuussopimuksissa S-ryhmä on sitoutunut 7,5 %:n energiansäästöön vuoden 2015 tasosta vuoteen 2025. Kaupan osalta energiansäästötoimenpiteitä on n. 158 GWh:a vuoteen 2024. Tämä on n. kaksi kertaa yli tavoitetason. (S-ryhmä 2024b.)

2.2.3 Lidl Suomi päästötavoitteet ja energiatehokkuustyö

Lidl Suomi on asettanut päästötavoitteensa kansainvälisesti. Oman toiminnan päästöjä on tarkoitus vähentää vuoden 2019 tasosta 80 %, vuoteen 2030 mennessä. Vähennystarve Suomen kaupoille on 15 %. Vuodesta 2022 Lidl siirtyi uusiutuvan sähkön käyttöön jokaisessa maassa, jossa sillä on toimintaa. Loppuosuus oman toiminnan päästöistä kompensoidaan. Suomessa Lidl on käyttänyt vuodesta 2019 pelkästään uusiutuvaa sähköä. Vuodesta 2022 Lidl on ollut hiilineutraali oman toiminnan osalta, kompensoiden loppuosuuden päästöistä. Lidl panostaa oman energiantuotantoon, jatkossa uusiin myymälöihin asennetaan aurinkopaneelit. (Lidl 2023.)

Lidl Suomi on osana energiatehokkuussopimusta, jonka tavoitteena on vähentää energiankulutusta 7,5 % vuosittaisesta energiankulutusta vuosien 2016 ja 2025 välisenä aikana. Lidlin oma tavoite on säästää energiankulutusta 20 % vuoden 2025 loppuun. Vuoden 2022 loppuun mennessä saavutettu energiankulutuksen säästö oli 19,9 %. Lidlin kiinteistöistä 23 % tuotti uusiutuvaa energiaa vuonna 2022, yhteensä 3263 MWh. Uusiutuvaa energiaa tuotettiin aurinkopaneeleilla sekä maalämpöjärjestelmillä. (Lidl 2023.)

Energiatehokkuustoimenpiteinä ovat olleet mm. valaisinuudistukset sekä kylmälaitosten hukkalämmön lämmöntalteenottojärjestelmät. Energiatehokkuutta on parannettu tekemällä säätöjä taloteknisiin järjestelmiin, mm. lisäämällä valaistuksenaikaohjelmat, optimoimalla ilmanvaihtojärjestelmiä tarpeen mukaisesti sekä säätämällä tilojen lämpötiloja optimaalisiksi. Taulukossa 4. nähdään energiankulutuksen muutos vuosien 2021 ja 2022 välillä, taulukosta havaitaan lämmitysenergiankulutuksen lasku kaikilla lämmitysmuodoilla (3 241 MWh) sekä kokonaisenergiankulutuksen lasku (2 261 MWh). (Lidl 2023.)

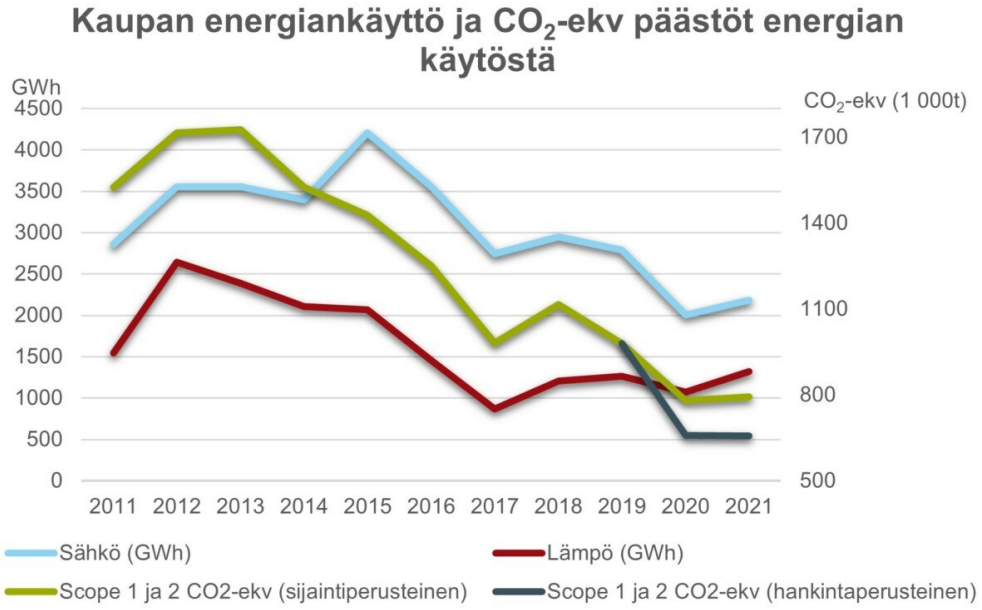
Taulukko 4. Lidl Suomen energiankulutus vuosina 2021 ja 2022 [MWh] (Lidl 2023.)

Energiamuoto	2021	2022
Sähkö, uusiutuva (tuulivoima ja aurinko)	108 584	109 593
Lämmitys, kaukolämpö	36 106	33 214
Lämmitys, maakaasu	3 854	3 544
Lämmitys, öljy	594	555
Kaukokylmä	1 527	1 498
Energiankulutus yhteensä	150 665	148 404

2.3 Päivittäistavarakauppojen energiankulutus ja -käyttö

Kaupan alan yritysten energiankäyttö kasvoi vuoden 2021 aikana verrattuna vuoteen 2020, sähkön osalta 9 % (2 182 GWh) ja lämmitysenergian osalta 24 % (1 322 GWh). Tästä huolimatta hiilidioksidipäästöt laskivat vuoteen 2020 verrattuna 0,4 %. Suomalaisten energiankulutus samalla aikavälillä nousi 5 %. (Kauppa 2023.)

Hankitaperusteiset kasvihuonepäästöt pysyivät samalla tasolla vuoteen 2020 verrattuna, kuvassa 5 nähdään, että samaan aikaan energiankulutus kasvoi 14 %. Sijaintiperusteisesti määritettyjen kasvihuonepäästöjen muutos nähdään kuvassa 5. ja päästöt nousivat 2 % vuonna 2021 vuodesta 2020. (Kauppa 2023.)



Kuva 5. Päivittäistavarakaupan energiankäytön – ja sen hiilidioksidipäästöjen muutos 2011–2021 (Kauppa 2023.)

Kaupan alan energian kasvu on lisääntynyt vuonna 2021, mutta kasvihuonekaasupäästöt pysyivät samalla tasolla vuoteen 2020 verrattuna (-0,4 %). Motivan energiatehokkuussopimuksessa mukana olevat kaupan alan yritykset ovat tehneet yli 5 826 energiatehokkuustoimenpidettä vuosien 2017–2022 välillä. (Kauppa 2023.)

Kaupan alan yritykset ovat saavuttaneet energiatehokkuusinvestointien avulla 341 GWh/a energiansäästöt. Yritykset ovat lisänneet omaa energiantuotantoa muun muassa rakentamalla tuulivoimapuistoja sekä aurinkovoimaloita. Energiatehokkuussopimuksen kaupan toimialan yhteinen energiansäästötavoite saavutettiin vuonna 2019, tavoitteen ollessa vuodessa 2025. (Kauppa 2023.)

3 Päivittäistavarakauppojen kylmäjärjestelmät

Päivittäistavarakaupoissa on mahdollista käyttää erilaisia kylmäjärjestelmiä. Luvussa esitellään näistä yleisimmin käytössä olevia. Lisäksi luvussa käsitellään käytössä olevia kylmäaineita ja näihin liittyviä asetuksia sekä rajoituksia.

3.1 Kylmäjärjestelmien kehitys

Kylmälaitoksen perusperiaatteena toimii aineen olomuodon muutos. Kylmäsäilytyksen kehityttyä koneelliseksi aluksi kylmäaineina käytettiin luonnollisia kylmäaineita, esimerkiksi ammoniakkia ja hiilidioksidia. Kaikissa kylmäaineissa on omat ominaisuutensa, ammoniakki on räjähtävä ja myrkyllinen mutta toisaalta se ei kuormita ilmastoa. Mahdolliset vuodot aiheuttavat vaaratilanteita asiakasympäristössä. Hiilidioksidin ongelma oli korkea paine, joka paine johti suuriin laitteisiin, eikä sopivia komponentteja ollut saatavilla. Kylmäalan mullistivat 1930-luvulla kehitetyt CFC-yhdisteet eli freonit mm. kylmäaine R12. Freonien ongelmat havaittiin 1970-luvulla, tällöin näitä alettiin korvaamaan HFC-yhdisteillä mm. R-404A:lla. (L&T 2021.)

Aineita lisää tutkittaessa HFC-yhdisteistä selvisi näiden vaikutus ilmaston lämpenemiseen, jonka todettiin olevan jopa yli tuhat kertaa suurempaa kuin hiilidioksidin. Tätä vaikutusta mittaa kylmäaineiden GWP-arvo. IPCC:n ilmastopaneelin tutkimuksen mukaan kehittyvien maiden tulisi vähentää kasvihuonepäästöjä 80–95 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050. (L&T 2021.)

Hiilidioksidin GWP-arvo on 1, tätä arvoa käytetään vertailuarvona kaikille kylmäaineille. Kylmälaitosten teknologian kehityttyä on hiilidioksidia käyttävien kylmäjärjestelmien teknistä ongelmista selvitty, ja hiilidioksidi on nousemassa tulevaisuuden kylmäaineeksi. Nykyisten laitteiden avulla korkea käyttöpaine saadaan helpommin hallittua kuin 1930-luvulla, lisäksi laitosten koko on tästä muuttunut pienemmäksi. Pienemmissä myymälöissä propaanitäytökset ovat varteenotettavia vaihtoehtoja hiilidioksidille, mutta suuremmissa myymälöissä ei hiilidioksidille ole vaihtoehtoista kylmäainetta. (L&T 2021.)

3.2 F-kaasuasetus kaupan kylmätekniikan näkökulmasta

F-kaasuasetus eli fluorattujen kasvihuonekaasujen käyttöä rajoittava asetus astuu voimaan EU-alueella vuonna 2030. F-kaasuasetuksen tavoitteena on vähentää mm. päivittäistavarakauppojen kylmäjärjestelmissä käytettävien HFC-yhdisteiden eli fluorihiilivetyjen käyttöä merkittävästi tulevaisuudessa. HFC-yhdisteillä ei ole vaikutusta otsonikatoon, sillä ODP-arvo yhdisteillä on nolla, mutta näillä yhdisteillä on korkea GWP-arvo, jonka takia yhdisteillä on merkittävä vaikutus ilmaston lämpenemiseen. Päivittäistavarakaupoissa on käytössä esimerkiksi seuraavia HFC-kylmäaineita, R404A: keskusko: suuren täytöksen kylmälaitosten keskuskoneikot ja R134a pienen täytöksen kylmäkoneikot, esimerkiksi. palvelutiskin koneikot. (Caverion 2025a.)

Kylmäaineen R404A: käyttö uusissa kylmälaitoksissa on ollut kiellettyä isoissa kylmäainetäytöksissä vuodesta 2020 alkaen. R404A-kylmäaineen korvaaville kylmäaineille on tulossa rajoituksia, tällä hetkellä ei ole tiedossa sallitaanko vastaavien jäljelle jäävien kylmäaineiden käyttö tulevaisuudessa. Kylmälaitoksia voidaan käyttää korvaavilla kylmäaineilla jonkin aikaa, korvaavien aineiden korkea GWP-luku ja tiukentuvan lainsäädännön valmistuskiintiöt heikentävät kylmäaineiden saatavuutta. Kylmäaineen R134a käyttö uusissa kylmälaitoksissa kielletään vuonna 2032, tällöin uusien kylmäaineiden GWP-arvon rajaksi tulee 750. (Caverion 2025a.)

Päätavoitteena F-kaasuasetuksella on saada eurooppalainen kylmäala käyttämään fluorivapaita, matalamman GWP-arvon kylmäaineita. Siirtymä tapahtuu osittain HFC-kylmäaineiden merkittävällä saatavuuden vähenemisellä. Kylmäaineiden maahantuojia ja valmistajia koskevat kiintiömenettelyt nostavat kylmäaineiden hintoja, jolla on suora vaikutus kylmäaineiden käyttöön. Todennäköisesti uusien HFC-kylmäaineiden saatavuus loppuu vuoteen 2050 mennessä. (Caverion 2025a.)

F-kaasuasetuksen huoltokielto koskee neitseellisten kylmäaineiden käyttöä huollossa. Uusien kylmäaineiden käyttö, joiden GWP-arvo on yli 2500, käyttäminen huollossa on ollut kiellettyä vuodesta 2020. Jäähdytyslaitteiden huollossa saa käyttää vain regeneroituja tai kierrätettyjä HFC- ja HFO-kylmäaineita, joiden GWP arvo on yli 2500 vuoteen 2030 asti. Kiinteissä järjestelmissä kierrätetyillä HFC-kylmäaineilla, joiden GWP-arvo on 750–2500, huollossa ei ole takarajaa. Vuonna 2026 voimaan tulee uusi sääntö, joka kieltää uudet HFC-kylmäaineet, joiden GWP-arvo on yli 2500, ilmastointilaitteissa ja lämpöpumpuissa. Tämän

vuoden jälkeen laitteiden huolloissa voidaan käyttää vain regeneroitua tai kierrätettyä kylmäainetta vuoteen 2032. Taulukossa 5. esitetään kaupan kylmätekniikassa käytettävien kylmäaineiden rajoitukset. Taulukon perusteella voidaan arvioida, että tulevaisuuden uudet laitokset tullaan toteuttamaan CO2- tai R290-kylmäaineilla. (Caverion 2025a.)

Taulukko. 5 Yleisimpien kylmäaineiden rajoitukset (muokattu Caverion 2025a.)

Yleisimpien kylmäaineiden rajoitukset					
Kaupankylmän yleisimpien kylmäaineiden käyttärajoitukset	Tyyppi	2025	2026	2030	2032
CO2, R290 - GWP alle 150	Uusi	Sallittu	Sallittu	Sallittu	Sallittu
	K&R	Sallittu	Sallittu	Sallittu	Sallittu
Keskuskoneikot R404A - GWP yli 2500	Uusi	Kielletty	Kielletty	Kielletty	Kielletty
	K&R	Sallittu	Sallittu	Kielletty	Kielletty
IV-laitteet ja lämpöpumput R404A, R507A - GWP yli 2500	Uusi	Sallittu	Kielletty	Kielletty	Kielletty
	K&R	Sallittu	Sallittu	Sallittu	Kielletty
Keskuskoneikot R134a, R407A, R407C, R407F, R410A, R448A, R449A, R452A - GWP 750-2500	Uusi	Sallittu	Sallittu	Sallittu	Kielletty
	K&R	Sallittu	Sallittu	Sallittu	Sallittu
IV-laitteet ja lämpöpumput yli 50 kW sekä erilliskoneikot R32, R513A - GWP yli 150	Uusi	Sallittu	Sallittu	Kielletty	Kielletty
	K&R	Sallittu	Sallittu	Sallittu	Sallittu

K= kierrätetty kylmäaine, R=regeneroitu kylmäaine

Kylmäjärjestelmiä uusiessa HFC-kylmäaineet vaihdetaan luonnollisiin kylmäaineisiin. Keskusjärjestelmiin valitaan pääsääntöisesti R744/CO2. Hiilidioksidin GWP-arvo on 1 ja ODP-arvo 0. Omakoneellisiin ja pieniin erilliskylmäyksiköihin valitaan yleensä kylmäaineeksi R290/propaani. Propaanin GWP-arvo on 3 ja ODP-arvo on 0, propaanin palo-ominaisuudet johtavat siihen, että suurin sallittu täytös on 500 g kylmäainepiirissä. (Caverion 2025a.)

3.3 REACH-asetus

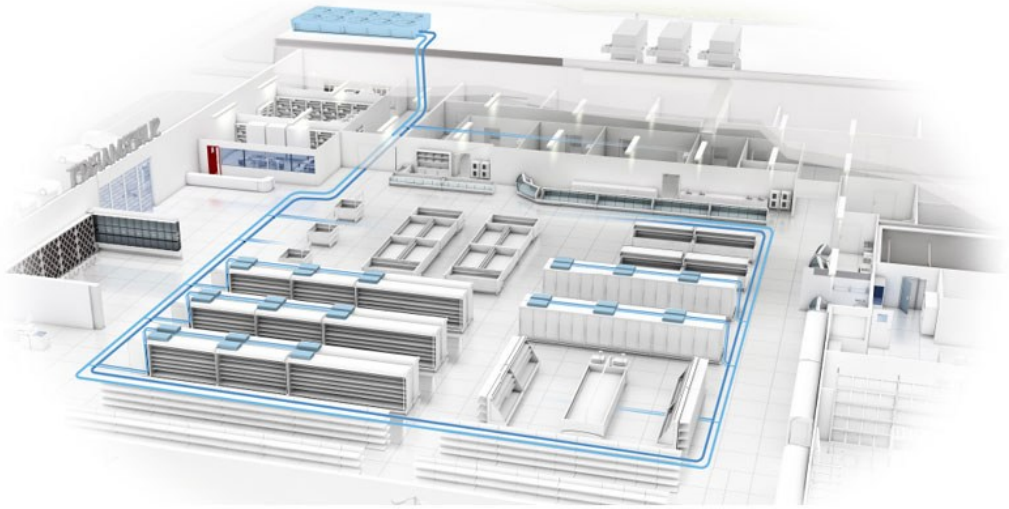
REACH-asetus eli Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemical, on Euroopan unionin asetus, joka ottaa kantaa kemikaalien turvallisuuteen. Asetus on tekeillä, sillä pyritään rajoittamaan vaarallisten niin sanottujen ikuisuuskemikaalien käyttöä Euroopassa. Näihin ikuisuuskemikaaleihin kuuluvat myös synteettiset kylmäaineet. (Caverion 2025b.)

F-kaasuasetuksen takia käytettäväksi jäävät enää vain erittäin matalan GWP-arvon kylmäaineet. Tekeillä oleva REACH-asetus mahdollisesti poistaa matalan GWP-arvon PFAS-aineet eli per- ja polyfluoratut alkyyliaineet esimerkiksi R1234ze:n. PFAS-aineet hajoavat erittäin hitaasti luonnossa. (KylmäExtra 2024.)

3.4 Waterloop-kylmäjärjestelmä

Waterloop-kylmäjärjestelmässä rakennetaan kylmäkalusteet ja -tilat omakoneellisilla kylmäkalusteilla, kylmäprosessista syntyvä lauhdelämpö otetaan talteen liuoskierotoisena. Järjestelmässä lauhdelämpö voidaan ohjata kylmäkalusteilta lämmönvaihtimen kautta kiinteistön lämmöntalteenottoon tai ulkona sijaitsevan liuosjäähdyttimen kautta ulos kiinteistöstä. Waterloop-järjestelmän liuospiiriin voidaan liittää kaikki kaupan kylmätekniikka kylmähyllyköistä pakastekaappeihin. Waterloop-järjestelmä sopii parhaiten alle 1000m^2 kauppoihin. (Coolfors 2024a.)

Waterloop-kylmäjärjestelmässä ei tarvita erillistä kylmälaitosta, järjestelmässä jokainen kylmäkaluste on oma kylmälaitoksensa. Kalusteet liitetään samaan liuospiiriin johon kylmälaitteet lauhtuvat. Lauhdepiiri on kytketty myymälän katolla sijaitsevaan nestejäähdyttimeen, jota kautta lauhde saadaan ulos myymälästä. Kuvassa 6. esitetty waterloop-järjestelmän kytkentä kaupassa, ja siinä nähdään kylmäkalustekohtaiset kompressoriyksiköt, liuosjäähdytin ja takatiloissa sijaitseva pumppuasema. Pienemmässä kaupassa säästetään teknistä tilaa, kun kylmälaitos ei tarvitse erillisiä kompressoripukkeja- tai huoneita. Järjestelmä vaatii pumppuaseman, joka voidaan tarvittaessa sijoittaa myös kaupan takatiloihin eikä erilliseen tekniseen tilaan. (Coolfors 2024b.)



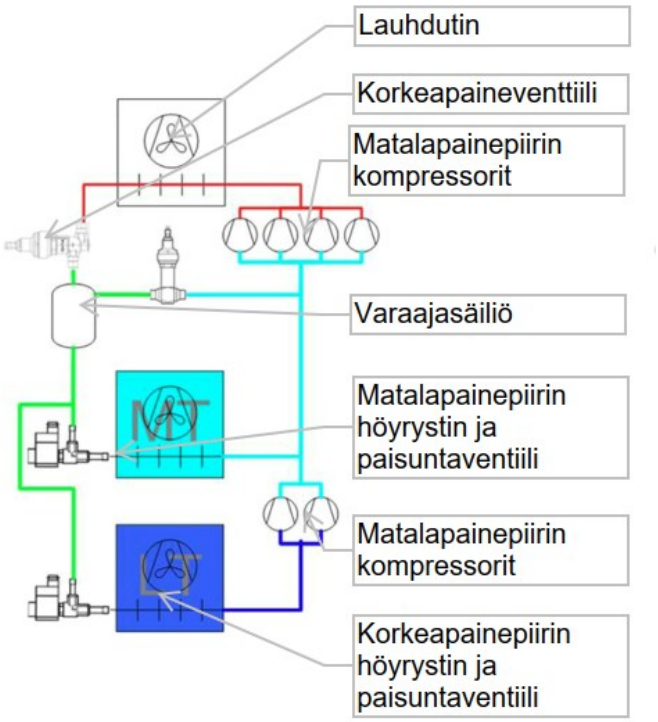
Kuva 6. Waterloop-järjestelmän periaatekytkentä. (Carel 2015.)

Waterloop-järjestelmissä kylmäaineena käytetään ympäristöystävällistä ja matalan GWP-arvon kylmäainetta R290/propaani. Järjestelmässä jokainen kylmäkaluste on oma kylmäainepiirinsä, joten kylmäaineen täyttömäärä pysyy pienenä. Propaani on syttyvä kylmäaine, mutta täyttömäärän pysyessä matalana ei waterloop-järjestelmän kalustekohtainen täyttömäärä vaadi erillistoimenpiteitä. (Coolfors 2024b.)

3.5 Keskuskoneellinen kylmälaitos CO_2-kylmäaineella

Keskuskoneellisessa kylmäjärjestelmässä päivittäistavarakaupan tarvitsema kylmä tuotetaan keskitetysti yhdellä tai useammalla kylmäkoneella. Kylmäjärjestelmä, jossa kylmäaineena käytetään hiilidioksidia, on keskuskoneellinen kylmäjärjestelmä, järjestelmän kytkentä on booster-kytkentä, kaasun väliotolla. Kytkennässä hiilidioksidi kierrätetään kylmäkoneikolta kalusteille sekä kylmäelementeille, ja sieltä takaisin kylmäkoneikolle. Järjestelmässä on yleensä useita matala- ja korkeapainekompressoreita, kompressoreita varustetaan taajuusmuuttajalla, jotta tehonsäädöstä saadaan portaaton. Järjestelmää, jonka toimintaperiaate esitetään kuvassa 7 nimitetään ensimmäisen sukupolven CO_2-kylmäjärjestelmäksi (Gullo et al., 2018, 274). Ensimmäisen sukupolven CO_2-kylmäjärjestelmän COP on parempi perinteiseen HFC-kylmäjärjestelmään verrattuna viileämmässä ilmastossa, jossa ulkoilman lämpötila pysyy suuren osan ajasta alle +24ºC. Tukholmassa päästiin 20 % (Sawalha et al., 2017, 181–182.) parempaan ja Frankfurtissa 13,8 % (Finckh et al., 2011.) parempaan hyötysuhteeseen

verrattuna perinteiseen HFC-kylmälaitokseen. Mitä lämpimämpi ilmasto on, sitä heikommaksi ensimmäisen sukupolven CO_2-kylmälaitoksen hyötysuhde laskee.



Kuva 7. Ensimmäisen sukupolven CO_2-kylmälaitos (täydennetty Danfoss, 2017.)

