

Elina Ärväs

# TALOTEKNIIKAN UUDELLEENKÄYTTÖ JA HIILIJALANJÄLKI

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Talotekniikan koulutus

2024



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä	Elina Ärväs
Työn nimi	Talotekniikan uudelleenkäyttö ja hiilijalanjälki
Toimeksiantaja	Granlund Oy, Kuopion aluetoimisto
Vuosi	2024
Sivut	42 sivua
Työn ohjaajat	Johanna Arola, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, XAMK Valle Raatikainen, Granlund Oy, Kuopion aluetoimisto

## TIIVISTELMÄ

Suomessa rakennukset vastaavat noin kolmanneksesta ilmastomuutosta aiheuttavista vuotuisista kasvihuonekaasupäästöistä. Rakennetun ympäristön ympäristövaikutuksia syntyy rakennusten elinkaaren kaikissa eri vaiheissa. Pyrittäessä hillitsemään ilmastomuutosta on päästöjen määrän vähentäminen ulotettava koskemaan rakennuksen koko elinkaarta. Tulevaisuudessa rakentamisen kiertotalouden arvioidaan olevan keskeisessä roolissa vähennettäessä rakennuksen koko elinkaaren aikaisia päästöjä.

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi työnantajani Granlund Oy, Kuopion aluetoimisto. Suunnittelutoimistossamme oli laadittu vedenjäähdytyskoneen purku- ja uudelleenkäyttösuunnitelmat erääseen hankkeeseen. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää tämän purku- ja uudelleenkäyttöhankkeen avulla talotekniikan uudelleenkäytön käytäntöjä sekä uudelleenkäyttöön liittyviä haasteita projektin eri vaiheissa. Toinen tutkimuskysymys koski uudelleenkäytetyn taloteknisen laitteen hiilijalanjälkeä. Opinnäytetyössä laskettiin One Click LCA -ohjelmalla uudelleenkäytetyn talotekniikkalaitteen hiilijalanjälki ja verrattiin hiilijalanjälkeä uuden vastaavan laitteen aiheuttamaan hiilijalanjälkeen.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa syvennettiin kiertotalouden nykytilanteeseen rakennusalaalla, muuttuvaan lainsäädäntöön sekä talotekniikan uudelleenkäytön rajoituksiin ja mahdollisuuksiin.

Haastattelututkimuksen perusteella uudelleenkäyttöhanketta pidettiin kaikkien osapuolien mielestä onnistuneena. Vedenjäähdytyskone saatiin melko vähäisillä toimenpiteillä käyttökuntoon ja hankkeella saavutettiin toivottuja kustannussäästöjä.

Hiilijalanjälkitarkastelun perusteella uudelleenkäytetyn vedenjäähdytyskoneen hiilijalanjälki oli jonkin verran pienempi kuin uuden vastaavan laitteen hiilijalanjälki. Hiilidioksidipäästöissä saavutettava hyöty ei ollut kuitenkaan kovin merkittävä.

**Asiasanat:** talotekniikka, uudelleenkäyttö, kiertotalous, vedenjäähdytyskone, hiilijalanjälki

Degree title	Bachelor of Engineering
Author	Elina Ärväs
Thesis title	Reusing MEP materials in building services and carbon footprint of reuse
Commissioned by	Granlund Oy, Kuopio
Time	2024
Pages	42 pages
Supervisors	Johanna Arola, Xamk Valle Raatikainen, Granlund Oy, Kuopio

## ABSTRACT

In Finland, buildings are responsible for about a third of the annual greenhouse gas emissions caused by climate change. In the future, the circular economy of construction is expected to play a key role in reducing emissions throughout a building's life cycle to mitigate climate change.

The aim of this thesis was to study a demolition and reuse project of water-cooling unit with an interview survey. The goal was to find out practices of reuse of building services technology and the challenges related to reuse at different stages of the project. Another aim of the study concerned the carbon footprint of a reused technical building system. In the study, the carbon footprint of a reused building services device was calculated with the One Click LCA program and the carbon footprint was compared with that of a similar new device. The theoretical part of the thesis focused on the current situation of the circular economy in the construction sector, changing legislation and the limitations and opportunities of the reuse of building technology.

Based on the interview survey, the reuse project was considered a success by all parties. The water-cooling unit was commissioned with relatively few measures and the project achieved the desired cost savings. Based on the carbon footprint analysis, the carbon footprint of the reused water-cooling unit was somewhat smaller than that of a similar new device. However, the benefits in terms of carbon dioxide emissions were not very significant.

The thesis provided the client and stakeholders with new information on the reuse of the water-cooling unit. The thesis also brings together issues that need to be taken into account in the reuse of technical building services equipment in general.