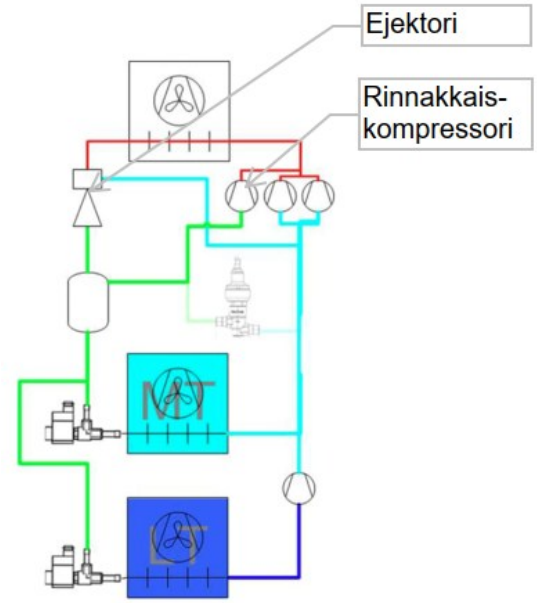
Euroopassa tapahtui 117 % kasvu CO_2-kylmälaitoksissa vuosina 2011 ja 2013 välillä (Shecco, 2014). Kasvusta huolimatta suurin osa CO_2-kylmälaitoksista toimi Pohjois- ja Keski-Euroopassa, suotuisan ilmaston takia. Tuona aikana vain 21 CO_2-kylmälaitosta asennettiin Etelä-Eurooppaan (Gullo et al., 2018, 271). Toisen ja kolmannen sukupolven CO_2-kylmälaitoksiin tehdyt tekniset parannukset ovat tehneet siitä kilpailukykyisen järjestelmän myös lämpimään ja kuumaan ilmastoon. Teknisiin parannuksiin kuuluu mm. lämmöntalteenotto, ejektorit ja rikkaispuristukset (Gullo et al., 2018, 272).

3.5.1 Toisen sukupolven CO_2-kylmäjärjestelmä

Toisen sukupolven kylmäjärjestelmässä kuvassa 7. nähtävässä kytkennässä rinnakkaispuristuksen kompressorissa CO_2-kaasun ei anneta paisua varaajasäiliön paineen säätöventtiilillä matalampaan paineeseen, järjestelmässä kaasu puristetaan kompressorilla takaisin

korkeapaineeseen. Rinnakkaispuristukselle pienennetään merkittävästi kylmäaine määrää, joka kiertää korkeapainekompressorien kautta, transkriitisessä tilassa toimivan ensimmäisen sukupolven CO_2-kylmäjärjestelmässä kaasun välioton kautta kulkee n, 45 % järjestelmän massavirrasta (Gullo et al., 2016a, s.65–66). Kylmäainemäärän massavirran pienentäminen korkeapainekompressorin kautta, mahdollistaa korkeapainekompressorien pienentämisen tai niiden määrän vähentämisen. Verrattuna ensimmäisen sukupolven CO_2-kylmäjärjestelmään rinnakkaispuristuksen arvioidaan nostavan CO_2-järjestelmän hyötysuhdetta 8,4 % ulkoilman lämpötilan ollessa + 25ºC ja 13,6 % ulkolämpötilan ollessa +42,5ºC (Javerschek et al.2015).

Venturi-ilmiössä virtaavan fluidin nopeus suurenee ja paine laskee fluidin kulkiessa kaventuvan putken lävitse. Kuvassa 8. nähdään toisen sukupolven CO_2-kylmälaitos, jossa on rinnakkaispuristus sekä ejektori samassa laitoksessa. Ejektorin toiminta perustuu tähän ilmiöön, kylmäaineen nopeus kasvaa sen ollessa korkeassa paineessa ja kulkiessa supistuvassa suuttimessa aiheuttaen alipaineen. Ejektori imee alipaineen avulla kylmäainetta korkeampaan paineeseen kohti. Parhaimmillaan ejektorilla saadaan 20–30 % paisuvasta hiilidioksidista talteen, välipaineeseen hukkuvasta energiasta. CO_2-kylmäjärjestelmässä, joka toimii transkriittisessä tilassa, on suuri paisuntahäviö. Tämän takia ejektori mahdollistaa suuren potentiaalin järjestelmän hyötysuhteen parantamiseen (Lawrence et al. 2015). CO_2-järjestelmän hyötysuhteen parantamiseen ejektoria pidetään yhtenä lupaavimmista ratkaisuista.

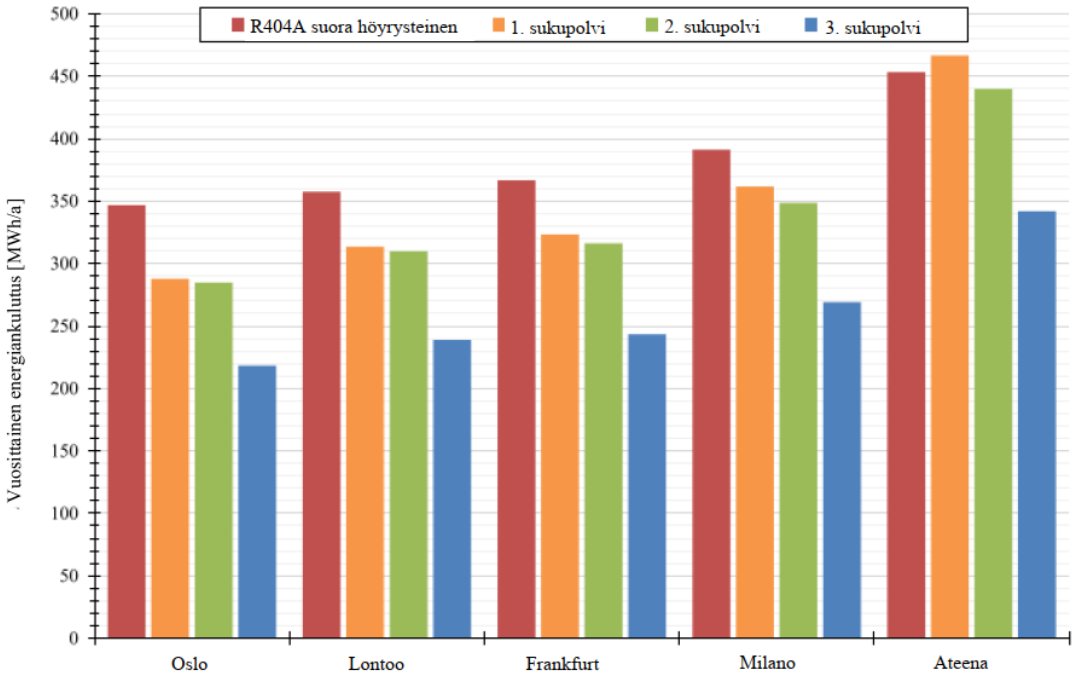


Kuva 8. Toisen sukupolven CO2-kylmälaitos rinnakkaispuristuksella ja ejektorilla (täydennetty Danfoss 2017.)

Höyrystiminä käytetään yleensä kuivahöyrystimiä, joissa paisuntaventtiili päästää kylämainetta höyrystimeen sen määrän, joka höyrystyy ja tulistuu kokonaan höyrystimessä. Kompressoriin voidaan johtaa höyrystimessä tulistunut kylmäaine sellaisenaan. (Hakala & Kaappola 2013, 190–192.) Märkä- tai ylitäytettyyn höyrystimeen paisuntaventtiili päästää kylmäainetta määrän, jolla täytetään höyrystin, kylmäaine ei höyrysty kokonaan ja tämän takia ei myöskään tulistu. Ylitäytetyssä höyrystimessä höyrypitoisuus on n. 50–80 % kylmäaineen poistuessa höyrystimestä. (SWEP International AB, 2022.) Koska ylitäytetyssä höyrystimessä ei tapahdu tulistumista ja lämmönsiirto on tehokkaampaa, mahdollistaa se höyrystymislämpötilan nostamisen 3–4 astetta (Karampour Sawalha, 2018, 243). Vuosihyötysuhde kasvaa 3 %, jos järjestelmän höyrystymislämpötila nousee asteella (Finckh et al., 2011). Gullo arvioi teoreettisesti, että CO_2-kylmäjärjestelmä ylitäytetyllä höyrystimellä ja rinnakkaispuristuksella saavuttavat vuositasolla 8,2 % energiansäästön Espanjan Sevillassa ja 12,3 % energiansäästön Italian Roomassa verrattuna R404A kylmälaitokseen (Gullo et al. 2016b). Vastaavalla kylmälaitoksella saavutettiin 12,4 % säästö Kreikan Ateenassa ja 22,7 % säästö Norjan Oslossa sähkökulutuksessa verrattuna R404A kylmälaitokseen (Gullo et al. 2017).

3.5.2 Kolmannen sukupolven CO_2-kylmäjärjestelmä

Moniejektorikonseptia kutsutaan CO_2-järjestelmien kolmanneksi sukupolveksi, se yhdistää transkriittiseen CO_2-kylmäjärjestelmään moniejektorit, rinnakkaispuristuksen, lämmöntalteenoton ja ylitäytetyt höyrystimet (Gullo et al., 2018, 279). Kuvassa 9. nähdään kolmen eri sukupolven CO_2-kylmäjärjestelmän energiankulutuksen vertailu sekä R404A kylmäjärjestelmän energiankulutus, niin Pohjois- kuin Etelä-Euroopankin ilmastossa.



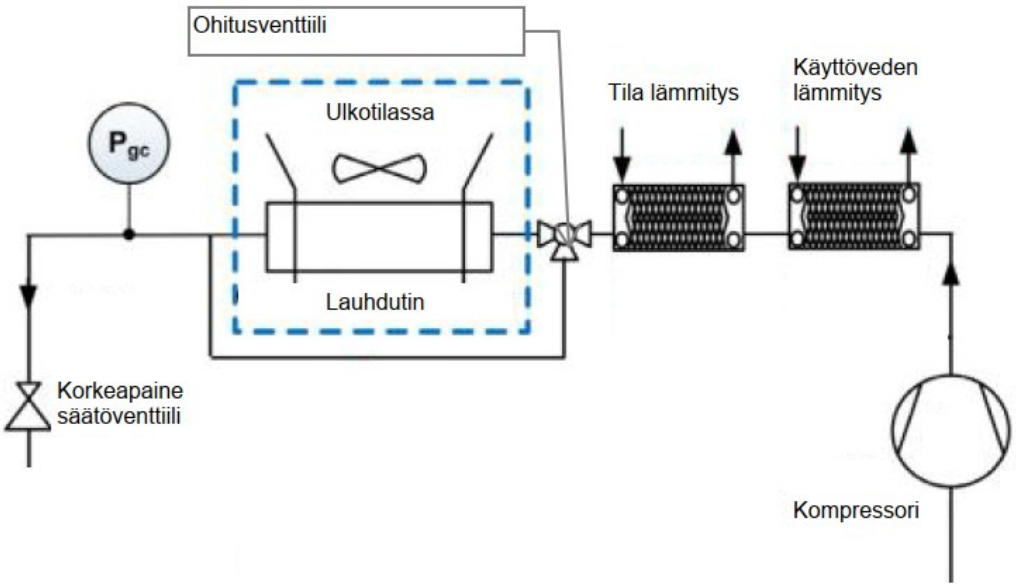
Kuva 9. R404A- ja eri sukupolvien CO_2-kylmäjärjestelmien vuosittaisen energiankulutuksen vertailu (suomennettu Gullo et al., 2018, 283.)

Kuvasta 9. nähdään, että kolmannen sukupolven CO_2-kylmäjärjestelmän energiankulutus on pienempi jokaisella alueella kuin millään vaihtoehtoisilla järjestelmillä. CO_2-kylmälaitosten energiankulutus on jokaisen sukupolven laitoksissa matalampi kuin R404A-kylmälaitoksilla viileämmissä olosuhteissa. Kuvan 9. perusteella nähdään, että R404A-kylmälaitos on energiatehokkaampi vain Ateenan olosuhteissa ja sielläkin vain energiatehokkaampi kuin 1.sukupolven CO_2-kylmälaitos. (Gullo et al., 2018.)

3.5.3 Kylmälaitoksen lauhdelämmön hyödyntäminen

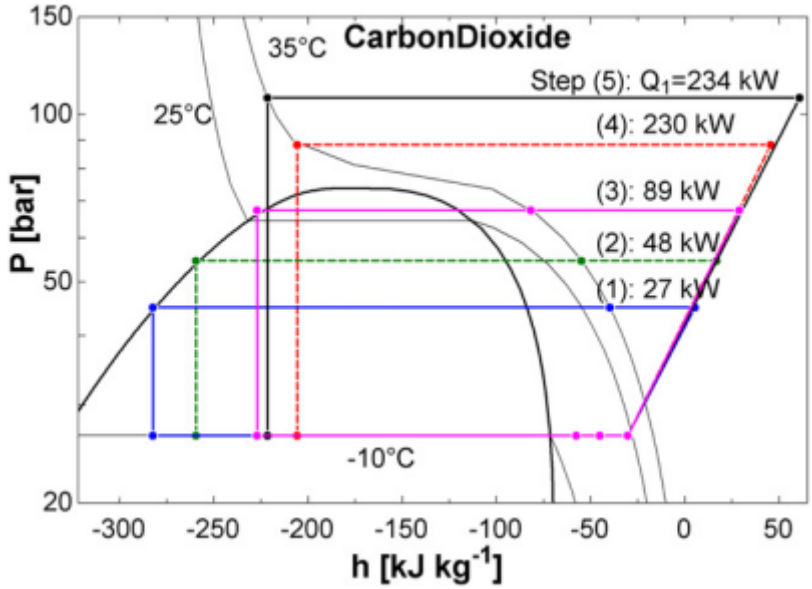
Lauhdelämmöntalteenottojärjestelmiä päivittäistavarakaupoissa käytetään pääasiassa tuloilman lämmittämiseen. Lauhdelämmön talteenotolla voidaan myös esilämmittää kiinteistön käyttövettä, tai lämmittää muita kiinteistön lämmitysjärjestelmiä. Kaupan kylmälaitoksen lauhdelämmön talteenotto soveltuu parhaiten matalalämpöisten lämmitysjärjestelmien yhteydessä käytettäväksi. Kylmälaitoksesta talteen otetun lämmitysenergian hyödyntäminen kiinteistön lämmitysprosesseihin madaltaa kiinteistön ostoenergian käyttöä sekä parantaa kiinteistön energiatehokkuutta. (Sawalha, 2013, 147.)

Sawalha arvioi, että keskikokoisen päivittäistavarakaupan lämmitysenergian tarve Keski-Ruotsissa saadaan katettua ensimmäisen sukupolven CO_2-kylmäjärjestelmän lauhde-energialla. Sawalhan simuloinnit osoittavat, että aiemmin mainitun päivittäistavarakaupan lämmitys- ja kylmäenergia saadaan tuotettua paremmalla vuosihyötysuhteella käyttäen CO_2-kylmäjärjestelmää lämmöntalteenotolla kuin R404A-kylmäjärjestelmä ja erillinen lämpöpumppu. Yleisessä lämmöntalteenottojärjestelmässä on asennettu kaksi lämmönsiirrintä sarjaan, joista toinen palvelee korkeampi lämpöistä käyttövesiverkostoa ja toinen matalalämpöisempää lämmitysjärjestelmää esimerkiksi ilmanvaihdon lämmitystä. Kyseinen järjestelmä on esitetty kuvassa 10. (Sawalha 2013, 154–155.)



Kuva 10. Lämmöntalteenottojärjestelmän kytkentä (muokattu Karampour & Sawalha, 218, 241.)

CO_2-kylmälaitoksesta saatavan lämmitysenergian määrä riippuu järjestelmän paineesta. Kuvassa 11. on esitetty CO_2-kylmälaitoksen toiminta vakio lämmöntalteenottolämpötilassa mutta eri korkeapaineasetuksella.



Kuva 11. Paineen vaikutus kylmälaitoksen lämmöntalteenotto tehoon (muokattu Sawalha, 2013, 149.)

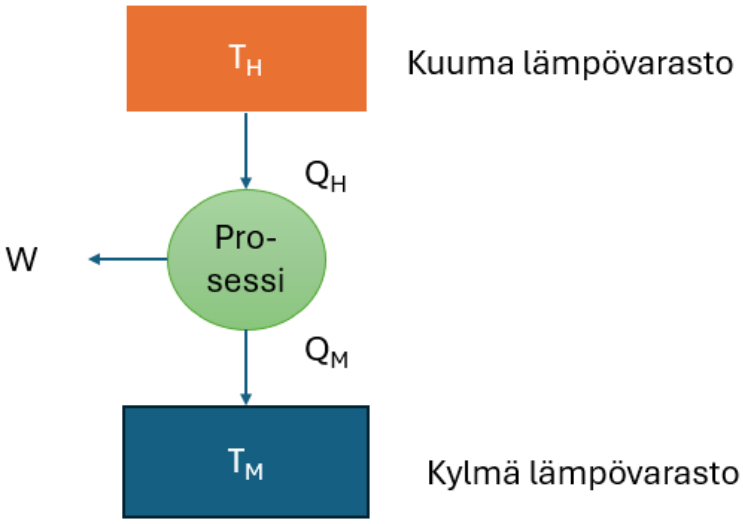
Kuvassa 11. CO_2-kylmälaitoksen lämmöntalteenoton lämpötilana on ollut kaikissa tilanteissa +35°C. Alikriittisissä tilanteessa 1–3, lämmöntalteenottoteho on ollut alle 50 bar:n paineessa 27kW (tilanne 1), paineen noustessa n. 67 bar:iin lämmöntalteenottoteho on saatu nousemaan 89kW. Alikriittisessä tilassa oleva järjestelmä ei mahdollista kaiken saatavilla olevan lämmöntalteenottoa, vaikka painetta nostaessa on lämmöntalteenottotehoa saatu nostettua n. kolminkertaiseksi. Järjestelmän muuttuessa ylikriittiseksi lämmöntalteenottoteho on saatu kasvatettua n. 88 bar:n paineessa 230 kW. Ylikriittisestä järjestelmästä on saatavilla lämmöntalteenottotehoa yli kahdeksankertainen tilaan 1 verrattuna. (Sawalha 2013, 149.) Kuvasta 10 nähdään myös, että mitä matalampi lämmöntalteenoton lämpötila on, sitä suurempi osa siitä on mahdollista ottaa talteen.

4 Lämpöpumput ja energiankierrätys

Luvussa käsitellään lämpövoimakoneiden periaatetta, jotta voidaan käydä läpi lämpöpumppujen toimintaprosessia ja lämpöpumppujen käyttöä päivittäistavarakauppojen energiakierrätyksessä. Luvussa esitellään myös Keskon energianerokas, energiankierrätysprosessia. Luvussa pohjustetaan haastattelututkimusta ja paneudutaan lämpöpumppulaitosten käytönaikaisiin ongelmiin.

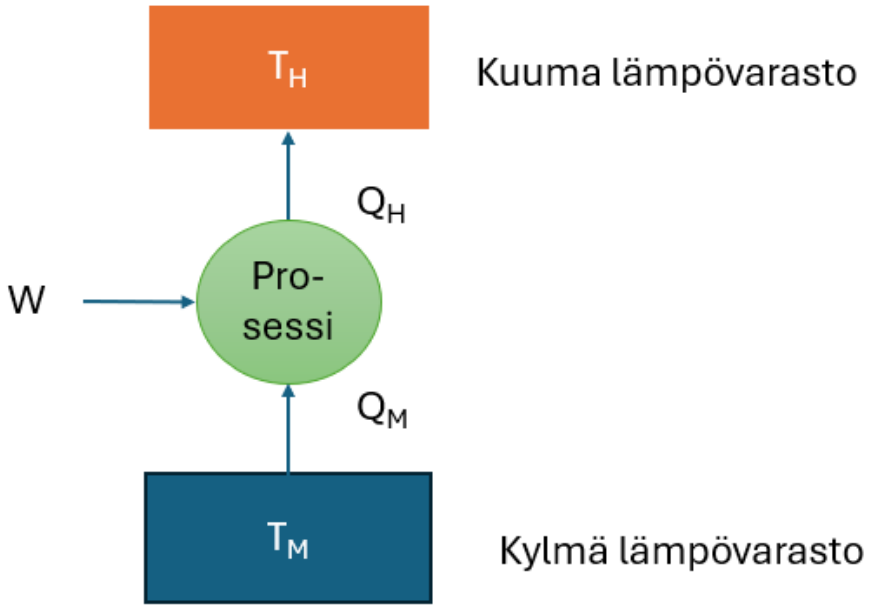
4.1 Lämpövoimakone

Lämpövoimakoneen eli Carnot heat enginen toiminnan perustana on että, kuuman lämpövaraston lämpöenergian virtaus kylmään lämpövarastoon voidaan muuttaa työksi. Lämpövoimakoneita käytännössä ovat esimerkiksi höyryturbiini sekä männällinen höyrykone. Molemmat esimerkkikoneista muuttavat paine-erosta syntyvän virtauksen työksi. Kuvassa 12. esitetään lämpövoimakoneen toimintakaavio. Kuvassa T_H on korkeammassa lämpötilassa ja T_M on matalammassa lämpötilassa oleva lämpövarasto. Lämpövarastojen välisestä virtaavasta energiasta osa pystytään muuttamaan työksi W. (Lampinen, 1997.)



Kuva 12. Periaatekaavio lämpövoimakoneen prosessista. (Koljonen, 1998.)

Lämpövoimakoneen keksimisestä voidaan siirtyä lämpöpumpun ja jäähdytyskoneen keksimiseen. Toimintaperiaatteena jäähdytyskoneella on sama prosessi kuin lämpövoimakoneella, mutta käänteisenä. Arkisena esimerkkinä jäähdytyskoneesta toimii jääkaappi, siinä energia kylmästä lämpövarastosta saadaan virtaamaan työn avulla kuumaa lämpövarastoa kohti. Jääkaapissa lämpöä siirretään sähköenergiaa kuluttavalla kompressorilla pois jääkaapin sisältä (kylmä lämpövarasto), kohti ulkoilmaa (lämmin lämpövarasto). Kuvassa 13. esitetään jäähdytyskoneen toimintakaavio. Kompressori W tuottaa virtauksen kylmästä lämpövarastosta T_M, lämmintä lämpövarastoa T_H kohti. (Koljonen, 1998.)



Kuva 13. Periaatekaavio lämpöpumpun tai jäähdytyskoneen prosessista. (Koljonen, 1998.)

4.2 Lämpöpumput

Lämpöpumpulla voidaan hyödyntää ympäristöön varastoitunutta lämpöä, esimerkiksi maahan, kallioihin tai vesistöihin varastoitunut lämpö siirretään lämpöpumpun avulla kiinteistön käyttöön. Vaihtoehtoisesti lämpöpumppua voidaan käyttää myös kiinteistön hukkalämmön hyödyntämiseen esimerkiksi jätevedestä (kuva 14.), poistoilmasta tai kaupan kylmälaitoksesta. Kuvassa 14. nähdään teollisen kokoluokan hukkalämpöpumppu, Fortum käyttää jäteveden hukkalämpöä kaukolämmön tuotantoon. Hukkalämmön lämpötila korotetaan lämpöpumpulla, jolloin sen avulla voidaan lämmittää kiinteistön lämmitysverkostoja tai tuottaa

lämmintä käyttövettä. Lämpöpumppujen avulla voidaan käyttää kiinteistössä uusiutuvaa energiaa, ja tuottaa ympäristöystävällisesti lämmitys- ja jäähdytysenergiaa. (Sulpu 2022.)

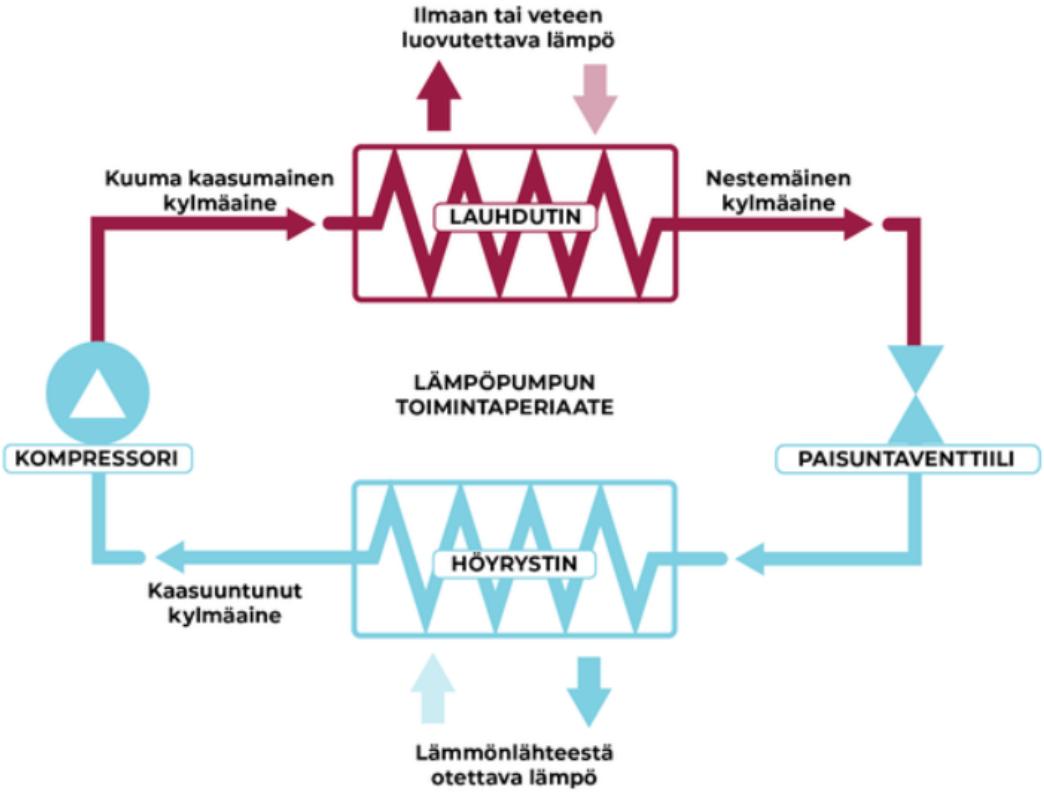
Kuva 14. Fortum jätevesi lämpöpumppu. (Fortum 2021.)

Lämpöpumppu soveltuu kiinteistön päälämmönlähteeksi, mutta se tarvitsee rinnalleen sekundaarisen lämmönlähteen. Kiinteistön tyypin mukaan se voi olla sähkökattila, kaukolämpö tai muu vesikiertoinen lämmönlähde. Lämpöpumppu yksin riittää noin -20°C ulkolämpötiloihin, jonka jälkeen lisälämmönlähteellä tuotetaan puuttuva lämmitysteho. Lämpöpumput toimivat sähköllä. Lämpöpumppujen hyötysuhdetta nimitetään lämpökertoimeksi (COP). Lämpökerroin kertoo, kuinka paljon lämpöä lämpöpumppu tuottaa sähköenergiasta. Tyypillisesti vuosilämpökerroin on kaksi, joka kertoo, että lämpöpumppu tuottaa kaksinkertaisen määrän lämpöä kuluttamaansa sähkötehoon nähden. Lämpökertoimella 2 saadaan jokaisesta kilowatista sähkötehoa 2 kilowattia lämmitystehoa, erotus otetaan lämpöpumpun lämmönlähteestä, joka voi olla esimerkiksi ilma, maa, kallio tai kiinteistön hukkalämmönlähde. (Sulpu 2021.)

Teollisuuden käytössä lämpöpumpputeknologia alkoi yleistyä 1970- ja 1980-luvuilla tapahtuneen öljykriisin takia. Kriisin loppuessa ja öljyn hinnan laskiessa 1980-luvun jälkimmäisellä puolella lämpöpumppujen käytön suosio alkoi laskemaan. CFC-kylmäaineiden poistuminen lakimuutosten takia on saanut aikaan kehitystyötä lämpöpumppujen teknologiassa, CFC-kylmäaineilla saavutetut korkeat lämpötilat ovat olleet haastavia saavuttaa sallituilla kylmäaineilla. Nyt perinteiset CFC-kylmäaineet on korvattu kylmäprosessissa haastavammin käyttäytyvillä mutta ympäristöystävällisemmillä kylmäaineille mm. CO_2, ammoniakki ja propaani. (Maaskola ja Kataikko 2014.)

4.3 Lämpöpumppuprosessi

Lämpöpumppuprosessi perustuu kappaleessa 4.1 kerrotun lämpövoimakoneen prosessiin, jossa lämpöenergiaa muutetaan mekaaniseksi energiaksi. Lämpöpumppuprosessi on ideaalitilanteessa tämän käänteisprosessi. Kuva 15. kuvaa lämpöpumpun perusprosessin sekä pääkomponentit.



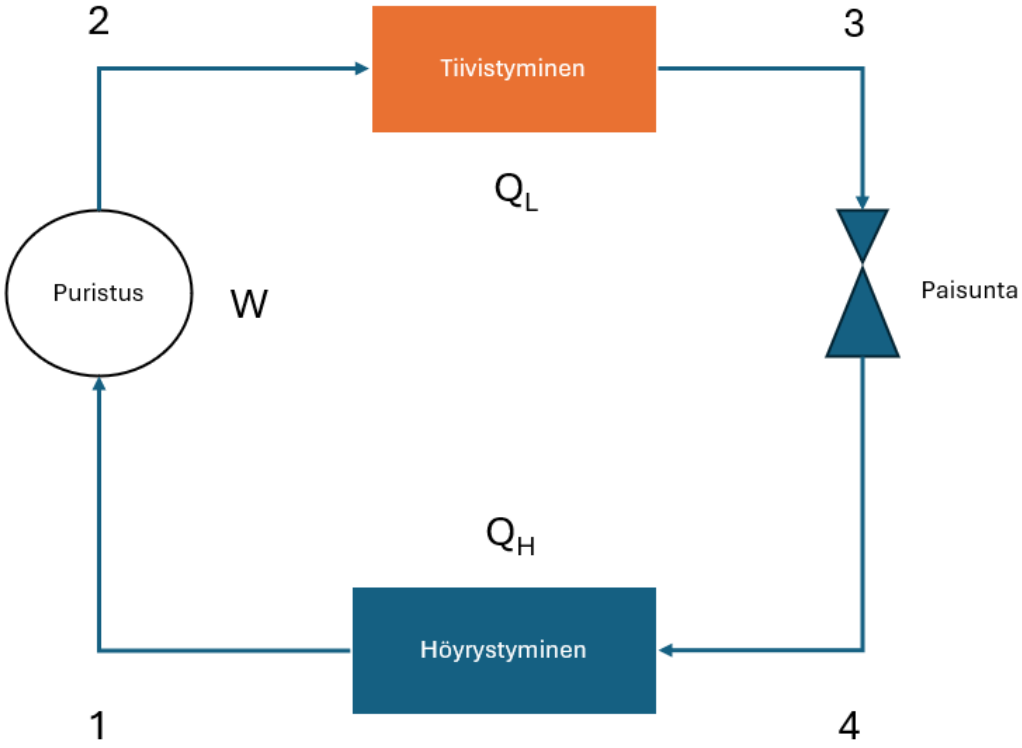
Kuva 15. Lämpöpumppuprosessi. (Motiva 2024.)

Lämpöpumpun toiminta pohjautuu energian siirtämiseen lämmönlähteestä, jolloin tarvitaan avuksi esimerkiksi sähköä lisäenergiaksi. Järjestelmässä kiertävässä kylmäaineessa siirtyy lämpöä alemmasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan, lämmönsiirtyminen perustuu kylmäaineen höyrystymiseen ja tiivistymiseen eri lämpötiloissa. Höyrystimessä lämpö siirtyy kylmäaineeseen, höyrystimessä kylmäaineen lämpötila nousee ja kylmäaine höyrystyy. Höyrystyminen tapahtuu vakiolämpötilassa kylmäaineen ominaisuuksien mukaan. Kompressorissa kylmäainetta puristetaan, jolloin paineen kasvaessa myös kylmäaineen lämpötila alkaa nousemaan ja kylmäaineen olomuoto muuttuu kuumaksi höyryksi. Lauhduttimella

prosessissa syntynyt lämpö siirretään lämmitettävään kohteeseen. Lauhduttimessa kylmäaine tiivistyy vapauttaen lämpöenergian lämmityskohteen käyttöön. Tiivistymisen jälkeen nestemäinen kylmäaine jatkaa kiertoa paisuntaventtiilin kautta kohti höyrystintä aloittaen kierron uudelleen. Lämpöpumppulaitoksen pääkomponentit ovat lauhdutin, paisuntaventtiili, kompressori ja höyrystin. (Maaskola ja Kataikko 2014.)

4.4 Lämpöpumppuprosessin vaiheet

Lämpöpumppuprosessi voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen, selkeyden vuoksi vaiheet on numeroitu. Kuvassa 16 esitetään lämpöpumppuprosessi yksinkertaistettuna ja numeroituna. Kuvassa 17. esitetään Carnot-lämpöpumppuprosessi *T, s* -tasossa.



Kuva 16. Yksinkertaistettu lämpöpumppuprosessin peruskierto.

Höyrystyminen 4–1

Kylmäaine kulkee höyrystimen läpi, jolloin siihen siirtyy lämpöä lämmönlähteestä. Kylmäaineen lämpötila on alhaisempi kuin lämmönlähteellä, joten höyrystyminen ja lämmön siirtyminen mahdollistuvat. Höyrystimessä kylmäaineen entalpia nousee.

Puristus 1–2

Höyrystimen jälkeen kylmäaine on tulistettu ja matalapaineinen. Kylmäainehöyry imetään kompressoriin, joka puristaa sen korkeampaan paineeseen nostaen kylmäaineen lämpötilaa.

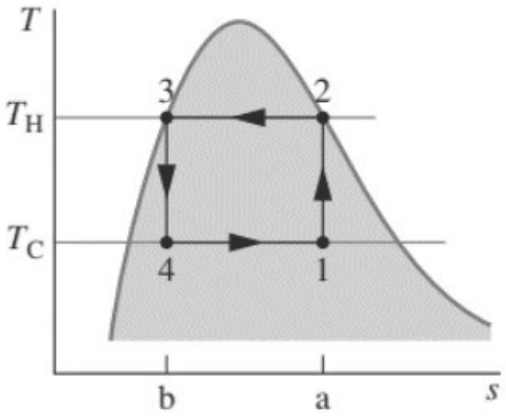
Lauhtuminen 2–3

Korkeapaineinen kylmäaine virtaa järjestelmässä kompressorilta lauhduttimelle kaasufaasissa. Lauhduttimessa kylmäaine luovuttaa lämpöä lämmitettävään kohteeseen, esimerkiksi kiinteistön lämmitysverkostoon tai ilmalämpöpumpussa sisäyksikön puhaltimen kautta huoneilmaan. Lauhduttimen jälkeen kylmäaine on nestefaasissa.

Paisunta 3–4

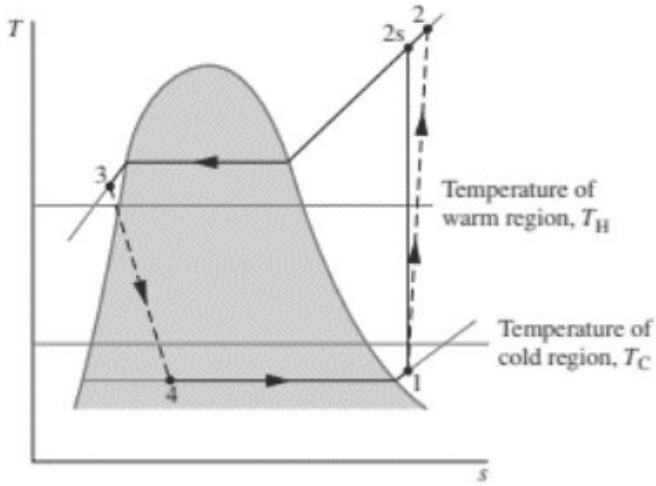
Nestemäinen kylmäaine virtaa lauhduttimesta paisuntaventtiiliin. Paisuntaventtiilissä kylmäaineen paine ja lämpötila laskevat, kun lämpötila laskee kylmäaineen haihtumislämpötilaan niin kylmäaineesta tulee kylläistä. Kylmäaineen saapuessa paisuntaventtiilille sen tulee olla täysin nestefaasissa, mikäli näin ei ole voi järjestelmälle aiheutua suorituskyvyn alenemaa.

Kahden lämpövaraston välillä palautuvaa lämpövoimakonetta voidaan kuvata Carnot-prosessilla. Tällä tarkoitetaan ideaalia prosessia, ideaaliprosessi ei ota huomioon häviöitä. Ideaalia lämpöpumppuprosessia voidaan kuvata käänteisellä Carnot-prosessilla. Kuvassa 16. esitetään häviötön prosessi, numeroituna yllä olevien numeroitujen vaiheiden mukaan. (Maaskola ja Kataikko 2014.)



Kuva 17. Ideaali eli Carnot-lämpöpumppuprosessi *T, s*-kaaviossa. (Moran ja Shapiro 2010, 455.)

Todellisuudessa lämpöpumppuprosessi ei ole palautuva ja prosessissa syntyy häviöitä. Lämpöpumpun puristus ei ole isentrooppinen kuten ideaalissa prosessissa, ja puristus tapahtuu tulistetun höyryn alueella. Kuvassa 18. esitetään todellinen lämpöpumppuprosessi *T, s*- kaaviossa, kuvasta nähdään erot ideaalin ja todellisen lämpöpumppuprossin välillä. (Moran ja Shapiro 2010, s.456–458.)

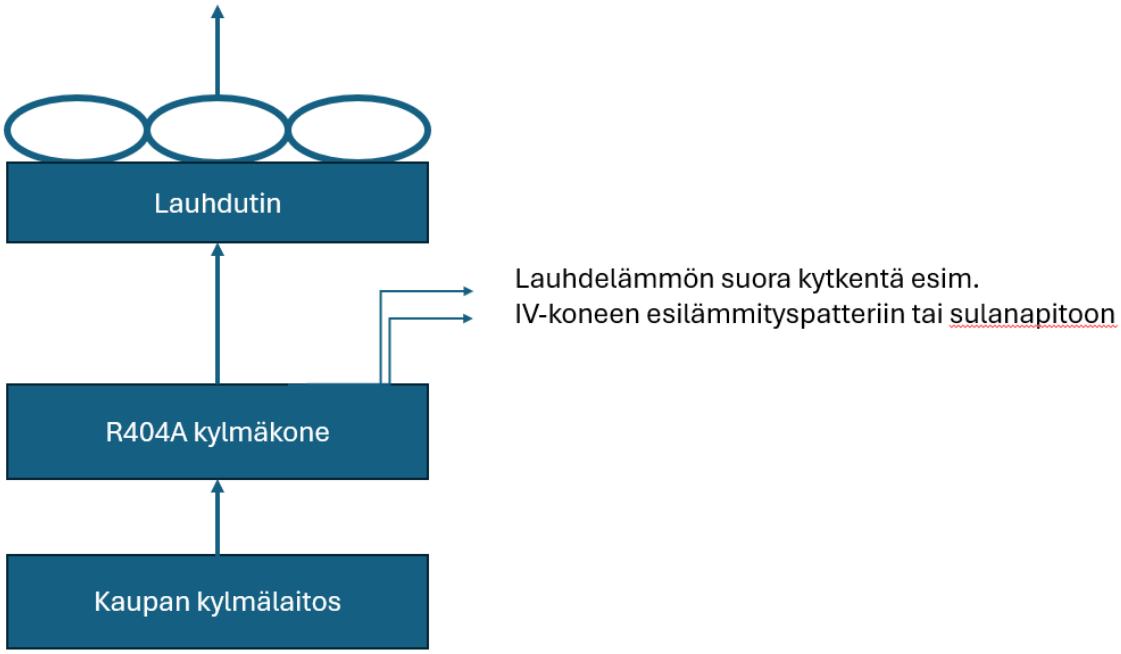


Kuva 18. Todellinen lämpöpumppuprosessi T, s-kaaviossa. (Moran ja Shapiro 2010, 461.)

Nestepisaroiden takia puristusta vältetään kostean höyryn alueella, jotta kompressoririkot voidaan välttää. Paisunnassa syntyy häviötä ja lämmön poisto ja tuonti prosessiin eivät tapahdu vakiolämpötiloissa. (Moran ja Shapiro 2010, s.456–458.)

4.5 Lämpöpumpun käyttö päivittäistavarakaupan energiankierrätysjärjestelmässä

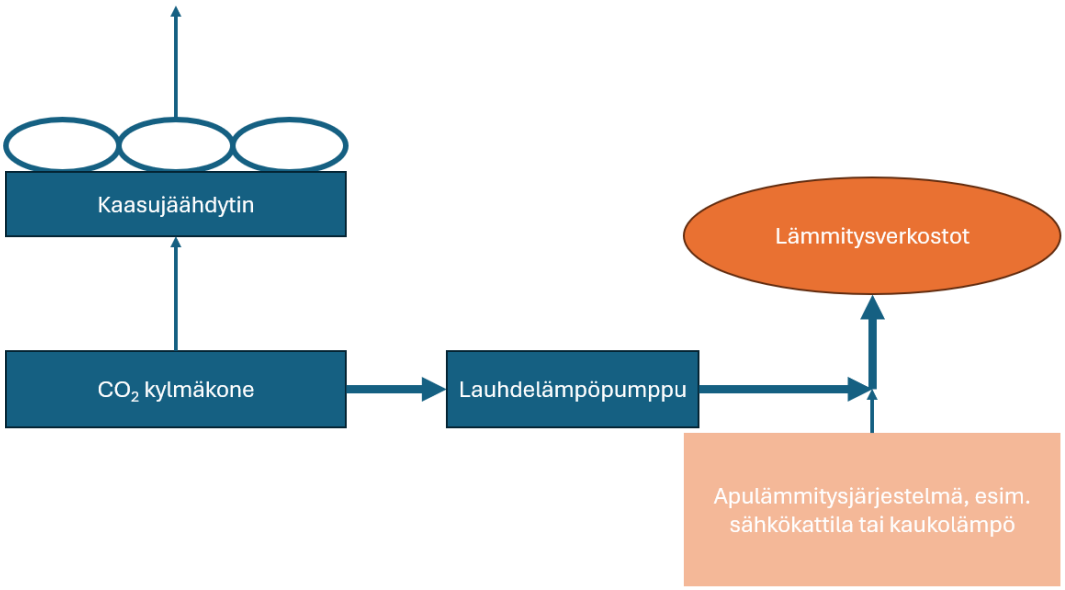
Perinteinen ratkaisu kaupan kylmäkoneikon lauhdelämmön hyödyntämisessä on ollut suora lämmön hyödyntäminen. Tässä ratkaisussa osa lauhdelämmöstä on johdettu suoraan esimerkiksi ilmanvaihtokoneen esilämmityspatteriin tai kiinteistön ulkoalueiden sulanapitojärjestelmään. Kuvassa 19. on esitetty yksinkertaistettu periaatekaavio perinteisestä lauhdelämmön hyödyntämisestä. Tällaisen suoran lauhdelämpökytkennän huono puoli on painehäviön kasvaminen ilmanvaihtokoneessa. Painehäviön nousu kasvattaa ilmanvaihtokoneen puhaltimien sähkönkulutusta. (Motiva 2021.)



Kuva 19. Yksinkertaistettu esimerkkikytkentä lauhdelämmön hyödyntämisestä R404A kylmälaitoksesta. (Muokattu Motiva 2021.)

Moderni ratkaisu lauhdelämmön hyödyntämiseen on lauhdelämmön siirtäminen kiinteistön käyttöön lauhdelämpöpumpun avulla. Lauhdelämpöpumppu mahdollistaa CO_2-kylmälaitoksen matalalämpöisen lauhdelämmön hyödyntämisen kiinteistön lämmitysverkostoissa. Matalalämpöinen lauhdelämpö ei sellaisenaan ole hyödynnettävissä. Lauhdelämpöpumpulla mahdollistetaan lauhdelämmön lämpötilan nosto sellaiseen lämpötilaan, että lauhdelämpö on hyödynnettävissä kiinteistön eri lämmitysverkostoissa. Kuvassa 20. on esitetty

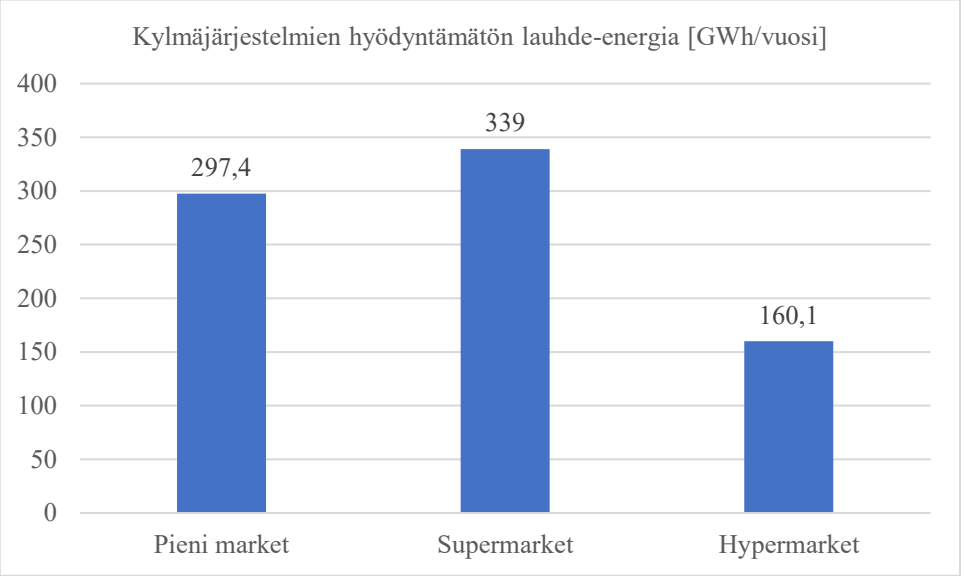
yksinkertaistettu periaatekaavio lauhdelämpöpumpun kytkennästä kiinteistön lämmitysjärjestelmään. (Motiva 2021.)



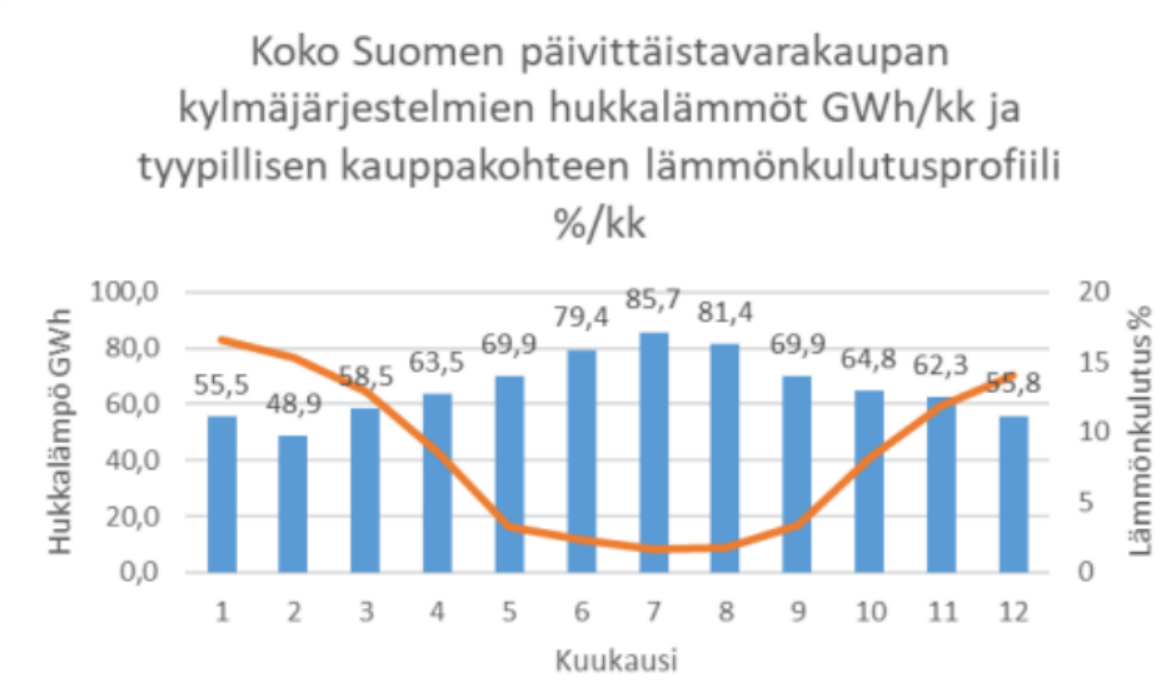
Kuva 20. Yksinkertaistettu esimerkkikytkentä lauhdelämpöpumpulle. (Muokattu Motiva 2021.)

Granlund Oy:n tekemän selvityksen mukaan Suomen päivittäistavarakauppojen lauhde-energiasta on käytetty vuonna 2021 pienissä market-kokoluokan kaupoissa n. 10 %, keskikokoisissa supermarket-kokoluokan kaupoissa n. 15 % ja suurissa hypermarket-kokoluokan kaupoissa n. 16 %. Selvityksen mukaan kylmälaitokset tuottavat 917 GWh vuodessa lauhde-energiaa, tästä vuonna 2021 oli hyödyntämättä n. 797 GWh vuodessa. Taulukossa 6. esitellään hyödyntämättömän lauhde-energian määrä edellä mainituissa päivittäistavarakauppa kokoluokissa, GWh/vuosi tarkkuudella. Suurin määrä hukkalämpöä syntyy keskikoisessa supermarket-kokoluokassa, suurin syy tähän on myymälä luokan suuri määrä Suomessa.