**Keywords:** building services engineering, circular economy, water-cooling unit, carbon footprint, HVAC

## SISÄLLYS

MÄÄRITELMIÄ .....	6
1 JOHDANTO .....	7
2 VÄHÄHIILISEN RAKENTAMISEN JA TALOTEKNIIKAN UUDELLEENKÄYTÖN OHJAUS.....	8
2.1 Uusi rakentamislaki .....	8
2.2 Rakennusten elinkaariarviointi .....	9
2.3 Valtioneuvoston asetus jätteistä (987/2021).....	10
2.4 Rakennuksen purkukartoitus.....	11
2.5 Rakennustuotteen kelpoisuus .....	12
3 KIERTOTALOUS KÄYTÄNTÖÖN RAKENNUSALALLA .....	14
4 TALOTEKNISTEN JÄRJESTELMIEN JA LAITTEIDEN UUDELLEENKÄYTTÖ.....	16
4.1 Ilmanvaihtojärjestelmät.....	16
4.2 Lämmitys- ja vesijärjestelmät .....	18
4.3 Viemärijärjestelmät.....	19
5 AIEMMAT TUTKIMUKSET UUELLEENKÄYTETTÄVISTÄ RAKENNUSMATERIAALEISTA.....	19
6 TUTKIMUSMENETELMÄT .....	20
6.1 Haastattelututkimus.....	20
6.2 Uudelleenkäytettävän talotekniikkalaitteen hiilijalanjälkilaskenta .....	23
7 TULOKSET .....	25
7.1 Haastattelututkimuksen tulokset.....	25
7.2 Uudelleenkäytetyn talotekniikkalaitteen hiilijalanjälkilaskennan tulokset .....	31
8 TULOSTEN ANALYSOINTI .....	34
8.1 Haastattelututkimus.....	34
8.2 Hiilijalanjälkilaskenta .....	35

9	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	36
	LÄHTEET .....	40

## MÄÄRITELMIÄ

**Päästöt** = Yleisnimitys ihmisten ympäristöön päästämistä kemiallisista yhdisteistä, joiden vaikutukset ilmastoon, vesistöön, maaperään tai ihmisten terveyteen ovat haitallisia. [1.]

**Kasvihuonekaasu** = Kemiallinen yhdiste, joka ilmakehässä absorboi lämpöä ja palauttaa sitä takaisin maanpinnalle. CFC-yhdisteet, metaani ja hiilidioksidi ovat esimerkkejä kasvihuonekaasuista. [1.]

**Hiilijalanjälki** = Kuvaa jonkin tuotteen, palvelun tai toiminnan negatiivista ilmastovaikutusta. Yksikkönä on hiilidioksidiekvivalentti. Rakennussektorilla hiilijalanjälki kuvaa tyypillisesti rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeä, mutta termiä voidaan käyttää myös esim. yrityksen vuotuisten päästöjen ilmaisemiseen. [1.]

**Hiilidioksidiekvivalentti** = Hiilijalanjäljen yksikkö, lyhenne on CO<sub>2</sub>e. Eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävä vaikutus on muunnettu vastaamaan hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) ilmastolämpenemispotentiaalia ilmakehässä. [1.]

**GWP-arvo** = Global Warming Potential, lämmitysvaikutus. Suhdeluku, joka ilmoittaa kylmäaineen kasvihuonevaikutuksen verrattuna hiilidioksidiin [23.]

**Hiilineutraali** = Kun jonkin tuotteen, palvelun tai toiminnan tuottamat ja ilmakehästä poistamat kasvihuonekaasupäästöt ovat tasapainossa, ts. nettopäästöt ovat nolla. [1.]

**Rakennuksen elinkaari** = Rakennuksen elinkaari kattaa kaikki vaiheet raaka-aineiden ja tuotteiden hankinnasta aina rakennuksen purkuun saakka. Elinkaari jaetaan neljään vaiheeseen: tuotevaihe, rakennusvaihe, käyttövaihe ja elinkaaren loppu. [1.]

**Kiertotalous** = Talouden malli, jossa pyritään säilyttämään tuotteiden, materiaalien ja resurssien arvo mahdollisimman pitkään palauttaen ne tuotekiertoon elinkaarensa lopussa, samalla kun minimoidaan jätteen määrä. [3, s. 9.]

**Uudelleenkäyttö** = tuotteen tai sen osan käyttämistä uudelleen samaan tarkoitukseen kuin mihin se on alun perin suunniteltu. [9.]

## 1 JOHDANTO

Vaikka rakennukset kattavat vain noin 1 %:n maapallon pinta-alasta, rakentamiseen kulutetaan yli puolet maapallon raaka-aineista. Euroopan mittakavassa kokonaisenergiankulutuksesta noin 40 % ja noin 1/3 hiilidioksidipäästöistä liittyy rakennuksiin. [3, s. 18–19.]

Suomessa rakennusten käytöstä (lämmitys, sähkö ja lämmin käyttövesi) aiheutuu noin 32 % hiilidioksidipäästöistä ja itse rakentamisesta noin 6 % päästöistä. Liikenteen osuus päästöistämme on noin 19 %. [4, s. 3.]

Rakennetun ympäristön ympäristövaikutuksia syntyy rakennusten elinkaaren kaikissa eri vaiheissa. Elinkaaren alussa rakentamiseen käytetyt materiaalit, niiden hankinta ja itse rakentaminen vastaavat suurimmaksi osaksi rakennustuotteisiin liittyvistä päästöistä. Käyttövaiheen ilmastovaikutukset johtuvat erityisesti rakennusten energian kulutuksesta, mutta myös esim. vedenkäyttö sekä korjausrakentaminen aiheuttavat päästöjä. Elinkaaren lopussa ympäristön kuormitusta aiheuttavat rakennuksen purkaminen ja jätteiden käsittely. Näiden lisäksi voidaan arvioida rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jääviä hyötyjä ja haittoja. [3, s. 18–19.]

Tähän saakka rakentamisen ilmastovaikutusten hillitsemisessä on keskitytty parantamaan rakennusten energiatehokkuutta, mutta se ei yksin enää riitä Suomen tavoiteltaessa hiilineutraaliutta vuonna 2035. Jatkossa päästöjen määrän vähentäminen on ulotettava koskemaan rakennuksen koko elinkaarta. Tulevaisuudessa rakentamisen kiertotalouden arvioidaan olevan keskeisessä roolissa vähennettäessä rakennuksen elinkaaren aikaisia päästöjä.

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Granlund Oy, Kuopion aluetoimisto. Tilaajan toimesta on tehty aiemmin yhteen kohteeseen vedenjäähdytyskoneen (VJK) purkusuunnitelmat ja laadittu saman laitteen uudelleenkäyttösuunnitelma uudisrakennukseen.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää tämän toteutuneen purku- ja uudelleenkäyttöhankkeen avulla talotekniikan uudelleenkäytön mahdollisuuksia, käytäntöjä sekä uudelleenkäyttöön liittyviä haasteita projektin eri vaiheissa.

Opinnäytetyön tavoitteena on lisäksi tuottaa tietoa kohteessa uudelleenkäytetty talotekniikkalaitteen hiilijalanjäljestä.

Opinnäytetyön tutkimusmenetelminä toimivat kirjallisuustutkimus, haastattelu- tutkimus sekä uudelleenkäytettävän talotekniikkalaitteen hiilijalanjälkilaskenta. Opinnäytetyön teoriaosuudessa syvennytään kiertotalouteen rakennusallalla sekä talotekniikan uudelleenkäytön taustoihin, lainsäädäntöön ja tulevaisuuden näkyymiin.

## **2 VÄHÄHIILISEN RAKENTAMISEN JA TALOTEKNIIKAN UUELLEENKÄYTÖN OHJAUS**

Vaikka tällä hetkellä rakennetun ympäristön osuus kasvihuonekaasupäästöistä Suomessa on suuri, on rakennusalan toisaalta arvioitu olevan yksi kustannustehokkaimmista toimijoista tavoiteltaessa päästöjen merkittävää vähentämistä. [3, s. 18.]

Yhteiskunta pyrkii ohjaamaan rakentamista esimerkiksi ilmastotavoitteiden ja lainsäädännön kautta. Tulevaisuudessa rakentamisen kiertotalouden arvioidaan olevan keskeisessä roolissa vähennettäessä rakennuksen elinkaaren aikaisia päästöjä. Rakennusten tilaajat, suunnittelijat ja toteuttajat ovat avainasemassa viettäessä rakennusallaa kohti hiilineutraaliutta. Rakennusala itsessään onkin ottanut toimijan roolin tavoiteltaessa vähähiilistä rakentamista. Esimerkkinä näistä toimista on #BuildingLife-projekti, jossa kiinteistö- ja rakennusalan toimijat ovat laatineet hiilineutraalin rakennetun ympäristön toimintaohjelman. [6.]

### **2.1 Uusi rakentamislaki**

Suomen edellinen eduskunta hyväksyi 1.3.2023 uuden, kansallista rakentamista ohjaavan lain. Uuden rakentamislain (astuu voimaan 1.1.2025) pääta-voitteiksi on asetettu hiilineutraali yhteiskunta, luonnon monimuotoisuuden vahvistaminen sekä rakentamisen laadun parantaminen ja digitalisaation edistäminen. [7.]

Lain tavoitteena on edistää Suomen rakennus- ja kiinteistöalaa koskevia ilmastotavoitteita vähentämällä rakennuksien, rakentamisen ja



rakennusmateriaalien hiilijalanjälkeä. Yleensä nämä tekijät muodostavat noin puolet yksittäisen rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä. [7.]

Rakennuslain digitalisaatioon liittyy ehdotus valtakunnallisen rakennetun ympäristön rekisterin ja tietöalustan luomisesta. Tällä rekisterillä pystyttäisiin hallitsemaan paremmin esimerkiksi rakentamisen hiilijalanjälkeä ja rakennus- ja purkumateriaaleja sekä vahvistamaan kiertotaloutta rakennussektorilla. [7.]

Tällä hetkellä rakentamislakiin tehdään nykyisen hallitusohjelman mukaisia muutoksia (rakentamislain korjaussarja). Rakentamislain korjaussarjan lausuntokierroksella (9.1–5.3.2024) annettujen lausuntojen perusteella rakentamislakiin kirjattu velvoite hiilijalanjälkilaskennasta astuu voimaan vasta 1.1.2026. Lisäksi hiilijalanjälkilaskennan sisältävä rakennuksen ilmastaselvitys on toimitettava vasta rakennuksen lopputarkastuksen yhteydessä, rakennuslupavaiheen sijasta. Lausuntojen perusteella myös rakennuksen materiaaliseloste muuttuu rakennustuoteluetteloksi. Rakennustuoteluettelon avulla tullaan seuraamaan rakennuksen rakennustuotteiden määrää. Tämän pitäisi helpottaa rakennustuotteiden uudelleenkäyttöä ja edistää kiertotaloutta. [24.]

Ympäristöministeriö valmistelee rakentamislain nojalla annettavia asetuksia ja sen on tarkoitus antaa vielä vuoden 2024 aikana mm.

- asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä ja rakennustuoteluettelosta
- asetus rakennuksen purkumateriaali- ja rakennusjätteselvityksestä [7., 24.]