Taulukko 6. Päivittäistavarakauppojen hyödyntämättömän lauhde-energian määrä. (Muokattu Motiva 2021.)



Kaupan kylmälaitoksen tuottamaa lauhde-energiaa tarkastellessa kuukausitasolla voidaan Granlund Oy:n selvityksen perusteella todeta, että lauhde-energian suurin tuotanto osuu lämpimille kuukausille. Saman selvityksen perusteella voidaan todeta, että pienin tuotanto sijoittuu talvikuukausille. Haasteeksi Suomessa muodostuu se, että Suomessa lämmitykselle suurin tarve sijoittuu talvikuukausille, jolloin lauhde-energiaa on kylmälaitoksessa vähiten tarjolla. Kesäkuukausina lauhde-energiaa voidaan käyttää käyttöveden lämmittämiseen sekä ilmanvaihdon kuivatusprosessissa jäähtyneen tuloilman lämmittämiseen. Kuvassa 21. esitetään koko Suomen päivittäistavarakaupan kylmäjärjestelmien lauhde-energia kuukausitasolla ja kauppakohteiden kuukausittainen lämmönkulutusprofiili. Kuvasta nähdään lauhde-energian suuri tuotanto kesäkuukausina, sekä lämmönkulutusprofiili. Kuvan perusteella voidaan todeta, että lisälämmön tarve tyypillisessä päivittäistavarakauppa kohteessa sijoittuu talvikuukausille. (Motiva 2021.)



Kuva 21. Kylmäjärjestelmien hukkalämmön ja lämmönkulutusprofiilin vertailu kuukausitasolla vuoden aikana. (Motiva 2021.)

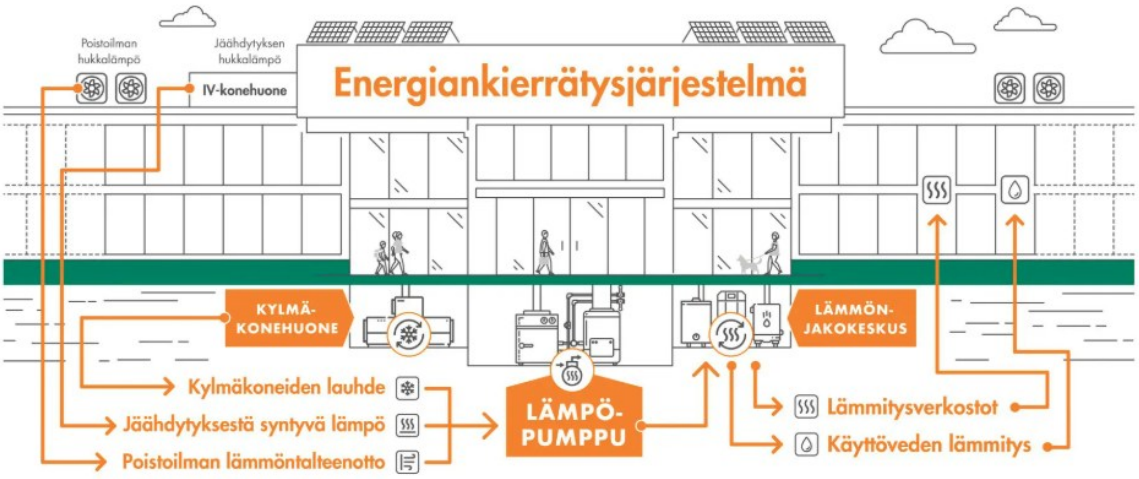
Esimerkkinä energiankierrätysjärjestelmästä toimii Granlund Oy:n tekemä selvitys hypermarket-kokoluokan energiankierrätysjärjestelmästä. Järjestelmä perustuu kahteen lämpöpumppuun. Esimerkki kohteen hukkalämmöt kerätään yhteen ja matalalämpöinen lauhde-energia nostetaan lämpöpumpuilla korkeampaan lämpötilaan. Tämän jälkeen kuumempi lauhde-energia syötetään kiinteistön lämmönjakokeskukseen. Selvitetyssä esimerkkikohteessa kylmälaitos tuottaa lauhde-energiaa 280 kW, lauhdelämpöpumppujen yhteenlaskettu lämmitysteho on 220 kW ja jäähdytysteho 180 kW. Taulukosta 7. selviää, että kaukolämmön kulutus esimerkkikohteessa laski vuositasolla 55 %. Selvityksen perusteella energiankierrätysjärjestelmän diskontattu takaisinmaksuaika on 5 vuotta huomioiden energiatuen hankkeelle -20 %, tässä hankkeessa se oli 146 080 €. Elinkaarikustannussäästöksi 20 vuoden ajalle arvioidaan 531 500 €. (Motiva 2021.)

Taulukko 7. Energiankierrätysjärjestelmän kuukausikohtainen kulutus. (Muokattu Motiva 2021.)

Kuukausi	**Energiankierrätysjärjestelmä**			
	Lämmön-kulu-tus [MWh]	Lämmön osto [MWh]	Lämmön säästö [MWh]	Sähkön kulutus [MWh]
Tammikuu	286,2	179,7	106,5	20
Helmikuu	267,7	172,2	95,5	17,6
Maaliskuu	244,5	127,8	116,7	20,7
Huhtikuu	130,3	36,2	94,1	15,7
Toukokuu	55,1	3,5	51,6	8,1
Kesäkuu	21,7	0	21,7	3,3
Heinäkuu	13,1	0	13,1	2
Elokuu	14,6	0	14,6	2,2
Syyskuu	52,3	3,4	49	7,8
Lokakuu	140,9	35,4	105,6	17,4
Marraskuu	177,6	62,8	114,8	20,1
Joulukuu	209,6	98,4	111,2	20,4
Yhteensä	1613,6	719,4	894,4	155,3

4.6 Keskon energiakierrätysjärjestelmä

Kesko on kehittänyt yhdessä Granlund Oy:n ja Tom Allen Senera Oy:n kanssa monistettavan energiankierrätysjärjestelmän. Energiankierrätysjärjestelmän kehitystyön lähtökohtana oli yhdistää kaupan kylmäjärjestelmä, lämpöpumppu sekä energiankierrätykseen tarvittavat talteenottojärjestelmät yhdeksi kokonaisuudeksi. Perinteisesti hukkalämpö on johdettu vain kiinteistön ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereiden käyttöön. Kuvassa 22. nähtävässä Keskolle kehitetyssä energiankierrätysjärjestelmässä lämpöpumpun avulla hukkalämpö saadaan pumpattua suoraan lämmitysputkistoon ja hyödynnettyä koko kiinteistössä, niin oviverhokoneille, käyttöveden lämmitykseen, lämmityspattereille kuin ilmanvaihtokoneille. (Energiatehokkuussopimukset 2020.)



Kuva 22. Energiankierrätysjärjestelmän periaatekaavio. (Granlund 2023.)

Energiankierrätysjärjestelmän ajatuksena on ollut kierrättää kaikkea kaupan hukkalämpöenergiaa. Perinteisen kaupan kylmäjärjestelmän lisäksi tähän kuuluvat mm. poistoilman ja kiinteistön jäähdytysjärjestelmän hukkalämmöt. Perinteisesti lämmöntalteenotot ovat olleet yksittäisiä järjestelmiä, energiankierrätysjärjestelmässä koko energiajärjestelmä on ajateltu kokonaisuutena. Järjestelmässä hukkalämpö saadaan kierrätettyä uuneista lähtien. (Energiatehokkuussopimukset 2020.)

Konseptin lähtöajatuksena on ollut monistettavuus. Järjestelmä voidaan monistaa eri kokoluokan kauppoihin. Järjestelmää on asennettu niin K-Citymarket luokan hypermarketteihin kuin pienempiin K-supermarketteihin. Energiankierrätysjärjestelmällä rakennusten lämmönkulutusta on saatu alennettua parhaimmillaan 85–95 prosenttia. Näin kauppa, johon järjestelmä on asennettu, saadaan lähes hiilineutraaliksi energian osalta. (Kauppa 2019.)

5 Haastattelututkimus

Työssä on teoriaosion lisäksi toteutettu myös haastattelututkimus, jonka tarkoituksena oli kerätä tietoa ja kokemuksia alan eri tekijöiltä lämpöpumppuhankkeiden haasteista. Haastatteluihin pyydettiin niin tilaajia, suunnittelijoita, urakoitsijoita kuin laitevalmistajan edustajia kertomaan kokemuksia toteutuneista hankkeista.

Haastattelututkimus on kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus. Kvalitatiivinen tutkimusmenetelmä valikoitui työhön, sillä se tukee työn tavoitetta paremmin kuin määrällinen tutkimusmenetelmä, sillä kvalitatiivisessa tutkimuksessa kerätään tietoa haastatteluista ja se vastaa paremmin tämän tutkimuksen tutkimuskysymykseen. Tutkimusmenetelmää valitessa todettiin kvalitatiivisen tutkimusmenetelmän mahdollistavan syventymisen työn aiheeseen paremmin kuin määrällisen tutkimusmenetelmän. Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituna haastatteluna. Puolistrukturoitu haastattelu toimii tämän kaltaisessa tutkimuksessa hyvin, sillä haastattelun vastauksia ei ole ennalta määritetty vaan haastateltavilla on mahdollisuus vastata kysymyksiin ilman valmiita vastauksia. Haastattelumenetelmän avulla saatiin pienestä määrästä haastateltavia paljon materiaalia tutkimustyötä varten.

5.1 Haastatteluiden toteutus

Työhön valittiin haastateltavaksi monipuolinen kattaus alan eri toimijoita, jotta haastatteluista saataisiin kerättyä mahdollisimman laaja ja monipuolinen aineisto työtä varten. Haastatteluihin luotiin kysymyspohja käyttäen apuna Microsoft Copilot-ohjelmaa. Samaa kysymyspohjaa käytettiin kaikille haastateltaville, haastattelun kysymyspohja on esitetty liitteessä I. Haastateltavien henkilöiden roolit ja lukumäärät on esitetty taulukossa 8.

Haastateltavat edustavat monipuolisesti eri yrityksiä ja tekijöitä lämpöpumppuhankkeissa, ja soveltuvat hyvin tähän tutkimukseen. Haastateltavat kattavat lämpöpumppuhankkeen eri vaiheet hyvin suunnittelusta lämpöpumppujärjestelmän ylläpitoon. Haastateltaviin oltiin yhteydessä sähköpostitse, ja haastatteluajankohdat saatiin sovittua sähköpostitse tai puhelimitse eri osapuolten kanssa. Haastattelututkimukseen osallistui 11 henkilöä.

Haastattelut toteutettiin etäyhteydellä käyttäen Microsoft Teams-ohjelmistoa kahta haastattelua luukunottamatta, jotka toteutettiin kasvotusten. Tutkimuksen haastattelut toteutettiin yksilöhaastatteluina. Tutkimukseen toteutettiin yhteensä 11 kappaletta haastatteluja. Haastattelujen kestot vaihtelivat 50 minuutin ja puolentoista tunnin välillä.

Taulukko 8. Haastateltavien roolit ja lukumäärät.

Haastateltava	**Lukumäärä**
Laitevalmistaja	2
Urakoitsija	2
Tilaaja	2
Ylläpito	2
Suunnittelu /valvonta	3

Kysymykset haastatteluun laadittiin etukäteen yhdessä tutkimuksen tilaajan kanssa, haastattelukysymysrungon teossa käytettiin apuna tekoälyohjelmaa Microsoft Copilot. Tekoälyä käytettiin avuksi haastattelurungon jäsentelyyn haastattelukysymysten luonnin jälkeen. Haastateltaville toimitettiin haastattelukysymykset etukäteen tutustuttavaksi helpottamaan keskustelua. Haastattelutilanteet olivat keskustelevia ja haastateltavat saivat vastata kysymyksiin ilman valmiita vastausvaihtoehtoja. Haastattelujen aikana haastateltavilta kysyttiin esimerkkejä ja tarkentavia kysymyksiä keskustelun niin vaatiessa. Osassa haastatteluja keskustelu ei edennyt kysymyspohjan mukaisesti vaan keskustelu eteni omaa reittiään, kysymyspohjan toimiessa enemmänkin tukena keskustelulle. Haastatteluihin varattiin aikaa myös vapaalle keskustelulle, näin mahdollistettiin läpikäyminen kysymysten ulkopuolella jääville aiheille.

Kaikki haastattelut nauhoitettiin käyttäen Microsoft Teamsia, lisäksi haastattelut litteroitiin eli muutettiin tekstimuotoon. Tallenteista jätettiin pois aiheeseen liittymättömät keskustelut. Haastattelujen vastaukset koottiin yhteen vastausten vertailua sekä analysointia varten. Koonnin jälkeen vastaukset jaettiin Liitteen I mukaisten kysymysten alle helpottamaan aineiston käsittelyä. Koska haastattelu toteutettiin puolistrukturoituna haastatteluna, vastausten jäsentely oli työlästä toisin kuin strukturoidussa haastattelussa, jossa vastausvaihtoehdot olisivat olleet ennakkoon annettuna haastateltaville.

Haastatteluaineisto on koottu aihealueittain selkeyttämään aineiston läpikäyntiä. Aineiston läpikäynti on alaluvussa 5.2.

- Tekniset haasteet
    - Yleisimmät tekniset haasteet lämpöpumppujen asennuksessa ja käytössä
    - Yleisimmät haasteet lämpöpumppujen suunnittelu- / hankinta- ja toteutusprosessissa
- Yhteistyö ja koordinointi
    - Yhteistyö eri sidosryhmien välillä
    - Kokonaishankinnan / - urakan tärkeys ja toimivat toimintamallit lämpöpumppu- eli LPU-hankkeissa
    - Tilaajan ja valvojien rooli LPU-hankkeissa
    - Toimintavarmuus vai hyötysuhteen optimointi / maksimointi
- Vastaanotto ja käyttöönotto
    - Toteutuskäytännöt vastaanotoissa ja toimintakokeissa
- Ylläpito ja käytönaika
    - Ylläpidon huomioiminen hankkeissa
    - Kokemuksia elinkaarisopimusmallista
    - Takuuajan viritys ja seuranta LPU-hankkeissa
    - Vastuu ja toiminta takuuajan jälkeen
- Muut haastatteluissa esille nousseet asiat

5.2 Haastattelujen analysointi

Luvussa analysoidaan haastattelututkimuksen vastaukset. Vastaukset on jaettu otsikoittain omiin lukuihin edellisessä kappaleessa esitetyn listauksen mukaisesti.

5.2.1 Tekniset haasteet

Tekniset haasteet lämpöpumppujen asennuksessa ja käytössä

Useammalta haastateltavalta kertoi F-kaasuasetuksesta aiheutuvat kylmäainemuutokset käytettävissä laitteissa. Kylmäaineiden vaihtuminen johtaa uuden teknologian käyttöön niin suunnittelussa, urakoinnissa kuin laitevalmistajilla. Haastattelussa nousi esille, että uusien kylmäaineiden ja lämpöpumppujen tultua markkinoille suunnittelijoille ja automaatio-ohjelmoijille ei ole saatu tarkkaa tietoa, miten laitteistoa tulisi säätää. Tämän takia lämpöpumppujen säätölogiikkaan on jouduttu tekemään oletuksia. Luontaiset kylmäaineet ovat herkempiä kuin aiemmin käytetyt kylmäaineet. Tämän takia lämpöpumpulle annetaan lämpötilaarvoja ja laite on täysin laitevalmistajan valvonnassa. Näin lämpöpumpulle ei tule suoraan ohjausta omasta automaatiosta.

Energiankierrätysjärjestelmissä, joissa käytetään kaupan kylmäjärjestelmää, nousi esille muutamalta haastateltavalta myös kylmälaitoksen ohjauksen haasteet ja sen puutteet. Kylmälaitetta ei voida suoraan ohjata, vaan ne vaativat oman ohjauskeskuksen, eivätkä nämä ole hyvin testattuja valmiita kokonaisuuksia.

Yli puolet haastateltavista toivat haasteina esiin lämpöpumppujärjestelmien ohjaukset ja näiden ongelmat. Eräs haastateltava kertoi, ettei lämpöpumppuhankkeissa osata hyödyntää automaatiopuolta niin paljon kuin olisi mahdollista, tämän takia lämpöpumppujen ominaisuuksia ei hyödynnetä tarpeeksi. Lisäksi järjestelmiin tehdään perinteisiä kytkentämalleja, jotka on opittu aiemmin, eikä vastata nykypäivän vaatimuksiin laitteiden näkökulmasta.

Eräs haastateltava nosti esille automaatio-ohjaukset, vaikka suunnittelussa oli toimintaselostus tehty niin, että järjestelmän tulisi toimia. Järjestelmä oli kuitenkin koodattu urakoitsijan toimesta niin, ettei tehoporrasohjauksia tehty selostuksen mukaisesti. Koodaus oli toteutettu niin, että yksi lämpöpumpuista oli ”master” ja loput ”slaveja”, lämpöpumpun säädin on tehty ohjamaan lämpöpumpun kylmäprosessia, ei talotekniikkaa. Tällainen edellä kuvattu kombinaatio ei ole toimiva tällaisessa järjestelmässä. Haastateltava korosti, ettei tämän asian tärkeyttä ymmärretä tarpeeksi lämpöpumppuhankkeissa. Haastateltavan mukaan alalta puuttuu prosessiajattelua, ei ymmärretä miten kylmäprosessi, lämpöpumppuprosessi ja lämpöprosessi toimivat. Mikäli teet toisessa jotain, vaikuttaa se myös kaikkeen muuhun kokonaisuudessa.

Eräältä haastateltavalta nousi esille, ettei joku osa järjestelmää tai koko järjestelmä toimi kunnolla. Näidenkin ongelmien juurisyynä ovat olleet rakennusautomaation ohjaukset ja säädöt. Nämä ongelmat ovat johtuneet suuremmaksi osaksi urakoinnin ja suunnittelun välisen kommunikaation puutteesta. Ongelmia on esiintynyt niin suunnitelmissa kuin toimintaselosteissa, ongelmana on myös se, ettei asennuksia ole tehty suunnitelmien mukaisesti. Lisäksi esiin nousi, että urakoitsija on vaihtanut järjestelmän ohjauksia suunnittelijalta kysymättä, mikä on johtanut toimimattomiin järjestelmiin.

Lämpöpumppujen toimintavarmuus koettiin haastateltavien keskuudessa suurena haasteena. Hankkeiden eri osapuolten tulee ymmärtää järjestelmän haastavuus teknisestä näkökulmasta ja ettei lämpöpumppu ole kaukolämpökeskus. Järjestelmä sisältää huomattavasti enemmän teknisiä komponentteja muun muassa pumppuja ja venttiileitä. Lämpöpumppu itsessään on yksinkertainen laite, mutta on melko herkkä lämpötilojen muutoksille.

Haasteina nähtiin myös asennustyön jälki ja asennustyössä tapahtuneet virheet. Esimerkkinä esille nousi, että väärät putket oli kytketty vääriin paikkoihin sekä venttiileitä väärin päin. Tämän takia virtaukset menevät väärään suuntaan eikä tavoitelämpötiloja saavuteta. Asennustyöstä nousi esille, että suunnitelmia ei noudateta, vaan oiotaan ratkaisuissa. Putkistoja on tehty väärän kokoisilla putkilla, minkä takia järjestelmä ei toimi suunnitelman mukaisesti.

Yleinen ongelma lämpöpumpuissa on käyttöveden tuotanto. Havaintona oli, ettei lämpöpumpulla saada tuotettua riittävän kuumaa vettä. Korkeampi lämpötilan pyynti lämpöpumpussa heikentää hyötysuhdetta ja lämpöpumpun käyntiä, kun laitetta ajetaan koko ajan ylärajalla. Käyttöveden tuotannosta nousi esille, ettei lämpimän käyttöveden asetusarvoon päästä. Tämän takia lämpimän käyttöveden tuotanto on ratkaistu kaukolämmöllä tai sähkökattilalla lämpöpumpun sijaan ja lämpöpumppu on tuottanut vain kiinteistön lämmitysverkoihin energiaa. Eriyttäminen on ollut toimiva ratkaisu, joka on parantanut järjestelmän toimintavarmuutta.

Osaamisen puute lämpöpumppujärjestelmien valvonnassa koettiin ongelmaksi haastateltavien keskuudessa. Usein kohteissa on LVI-valvoja sekä mahdollisesti RAU-valvoja. Mutta mikään taho ei valvo lämpöpumppujärjestelmää. Haastateltava koki ongelmaksi sen, ettei valvojilta löydy tarpeeksi osaamista monimutkaisista energiankierrätys- ja lämpöpumppujärjestelmistä. Tämän osaamisen puutteen takia valvojat tai muukaan taho ei tarkasta eikä osaa tarkastaa lämpöpumppujärjestelmän toimintaa. Tämän takia laitteiden käyttöönotto ja

tarkastaminen hoidetaan puolivillaisesti. Kokemuksena käyttöönotoista nousi esille, että käyttöönotto on ollut virtojen päälle laittaminen, sekä toteaminen, että lämmintä vettä tulee. Kun lämpöpumppua ei oteta kunnolla käyttöön, jää monta ongelmaa nousematta pinnalle ja nämä tulevat esille vasta kuukausien tai pidemmän ajan päästä. Vaikka käyttöönotto oli määritetty hankkeelle, nousi esille, että se oli kokonaan laiminlyöty useassa kohteessa.

Haastateltavien kanssa puhuessa todettiin, että onnistuneimmat hankkeet on toteutettu, kun hankkeissa ovat olleet mukana vakiokumppanit. Tällöin yhteistyö eri osapuolten kesken on toiminut hyvin koko hankkeen ajan, henkilöstövaihdokset hankkeista toiseen tekevät hankkeista haastavampia. Lisäksi vakioidut ratkaisut koettiin toimiviksi, mitä enemmän asioita lämpöpumppuhankkeissa saadaan vakioitua, niin sen parempi lopputulos on kaikille projektin osapuolille. Urakoitsijavaihdokset johtavat haasteisiin toiminnan ohjauksen kanssa. Uusien tekijöiden kanssa puuttuu kokemukset aiemmista vastaavista hankkeista, eikä ole tietoa edeltävien hankkeiden sudenkuopista, jotka pystyttäisiin vakiokumppaneiden kanssa helposti välttämään. Haasteltavat nostivat esille, että toimintavarmuuden ja huollon kannalta tilaajien olisi järkevää käyttää samoja laitteita kohteista toisiin. Näin huoltokustannukset pienevät eikä kaikkea tarvitsisi miettiä, joka kohteen kohdalla uusiksi.

Yleisimmät haasteet lämpöpumppujen suunnittelu- / hankinta- ja toteutusprosessissa

Viime vuosien muutokset kylmäaineissa tuottavat haastattelujen perusteella haasteita myös suunnittelutyöhön. Viimeisen 10 vuoden kylmäaineet on jouduttu muuttamaan kolme kertaa. Viimeisin muutos on tullut vain muutama vuosi edellisen muutokset jälkeen. Kylmäainemuutokset ovat aiheuttaneet haasteita laitevalinnoissa ja niiden mitoituksissa, että kohteisiin saadaan valittua soveltuvat laitteet. Kylmäainemuutoksista johtuvat laitevaihdokset ovat johtaneet siihen, ettei suunnittelussa olla täysin varmoja, miten laitteet suunnitellaan ja suunnittelijat joutuvat tukeutumaan laitevalmistajiin aiempaa enemmän. Tämän takia käytetään paljon mallisuunnitelmia ja koko suunnitteluprosessi kärsii. Kylmäainemuutokset ovat johtaneet myös atex-luokitustarpeisiin rakennuksissa, josta syntyy omat haasteensa.

Eräs haastateltava totesi, ettei uusien kylmäainemuutosten myötä, järjestelmiä voida enää suunnitella kopioimalla vanhoja suunnitelmia. Suunnittelijoiden tulee opetella järjestelmien toiminta uudestaan. Haastateltava koki, että suunnittelu tulee olemaan heikoin lenkki lämpöpumppuhankkeissa pitkään. Kylmätekniikan ymmärrys suunnittelussa koettiin vajavaiseksi. Mikäli kylmätekniikkaa ei ymmärretä riittävästi, suunnitellaan järjestelmään

epäsopivat laitteet ja pahimmillaan siihen, että kopioidaan laitteet vanhoista suunnitelmista. Haastateltava kertoi saaneensa tarjouspyyntöjä suunnitelmilla, joissa kylmäaineena oli jo 10 vuotta kiellettynä ollutta kylmäainetta.