## **2.2 Rakennusten elinkaariarviointi**

Rakennusten ja rakentamisen ilmastovaikutusten selvitykseen käytetään EN-15978 standardin [8] mukaista elinkaariarviointia. Standardin mukaisesti rakennuksen elinkaari jaetaan useampaan eri vaiheeseen tarkan ja yksiselitteisen laskentatavan turvaamiseksi. Kuvassa 1 rakennuksen elinkaaren vaiheet on jaettu standardin mukaisiin osiin, jotka selventävät päästöjen jakautumista. Rakennuksen elinkaaren vaiheet muodostuvat tuotevaiheesta, rakentamisvaiheesta, käyttövaiheesta, elinkaaren lopun vaiheesta sekä järjestelmäosan ulkopuolelle jäävät hyödyt ja kuormat.



Kuva 1. Ympäristövaikutusten arvioinnin moduulit standardin EN 15978 mukaisesti [3, s. 72]

Elinkaariarvioinnin vaiheet A1-A3 käsittävät rakennuksen tuotevaiheen raaka-ainehankintoineen. A4 ja A5 kattavat rakentamisvaiheen ja osiot B1-B7 vastaavat rakennuksen käyttövaiheesta. Käyttövaiheeseen lukeutuvat mm. energian käyttö, osien vaihdot ja korjaukset. Elinkaaren lopun ilmastovaikutuksia arvioidaan vaiheissa C1-C4. Esim. purkaminen ja purkujätteen käsittely kuuluvat C-moduulin toimintoihin. Viimeiseksi standardin mukaisessa elinkaariarvioinnissa huomioidaan hyödyt ja kuormat järjestelmärajan ulkopuolella vaiheessa D. Uudelleenkäyttö, hyödyntäminen ja kierrätys kuuluvat moduuliin D. [3, s. 70–72.]

### 2.3 Valtioneuvoston asetus jätteistä (987/2021)

Jätelain laaja uudistus astui voimaan 19.7.2021 ja jättesäädöspakettiin sisältyvät asetukset saman vuoden joulukuun alussa. Valtioneuvoston asetuksessa jätteistä (978/2021) säädetään rakennus- ja purkujätteen määrän ja

haitallisuuden vähentämisestä sekä asetetaan rakennus- ja purkujätteen hyödyntämistä koskeva tavoite. [9.]

Jätelain 8 §:ssä säädetään yleisestä velvollisuudesta noudattaa etusijajärjestystä. Etusijajärjestys tarkoittaa sitä, että ensisijaisesti pyritään vähentämään jätteen määrää ja haitallisuutta, toissijaisesti pyritään jätteen uudelleenkäyttöön ja kierrätykseen. Ellei uudelleenkäyttö ja kierrätys onnistu, on jätettä pyrittävä hyödyntämään muulla tavoin. Ellei jätteen hyödyntäminen tälläkään tavoin onnistu, on viimeisenä keinona jätteen loppukäsittely. [9.]

Asetuksen 25 §:ssä säädetään että ”rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava hankkeen suunnittelusta ja toteuttamisesta siten, että jätelain 8 §:n mukaisesti otetaan talteen ja käytetään uudelleen käyttökelpoiset rakennusosat ja -materiaalit ja että toiminnassa syntyy mahdollisimman vähän ja mahdollisimman haitatonta rakennus- ja purkujätettä.”

Asetuksen 27 §:ssä asetetaan rakennus- ja purkujätteen hyödyntämistä koskeva tavoite. Asetuksen tavoitteena on, että rakennus- ja purkujätteesta hyödynnetään valtakunnallisesti kalenterivuositain muutoin kuin energiana tai polttoaineeksi valmistamisessa vähintään 70 painoprosenttia. [9.]

Jätelain mukaan korjaus- ja purkutöissä irrotetut (talotekniset) järjestelmät ja niiden osat ovat jätettä, ja ennen komponenttien uudelleenkäyttöä niiden jätteeksi luokittelu täytyy päättää. Jätteeksi luokittelun päättämisestä on kerrottu enemmän kappaleessa 2.5 Rakennustuotteen kelpoisuus.

## **2.4 Rakennuksen purkukartoitus**

Keskeisessä asemassa rakentamisen kiertotalouden edistämisessä on purettavien rakennusmateriaalien – ja osien hyödyntäminen. Purkuprosessin hallintaan tullaankin kiinnittämään entistä enemmän huomiota. Purkuprosessin hallintaan on kehitetty purkukartoitus, jossa kartoitetaan purettavan rakennuksen materiaalit sekä haitalliset aineet. Tällä hetkellä purkukartoitus on vapaaehtoinen toimenpide purkumateriaalien ja haitallisten aineiden kartoitukseen. Purkukartoituksella saadaan tietoa purkujätteen materiaaleista ja jätelajeista.

Samalla voidaan suunnitella jo aikaisessa vaiheessa, miten purkujätteitä voidaan jatkossa hyödyntää. [2, s. 114–115.]

Purkukartoituksessa arvioidaan purettavan kohteen materiaalit ja jaotellaan ne kolmeen ryhmään [2, s. 115.]

- haitalliset aineet
- hyödynnettävät rakennusosat ja materiaalit
- muut purkumateriaalit (=purkujäte).

Purkukartoituksen tarkoituksena on luoda hyvät edellytykset purkumateriaalien tarkoituksenmukaiselle hyödyntämiselle, ympäristö- ja terveysriskien välttämiseksi ja laadukkaalle purkuprosessille kaikissa purkuhankkeissa. Purkukartoituksen taustalla on EU:n edistämä Pre-demolition audit. [10.]

Tavoitteena on, että tulevaisuudessa purkukartoitus kytkeytyisi saumattomasti sähköisiin järjestelmiin (esim. uuden rakentamislain digitalisaatioon liittyvä rekisteri). Näiden sähköisten järjestelmien avulla rakennus- ja purkujätteiden määrää olisi tulevaisuudessa helppo seurata, ja niiden on tarkoitus toimia materiaalien hyödyntämisen ja kaupankäynnin pohjana. [7.]

## **2.5 Rakennustuotteen kelpoisuus**

Talotekniikan purkukomponenttien uudelleenkäytettävyyteen vaikuttaa suuresti se, minkä aikakauden tuote on kyseessä. Uudelleenkäytettävien talotekniikkalaitteiden tulisi vastata nykyhetken suoritustasoa ja vakiokokoja ja lisäksi laitteen teknisten tuotetietojen pitäisi olla saatavilla. Teknisiä tuotetietoja tarvitaan talotekniikkalaitteen suunnittelussa sekä mittaus- ja säätötoissa. Myös tuotteen käyttöhistorian tunteminen on tärkeää arvioitaessa komponentin jäljellä olevaa käyttöikää. [11.]

Näiden lisäksi uudelleenkäyttö edellyttää komponentilta myös mekaanista toimivuutta, huollettavuutta ja puhdistettavuutta. Huollettavuuteen kuuluu laitteen tarvitsemien varaosien, kuten tiivisteosien, helppo saatavuus. Talotekniikkalaitteiden kehityskaareen ja dokumentointiin liittyen potentiaalisimmat uudelleenkäytettävät talotekniikkakomponentit voidaan rajata 2000-luvun tuotteisiin ja sitä uudempiin. [11.]

Jätelain mukaan korjaus- ja purkutöissä irrotetut talotekniset järjestelmät ja niiden osat ovat jätettä. Jotta komponentit olisivat uudelleenkäytettävissä rakennustuotteina, täytyisi niiden jätteeksi luokittelu päättyä. Jätelain 5 b § mukaan jäteluokittelun päättäminen edellyttää:

- tuotetta on määrä käyttää erityisiin tarkoituksiin
- tuotteella on markkinat tai kysyntää
- tuote täyttää käyttötarkoituksensa mukaiset tekniset vaatimukset ja on vastaaviin tuotteisiin sovellettavien säännösten ja standardien mukainen
- tuotteen käyttö ei kokonaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.

Jätteeksi päättämisen kolmannen kohdan täyttäminen edellyttää uudelleenkäytettävän rakennustuotteen kelpoisuuden hyväksyntää. Tämän vaatimuksen asettaa myös rakennustuoteasetus. Jäteluokittelun poistamisen jälkeen purkutöissä irrotettu talotekninen komponentti ei ole enää jäte, vaan tuote. Se kilpailee samoilla markkinoilla uusien tuotteiden kanssa, ja vastaavasti sitä koskevat samat rajoitukset kuin käyttämättömiä tuotteita.

Jos rakennustuote kuuluu harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan tai valmistaja on hakenut tuotteelle ETA:n (eurooppalainen tekninen arviointi), rakennustuotteen kelpoisuus osoitetaan CE-merkinnällä. Muussa tapauksessa rakennustuotteen kelpoisuuden osoittamiseksi sovelletaan lakia eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä (954/2012). Laissa on esitetty kolme vapaaehtoista menettelytapaa:

- tyyppihyväksyntä
- varmennustodistus
- valmistuksen laadunvalvonnan varmentaminen.

Tyyppihyväksyntää ja varmennustodistusta on oikeutettu hakemaan tuotteen valmistaja. Valmistuksen laadunvalvonnan varmentamista käytetään, mikäli rakennustuotteen kelpoisuutta ei voida osoittaa tyyppihyväksynnällä tai varmennustodistuksella. [12; 13.]

Näiden menettelytapojen lisäksi rakennustuote voidaan hyväksyttää rakennuspaikkakohtaisella kelpoisuuden osoittamisella. Rakennuspaikkakohtainen kelpoisuuden osoittaminen on rakennushankkeeseen ryhtyvän vastuulla. Rakennuspaikkakohtainen varmentaminen tarjoaa

rakennusvalvontaviranomaisille mahdollisuuden varmistaa, että rakennustuote on turvallinen ja soveltuu käytettäväksi kyseisessä rakennuksessa. [13.]

Jätteeksi luokittelu on tällä hetkellä tulkinnan varainen asia, mutta mikäli tuote on alun perin päätetty uudelleenkäyttää samassa kohteessa tai muualla uudestaan, niin tällöin se ei täyttäisi jätteen määritelmää. Tämänhetkinen lainsäädäntö jätelain osalta aiheuttaa kuitenkin tulkintakysymyksiä uudelleenkäytön näkökulmasta. [26.]

Kelpoisuuden osoittaminen on tällä hetkellä yksi merkittävimmistä uudelleenkäytön kysymyksistä ja tulkinta asiasta vaihtelee. Jos rakennustuote on ehditty määritellä jätelain mukaisesti jätteeksi, on tuotteen kelpoisuuden osoittamisen raskaus yksi uudelleenkäytön esteistä. [27.]

Tulevaisuudessa kiertotalous pitäisi pystyä huomioimaan paremmin uudelleenkäytettävien laitteiden hyväksymismenettelyssä. Nykyinen rakennustuoteasetus on vuodelta 2012. Suomi käynnisti EU:n puheenjohtajakaudellaan vuonna 2019 prosessin rakennustuoteasetuksen uudistamiseksi, jotta se tukisi tulevaisuudessa paremmin mm. kiertotaloutta. [2.]