Haastateltavat nostivat esille haasteita suunnittelun vaativuudessa. Lämpöpumppusuunnittelu on laaja kokonaisuus ja suunnittelijan tulisi hallita laajasti talotekniikan eri osa-alueita, niin LVI-tekniikasta, sähkötekniikasta kuin rakennusautomaatiosta. Näin ollen perus LVI-suunnittelijalle lämpöpumppulaitokset eivät ole helppoja kohteita, eikä niitä voi ilman aiempaa kokemusta suunnitella. Suunnitteluun liittyy paljon erikoistietoa, niin laitteista, kuin parhaista kytkentätavoista.

Lisäksi haastateltavilta nousi esille kokemattomuus lämpöpumppusuunnittelussa. Tämän takia opittua tietoa ei osata soveltaa. Esiin nousi myös, että lämpöpumppujärjestelmää mietitään kaukolämpönä. Samankaltainen kansallinen ohjeistus kuin kaukolämmön K1 koettiin tarpeelliseksi ja hyödylliseksi lämpöpumppupuolelle. Tällöin hyväksi todettuja kytkentätapoja voitaisiin kerätä yhteen, ja kokoelmasta voisi ottaa tilanteeseen sopivan mallin, jota voi soveltaa kyseiseen suunnittelukohteeseen.

Tärkeänä huomiona haastateltavalta nousi esille, että lämpöpumppusuunnittelijan on todella tärkeää ymmärtää kylmäaineen ominaisuudet. Ennen suunnittelun aloitusta tulee käydä kylmäprosessi läpi valitulla kylmäaineella. Mikäli tätä ei tehdä, lämpöpumppua ei saada toimimaan optimaalisessa pisteessä, eikä järjestelmä tule toimimaan kunnolla.

Energiankierrätysjärjestelmistä nousi esille huomio, ettei energiaa voida kierrättää yhtään enempää kuin järjestelmässä sitä on kierrätettävissä. Esimerkkinä on kaupan kylmälaitos, jossa kylmäaineena on CO_2. Kylmäaine soveltuu todella hyvin Suomen olosuhteisiin, kun kaupan kylmälaitos toimii parhaalla hyötysuhteella ja ulkoilman puolesta lauhdelämmölle olisi tarve. Pahimmissa tilanteissa talvella kaupan kylmälaitoksesta ei ole saatavilla kierrätettävää energiaa kuin 15–20 % kapasiteetista, johon järjestelmä on mitoitettu. Yleensä energiankierrätysjärjestelmässä on käytettävissä noin 50–60 % mitoitetusta kierrätysenergiasta. Mikäli lauhdelämmöntuotanto ja -tarve on mitoitettu oikein, voidaan sitä hyödyntää jopa lähes 100 %.

Usean haastateltavan huomiona suunnittelutyöstä oli ylimitoitus sekä ymmärrys valita oikea laite oikeanlaiseen ympäristöön. Tämä ongelma korostui varsinkin uudisrakennusten kanssa. Energiantarpeen oikea arviointi uudisrakennuksiin koettiin ongelmana. Kokemus oli, että

arvoja pyöristetään aina ylöspäin sekä energiantarpeeseen otettiin varmuuskertoimia. Näitten takia kiinteistöön hankitaan ylitehoinen lämpöpumppu, joka aiheuttaa lisäkustannuksia hankinnassa sekä käytön aikana. Ylimitoitettu lämpöpumppu ei toimi optimaalisesti, mistä aiheutuu pätkäkäyntiä. Suunnittelussa tulee ymmärtää, että seisahtanut lämpöpumppu ei tuota energiaa vaan johtaa kiinteistön lämmittämiseen vaihtoehtoisella lämmitysmuodolla.

Maalämpöpumppujen suunnittelusta nousi esille porakentän riittävyys. Ongelmat konkretisoituvat yleensä tilaajaan vaatimaan maalämpöjärjestelmän energianpeittoon. Monesti säästösyistä porauksia tehdään vähemmän, ja porareikiä tulee liian vähän kattaakseen kiinteistön energiantarpeen. Näin saadaan periaatteessa maalämpöjärjestelmä, mutta järjestelmän energianpeitto voi olla vain 50 % tarvittavasta.

Haastatteluissa nousi esille, että energiahankkeet onnistuvat pääsääntöisesti paremmin saneerauskohteissa. Tällöin järjestelmä voidaan mitoittaa mitattuun dataan perustuen. Vaikka käytössä on mitattu data, pitää kiinteistön nykytila ymmärtää. Miten laitos tulee toimimaan, mitä kaikkea voidaan hyödyntää nykyisellään. Lisäksi tärkeää on tutkia koko vuoden data, ettei mitoitusvirheiden syynä ole väärän vuodeajan data. Mitoitusvirheiden vaikutus näkyy myös investointilaskelmissa, mikä johtaa siihen, että takaisinmaksuajat eivät pädekään. Näin käydessä järjestelmän todellinen hinta tulee huomattavasti kalliimmaksi mitä alun perin on ajateltu.

Haastatteluissa nousi esiin lämpöpumppujen ohjaushaasteet, niin urakoinnin kuin suunnittelun osalta. Eräs laitevalmistaja kertoi haastattelussa, että lämpöpumppujen ohjaus ja säätö suunnitellaan liian monimutkaiseksi. Toiveissa oli, että suunnitteluratkaisuja yksinkertaistettaisiin. Kokemus oli, että laitteista pyritään saamaan enemmän irti kuin niistä on järkevästi saatavissa. Lämpöpumppualan kansallisen vakioinninpuutteiden takia lämpöpumppujen ohjauslämpötilat ovat pitkälti suunnittelijakohtaisia. Lämpöpumppusuunnittelussa on tärkeää erottaa se perus-LVI-suunnittelusta, kuten edellä mainittiin, lämpöpumppusuunnittelijalta vaaditaan laajaa ymmärrystä monelta eri alalta. Jos LVI-suunnittelija laatii kaaviot ja mitoittaa laitteet, pitää rakennusautomaatiosuunnittelijan saada järjestelmä toimimaan ja muutettua LVI-suunnittelijan ajatus sanalliseen muotoon. Prosessissa on monta vaihetta, joissa voi virheitä sattua ja tulla ajatuseroavaisuuksia. Tämän takia lämpöpumppusuunnittelijan tulisi suunnitella myös automaatio suunnittelemalleen järjestelmälle.

Lauhdelämpöpumppujen ohjauksien haasteet kulminoituvat minimiosatehonsäätöön. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi ylimitoituksesta ja liian suurista tehoportaista, jotka johtavat lämpöpumpun pätkäkäyntiin. Suunnitteluvaiheessa on tärkeää ymmärtää minimiosateho, että lämpöpumppu oikeasti toimisi joka vaiheessa. Laitteiden tehoportaiden säätöihin on tullut parannusta, kun lämpöpumpuissa on siirrytty inverter-ohjattuihin kompressoreihin. Inverter-ohjaus mahdollistaa pienemmän minimitehoportaita lämpöpumpulle. Jos minimiporras on suhteessa iso kierrätettävän energian määrään tai tarpeeseen käy niin, että pumppu käy koko ajan päälle ja pois. Syy tähän johtuu usein mitoituksesta, joka on tehty jäähdytystarpeen eikä lämmitystarpeen mukaan. Jos kohteessa on erillinen jäähdytysjärjestelmä, niin edullisempi ja toimivampi tapa toimia on, että jäähdytyskoneet hoitavat jäähdytyksen ja lämpöpumppu lämmityksen.

Haastatteluissa nousi esille LVI- ja talotekniikan koulutus. Haastateltavien keskuudessa koettiin, ettei koulutusohjelmissa ole ollut opetusta lämpöpumppujärjestelmistä. Tämä varmasti johtuu osittain kaukolämmön suuresta suosiosta Suomen lämmitysmuotona. Kokemuksena oli, että täydennyskoulutuksessa lämpöpumppujärjestelmien opettaminen oli parantunut ammattikorkeakouluissa. Ongelmalliseksi koettiin myös kylmätekniikan koulutusohjelman lopettaminen, jonka takia alalla on puutteita osaamisessa niin asentajilta kuin insinööreiltä.

5.2.2 Yhteistyö ja koordinointi

Yhteistyö eri sidosryhmien välillä

Haastattelujen perusteella paras keino yhteistyön parantamiseen on pitää mahdollisimman paljon samoja henkilöitä hankkeesta toiseen. Tällöin yhteistyö paranee, kun henkilöt ovat keskenään tuttuja. Toimijoiden määrä kannattaa pitää minimissään, jotta hanke pysyy mahdollisimman hyvin hallinnassa. Tilaajien tekemät konseptoinnit sekä tutut tekijät koettiin selkeänä parannuksena yhteistyöhön eri osapuolten välillä ja tienä onnistuneeseen lopputulokseen.

Hankemallin valinnan merkitystä korostettiin useassa haastattelussa. Hankemalli, jossa yksi toimija ottaa koko järjestelmän toimivuuden vastuulleen, nähtiin toimivaksi niin yhteistyön kuin järjestelmän toimivuuden kannalta. Hankkeeseen oikein soveltuvan hankemallin

avulla, voidaan lisätä eri toimialojen ymmärrystä siihen mitä hankkeessa tehdään ja miksi näin tehdään. Lämpöpumppu ja energiankierrätys projekteissa koettiin tärkeäksi saada myös urakoitsija sekä laitevalmistajan edustaja tarpeeksi ajoissa mukaan projektiin. Kun kaikki hankkeen osapuolet ovat mukana alusta asti, niin jokaisen eri sidosryhmän halut ja tarpeet selkeytyvät muille ja hanke saadaan menemään kohti yhteistä tavoitetta. Yhteiset talotekniikan aloituspalaverit, joihin kaikki projektin talotekniikan osapuolet kutsutaan laitevalmistajasta suunnittelijaan, koettiin tärkeiksi ja hyödyllisiksi tilaisuuksiksi. Mikäli urakka tehdään jaettuna urakkana, voi hankkeessa käydä niin, että jokainen osapuoli keskittyy omaan tekemiseen. Tällöin intressit eivät hankkeessa kohtaa ja lopputuloksesta ei tule toimivaa kokonaisuutta.

Haasteeksi koettiin rakennuttajakonsultit sekä heidän osaamisensa. Suurin osa on rakennusinsinööritaustaisia, minkä takia talotekniikan osaaminen on suppeampaa varsinkin monimutkaisemman talotekniikan, kuten lämpöpumppujen osalta. Tämän takia hankkeissa ei ole kaikkia sidosryhmiä kutsuttu tarvittaviin kokouksiin, ja joudutaan antamaan konsulttiapua asioissa, jotka eivät omaan tehtävänkuvaukseen kuulu. Näihin koettiin tulleen huomattavaa parannusta viime vuosien aikana.

Useamman haastateltavan kokemus oli, että yhteistyö eri sidosryhmien välillä on nykyisin huomattavasti parempaa. Hankkeen eri sidosryhmät ymmärtävät, että toimiva lopputulos vaatii kaikkien osapuolten yhteistyötä. Ei riitä, että projektissa on hyvät suunnitelmat tai hyvä urakoitsija, vaan onnistunut hanke vaatii kaikkien sidosryhmien panosta. Parantamisen varaa sidosryhmien välillä nähtiin aikataulutuksessa sekä kommunikaatiossa. Esimerkkinä nousi toisten suunnittelijoiden unohtaminen hankkeiden aikana, mm. sähkö- ja rakennesuunnittelu. Toteutusvaiheessa välillä on ollut kommunikaatiokatkoksia, suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden välillä. Tämän takia tullut vääriä laitteita, varmistamatta näiden soveltuvuutta. Näissäkin asioissa koettiin tulleen parannusta viimeisten vuosien aikana, vaikkakin parannettavaa vielä löytyi.

Haasteena lämpöpumppusuunnittelun ja urakoinnin kannalta nähtiin se, että lämpöpumppu näkyy työmaalla vasta aivan loppuvaiheessa. Lämpöpumput monesti tuotetaan esivalmisteina, joten työ keskittyy muualle kuin työmaalle. Kun työmaalle saavutaan, on siellä yleensä muut asennukset jo tehty. Lämpöpumppusuunnittelun ja -urakoitsijan tulisi osallistua kokouksiin, vaikka oma työ alkaisi huomattavasti myöhemmin. Näin saadaan kommunikaatio toimimaan eri osapuolten välillä hyvin, ja eri osapuolet osataan ottaa huomioon hankkeella.

Mikäli tämä unohtuu tehdä, nousi esille kohteita, joissa lämpöpumppu on unohdettu ja tilaa asennuksille ei ole osattu varata.

Eräältä haastateltavalta nousi yhteistyö hankkeiden suurimmaksi haasteeksi. Hankkeita on toteutettu kokonaisurakkana ja SR-urakkana, joissa suunnittelu kuuluu urakoitsijalle. Osassa urakoita pääurakoitsija oli hankkinut lämpöpumpun. Tilaajan taholta on pyritty ohjaamaan siihen, että lämpöpumppulaitteisto hankitaan kokonaisuutena. Huomattavan monessa kohteessa näin ei ole kuitenkaan toimittu, vaan urakkaa on pilkottu, mikä on johtanut haasteisiin niin yhteistyön kuin hankkeen onnistumisen suhteen. Toimivana koettiin puitesopimukset suunnittelukumppaneiden kanssa. Tilaaja oli muuttanut toimintatavan niin, että elinkaari- ja energiasuunnittelu oli heidän itsensä kokoama. Näin saatiin parannettua lopputulosta.

Hankkeissa koettiin haasteena koordinointi ja sen puute. Tulevaisuuden parannusehdotuksena esiin nousi koordinaattori, joka vastaisi koko energiankierrätysjärjestelmästä. Näin saataisiin parannettua kommunikointia eri sidosryhmien välillä. Haasteeksi koettiin, että henkilöllä tulisi olla tarvittavan laaja osaaminen talotekniikasta ja kylmätekniikasta.

Kuten edellä mainittiin rakennuttajakonsulteista, koordinointi talotekniikan ja lämpöpumppujen osalta kuuluu enemmän ENE-suunnittelijoille ja valvojille. Haastattelussa tuotiin esille ns. talotekniikan pääsuunnittelija. Tämä henkilö voisi hoitaa urakoitsijoiden töiden vastuuttamisen ja koordinoida suunnittelua. Tällainen henkilö olisi hyvä lisä rakennuttajakonsultin avuksi, varsinkin vaativampiin hankkeisiin. Haastateltava kertoi, että he ovat myyneet talotekniikkaprojektinjohdon palvelua rakennusliikkeille. Palvelu on todettu toimivaksi talotekniikan kannalta haastavissa projekteissa. Hankkeisiin tulisi saada taho, joka ymmärtää järjestelmän ja pystyisi muodostamaan yhteisen tavoitteen kaikille projektin osapuolille.

Samankaltainen palvelu koettiin tarpeelliseksi useassa haastattelussa. Eräs haastateltava nosti esille seuraavan hankemallin lämpöpumppuprojekteihin. Näissä projekteissa allianssityylisen hankemalin kevennetty versio voisi olla toimiva. Hankemallissa olisi työpaja-, mentorointi- tai sparraustyylinen lähestymistapa haasteisiin. Tarvittaessa pidettäisiin työpajoja, joissa käytäisiin läpi hankkeen erityispiirteet ja onko niitä huomioitu sekä kuunneltaisiin osapuolten kysymykset ja kehitysideat siitä, miten hanketta voitaisiin viedä paremmin eteenpäin.

Yhdessä haastattelussa nousi esiin tilaajalle 3. osapuolen palvelu. Palvelun avulla hankkeeseen saataisiin tilattua oikeanlainen järjestelmä sekä oikeanlaiset lämpöpumput.

Tilaajaorganisaatio voisi käyttää tätä palvelua arvioimassa kohteet, että vältytään huonoilta ja toimimattomilta ratkaisuilta. Tällainen palvelu voisi olla kevennetty malli koordinaattorista tai TATE-pääsuunnittelijasta.

Esimerkkinä nousi kahdelta haastateltavalta toimintatapa, joka oli nykyisin osittain poistunut käytöstä. Siinä valitun urakoitsijan kanssa pidettiin erillinen suunnitelmien läpikäyntipalaveri. Toimintatapana on ollut, että urakoitsija tutustuu ensin projektin materiaaleihin, ja tämän jälkeen suunnittelija on käynyt yhdessä urakoitsijan kanssa toimintaselostukset yms. läpi, jotta järjestelmään saadaan halutut toiminnot rakennettua. Näin on varmistuttu, että ohjelmoija varmasti ymmärtää, mitä suunnitelmilla on haluttu kertoa ja mitä järjestelmältä halutaan. Kokemus tästä toimintatavasta oli, että yli 90 % hankkeista saatiin kerralla kuntoon.

Kokonaishankinnan / - urakan tärkeys ja toimivat toimintamallit LPU-hankkeissa

Haastatteluissa korostettiin sitä, ettei yhtä oikeaa vaihtoehtoa löydy. Lämpöpumppu- ja energiankierrätyshankkeissa on tärkeää tunnistaa, minkälaista hanketta ollaan tekemässä. Asunto-osakeyhtiön maalämpöhankkeessa kokonaisvastuurakentaminen eli KVR tai kokonaishankinta on yleensä perusteltu ja yleensä myös kustannustehokkain vaihtoehto. Isomman mittakaavan hankkeissa toimivaksi on havaittu toimintatapa, jossa yksi taho kilpailuttaa ja johtaa hanketta. Tällä tavoin laitehankinnat, urakointi ja automaatio on voitu tilata erikseen. Tässä hankemallissa hankkeen kilpailuttajalla / johtajalla tulee pysyä langat käsissä koko hankeen ajan. Haastatteluissa korostui projektinjohtopalvelu, tällöin edellä mainittu osaurakka on saatu toimimaan hyvin. Jos lämpöpumppu-urakka otetaan hankintapaketteina ilman projektinjohtopalvelua, kokemukset olivat, ettei tällöin kukaan ota vastuuta kokonaisuudesta.

Kokonaisvastuullinen toteutus lämpöpumppu- tai energiankierrätysjärjestelmän osalta on toimiva toteutus. Yksi hyväksi havaittu toimintamalli oli toteutus, jossa teknisen tilan tai lämmönjakohuoneen seinien sisäpuoli oli yksi urakka, näin on saatu vastuut selkeiksi.

Haastattelussa koettiin, että yksityisen puolen projektit ovat hallittavissa, mutta haasteet julkisen puolen hankkeissa ovat huomattavasti suuremmat. Ongelmia on esiintynyt paljon julkisen puolen maalämpöhankkeissa. Esimerkkinä nousi uudisrakennuskohde, jossa on erilliset putki-, automaatio- ja sähköurakoitsijat. Putkiurakoitsijan vastuulle kuuluu lämpöpumppuasennus mutta hankkeen putkiurakoitsijalla ei ole tarvittavaa ymmärrystä lämpöpumppujärjestelmästä. Rakennusautomaatiourakoitsijan tehtäviin kuuluu lämpöpumpun viritys.

Automaatiourakoitsija pyrkii menemään mahdollisimman vähällä työllä, urakoitsija ”ulkoistaa” virityksen lämpöpumpun säätimelle. Tämän takia järjestelmää ei saada toimimaan, eikä rakennusautomaatiourakoitsijaa tekemään viritystä, koska urakoitsija katsoo työnsä tehdyksi.

Kokonaisvastuullinen toteutus koettiin useamman haastateltavan kokemuksena parhaana toimintamallina lämpöpumppu- ja energiahankkeiden toteutukseen. Jaettu urakka koettiin haasteelliseksi vastuiden ja asennusjärjestyksen osalta. Järjestelmän tulisi toimia kokonaisuutena, joten pilkottu urakointi ilman ammattitaitoista projektinjohtajaa tuottaa toimimattomia järjestelmiä. Kokonaishankinta helpottaa työmaan toimintaa, ja työt sekä tekeminen työmailla saadaan synkronoitua yhteen. Tämän kaltainen hankemalli helpottaa myös aikataulutusta, kun kaikki tulee ns. ”yhden luukun periaatteella”. Jos kaikki tekijät ovat eri taloista voi olla, että urakoitsijat tulevat täysin vääriin aikoihin paikalle eikä töitä saada tehtyä ajallaan.

Lämpöpumppujärjestelmä ei välttämättä tarvitse omaa urakoitsijaa, mutta lämpöpumppujärjestelmä tulee erottaa putkiurakasta erillisenä sopimuksena. Samoin lämpöpumpun rakennusautomaation voi urakoida kiinteistön rakennusautomaatiourakoitsija, mutta tämä tulee erottaa sopimuksella samoin kuin putkiurakka. Tällöin varmistutaan, ettei esimerkiksi rakennusautomaatio liitä lämpöpumppua kiinteistön valvonta-alakeskukseen eli VAK:n vaan lämpöpumpulle tulee oma VAK. LVI-urakoinnissa on helpompi erotella rajapinnat, sillä lämpöpumppu rajautuu moduuleihin. Työmaalle nähtiin positiivisena, jos sama yritys tekee LVI- ja lämpöpumppu-urakat.

Muutaman haastateltavan kanssa esiin nousi ns. energy as service- toimintamalli, jossa vastuu energiantuotantolaitteista, niiden huollosta ja virityksestä kuuluu palvelun myyvälle yritykselle. Toimintamalli nähtiin mielenkiintoisena vaihtoehtona. Toisaalta haastattelussa todettiin tämän olevan toimiva pienille kiinteistömassoille. Mikäli kiinteistöjä on huomattavasti enemmän, eivät haastateltavat kokeneet palvelua parhaana ratkaisuna. Tämän kaltainen kuukausimaksulla tms. toimiva ratkaisu voisi olla toimiva myös asunto-osakeyhtiö-maailmassa. Tulee huomioida palveluntuottaja, jotta heillä riittää tekninen osaaminen laitteistojen ylläpitoon. Jälleen korostui järjestelmän vaativuus: ei ole kyseessä kaukolämmöstä vaan järjestelmästä, jonka ongelmat esiintyvät yleensä ääriolosuhteissa. Tämä vaatii palveluntuottajalta päivystystä ja huoltoa valtakunnallisesti.

Haastatteluissa korostui vakiintuneiden ratkaisujen ja tuotteiden käyttö onnistuneissa projekteissa. Vakiintuneet ratkaisut sisälsivät myös urakoitsijat. Kun ratkaisut ja toimintatavat ovat tuttuja myös urakoitsijoille, päästään varmimmin onnistuneeseen lopputulokseen. Tässä osiossa tuotiin esiin myös edellisessä esiin noussutta koordinaattoria ja tämän tärkeyttä hankkeilla. Koordinaattorin avulla voidaan urakoita pilkkoa enemmän, kun projektilta löytyy taho, joka pitää langat käsissä lämpöpumppu – tai energiankierrätysjärjestelmän osalta.

Tilaajan ja valvojien rooli LPU-hankkeissa

Tilaajan ja valvojan rooli hankkeissa on huomattavan suuri. Haastatteluissa korostui, että tilaajan tulisi oikeasti myös ymmärtää, mitä ollaan tilaamassa ja mihin. Haastateltavilla oli kokemusta, ettei näin aina ole ollut. Monella tilaajalla on halu ostaa ja hankkia kiinteistöön lämpöpumppu, mutta minkälainen ja miksi, tulisi tunnistaa ennen projektin aloitusta. Kokemus haastateltavien keskuudessa oli, ettei monella tilaajalla ole riittävää teknistä osaamista, minkä takia energiankierrätys- ja lämpöpumppuhankkeet työllistävät konsultteja enemmän.

Tilaajalla tulee olla vähintään ammattitaitoa valita hankkeelle osaava valvoja tai ammattilainen pitämään huolta, että projekti onnistuu kokonaistaloudellisesti, ja kyseiseen projektiin saadaan järkevät hankinnat toteutettua. Tilaajan tulee määrittää tavoitteet ja raamit projektille. Mikäli omasta organisaatiosta ei löydy tarvittavaa ammattitaitoa, tulee tilaajan palkata tähän osaava konsultti päätöstenteon tueksi.