### **3 KIERTOTALOUS KÄYTÄNTÖÖN RAKENNUSALALLA**

Yksi keskeinen edellytys kiertotalouden tavoitteiden saavuttamiseen kiinteistö- ja rakennusallalla on se, että käytetyn rakennusmateriaalin kysyntä ja tarjonta kohtaavat. Tähän ongelmaan haetaan ratkaisua esimerkiksi uuden rakentamislain digitalisaatioon liittyvällä ehdotuksella valtakunnallisen rakennetun ympäristön rekisterin ja tietöalustan luomisesta. Purkamisesta syntyvien materiaalien hyödyntämisen suunnittelu tulee aloittaa jo purkuhankkeen hankesuunnitteluvaiheessa. Tavoitteena on, että purkumateriaali raportoitaisiin digitaaliseen alustaan hyvissä ajoin ennen purkamista. Purkukartoituksesta saatava tieto tulevista purettavista rakennusmateriaaleista olisi näin ollen rakennushankkeisiin ryhtyvillä helposti saatavilla jo hyvissä ajoin. [2, s. 110–111.]

Olipa purettavia materiaaleja tarkoitus joko kierrättää tai käyttää uudelleen, on purkutöiden toteutus tehtävä lajittelevana purkuna. Purkukartoituksessa tunnistettujen uudelleenkäytettävien rakennusosien purkaminen ehjänä, niiden

asianmukainen pakkaaminen ja varastointi mahdollistaa rakennusosien uudelleenkäytön. Haitallisia aineita sisältävien materiaalien purkaminen on tehtävä ennen muiden rakenteiden purkamisen aloitusta, etteivät haitalliset aineet sekoitu hyödynnettäviin purkumateriaaleihin. [14.]

Toinen rakennushankkeiden kiertotalouden reunaehto on purkumateriaalin kelpoisuus, jota on käsitelty kappaleessa 2.5 Rakennustuotteen kelpoisuus. Purkumateriaalien kelpoisuuteen liittyy myös rakennusosien käyttö- ja huoltodokumentaation saatavuus. Ilman tietoa purettavien tuotteiden käyttö- ja huoltoasiakirjoista, laitteiden ja rakennusosien uudelleenkäytön suunnittelu on hankalaa. Myös tulevaisuudessa toteutettavien kiertotalouden toimien kannalta nyt asennettavien laitteiden käyttö- ja huoltodokumenttien käyttökelpoisuus ja käytettävyys on tärkeää. [2.]

Jotta kiertotalous synnyttäisi kannattavaa liiketoimintaa, on purkumateriaalien hyödyntämiseen liittyvien liiketoimintaedellytysten oltava vakaalla pohjalla ja ennakoitavissa pitkälle tulevaisuuteen. Liiketoimintaedellytyksiin vaikuttavat esimerkiksi seuraavat asiat: saatavilla olevan purkumateriaalin määrä ja laatu, uuden vastaavan materiaalin hinta, kuljetusmatkat, jalostamiskustannukset, henkilöstön osaaminen, kierrätysliiketoimintaan liittyvät verohelpotukset sekä jätteenkäsittelystä aiheutuvat maksut. [2.]

Jotta kiertotalouteen liittyviä kannattavia liiketoimintamalleja, palveluita ja tarjontaa syntyisi, tarvitaan kiertotalouteen liittyvää kysyntää. Kysyntää voidaan ohjata hankintojen ohjaamisella kiertotaloutta tukevaan suuntaan. Voimassa oleva laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista (1397/2016) mahdollistaa erilaisten kiertotaloutta tukevien laatutavoitteiden käyttämisen hankinnoissa. [2; 17.]

Kiertotalouteen liittyviä rakentamisen hankintoja voi olla lukuisia, riippuen onko hankinnan kohde uudisrakennus, korjauskohde vai purkutyö. Sopivien hankintakriteerien asettaminen kullekin hankinnalle erikseen edesauttaa kiertotalouden tavoitteiden saavuttamista. Hankintaprosessi koostuu useasta peräkkäisestä vaiheesta, joihin voidaan sisällyttää eri tasoisia kiertotalouteen liittyviä hankintoja. Mitä aikaisemmassa ja useammassa hankintaprosessin vaiheessa

kiertotalouden tavoitteet tuodaan mukaan, sitä varmemmin tavoitteet myös toteutuvat. [2, s. 51–53.]

Vuoden 2023 alussa alkoi Euroopan aluekehitysrahaston Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027-ohjelman osittain rahoittama Digipurku-hanke. Hanke pyrkii kehittämään ja ottamaan käyttöön rakennusten tehokasta purkamista ja kiertäystä edistäviä digitaalisia ratkaisuja mm. tiedon organisoimisella purkukohteista sekä niiden materiaaleista ja osista. Digipurku-hanke päättyy kesällä 2025. [29.]

## **4 TALOTEKNISTEN JÄRJESTELMIEN JA LAITTEIDEN UUELLEENKÄYTTÖ**

Talotekniset järjestelmät koostuvat useista eri materiaaleista, joista yleisimpiä ovat kupari, teräs ja muovi. Taloteknisten järjestelmien uudelleenkäytettävyyttä rajoittavat niille asetetut vaatimukset, ikäkäyttäytyminen ja järjestelmien käyttöiät, jotka vaihtelevat järjestelmästä ja komponentista riippuen 15–50 vuoden välillä. Käyttöiän päätyttyä talotekniikkaa ei voida käyttää uudelleen, vaan materiaali joudutaan kierrättämään. [11, 16.]

Uudelleenkäytetyn talotekniikan tulee olla standardien ja säädösten mukaisia. Talotekniikan tulee täyttää käyttötarkoituksen mukaiset vaatimukset, eikä se saa aiheuttaa vaaraa tai haittaa terveydelle. [11, 19.]

### **4.1 Ilmanvaihtojärjestelmät**

Ilmanvaihtojärjestelmässä kanaviston käyttöikä on pitkä ja uusimistarve tulee yleensä vastaan ainoastaan tehtäessä muutoksia ilmanvaihtoon. Käytännössä ilmanvaihtojärjestelmän kuluvia osia ovat ainoastaan puhaltimet ja suodattimet, mutta muuten oikein asennettuun ja eristettyyn järjestelmään ei juuri kohdistu kuluttavaa rasitusta. [11.]

Teoriassa pyöreiden kierresaumakanavien uudelleenkäytettävyys on hyvä, mutta käytännössä kanavien uudelleenkäyttöä rajoittavia tekijöitä ovat kanavan pituus ja reikäisyys. Tehdaspituisena uudet kierresaumakanavat ovat joko 3- tai 6-metrisiä. Kanavan reikäisyydellä tarkoitetaan muun muassa kaulusten, luukkujen, mittayhteiden, niittien ja ruuvien reikiä. Lähtökohtaisesti kaikkien



kokopitkien kanavien, joiden reikäisyys kattaa vain liitoksista johtuvat niittien tai ruuvien reiät, voidaan arvioida olevan potentiaalisesti uudelleenkäytettävissä. [11.]

Kanavien hankintakustannuksia ajatellen suurin uudelleenkäyttöpotentiaali olisi kokoojakanavilla eli ns. runkokanavilla, jotka ovat pääsääntöisesti rakennuksen suurimpia sekä vahvimpia kanavia ja näin ollen hankintakustannuksiltaan arvokkaimpia. Näiden kanavien kaikkien reikien tulisi kuitenkin olla uudelleen käyttöä varten paikattavissa, eikä kanavissa saisi olla painaumia tai muita merkittäviä vaurioita. [11.]

Ilmanvaihdon osalta uudelleenkäytön näkökulmasta potentiaalisimpia ilmanvaihdon tuoteryhmiä ovat tulo- ja poistoilmalaitteet. Venttiilit ovat yleensä esillä ja helposti irrotettaessa, mitkä seikat helpottavat laitteiden kuntoarvion tekemistä ja purettavuutta. Lisäksi uudelleenkäyttöä helpottava asia tulo- ja poistoilmalaitteissa on se, että ne tulevat purkujärjestyksessä vastaan ensimmäisenä. Uudelleenkäyttöä ajatellen tulo- ja poistoilmalaitteiden värisävy voi kuitenkin olla rajoittava tekijä. Venttiilit ovat usein värillisiä ja ajan myötä käytetyn laitteen värisävy voi muuttua, eikä se välttämättä enää vastaa toivottua väriä. [11.]

Tulo- ja poistoilmaventtiilien tasauslaatikoiden ja äänenvaimentimien uudelleenkäytön mahdollisuudet ovat huonompia kuin venttiilien. Varsinkin ennen 2000-lukua käytetyissä tasauslaatikoissa ja äänenvaimentimissa on käytetty mineraalivillamateriaaleja, jotka voivat aiheuttaa sisäilmaongelmia. Mineraalivillamateriaaleja sisältävien laitteiden äänenvaimenninmateriaali pitäisi pystyä vaihtamaan ennen uudelleenkäyttöä, mutta ellei äänenvaimennin ole avattavaa mallia, materiaalin vaihtaminen ei onnistu. Avattavien äänenvaimentimien uudelleenkäyttö vaimennusosien ja tiivisteiden vaihdon jälkeen on kuitenkin teknisesti mahdollista. [11.]

Yleisesti ottaen, mitä koskemattomampi ilmanvaihdon komponentti on, sitä vähemmän sen uudelleenkäyttö edellyttää toimenpiteitä. Tärkeimpänä teknisenä vaatimuksena ilmanvaihdon kaikille komponenteille ovat tiiveysvaatimukset, joiden tulee täytyä myös uudelleen käytettäviltä komponenteilta. [11.]

## 4.2 Lämmitys- ja vesijärjestelmät

Järjestelmien tekninen käyttöikä rajoittaa lämmitys- ja vesijärjestelmien uudelleenkäyttöä. Heikosta veden laadusta ja olosuhteista aiheutuva putkiston elinkaaren aikana tapahtuva kuluminen ja syöpyminen lyhentävät käyttöikää. Putkistojen tekniseen käyttöikään vaikuttavat myös putkiston materiaalit sekä niihin kohdistuva käytönaikainen rasitus. Näistä syistä järjestelmien todelliset käyttöiät vaihtelevat paljon. Vesikiertoisten järjestelmien käyttöiän päättyessä vesivahingon riski kasvaa. Vesiputkien kuntoa on myös vaikea todeta, mikä entisestään lisää vesivahingon riskiä. Käyttöiän päättyessä järjestelmiä ei voida uudelleenkäyttää, vaan materiaalit joudutaan kierrättämään. [14.]