Tilaajaorganisaation tulisi ymmärtää hankkeen elinkaaren kokonaishinta. Hankkeesta vastaavan tulisi ymmärtää kokonaisuus, eikä pelkkä rakennusurakan budjetissa pysyminen pitkän elinkaareen omaavissa laitoksissa tulisi olla tärkeintä. Ajattelun pitäisi riittää pidemmälle tähtäimelle. Tilaajan tulisi ymmärtää, ettei laitteen halvin hankintahinta tarkoita elinkaarikustannuksena aina halvinta hintaa. Vaativat teknologiat tehtynä mahdollisimman halvoilla komponenteilla eivät ole pitkäjänteisiä ratkaisuja.

Lähes kaikkien haastateltavien kanssa keskustellessa nousi esille puutteet valvonnassa. Valvonnan ongelmana koettiin muun muassa, ettei LVI-valvoja ota kantaa energiankierrätys- tai lämpöpumppujärjestelmiin. Tämän kaltaiset ongelmat johtuvat siitä, että hankkeelle on otettu LVI-valvoja, kun hankkeella tällainen täytyy olla. Valvojalla ei kuitenkaan riitä ammattitaito monimutkaisiin energiankierrätys- tai lämpöpumppujärjestelmiin. Hankkeissa on havaittu, että valvojat keskittyvät epäolennaisuuksiin järjestelmän toiminnan kannalta.

Hankkeissa, joissa on LVI- ja LPU-valvonta, havaittu keskittymistä vain omaan tekemiseen. LVI-valvojalla ei uskallusta tai halua ottaa kantaa lämpöpumppu asioihin.

Useimmin hankkeissa ei ole erillistä lämpöpumppuvalvojaa, vaan suunnittelija hoitaa valvonnan. Tätä ratkaisua eivät kaikki haastatellut pitäneet hyvänä, sillä tällöin mahdolliset virheiden vastuut eivät siirry oikeille tahoille hankkeilla, eikä saada objektiivista lopputulosta. Valvojan tärkein rooli on tuoda lisäarvoa tilaajalle, ja uskaltaa nostaa niin suunnittelijan kuin urakoitsijan virheet esille. Hankkeiden monimutkaisuuden takia, pelkkä päältä katsominen ei ole riittävää, vaan valvojan tulee ohjata urakoitsijoiden tekemistä. Haasteen tähän tuottaa vastuu, tilaajan tulee antaa hankkeissa valvojalle riittävän iso rooli, että valvojalla on mahdollista ohjata urakoitsijoiden tekemistä.

Haastatteluissa nousi esille myös rakennusautomaatiovalvonta. Tässä korostuu samat haasteet kuin LPU-valvonnassa: LVI-valvojalla ei riitä tietotaito rakennusautomaatiojärjestelmiin. Automaatiovalvonnassa oli havaittu puutteita. Esimerkkinä nousi kohde, jossa lämpöpumppua ei ollut liitetty rakennusautomaatioon, mutta valvoja ei ollut tätä huomannut. Tässäkin nousi esille, ettei olla tekemässä kaukolämpöjärjestelmää, joten tämä heijastuu suoraan valvojiin ja heidän ammattitaitoonsa lämpöpumppujen suhteen. Valvojalla tulisi olla hyvä ja selkeä käsitys, siitä miten järjestelmän tulisi toimia. Ilman tätä tietoa valvoja ei tuo hankkeelle lisäarvoa.

Haastattelujen perusteella erilliselle energiajärjestelmien valvojalle olisi tarvetta. Näin saataisiin parannettua hankkeiden etenemistä. Yhtenä esimerkkinä tähän nousi aiemmin mainittu 3.osapuolen tarkastus, saisiko sama taho hoidettua valvonnan ja toiminnan tarkastuksen, niin suunnittelun kuin urakoinnin osalta. Tällöin kohteelle saataisiin valvoja, joka ymmärtää lämpöpumppu- ja energiankierrätysprosessista tarpeeksi.

Toinen esiin noussut vaihtoehto oli, voisiko lämpöpumppuvalvoja hoitaa koko kiinteistön lämmitys-/ jäähdytysjärjestelmän valvonnan. Tällöin kokonaisuus olisi suurempi ja houkuttelevampi eri toimijoille. Järjestelmiä on kuitenkin tehty jo pidempään, minkä takia ammattitaitoa pitäisi markkinoilta löytyä.

Toimintavarmuus vai hyötysuhteen optimointi / maksimointi

Haastatteluissa korostettiin, etteivät toimintavarmuus ja hyvä hyötysuhde ole toisiaan pois sulkevia asioita. Hyvällä hyötysuhteella saadaan myös toimintavarmoja laitoksia. Energiankierrätyslaitoksessa COP:n maksimaalinen parantaminen ei ole paras ratkaisu, vaan järjestelmän tulee tuottaa mahdollisimman paljon energiaa. Optimoimalla on mahdollista saada lisälämmönlähteen käyttö mahdollisimman vähäiseksi. Tämä ei kuitenkaan ole relevanttia, jos järjestelmä ei toimi kuten on suunniteltu. Mikäli kyseessä on maalämpöjärjestelmä, joka toimii kiinteistön päälämmönlähteenä, COP-optimointi on paljon tärkeämpää.

Suurin osa haastateltavista korosti toimintavarmuutta niin lämpöpumppu- kuin energiankierrätysjärjestelmissä. Eräs haastateltava nosti esille, ettei hyvällä COP:lla säästää vielä yhtään euroa. Laitteen ollessa seis sen tuotanto loppuu, mistä syntyy kustannuksia. Paperilla oleva hyvä hyötysuhde ei vielä tarkoita säästöjä. Tilaajan tulee myös ymmärtää, mitä mitataan ja miksi, sillä hyvä hyötysuhde ei tarkoita aina säästettyjä megawatteja. Tämän takia toimintavarmuus on huomattavasti tärkeämpää kuin viimeisten COP:n desimaalien viilaaminen pois. Myös järjestelmän energiankulutuksen seurannan tulee ymmärtää, mitä seurataan, eli kuinka paljon energia ostetaan ja kuinka paljon tuotetaan.

Eräs haastateltava totesi, että aiemmin toimintamallina oli maksimoida COP lämpöpumpputoteutuksessa. Tällöin ajateltiin, että näin saadaan elinkaarikustannustehokas ratkaisu. Nykyisin ajatusmaailma on muuttunut niin, että mennään aina toimintavarmuus edellä. Hyötysuhdetta heikentämällä varmistetaan, että järjestelmä toimii jatkuvasti. Tällöin lämpöpumppu tuottaa hyvin energiaa, vaikka hyötysuhde olisi hiukan heikompi. Haastateltavan mukaan aina tulisi priorisoida toimintavarmuutta lämpöpumppuhankkeissa, järkevällä hyötysuhteella.

Esimerkiksi jos maksimaalisen hyvällä hyötysuhteella toimiva laite on pois käytöstä kuukauden, on tässä ajassa hukattu pahimmillaan kolmen vuoden tuotot, jotka lämpöpumppu tuottaisi. Tulee ymmärtää mitä mitataan, ei hyötysuhdeprosentti vaan lämpöpumpun tuottama energiamäärä. Tämän asian ymmärtämisen tärkeys korostui hyvin monen haastateltavan kanssa keskustellessa.

Energiankierrätysjärjestelmässä tulee myös huomioida, mistä lauhde-energia järjestelmälle tulee. Esimerkiksi nostettiin päivittäistavarakauppakohde. Jos energiankierrätysjärjestelmässä lähdetään maksimoimaan lämpöpumpun hyötysuhde, pahimmassa tapauksessa

samalla romautetaan kylmäkoneiden hyötysuhde. Jos lämpöpumpun hyötysuhdetta haetaan hieman alemmas, parannetaan kylmäkoneiden hyötysuhdetta. Tällöin koko järjestelmän hyötysuhde on merkittävästi parempi. Hankkeissa tulee huomioida koko järjestelmän toimivuus ja kokonaishyötysuhde, ei yksittäisen lämpöpumpun. Kun saadaan toimintavarma järjestelmä ja nipistetään hyötysuhdetta hieman alas, saadaan järjestelmästä energiaa tuotettua huomattavan paljon enemmän, jolloin tämä on kannattavampaa kuin hyötysuhteen viilaaminen.

Haastatteluissa nostettiin esille myös maksimaalisen hyötysuhteen hakemisesta johtuvat mahdolliset laiterikot. Liiallisella COP:n nostolla voidaan lyhentää myös lämpöpumppulaitteiston elinkaarta. Kalliiden komponenttien vaihdot pidentävät lämpöpumppujärjestelmän takaisinmaksuaikaa huomattavasti.

5.2.3 Vastaanotto ja käyttöönotto

Toteutuskäytännöt vastaanotoissa ja toimintakokeissa

Toimintakokeiden osalta käytännöt vaihtelivat haastateltavan mukaan, mutta suurin osa toteutuksista toteutettiin hybridinä, jolloin osa henkilöistä oli paikan päällä ja osa etäyhteydellä. Etenkin automaation osalta etätoteutus koettiin hyväksi ratkaisuksi. Koettiin, että toimintakokeisiin tulisi varata enemmän aikaa ja resursseja. Energiankierrätys ja lämpöpumppujärjestelmät ovat enemmän kohdekohtaisia kuin perinteiset lämmitysjärjestelmät. Haastateltavat kokivat, että lämpöpumppuja tulisi pystyä testaamaan paremmin käyttöönoton yhteydessä.

Eräs haastateltava kertoi, että kaikki toimintakokeet järjestetään etänä omalla etäkäyttöjärjestelmällä. Omat etäjärjestelmät toistuivat useamman haastateltavan osalla. Toimintakokeet koettiin muutenkin pidemmäksi prosessiksi, ei yhdeksi tilaisuudeksi. Vuoden aikana muuttuvien ulko-olosuhteiden perusteella prosessia kehitetään, näin saadaan järjestelmä toimimaan kaikilla eri olosuhteilla. Haastateltava korosti, ettei lämpöpumppu toimi järjestelmänä, jonka voi vain kytkeä ja unohtaa.

Toinen haastateltava korosti lämpöpumppujärjestelmien viritystä. Vaikka toimintakokeet hoidetaan kuten pitää, järjestelmä vaatii aktiivista seurantaa ja virittämistä ensimmäiset kaksi vuotta. Jälkitarkastukset ja viritystyö kuuluvat monimutkaisten laitteiden toimintaan,

mutta aiheuttavat haasteita. Haastateltava koki hybriditoimintakokeet parhaaksi ratkaisuksi, sillä laitteiden ollessa täysin etäohjattavia riittää paikan päälle yksi henkilö ja loput ryhmästä voivat olla Teams-yhteyden päässä. Näin paikalla oleva voi todeta laitteiden toiminnan, kun etäyhteydellä laitosta ohjataan.

Erään haastateltavan mukaan varmin ratkaisu onnistuneeseen hankkeeseen on se, että kaikki osapuolet ovat paikan päällä toimintakokeissa. Näin saadaan kontakti muihin hankkeessa mukaan olleisiin sidosryhmiin. Mitä monimutkaisempi järjestelmä on, sen tärkeämpää on, että kaikki osapuolet ovat paikan päällä. Useat haastateltavat kokivat nykyisin yleisimmäksi ja toimivimmaksi tavaksi hybridimallin toimintakokeisiin ja vastaanottoon niin, että 1–3 henkilöä paikan päällä ja loput etänä. Eräs haastateltava totesi, jos hankkeessa on asiantunteva valvoja ja asennustapatarkastukset sekä kytkennät tehty oikein, niin järjestelmällä on toimintaedellytykset sillä tasolla kuin ne ovat olleet suunnitelmissa. Eli venttiilit ovat oikeanlaiset, kytkennät oikein sekä pumput on mitoitettu oikein. Tällöin toimintakoe voidaan hoitaa tehokkaasti etänä. Tämä edellyttää sen, että edellä mainitut asiat ovat kunnossa sekä mittaukset tehty, nesteet verkostoissa ja järjestelmä ilmattu. Tällöin ei vaadita kohteessa tekemistä, kun lämpöpumppujärjestelmä on valmiina toimintakokeisiin ja vastaanottoon.

Vastaanotot järjestettiin pääsääntöisesti paikan päällä. Erään haastateltavan kanta oli, että nämä tulisi aina järjestää paikan päällä lämpöpumppujärjestelmien osalta niin, että kaikki osapuolet ovat läsnä. Esimerkkinä nousi kohteita, joissa on näyttänyt kaiken olevan kunnossa mutta todellisuudessa venttiileitä on asennettu väärin päin. Tämä on johtanut siihen, ettei järjestelmä todellisuudessa ole toiminutkaan. Toinen toivoi, että vastaanotot ovat aina paikan päällä, näin kaikki osapuolet näkevät, mitä kohteella on tehty.

Osa haastateltavista koki, että vastaanotot voisi järjestää etänä. Tämä siinä tilanteessa, että vastaanoton ennakkotarkastus ja tilaajan toimintakokeet on hoidettu niin, että kaikki toimii kuten pitää. Jos edellä mainitut ehdot järjestelmän osalta täyttyvät, resursoinnin kannalta on järkevää, että osa henkilöistä on etänä vastaanoton lämpöpumppujärjestelmän osalta. Vastaanottojen ollessa hallinnollisia tilaisuuksia, koettiin pienten urakoiden osalta etäosallistuminen järkeväksi vaihtoehdoksi monen haastateltavan osalta.

5.2.4 Ylläpito ja käytönaika

Ylläpidon huomioiminen hankkeissa

Useassa haastattelussa nousi esille, että huolto- ja ylläpito-organisaatio otetaan hankkeille mukaan valitettavan myöhään. Siitäkin huolimatta, että huolto- ja ylläpito-organisaatiot ovat keskeisessä asemassa järjestelmän toiminnan osalta käytön aikana, kun lämpöpumppujärjestelmällä aletaan tuottamaan säästöjä kiinteistölle. Huollon ja ylläpidon edustajat tulevat hankkeisiin mukaan yleensä vastaanottovaiheessa ja pahimmissa tapauksissa vasta tämän jälkeen.

Erään haastateltavan kokemuksena oli, että huolto-organisaatio tulee hankkeeseen mukaan vasta takuuajalla, kun järjestelmälle pidetään käytönopastusta. Tällöin huolto alkaa opettelemaan takuuaikana, miten järjestelmää käytetään, eikä pahimmassa tapauksessa huolto uskalla koskea koko järjestelmään. Takuuajan päättymisen jälkeen huollolla ei tämän takia ole tarvittavaa osaamista laitteen käytöstä. Tämän takia joudutaan olemaan yhteydessä huoltoon ja urakoitsijoihin jatkuvasti, kun ei osata tai uskalleta koskea laitteisiin. Toiminnanvarmistus tms. palvelu on tästä syystä perusteltua ostaa lämpöpumppujärjestelmälle.

Haastatteluissa nousi haasteeksi huoltohenkilöstön vaihtuvuus. Eräs haastateltava kertoi seuraavan esimerkin: vaikka ylläpito ja huolto olivat olleet mukana käytönopastuksessa, henkilöstö oli vaihtunut. Kun näin on käynyt, huoltohenkilöstöllä ei ole tietoa, miten laitosta käytetään. Tämän vuoksi on käynyt niin, että maalämpökohteessa on laitettu käsiohjauksella sähkövastukset päälle. Kiinteistö kyllä lämpenee kalliimmalla lämmitysmuodolla, mutta lämpöpumppu ei enää toimi. Tämä on johtanut lisäkustannuksiin ja kiinteistön energiatehokkuuden alenemiseen. Kiinteistönhuollolla riittää ymmärrys kaukolämpöön mutta haastateltavat kokivat, ettei huollon osaaminen lämpöpumppulaitoksiin ole riittävää. Haastateltava koki ratkaisuksi, mahdollisimman yksinkertaisen ja toimintavarman lämpöpumppulaitoksen.

Toisena esimerkkinä nousi seuraava tapaus. Vuokra asuinkerrostaloyhtiöön oli hankittu lämpöpumppujärjestelmä ja kiinteistön lisälämmönlähteeksi sähkökattila. Yhtiö oli hakenut säästöä jättämällä ylläpitopalvelun pois luottaen siihen, että omat huoltomiehet hoitavat kohteen ylläpidon. Vuosi takuuajan jälkeen oli huomattu, että lämpöpumppu oli mennyt hälytystilaan 8 kuukautta sitten. Laitteet olisi pitänyt käydä käynnistämässä uudestaan, mutta

kukaan ei ole seurannut tai katsonut lämpöpumppujen perään. Tämän takia kiinteistöä on lämmitetty sähkökattilalla koko talven ajan.

Lämpöpumppulaitoksissa takuuajan huollot kuuluvat urakotisijalle. Eräs haastateltava kertoi, että vastaan on tullut todella paljon lämpöpumppulaitoksia, joita ei ole huollettu takuuajan jälkeen kertaakaan. Laitteistolta odotetaan vähintään 15 vuoden toimintaikää, joten laitteiden kunnon perään olisi todella tärkeää katsoa. Haastateltava koki, että kiinteistölämpöpumpun myyjien kannattaisi alkaa myymään vuosihuoltopalvelua. Tällä myyjä saisi lisämyyntiä, asiakas toimivamman järjestelmän sekä laitteiden käyttöikä saataisiin pidennettyä.

Ongelmana nähtiin, ettei peruskiinteistönhuollolla ole osaamista monimutkaisten laitosten huoltoon. Ratkaisuna nähtiin erillinen lämpöpumpun huoltosopimus, joka on eriytetty peruskiinteistön ylläpidosta. Haastatteluissa nousi esille, ettei tällaista eriyttämistä ole huomattu kiinteistön omistajan puolesta ottaa. Tämä on johtanut lämpöpumppujärjestelmien huollon laiminlyönteihin.

Useampi haastateltava koki tärkeäksi sen, että peruskiinteistönhuolto osaisi edes soittaa hälytys- tai ongelmatilanteissa. Huolto- ja ylläpito-organisaatiolle tulisi antaa puhelinnumero, josta saadaan kiinteistölle apu tarvittaessa. Valitettavasti yllä olleiden esimerkkien kaltaisia kohteita nousi haastatteluissa useampi esille.

Kokemuksia elinkaarisopimuksista

Eräs haastateltava kertoi, että elinkaarisopimusmalleja oli enemmän ennen vuotta 2020. Haastateltava koki, että kyseinen sopimusmalli on alkanut nousemaan taas uudelleen. Haastateltava uskoi elinkaarisopimusmallin suosion kasvavan tulevaisuudessa varsinkin kaupunkien ja kuntien hankkeissa. Elinkaarisopimusmallilla tai leasingmallilla vältytään isoilta energiajärjestelmän investoinneilta. Haastateltavan kokemuksen perusteella laatu elinkaarisopimusmallilla toteutetuissa kohteissa oli huomattavan hyvä, kun sopimuskumppanilla on vastuu energiasäästötavoitteista sekä laitteiden ylläpidosta. Tämän takia kokemus oli, että komponentit näissä hankkeissa ovat olleet laadukkaita.

Eräällä haastateltavalla oli kokemuksia elinkaarisopimusmallista ulkomailta. Hän koki tämän mallin sopivaksi taloyhtiöille ja kiinteistösijoittajille. Toisella haastateltavalla oli elinkaarisopimusmalli tyylinen ratkaisu haastattelun aikana kehitteillä ja sitä kautta tulossa myyntiin tulevaisuudessa. Elinkaarisopimusmalleista haastateltavilta löytyi vaihtelevasti kokemuksia. Osalla haastateltavista ei ollut kokemuksia tämän kaltaisista sopimusmalleista

lämpöpumppujen kanssa. Silti laiterikkojen ja laitteistojen toimivuuden kannalta potentiaalia tämänkaltaisessa sopimusmallissa nähtiin myös heidän osaltansa.

Julkisen puolen hankkeissa oli muutamalla haastateltavalla kokemuksia elinkaarisopimusmalleista. Kokemukset olivat öljylämmityksen muutoksista maalämpöjärjestelmiin. Kokemuksena oli, että elinkaarisopimuksen ajan järjestelmät toimivat hyvin ja huollot hoidetaan hyvin. Ongelmana nousi esille palvelun loppuminen, jonka jälkeen vikoihin ja hälytyksiin ei reagoi enää kukaan. Tilaajan tulee huomioida tämä ja ottaa palveluun ylläpito sekä huolto sopimuksen loppumisen jälkeen. Tästäkin huolimatta haastateltavat kokivat sopimusmallin toimivana. Tällöin järjestelmää seurataan, huolletaan ja toiminnanvarmistus hoidetaan kuten pitää. Yleensä tällaisilla palveluntarjoajilla on organisaatio, joka tietää, mitä tehdään ja laitteet tulee huollettua ja elinkaristavoitteet saavutetaan. Haastateltava totesi, että keskimääräisen lämpöpumppujärjestelmän ostajan, jonka organisaatiossa ei ole omaa teknistä henkilökuntaa, kannattaa lämpöpumppujärjestelmä elinkaarisopimusmallilla ostaa. Ajatusmalli ostajilla on monesti, että pärjätään yksin laiterikkojen kanssa mutta pidemmät seisokit tulevat kalliiksi kiinteistöille.

Takuuajan viritys ja seuranta lämpöpumppuhankkeissa

Lämpöpumppujen viritys ja säätö toteutetaan lähtökohtaisesti aina etäkäyttönä. Haastattelujen perusteella laitevalmistajilla, urakoitsijoilla ja suunnittelijoilla on omia etäpalveluja lämpöpumppuja varten. Osalla haastateltavista kokemuksena virityksestä oli, että keskitytään vain hyötysuhteen maksimoimiseen. Haastateltavien mielipide oli, että virityksessä laite tulisi saada toimimaan mahdollisimman luotettavasti. Tärkeintä ei siis ole se, että haetaan mahdollisimman hyvää ja isoa hyötysuhdelukemaa, johon päästään kerran vuodessa vaan se, että laitteisto toimii ja pysyy päällä ja tekee kiinteistölle parhaan mahdollisen tuloksen vuositasolla, ei tuntitasolla.

Haastateltava kertoi virittämisen olevan kohtalaisen helppoa, jos ymmärretään, mitä järjestelmän toiminnalta halutaan. Esimerkkinä hän nosti kohteen, jossa optimoidaan vain lämpöpumpun hyötysuhdetta eikä koko prosessin hyötysuhdetta. Tämänkaltainen optimointi hyötysuhteessa aiheuttaa ongelmia lämpöpumpun virityksessä. Tällöin urakoitsija ei ymmärrä, mitä järjestelmältä halutaan. Kun kaikki osapuolet ymmärtävät, mitä halutaan, saadaan viritys toimimaan.

Eräs haastateltava nosti ongelmana esille kiinteistöt, joissa on kaksi eri automaatiojärjestelmää, kiinteistö ja lämpöpumppu. Tällöin joudutaan virittämään molempia automaatioita, ettei esimerkiksi pyydetä turhaan jäähdytystä tai vastaavasti liikaa lämmitystä. Pahimmillaan voi olla, että on kaksi eri automaatiourakoitsijaa sekä lämpöpumpputoimittaja, joiden kanssa yritetään saada säädöt toimiaan, joita virityspalvelu ei pysty itse tekemään. Liian monta osapuolta aiheuttaa haasteta viritystyössä.

Viritystyötä tehneet haastateltavat nostivat isoimmiksi ongelmiksi tilanteet, joissa jouduttu lämpöpumpun omaa säädintä säätämään. Haasteeksi koettiin, jos lämpöpumpun virittäjällä ei ole mahdollista päästä käsiksi lämpöpumpun koodiin vaan lämpöpumpun koodaustyötä joudutaan tekemään lämpöpumppuvalmistajan tai -tehtaan kautta. Haastateltava kertoi, että tehtaiden ja lämpöpumppuvalmistajien kautta asioiden kiertäminen vei huomattavasti pidempään kuin suoraan itse koodaten.

Eräs haastateltava korosti sitä, että laitteet vaativat aina virittämistä, jopa ihan peruskohteet. Lauhdelämpöpumpuissa yllätyksinä ovat tulleet osakuormat, joihin laitteet eivät optimaalisesti tunnu soveltuvan. Tästä johtuvan pätkäkäynnin virittäminen on ollut haastavaa mutta nykyisin esiintyy vähemmän tämänkaltaisia kohteita. Lämmityskauden viritys koettiin helpoksi, mutta välikausien ja kesän viritystyö yllättävän haastaviksi, sillä järjestelmä on haastava saada toimimaan sujuvasti joka säällä. Mitä isompi kohde, sitä monimutkaisempaa ja enemmän viritystä vaaditaan.

Takuuajan seurantaan urakoitsijat ja osa suunnittelutoimistoista tarjoavat omia toiminnanvarmistus- ja seurantapalveluja lämpöpumppuhankkeille. Palvelulla tuotetaan raportti lämpöpumpun toiminnasta pääsääntöisesti kuukausitasolla. Eräs haastateltava koki seurantapalvelut ja raportoinnin hyväksi lisäpalveluksi mutta ongelmana nousi esiin, ettei raportin ongelmien ja virheiden korjausta jalkauteta kenellekään. Pahimmillaan raporteissa pyörivät samat ongelmat kuukaudesta toiseen, mahdollisesti muutaman lisäongelman kanssa. Tämä siitäkin huolimatta, että raportoijalle oli annettu valtuutus korjata ongelmia ja virittää laitetta raportoinnin aikana.

Toisen haastateltavan mukaan tärkeää on tarttua nopeasti toimeen seurantapalvelussa nousseiden huomioiden suhteen ja tehdä selkeät muutokset heti huomioiden esiin noustessa. Haastateltavan kokemus oli, että usein tulee toiminnanvarmistusraportteja, joissa on paljon huomioita ja asioita nostettu esille. Yllä mainitun perusteella seurantapalveluiden haaste on,

ettei muutostöiden teon vastuuta anneta kenellekään toimijalle, ja jäädään odottamaan. Odottaminen johtaa siihen, että kukaan ei kiireessä ehdi tehdä nostoille mitään ja ne jäävät pyörimään raporteille. Haastateltavan kokemuksen mukaan tilaajan tulisi antaa rohkeasti palveluntarjoajalle lupa tehdä muutokset, näin saadaan asioita edistettyä parhaiten. Raportoijan tulisi tuottaa lisäarvoa tilaajalle, joten haastateltava kannusti raportoijia tekemään rohkeasti muutokset, jos niille huomataan tarve. Monella toimijalla on epävarmuutta lämpöpumppujen kanssa, minkä takia muutoksia ei uskalleta tehdä. Mikäli tilaajan osaaminen ei riitä lämpöpumppulaitosten hoitoon, on ensisijaisen tärkeää palkata ulkopuolinen taho hoitamaan laitosta.

Eräs haastateltava kertoi, että heidän hankkeissansa on vaadittu etäseuranta lämpöpumpuille, tämän palvelun hankkimisen vastuut on ollut lämpöpumpputoimittajalla. Samalla vastuu lämpöpumpun hyötysuhteen saavuttamisesta on siirretty laitetoimittajalle, mutta tämä ei kuitenkaan ole onnistunut. Laitetoimittajan puolesta vastuu on siirretty suunnittelijalle, mikä on johtanut siihen, ettei kukaan ota vastuuta ongelmista. Ongelmana on ollut myös se, että tämän palvelun ostamisen vastuu on ollut urakoitsijalla eikä urakoitsija ole huomannut palvelua ostaa, vaikka se pitäisi kuulua urakkaan.

Eräs haastateltava nosti esille huomion niin toiminnanvarmistukseen kuin viritykseen. Mikäli energiamittareiden ja antureiden määrää karsitaan kohteen toteutuksessa, heikennetään etädiagnostiikan käyttöä kohteessa. Mitä vähemmän antureita ja mittareita on laitoksessa, sen haastavampi on ongelmia havaita.

Useammalta haastateltavalta korostui takuuajan seuranta omien palveluiden kautta. Eräs haastateltava kertoi, että heidän valvomissaan ja rakennuttamissaan kohteissa hintaan kuuluu kahden vuoden seurantapalvelu. Tällöin säästöt saadaan realisoitua hankkeelle, ja lämpöpumppujärjestelmän toiminta sellaiseksi kuin suunnitteluvaiheessa on ajateltu. Tässäkin ongelmana korostui pätkäkäynti, laitevalinnoista tai muusta johtuvana. Tärkeänä huomiona lämpöpumpuissa on toimintavarmuus. Vähän hyötysuhdetta leikkaamalla saadaan laite pidettyä päällä ja vältytään kompressoririkoilta ynnä muilta pätkäkäynnistä syntyvistä ongelmilta. Kuten aiemminkin on jo noussut esille, laiterikot ja pätkäkäynti aiheuttavat seisokkeja. Lisäksi pätkäkäynti aiheuttaa laitteiden ennenaikaista kulumista. Sillä jatkuvat uudelleen käynnistyminen ja sammuminen aiheuttavat muun muassa rikkoja pumpuissa sekä edellä mainituissa kompressoreissa. Energiassa hävitään pätkäkäynnissä huomattavan paljon, kun lämmityskaudella laitteet ovat pois päältä. Toinen haastateltava nosti esille

esimerkkiskenaarion. Jos lämpöpumpusta on kompressoreita ynnä muita komponentteja jouduttu vaihtamaan takuuajalla, on lämpöpumpun viritysajasta hukattu vuosi. Tällöin voisi olla järkevää jatkaa seurantaa vuodella. Haasteeksi tässä nousee, kuinka urakoitsijat saadaan velvoitettua jatkotakuuseen ja -seurantaan. Tämä ei todennäköisesti ole mahdollista. Tällainen palvelu voisi olla mahdollista ostaa lisäpalveluna ja elinkaarinäkökulmasta tällaisella palvelulla saavutettaisiin suuri hyöty hankkeelle.

Yleisesti kaikki haastateltavat kokivat toiminnanvarmistus- ja seurantapalvelut toimiviksi ja tarpeellisiksi lämpöpumppujärjestelmille. Huomattavaa oli, että haastateltavien mukaan sellaisia laitoksia valmistuu paljon, joissa ei ole mitään seurantaa. Tämän takia haastateltavilla oli tullut vastaan kohteita, joissa ei ollut tehty mitään tarkastuksia tai säätöjä edes ensimmäisen lämmityskauden aikana. Laitosten toiminnan tarkastaminen itsessään ei ole iso työ, minkä takia palvelua ja sen käyttöä tulisi pystyä parantamaan tulevaisuudessa.

Vastuu ja toiminta takuuajan jälkeen

Takuuajan jälkeiseen toiminnasta haastateltavilla oli erilaisia näkökulmia ja kokemuksia. Konsensus oli, että jonkinlainen seuranta on tarpeellinen myös takuuajan jälkeen. Näin varmistutaan laitteiden ja järjestelmän toimivuudesta kiinteistössä.

Eräs haastateltava suositteli takuuajan loppuun palaveria toiminnanvarmistajan, lämpöpumppu-urakoitsijan, automaatiourakoitsijan sekä tilaajan välille. Tällöin voidaan katsoa, miten järjestelmä on toiminut ensimmäiset kaksi vuotta. Mikäli järjestelmässä ei ole esiintynyt ongelmia, aktiivinen seuranta voidaan lopettaa. Jos on ollut ongelmia, voidaan ottaa vuoden optio tarkemmasta seurannasta. Lähtökohtaisesti ensimmäisen kahden vuoden aikana kaikki mahdolliset olosuhteet pitäisi tulla vastaan, ja kaiken toimia kuten pitää. Toisen haastateltavan näkemyksenä oli, että jos takuuajan viritys järjestelmälle on tehty ammattimaisesti, jokaiselle toimintaolosuhteelle erikseen, saavutetaan noin 90 % kattavuus eri olosuhteiden hallinnalle. Kaiken kattavalle seurantapalvelulle ei ole tarvetta takuuajan jälkeen. Tällöin riittää muutaman kerran vuodessa tarpeen mukainen tarkastus takuuajan jälkeen, jossa tarkastetaan kaikkien laitteiden toiminta. Kannattaa olla jonkinlainen palvelu, jossa järjestelmät ymmärtävä taho tarkistaa laitteiden kunnon.

Haasteltava kertoi, että energiankierrätysjärjestelmä vaati takuuajan jälkeisen seurantapalvelun. Seurantapalvelun tekijällä tulee olla riittävä ymmärrys energiankierrätysprosessista. Kvartaaleittain toteutettu seuranta koettiin riittäväksi. Seurannassa tarkastetaan järjestelmän

toimivan vielä niin kuin pitää. Tämän lisäksi järjestelmälle koettiin tarpeelliseksi jonkinlainen analytiikka, joka hälyttää, jos joku arvo lähtee poikkeamaan järjestelmässä. Haastateltavan mukaan tällä hetkellä ei vain löydy sellaista tekoälyanalytiikkasovellusta, jonka voi jättää itsekseen toimimaan. Taloyhtiöissä ongelmiksi nousi, ettei niissä ole teknistä osaamista, eikä taloyhtiö ole ottanut seurantapalvelua. Esimerkkinä nousi lämpöpumppujärjestelmä, joka ei ole toiminut koko vuoden aikana, vaan kiinteistöä on lämmitetty kaukolämmöllä tai sähköllä.

Osalla haastateltavilla oli tarjolla huolenpitosopimus takuuajan jälkeen. Tämän palvelun avulla hälytykset ohjautuvat sähköpostitse asiantuntijoille, jotka käyvät näitä läpi kuukausittain. Samassa yhteydessä käydään läpi lämpöpumppuprosessia, tarkastetaan muun muassa kulutukset sekä korjataan mahdollisia ongelmia prosessissa.

Useampi haastateltava korosti ongelmana aiemminkin mainittua ajatustapaa lämmitysmuodoista. Kiinteistönomistajat ovat tottuneet kaukolämpöön, jolloin aktiiviselle seurannalle ei ole tarvita niin kuin lämpöpumpuissa. Haastateltava nosti esille seurannan toteuttamisen helppouden. Järjestelmästä olisi pienellä työllä tuotettava raportti esimerkiksi kerran kuukaudessa energiankulutuksesta, tämä nostaisi ongelmia esille ja niihin osattaisiin reagoida. Tällöin huomattaisiin mahdolliset vikatilat ja ongelmat, kun lämmitysenergian tuotanto on tullut muusta lähteestä kuin lämpöpumpusta. Tämän kaltainen palvelu voisi löytyä suoraan lämpöpumpun valvomosta, josta saataisiin lähetettyä sähköposti laitteista vastaaville tahoille. Haastateltavalla oli tunne, että monessa lämpöpumppukohteessa seuranta ja valvonta loppuu kahden vuoden takuuajan jälkeen kokonaan. Haastateltava nosti esille urakoitsijoille helpon lisämyyntikohteen, takuun jälkeisen huoltosopimuksen muodossa.

Haastatteluissa korostui myös huolto ja sen tärkeys koko elinkaaren ajaksi. Huoltoprosessit tulisi olla sovittuna jo hyvissä ajoin ennen takuuajan umpeutumista. Huoltoyhtiöllä tulisi olla etäyhteys järjestelmän automatiikkaan. Haastateltavat suosittelivat huoltosopimukseen kirjattavaksi, ettei huoltoyhtiö viritä laitteistoa vaan he valvovat laitteistoa. Tätä suositeltiin koko lämpöpumppulaitteiston elinkaaren ajaksi, näin hälytykset menisivät eteenpäin, ja viat oikeasti korjattaisiin eikä hälytyksiä vain kuitattaisi. Laitteet alkavat pikkuhiljaa vikaantumaan ja hälyttämään, ne harvoin hajoavat heti.

Eräs haastateltava kertoi läpi käyvänsä edelleen maalämpökohteiden toimintaa tilaajan kanssa, vaikka järjestelmät ovat valmistuneet vuosia sitten. Vuositasolla nähdään, miten

maapiirit toimivat. Haastateltavan mukaan lämmityskauden lopussa kannattaa tarkastaa maalämpökentän lämpötila. Tällöin tarkastetaan, miten alhaiseksi lämpötila kentässä laskee ja kuinka lämpötilatasot palautuvat.

5.2.5 Muut haastatteluissa esille nousseet asiat

Eräs haastateltava kertoi, että hankkeiden toiminnan kannalta tärkeää olisi käyttää standardoituja suunnitelmia ja kytkentöjä. Näin toimiessa hallinta on helpompaa hankkeen osapuolille. Näin ei joka hankkeessa pyritä keksimään uutta prototyyppiä asioista, joista on jo toimivia kokemuksia. Haastateltavan yrityksessä toimintamallia on viety todella paljon standardoituja ratkaisuja kohti ja näin on tehty myös laitetoimittajien ja automaatio-ohjelmien osalta mahdollisuuksien mukaan. Tämä helpottaa myös vika- ja ongelmatilanteissa, tutut laitteet helpottavat korjauksia, kun mahdollisesti samoja vikoja korjattu muissa kohteissa samoille laitteille.

Erään haastateltavan kokemuksen mukaan niin suunnittelijoilla, urakoitsijoilla kuin tilaajilla on paljon opittavaa lämpöpumpuista. Haastateltavan mukaan aiemminkin mainittu kansallinen ohje, samaan tyyliin kuin kaukolämmölle, voisi olla toimiva ohjeistus myös lämpöpumppualalle. Näin voitaisiin opastaa, miten järjestelmiä tulisi suunnitella ja toteuttaa. Hän näki ongelmana sen, että jokainen eri toimija tekee asioita omalla tyylillään, ja kenttä koettiin ”villiksi”. Haastateltava korosti, että kehitystä alalla on tapahtunut huomattavasti. Esimerkiksi 5 vuotta sitten käytettyjä kytkentöjä ei enää toteuteta, vaan on löydetty toimivammat ratkaisut. Tekemisestä on opittu paljon, mutta alalla on vielä paljon kehittämisen varaa.

Yhteistyö ehdotukseksi projektiryhmän välille nousi yhteinen kannustepalkkio. Esimerkkinä mainittiin yhteinen palkkiopooli, joka jaettaisiin kaikkien osapuolten kesken. Tällaisella mallilla voitaisiin välttää urakoitsijoiden keskittyminen vain oman tekemisen optimoimiseen, ja projekteissa eri tekijät auttaisivat toisiaan. Haastateltavan kokemus oli, että kokonaisurakka on auttanut parantamaan yhteistyötä eri osapuolten välillä. Haastateltava koki projekteissa tärkeäksi samojen henkilöiden pysyvyyden. Kokemuksena oli, että luottamus urakoitsijoiden välillä paranee, kun ihmiset ovat toisilleen tuttuja projekteista toiseen.

Eräs haastateltava nosti esille sidosryhmäyhteistyön ja sen parantamisen. Haastateltavan mukaan suunnittelijoita on kannustettu siihen, että he uskaltavat matalalla kynnyksellä

sparrailla eri toimijoita ja sidosryhmiä hankkeissa. Näin toimien on pyritty löytämään paras mahdollinen yhteistyö ja toimivin lopputulos. Haastateltava korosti, että hankkeet helpottuvat kaikille sidosryhmille, kun projekteja tehdään tuttujen toimijoiden ja urakoitsijoiden kanssa. Hyvä yhteistyö hankkeiden alusta saakka auttaa myös teknisistä haasteista selviämiseen.

Tilaajilla, joilla ei ole teknistä osaamista, järjestelmien yksinkertaistaminen helpottaa ymmärtämistä sekä kustannussäästöjä. Esimerkkinä haastattelussa nousi konseptoitu, lauhdelämpöpumppu. Lämpöpumpulla on keskitytty pelkkään lämmittämiseen, eikä lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Näin järjestelmästä on saatu yksinkertaisempi, halvempi ja toimintavarmempi. Jatkuva parantaminen ja kehittäminen tulee olla keskeinen asia toiminnassa, varsinkin konseptoitujen järjestelmien kanssa.

Suunnittelutoimistoiden kokemuksen mukaan lämpöpumppualalla toiminta on muuttunut parempaan suuntaan. Nykyisin tietoa ei pyritä pimittämään niin paljon insinööritoimistojen välillä kuin vuosia aiemmin. Tietoa jaetaan ja kommentoidaan kilpailijoiden kesken. Nykyisin sparrailu toimii hyvin kilpailijoiden kanssa varsinkin isommissa hankkeissa. Tavoitteena on saada hankkeiden kannalta paras ratkaisu. Tämäkin ajatusmallin muutos tukisi yhteisen kansallisen ohjeistuksen rakentamista.

5.3 Haastatteluaineiston epävarmuustekijät ja luotettavuus

Kvalitatiivisessa tutkimuksessa aineiston laajuuden riittävyyttä kuvataan kylläänytymisellä eli saturaatiolla. Kun aineistossa ei enää saada uutta tietoa uusien tapausten myötä, vaan aineisto alkaa toistamaan itseään, aineiston voidaan katsoa olevan riittävä. (Eskola & Suoranta 1998, 62–63.) Tutkimustyön haastatteluissa ei saturaatiopistettä saavutettu, vaikkakin suurimpaan osaan kysymyksiä saatiin samanlaisia vastauksia, kaikissa haastatteluissa nousi uusia asioita. Tähän on mahdollisesti vaikuttanut haastattelijan tiedon karttuminen, mikä on johtanut uusien jatkokysymysten esittäminen. Saavuttaakseen saturaatiopisteen haastateltavien määrää olisi tullut kasvattaa, tämän diplomityön aikatauluraami ja laajuus ei tätä mahdollistanut. Aineiston katsottiin olevan tarpeeksi kattava, tutkimuksen luonteen, tavoitteiden ja tutkittavan aiheen osalta. Tässä diplomityössä ei saturaatiopisteen täyttyminen tai sen täyttymättä jääminen, ole myöskään este onnistuneelle lopputulokselle.

Haastattelutilanteiden pyrkimyksenä oli pitää tilaisuudet keskustelunomaisina. Tässä piilee riski, jossa haastattelija johdattelee kysymyksiä liikaa ja vaikuttaa tällä tavoin tutkimusaineiston luotettavuuteen. Osan kysymysten osalta on mahdollista, että tutkijan omat näkemykset aiheesta ovat nousseet esille, vaikka tätä on pyritty välttämään koko haastattelututkimuksen ajan.

Tutkimuksessa haastattelut nauhoitettiin, litteroitiin ja kirjoitettiin tämän jälkeen puhtaaksi. Näin saatiin lisättyä haastattelututkimuksen luotettavuutta. Puhtaaksi kirjotus varmistaa sen, että aineisto analysoidaan muutenkin, kun kuuntelemalla nauhoitus, sekä pitämällä vastaukset kiinni asiayhteyksissään. Nauhoitukset onnistuivat hyvin ja kaikki haastatteluaineisto oli käyttökelpoista tutkimustyötä varten.

Tutkimuksen toteutus on kuvattu työssä, jotta se on mahdollista toistaa uudelleen toisen osapuolen toimesta, tämä lisää tutkimuksen luotettavuutta. Tulee huomioida, että haastattelutilanne on vuorovaikutustilanne, molemmat osapuolet vaikuttavat haastattelun kulkuun ja siinä muodostuvan aineiston syntyyn. Täten on mahdollista, että toisen tutkijan toteuttamana haastatteluaineiston sisältö olisi toisenlainen. Todennäköisesti toistettaessa haastattelututkimus, päädyttäisiin lähelle tässä työssä esitettyjä johtopäätöksiä, merkittävien erojen syntyminen on epätodennäköistä. Tutkijan subjektiivisesta näkökulmasta on haastava päästä kokonaan eroon kvalitatiivisessa tutkimuksessa, tämä on varmasti vaikuttanut jossain määrin aineiston analysoinnissa. Haastattelututkimuksessa on pyritty kuvaamaan aineisto todenperäisesti ja vilpittömästä. Haastateltavat olivat kiinnostuneita ja he suhtautuivat positiivisesti tutkimukseen, joten tutkimuksessa voidaan olettaa heidän vastanneen avoimesti ja rehellisesti kysymyksiin.

Haastatelluille ei aineistoa lähetetty jälkikäteen kommentoitavaksi, tämän takia on mahdollista, että aineistossa esiintyy asioita, jotka tutkija on ymmärtänyt väärin tai ne ovat virheellisiä. Haastatteluissa pyrittiin esittämään lisä- ja jatkokysymyksiä haastateltaville, mikäli vastaus koettiin epäselväksi tai sitä ei täysin ymmärretty, näin toimien pyrittiin välttämään virheellisen tiedon siirtyminen tutkimusaineistoon. Haastatteluaineistoa voidaan pitää uskottavana ja riittävänä, oleelliset asiat nousivat esille useammin kuin yhden kerran haastattelujen aikana.

Tutkimukseen haastatellut edustivat laajasti lämpöpumppualan eri toimijoita, minkä takia aineiston voidaan todeta olevan riittävä. Haastateltavat olivat lämpöpumppualan

asiantuntijoita, ja heiltä saadut haastattelut tuovat uskottavuutta tutkimukselle. Haastatteluun valittu kohderyhmä edusti tutkimusaiheen osalta oleellisia osapuolia. Haastatteluaineistoon olisi kuitenkin ollut hyvä saada vielä rakennuttajakonsultin näkökanta.

6 Yhteenveto

Päivittäistavarakaupat ovat energiaintensiivisiä rakennuksia. F-kaasuasetuksesta johtuvat muutokset kylmäaineisiin johtavat luonnollisten kylmäaineiden käyttöön päivittäistavarakauppojen kylmälaitoksissa. Uusien kylmälaitosten lauhdelämmön hyödyntäminen päivittäistavarakaupoissa sellaisenaan ei ole järkevää alhaisten lämpötilatasojen takia. Hukka-/lauhdelämpöä kierrättävät energiankierrätysjärjestelmät, lauhdelämpöpumpuilla mahdollistavat lauhdelämmön käytön. Kesko on ollut mukana vuosina 2017–2025 energiatehokkuussopimuksessa. Energiankierrätysjärjestelmien avulla energiatehokkuustavoitteet saavutettiin neljä vuotta etuajassa. Energiankierrätysjärjestelmiä on asennettu jo yli 80 Keskon päivittäistavarakauppaan.

Haastattelututkimuksen perusteella voidaan todeta lämpöpumppualan tilanteen parantuneen vuosien varrella. F-kaasuasetuksen tuomat muutokset kylmäaineiden käyttöön tuovat jatkossakin haasteita lämpöpumppuprojekteihin. Siihen että alan kaikki eri toimijat tottuvat muutoksiin, tulee kulumaan vielä aikaa. Muutos vaikuttaa suunnitteluun, urakointiin, tilaajiin ja laitevalmistajiin. Laitteiden ja kylmäainemuutosten takia, lämpöpumppujärjestelmien ohjausten suunnittelu ja ohjelmointi ei ole pysynyt laitteiden vaatimusten perässä.

Tutkimuksessa nousseet suurimmat ongelmat olivat, lämpöpumppujen pätkäkäynti ja ohjaukset. Tilaajalla tulee olla ymmärrys mitä ollaan tilaamassa, että vältytään hukkainvestoinneilta. Pätkäkäynti lämpöpumppulaitteistossa maksaa, ja väärät laitevalinnat suunnittelussa johtavat tähän. Tutkimuksessa nousi esille myös väärien laitteiden käyttö, maalämpöpumppu ei toimi lauhdelämpöpumppuna. Suunnittelussa tulee huomioida toimintaympäristö ja kokonaisuus, johon laitetta ollaan suunnittelemassa. Suunnitelmien tarkka läpikäynti ennen toteutusta yhdessä urakoitsijan ja ohjelmoijan kanssa oli havaittu aiemmin positiiviseksi toimintamalliksi erään haastateltavan toimesta. Tällainen läpikäynti edesauttaa yhteistyötä, laitteen toimintavarmuutta eikä vie montaa tuntia työaikaa.

Tutkimuksen perusteella, lämpöpumppulaitteisto tulee suunnitella ja toteuttaa aina toimintavarmuus edellä. Viimeisten prosenttien hiominen COP:sta tuhoaa pahimmillaan koko lämpöpumppuprosessin. Tutkimuksessakin korostui, että lämpöpumppusuunnittelukin oli

siirtymässä tähän ajatusmalliin. Energiankierrätysjärjestelmissä tulee ymmärtää kokonaisuus, ei vain yksittäinen lämpöpumppu, sen suunnittelu ja urakointi.

Energiankierrätys- ja lämpöpumppujärjestelmät vaativat käytönaikaisen seurannan. Tutkimuksessa korostui, tämän tärkeys mutta myös laiminlyönnit. Ajatusmaailma koko rakennusalalla tulisi kääntää elinkaariajatteluun. Tällainen ajatusmaailma ei sovellu perinteiseen KVR-urakointiin. Nykyiset laitteistot vaativat erityisosaamista ja syventymistä. Perinteisessä urakoinnissa ajatusmaailmana on toteuttaa projekti ja takuuajan jälkeen siirtää projekti tilaajan hoitoon. Energiankierrätys- ja lämpöpumppujärjestelmät eivät tätä enää mahdollista, laitteet vaativat seurantaa, huoltoa ja mahdollista lisävirittämistä myös takuuajan jälkeen.

Tähän toimivana ratkaisuna olisi palvelumalli, joka pitää kaiken yllä mainitun sisällään. Tällöin vastuu laitteiston toiminnasta ja ylläpidosta pysyisi projektin jälkeen yhdellä taholla. Näin toimiessa voitaisiin parantaa myös projektin työlaatua. Tämän kaltaisia palveluja löytyykin markkinoilta, esimerkiksi haastattelututkimuksessakin esiin noussut elinkaarisopimusmalli. Palvelumalli pitäisi rakentaa niin, että se kattaa lämpöpumppulaitteiston koko elinkaaren. Nykyisin käytössä olevat elinkaarisopimusmallit ovat sidottuja ennalta sovittuun ajanjaksoon eikä laitteiston elinkaareen, nimestään huolimatta.

Ylläpidon näkökulmasta korostuivat ongelmat huoltojen puutteista. Lämpöpumppujen huolto ja ylläpito hoidetaan takuuaikana kuten pitää, ongelmaksi muodostuu takuun loppumisen jälkeinen aika. Kiinteistönhuoltoyrityksillä ei ole osaamista monimutkaisten järjestelmien huoltoon, mikä johtaa laitteiden vikatiloihin. Tarvetta alalla olisi erillisiin ylläpito ja huoltopalveluihin koko lämpöpumppujärjestelmän elinkaaren ajaksi. Lisäpalvelun kehittäminen tämän osalta olisi järkevää lämpöpumppu-urakoitsijoille.

Lämpöpumppujärjestelmä mielletään osittain kaukolämpöön rinnastettavana lämmitysjärjestelmänä. Tutkimuksen perusteella lämpöpumppualalla olisi tilausta kaukolämmön K1 tapaiselle kansalliselle ohjeelle. Tämän kaltainen ohjeistus olisi varmasti alalla tuotettavissa. Tällaisen ohjeistuksen avulla voitaisiin kiertää monta yleistä ongelmaa järjestelmien suunnittelussa.

Hankkeissa esiintyy kommunikaatio ongelmia eri suunnittelualojen, tilaajan ja urakoitsijoiden välillä. Tähän puutteeseen vastauksena voisi olla haastattelututkimuksessa esiin noussut TATE-koordinaattori tai TATE-pääsuunnittelija. Tällaisen henkilön puute varsinkin isoissa

haastavissa projekteissa on todellinen. Ongelmaksi muodostuvat henkilöt, joilla on riittävä tietotaito hoitamaan tämän kaltaista roolia.

Perinteisesti elinkaari- ja energiaremonteissa pääurakoitsijana toimii rakennusurakoitsija, vaikka rakennusurakan osuus kokonaisuudesta olisi vain 10 %. Monimutkaiset energiankierrätys- ja lämpöpumppuhankkeet vaativat paljon tietotaitoa. Tällaisiin hankkeisiin erikoistuneet urakoitsijat voisivat alkaa toimimaan pääurakoitsijana hankkeissa, joissa painotus on talotekniikka puolella. Näin ymmärrys ja osaaminen hankkeen läpimenoon olisi toimijalla, joka ymmärtää mitä laitteet vaativat toimiakseen.

Lämpöpumppu- ja energiankierrätysprojektit henkilöytyvät hyvin paljon. Uusille toimijoille olisi alalla paljon kysyntää. Koulutuksen puute lämpöpumppu- ja kylmäaloilla on huolestuttava piirre. Ilman ammattioppilaitosten, ammattikorkeakoulujen ja yliopistojen koulutusohjelmia, alan jo ennestään kapea osaaminen supistuu entisestään. Ammattitaitoisia asentajia ja insinöörejä ei ole tulevaisuuden tarpeisiin kouluttautumassa tällä hetkellä. Kylmä- ja lämpöpumppuala tulee työllistämään entisestään tulevaisuudessa, energia-asetusten kiristyessä ja ilmaston lämmetessä entisestään tarvitaan niin kylmätekniikan kuin lämpöpumpputekniikan osaajia.

7 Johtopäätökset

Energiankierrätysjärjestelmillä saadaan huomattavaa hyötyä päivittäistavarakaupan energiankulutukseen, niiden avulla saavutetaan myös tulevaisuuden päästötavoitteet. F-kaasuasetuksesta johtuvat kauppojen uudistusprojektit jatkuvat tämän vuosikymmenen loppuun asti. Samassa yhteydessä toteuttavat energiankierrätysjärjestelmät tukevat tiukentuvia energiamääräyksiä sekä päästötavoitteita. Keskolla toteutetut energiankierrätysjärjestelmät ovat alentaneet kaukolämmönkulutusta keskimäärin noin 50 %, verrattuna ennen uudistusta olevaan energiankulutuksen tasoon. Keskon tavoitteena on vähentää oman toimen päästöjä n. 30 % vuoden 2024 lähtötasosta vuoteen 2030 mennessä. Suuri osa Keskon oman toiminnan päästöistä syntyy kaukolämmöstä. Keskon omien energiantehokkuustoimenpiteiden vaikutus päästövähennykseen on arvioiden mukaan noin 33 %, ja kaukolämmön tuotannon vihertymisen sekä päästöjen vähentymisen myötä saavutettava vähennys on noin 67 %. Merkittävin näistä energiatehokkuustoimenpide on edellä mainittu energiankierrätysjärjestelmä.

Kiristyvät energiamääräykset sekä energianhinnan muutokset johtavat siihen, että lämpöpumppujen käyttö kiinteistöjen lämmityksessä tulee kasvamaan nykyisestä. Tällä hetkellä alaa vaivaa pula tekijöistä, asentajista suunnittelijoihin. Ilman lisäkoulutusta tulevaisuuden kasvavaan hankemäärään ei voida lämpöpumppualalla vastata. Kapealla alalla suunnittelijat ja asentajat henkilöityvät muutamiin toimijoihin.

Työn tavoitteena oli laajentaa näkemystä sekä kerätä tietoa lämpöpumppuhankkeiden haasteista eri osapuolten näkökulmista. Tutkimuksessa keskitytään päivittäistavarakauppoihin, niiden kylmälaitoksiin ja lauhdelämmön kierrättämiseen. Haastattelututkimukseen laajennettiin haastateltavia myös muun muassa ilma-vesilämpöpumppuihin ja maalämpöpumppuihin erikoistuneisiin henkilöihin. Lauhdelämmön hyödyntäminen olisi jäänyt muuten päivittäistavarakaupan toimijoiden ja teollisuuden toimijoiden osalle. Ongelmat hankkeissa olivat haastattelujen perusteella samankaltaisia, oli kyseessä maalämpöpumppu tai lauhdelämpöpumppu.

Lauhdelämpöpumppujen suurimmat ongelmat ovat pätkäkäynti ja ongelmat laitteiden ohjauksessa. Laitevalmistajat ovat vastanneet pätkäkäynti ongelmaan paremmin säädettävillä uusilla laitteilla, joiden minimiosateho on huomattavasti pienempi kuin lämpöpumpuilla

muutama vuosi sitten. Tämän kaltainen kehitystyö alalla on toivottavaa ja edistää hankkeiden onnistumista myös tulevaisuudessa.

Näihin ja muihin ongelmiin ratkaisuna voisi olla valvojat sekä koordinaattorit, jotka ovat perehtyneitä lämpöpumppuihin ja niiden toimintaan. Tällaisten henkilöiden kouluttaminen auttaisi hankkeiden läpimenoa. Lisäksi osaavat kumppanit, joilla on ymmärrystä monimutkaisista laitteista auttaa tilaajia tekemään järkeviä ratkaisuja ja hukkainvestoinneilta vältytään.

Lämpöpumput vaativat ylläpitoa ja virittämistä jatkuvasti toimiakseen optimaalisesti. Tähän toimivin ratkaisu on palvelumalli. Näin järjestelmää seurataan, huolletaan ja viritetään tarpeen vaatiessa koko järjestelmän elinkaaren ajan. Pienelle asunto-osakeyhtiölle tai pienelle kiinteistösijoittajalle elinkaarisopimus- tai erilaiset leasing palvelut ovat erinomainen vaihtoehto. Tällöin ylläpito ja energiatehokkuustavoitteet ovat osaavan tahon käsissä. Suurelle kiinteistösijoittajalle nämä palvelut eivät kustannusten takia ole välttämättä toimivin ratkaisu, tähän edellä mainittu palvelumalli olisi järkevin, niin että palvelun sisältö voidaan räätälöidä tilaajan toiveiden mukaisesti.

Mahdollisena jatkotutkimusaiheena voisi olla tämänkaltaisen palvelumallin tai ”ekosysteemin” rakentaminen, ja se jalkauttaminen hankkeeseen. Näin saataisiin tehtyä vertailu erilaisten toimintamallien eroista, ja käyttömahdollisuuksista erilaisissa kiinteistöportfolioissa. Lämpöpumpuille on tarvetta ja kiinnostusta tulevaisuudessa, joten toimivat toimintatavat hankkeissa ovat tulevaisuudessa todella tärkeitä. Kiinteistönomistajien kannalta todella tärkeää on huomioida miten lämpöpumppujen ylläpito ja huolto toteutetaan tulevaisuuden hankkeissa sekä miten se on toteutettu jo olemassa olevissa kohteissa.

Toinen jatkotutkimus aihe joka tutkimuksessa nousi esille, on kansallinen ohjeistus ja sen puute lämpöpumppujen osalle. Hyvistä toimintamalleista koottu yhteinen ohjeistus olisi tarpeellinen alalle. Tämän avulla voitaisiin ehkäistä yleisimmin toistuvia ongelmia ja virheitä lämpöpumppujen suunnittelun sekä toteutuksen aikana.

Kolmas jatkotutkimus aihe on tilaajan vakioidun energiankierrätysjärjestelmän päivitys. Järjestelmä on kehitetty pitkään, mutta sitä tulee kehittää entisestään. Yksi kehitys kohde olisi kesäajan lauhteen käyttäminen, mihin lauhde-energia voitaisiin kustannustehokkaasti säilöä? Kehittämistä voisi viedä myös sähkötekniikan reservimarkkinan suuntaan. Iso

kiinteistömassa, jossa on paljon lämpöpumppuja, mahdollistaisi osallistumisen sähkön reservimarkkinoille.

Lähteet

Carel. 2015. Waterloop. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 12.4.2025]. Saatavilla: https://www.carel.in/application/waterloop

Caverion. 2025a. F-kaasuasetus. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 8.4.2025]. Ladattavissa: https://www.caverion.fi/opas/opas-f-kaasuasetus/

Caverion. 2025b. Teollisuuden kylmälaitteiden hukkalämmössä on valtava potentiaali. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 21.11.2025]. Saatavilla: https://www.caverion.fi/blogi/teollisuus/teollisuuden-kylmalaitteiden-hukkalammossa-on-valtava-potentiaali/

Coolfors. 2024a. CoolFlow Waterloop -kylmäjärjestelmä on taloudellisempi tapa toteuttaa kaupan kylmäkalustus. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 12.4.2025]. Saatavilla: https://www.coolfors.com/coolflow/

Coolfors. 2024b. Miksi valita CoolFlow – kylmäjärjestelmä?. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 12.4.2025]. Saatavilla: https://www.coolfors.com/miksi-valita-coolflow-kylmajarjestelma/

Danfoss. 2017. Exploring different CO2 systems. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 11.9.2025]. Saatavilla: https://www.danfoss.com/en-us/service-and-support/case-stories/dcs/exploring-different-co2-systems/

Energiatehokkuussopimukset. 2020. Kesko: Kaupparakennus lämpenee energianerokkaasti hukkalämmöllä. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 12.9.2025]. Saatavilla: https://energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/kesko-kaupparakennus-lampenee-energianerokkaasti-hukkalammolla/

Eskola J. Suoranta J. 1998. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Tampere: Vastapaino 1998. 62–63 s. ISBN 978-951-768-035-6.

Finckh, O., Schrey, R. & Wozny, M. 2011. Energy and efficiency comparison between standardized HFC and CO2 transcritical systems for supermarket applications. Teoksessa: Proceedings of the 23rd IIR International Congress of Refrigeration, Prague, Czech Republic. 21.-26.8.2011.

Fortum. 2021. Fortumin Suomen suurin lämpöpumppu korvaa fossiilista kaukolämmöntuotantoa jäteveden hukkalämmöllä. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2.6.2025]. Saatavilla: https://www.fortum.com/fi/media/2021/06/fortumin-suomen-suurin-lampopumppu-korvaa-fossiilista-kaukolammontuotantoa-jateveden-hukkalammolla-0

Granlund. 2023. Energiankierrätys leikkaa jopa 95 prosenttia lämmönkulutuksesta. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 12.9.2025]. Saatavilla: https://www.granlund.fi/uutinen/energiankierratys-leikkaa-jopa-95-prosenttia-lammonkulutuksesta/#:~:text=Energiankierr%C3%A4tys%20leikkaa%20jopa%2095%20prosenttia%20l%C3%A4mm%C3%B6nkulutuksesta.%2015.8.2023,hukkal%C3%A4mm%C3%B6t%20voivat%20kattaa%20jopa%2095%20prosenttia%20l%C3%A4mm%C3%B6ntarpeesta.

Gullo P., Elmegaard B. & Cortella G. 2016a. Energy and environmental performance assessment of R744 booster supermarket refrigeration systems operating in warm climates. International Journal of Refrigeration. Vol. 64, s. 61-79.

Gullo, P., Hafner A. & Banasiak K. 2016b. Overfed evaporators and parallel compression in commercial R744 booster refrigeration systems – An assessment of energy benefits. Teoksessa: 12th IIR Gustav Lorentzen Natural Working Fluids Conference, Edinburgh, UK. 24.8.2016.

Gullo, P., Hafner A. 2017. Thermodynamic performance assessment of a CO 2 supermarket refrigeration system with auxiliary compression economization by using advanced exergy analysis. International Journal of Thermodynamics. Vol. 20, s. 220-227.

Gullo, P., Hafner A. & Banasiak K. 2018. Transcritical R744 refrigeration systems for supermarket applications: Current status and future perspectives. International Journal of Refrigeration. Vol. 93, s. 269-310.

Gullo, P., Kærn M. R., Haida M., Smolka J. & Elbel S. 2020. A review on current status of capacity control techniques for two-phase ejectors. International Journal of Refrigeration.

Vol. 119, s. 64-79.

Hakala P., Kaappola E. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. 3. tarkistettu painos. Opetushallitus. 190–192 s. ISBN 978–952–13-5360–4.

Javerschek, O., Craig, J. & Xiao, A. 2015. CO2 as a Refrigerant—Start Right Away. Teoksessa: Proceedings of the 24th IIR International Congress of Refrigeration. Yokohama, Japan. 16.-22.8.2015.

Karampour, M. & Sawalha, S. 2018. State-of-the-art integrated CO2 refrigeration system for supermarkets: A comparative analysis. International Journal of Refrigeration. Vol. 86, s. 239-257.

Kaupan liitto (Kauppa). 2019. Uusi energiankierrätyskonsepti voi muutta K-ruokakaupan energian osalta lähes hiilineutraaliksi. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 12.9.2025]. Saatavilla: https://kauppa.fi/uutishuone/2019/12/12/uusi-energiankierratyskonsepti-voi-muuttaa-k-ruokakaupan-energian-osalta-lahes-hiilineutraaliksi/

Kaupan liitto (Kauppa). 2023. Kaupan energiankäyttö kasvoi vuonna 2021 edellisvuoteen verrattuna – päästöt pysyivät ennallaan. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 10.4.2025]. Saatavissa: https://kauppa.fi/uutishuone/2023/10/17/kaupan-energiankaytto-nousi-vuonna-2021-edellisvuoteen-verrattuna-%e2%88%92-paastot-pysyivat-samalla-tasolla/

K-ryhmä. 2024. Keskon vuosiraportti 2024. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 30.4.2025]. Saatavissa: https://www.kesko.fi/493454/globalassets/03-sijoittaja/raporttikeskus/2025/q1/vuosiraportti-2024/kesko_vuosiraportti_2024.pdf

K-ryhmä. 2025a. Kaupan alalle uusi energiatehokkuussopimus: Kesko aikoo parantaa energiatehokkuuttaan 16 % vuoteen 2035 mennessä. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 21.11.2025] Saatavissa: https://www.kesko.fi/media/uutiset-ja-tiedotteet/uutiset/2025/kaupan-alalle-uusi-energiatehokkuussopimus-kesko-aikoo-parantaa-energiatehokkuuttaan-16--vuoteen-2035-mennessa/

K-ryhmä. 2025b. Keskon päästötavoitteet. [Verkkojulkaisu]. [Vittattu 29.4.2025] Saatavissa: https://www.kesko.fi/vastuullisuus/ilmasto-ja-luonto/paastotavoitteet/

K-ryhmä. 2025c. Keskon energiatehokkuus. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 30.4.2025] Saatavissa: https://www.kesko.fi/vastuullisuus/ilmasto-ja-luonto/energiatehokkuus/

Koljonen, T. & Sipilä, K. 1998. Uudemman absorptiojäähdytystekniikan soveltaminen kaukojäähdytyksessä. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo.

KylmäExtra. 2024. Uusi F-kaasuasetus astunut voimaan. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu]. Saatavilla: https://kylmaextra.fi/teemat/uusi-f-kaasuasetus-astunut-voimaan/

Lampinen, M.J: 1997. Termodynamiikan perusteet. Otatieto, Espoo.

Lassila & Tikanoja (L&T). 2021. Mikä on kylmäaineiden tulevaisuus- onko hiilidioksidille haastajaa?. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 10.4.2025]. Saatavilla: https://www.lt.fi/artikkelit/kaupan-kylmalaitesaneeraus-loytyyko-hiilidioksidille-haastajaa

Lawrence, N. & Elbel, S. 2015. Analysis of two-phase ejector performance metrics and comparison of R134a and CO2 ejector performance. Science and Technology for the Built Environment. Vol. 21, nro. 5, s. 515–525.

Lidl 2023. Lidl Suomi vastuullisuusraportti 2021-2022. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 7.5.2025] Saatavilla: https://corporate.lidl.fi/lidlcorporate_FI/pdf/show/82640

Maaskola, I. Kataikko, M. 2014. Ylilämmön hyödyntäminen. Motiva [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.8.2025]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/files/13513/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Lampopumppu-_ja_ORC-sovellukset.pdf

Moran, Michael J- ja Shapiro, Howard N. 2010. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. 6th edition. Hoboken NH: John Wiley & Sons. 725 s. ISBN-978-0-470-54019-0.

Motiva. 2021. Suomen kaupan alan hukkalämpöpotentiaali. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 5.8.2025]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/19507/Kaupan_alan_hukkalampopotentiaali_-_Selvitys_08.11.2021.pdf

Motiva. 2024. Lämpöpumppujen valinta eri kohteisiin. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 3.6.2025]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumppujen_hankintaopas_kunnille_ja_taloyhtioille/lampopumppujen_valinta_eri_kohteisiin

Päivittäistavarakauppa ry (PTY). 2022. Päivittäistavarakaupan ilmastotyö. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 15.7.2025]. Saatavissa: https://www.pty.fi/kaupan-toiminta/vastuullisuus/ilmastovaikutukset-ja-ruokahavikki/paivittaistavarakaupan-ilmastotyo/

Päivittäistavarakauppa ry (PTY). 2024a. Päivittäistavaramarkkinat Suomessa. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 1.7.2025]. Saatavissa: https://www.pty.fi/kaupan-toiminta/paivittaistavaramarkkinat/

Päivittäistavarakauppa ry (PTY). 2024b. Päivittäistavaramyymälöiden lukumäärä ja pinta-ala. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 5.7.2025]. Saatavissa: https://www.pty.fi/wp-content/uploads/2024/06/Paivittaistavaramyymaloiden-lkm-ja-pinta-ala-2000-2023.pdf

Sawalha, S., Piscopiello, S., Karampour, M., Manickam, L. & Rogstam J. 2017. Field measurements of supermarket refrigeration systems. Part II: Analysis of HFC refrigeration systems and comparison to CO2 trans-critical. Applied Thermal Engineering. Vol. 111, s. 170-182.

Sawalha, Samer. 2013. Investigation of heat recovery in CO2 trans-critical solution for supermarket refrigeration. International Journal of Refrigeration. Vol. 36, s. 145-156.

Shecco, 2014 GUIDE 2014: Natural Refrigerants Continued Growth & Innovation in Europe. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 30.5.2025]. Saatavilla: http://publication.shecco.com/publications/view/ 2014-guide-natural-refrigerants-europe

S-ryhmä 2024a. Vastuullisuus S-ryhmän ilmastotyö. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 6.5.2025]. Saatavilla: https://s-ryhma.fi/vastuullisuus/ilmasto-ja-luonnonvarat/ilmastotyo

S-ryhmä 2024b. S-ryhmä vuosi ja vastuullisuus 2024. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 6.5.2025]. Saatavilla: https://downloads.ctfassets.net/8122zj5k3sy9/QJs7muI71f1OngHWl32qm/07bae9b12bc76e05269de027fe6ad625/S-ryhman_Vuosi-ja_vastuullisuuskatsaus_2024www.pdf#page=70

Sulpu. 2021. Lämpöä ilmassa. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 1.6.2025]. Saatavilla: https://www.sulpu.fi/wp-content/uploads/2021/05/La%CC%88mpo%CC%88a%CC%88-ilmassa-La%CC%88mmitysja%CC%88rjestelma%CC%88t-Ilmala%CC%88mpo%CC%88pumput.pdf

Sulpu. 2022. Lämpöpumppu on kannattava investointi. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 1.6.2025]. Saatavilla: https://www.sulpu.fi/lampopumput/

SWEP International AB. 2022. Refrigeration handbook, 6. Evaporators, 6.9 Flooded evaporators. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 30.5.2025]. Saatavilla: swep.net/ refrigerant-handbook/6.-evaporators/asas2/

Liite 1. Haastattelututkimuksen kysymykset

Pääkysymykset:

Tekniset haasteet:

1. Mitkä ovat yleisimmät tekniset haasteet lämpöpumppujen asennuksessa ja käytössä?
2. Mitkä ovat yleisimmät haasteet lämpöpumppujen suunnittelu-/hankinta-/toteutus-prosessissa?
3. Voitko kertoa esimerkin tilanteesta, jossa tekninen ongelma on vaikuttanut haluttuun lopputulokseen pääsemiseen?

Yhteistyö ja koordinointi:

1. Miten eri sidosryhmien välinen yhteistyö sujuu lämpöpumppuhankkeissa?
2. Tunnistetaanko toisten sidosryhmien tarpeet hankkeen aikana?
3. Onko ollut tilanteita, joissa yhteistyön puute on aiheuttanut ongelmia hankkeen etenemisessä?
4. Miten sidosryhmien välistä yhteistyötä voisi parantaa tulevissa hankkeissa?
5. Miten tärkeänä näette kokonaishankinnan / -urakan lämpöpumppuhankkeissa?
6. Minkälainen toimintamalli mielestänne toimii parhaiten hankkeissa?
7. Tulisiko hankkeissa pyrkiä mahdollisimman hyvään hyötysuhteeseen vai toimintavarmuuteen?
8. Tilaajan ja valvojien rooli lämpöpumppuhankkeissa?

Vastaanotto ja käyttöönotto

1. Miten vastaanotot toteutetaan, etänä, hybridinä vai kaikki paikan päällä?
2. Näettekö haasteita vastaanotto- ja toimintakoeprosessissa, jos kaikki osapuolet eivät ole fyysisesti läsnä kohteella?

Ylläpito ja käytönaika

1. Miten ylläpito / huolto otetaan hankkeissa huomioon? Missä kohtaa hanketta ylläpito / huolto otetaan mukaan?
2. Onko teillä kokemusta lämpöpumppujen elinkaarisopimusmallista?
3. Miten olette kokeneet sen toimivuuden niin käytön kuin ylläpidon näkökulmasta?
4. Millaisia haasteita kohteidenne takuuajan virityksessä on ollut? Kuinka kohteidenne takuuaikaisen käytön seuranta ja viritys on toteutettu?
5. Miten kohteidenne takuuajan seuranta on toteutettu, oletteko käyttäneet erillistä seurantapalvelua? Miten palvelussa nostetut huomiot on tuotu hankkeelle?
6. Vastuut ja toiminta takuuajan jälkeen. Koetteko tarpeelliseksi erillisen ylläpitopalvelun koko elinkaaren ajaksi, vai miten olette toteuttaneet takuun jälkeisen ylläpidon lämpöpumppuhankkeissa?

Tarkentavat kysymykset:

1. Miten tekniset haasteet on pyritty ratkaisemaan hankkeissa?
2. Miten sidosryhmien välistä yhteistyötä voisi parantaa tulevissa hankkeissa?