Putkimateriaaleista kupariputkien käyttöikä on 30–50 vuotta. Putkien käyttöikään vaikuttavat asennustapa, käyttöympäristö ja olosuhteet. Kupariputkeen voi muodostua pistekorroosiota lyhyessäkin ajassa. Pistekorroosio aiheuttaa putkeen vuotokohtia, joiden havaitseminen voi olla hankalaa. Kupariputkien suora uudelleenkäyttö onkin haasteellista, mutta materiaalina kuparin kierrätettävyyden on erinomaista. [14.]

Muoviputkien kestävyys vaikuttavat vedenlämpötilan aiheuttamat lämpölaajeneminen sekä putkiston paineiskut. Lämpimän veden lämpötilan ylimitoittaminen aiheuttaa ylimääräistä rasitusta putkistolle ja liitoksille ja lyhentää näin muovimateriaalin käyttöikää. Muoviputkien käyttöikä on asennustavasta, käyttöympäristöstä ja olosuhteista riippuen 30–50 vuotta. 1980- ja 1990-luvuilla valmistetuissa muoviputkissa on havaittu materiaalin haurastumista tai kovettumista. Nykypäivänä muovimateriaalit ja niiden valmistus ovat kuitenkin kehittyneet ja muovi- ja komposiittiputkille luvataankin 50 vuoden käyttöikä. [14.]

Komposiittiputken muovinen sisäpinta tekee siitä korroosionkestävän ja hygieenisen. Uudelleenkäyttöä ajatellen muovi- ja komposiittiputkien raaka-aineet eivät sovellu hygieni- ja laatusyistä enää juomavesiputkien valmistukseen. Niiden raaka-aineista voidaan kuitenkin valmistaa uusiomuovituotteita, kuten muoviviemäreitä ja suojaputkia. [14.]

Vesijärjestelmistä kalusteet ovat helpoimpia uudelleenkäytettäviä järjestelmän osia. Kalusteiden kunnon toteaminen on helppoa ja laitteen rikkoutuessa sen vaihtaminen uuteen on helppoa ja vaivatonta. Käyttövesijärjestelmän osalta uudelleenkäytettäviä kalusteita ovat esimerkiksi hanat, suihkut, altaat ja WC-istuimet. Lämmitysjärjestelmissä potentiaalisimpia uudelleenkäytettäviä kalusteita ovat lämmityspatterit. Kalusteiden uudelleenkäyttöä suunniteltaessa on kuitenkin otettava huomioon vanhan laitteen veden- ja energiankulutus. [14.]

### **4.3 Viemärijärjestelmät**

Muoviviemäreiden käyttöikä muovin materiaalista ja olosuhteista riippuen on 40–50 vuotta. Viemäreiden käyttöikään vaikuttavia asioita ovat esimerkiksi kemialliset aineet jätevedessä, UV-säteily, lämpötilan vaihtelut ja viemäreiden käyttöaste. 1960- ja 1970- muoviviemäreiden valmistuksessa käytettiin muovinpehmentimiä, jotka aiheuttivat ajan kuluessa viemäreiden haurastumista. Nykyään muoviviemäreiden valmistus on parantunut ja niiden käyttöiksi luetaan 50 vuotta. [14.]

Pitkästä käyttöiästä huolimatta viemäreiden uudelleenkäytölle ei ole juurikaan potentiaalia. Viemäreiden osuus taloteknisten järjestelmien hiilijalanjäljestä suhteutettuna muuhun talotekniikkaan on melko pieni. Viemäreiden käyttöikää ajatellen rakentamisvaiheessa on järkevintä käyttää uusia viemäreitä. Viemäreiden vaihdettavuus on usein hankalaa, purkaminen voi olla terveysriski ja viemäreiden käyttöikä halutaan maksimoida. Viemäriin käyttöikää voidaan kuitenkin pidentää merkittävästi viemäriin pinnoituksella eli sukituksella. Viemäriin sukitus soveltuu kaikille viemärimateriaaleille, mikäli putki ei ole vahingoittunut. [14.]

## **5 AIEMMAT TUTKIMUKSET UDELLEENKÄYTETTÄVISTÄ RAKENNUSMATERIAALEISTA**

Diplomityössään ”Kierrätys arkkitehtuurissa. Betonielementtien ja muiden rakennusosien uudelleenkäyttö uudisrakentamisessa & lähiöiden energiatehokkaassa korjaus- ja täydennysrakentamisessa” Huuhka esittelee yleisimpiä rakentamisessa käytettyjä materiaaleja sekä niiden uudelleenkäyttöä. Esimerkiksi vanhat tiilet voi puhdistaa ja niistä on mahdollista rakentaa esimerkiksi

väliseiniä. Myös julkisivurakentamisessa ne ovat arvokasta korjausmateriaalia rakennushistoriallisesti tärkeissä kohteissa. [30.]

Teräksen uudelleenkäyttöä helpottaa, jos palkkien ja pilarien liitokset on tehty pulttiliitoksilla. Tällaisia teräsrakenteisia tehdas- ja varastohalleja on mahdollista siirtää paikasta toiseen ja palkkeja ja pilareita on myös mahdollista lyhentää tai koota ne uudelleen hitsaamalla. [30, s. 47–48.]

Myös eristeet sopisivat uudelleenkäytettäväksi, mikäli ne ovat hyväkuntoisia ja kuivia. Uusiokäyttöön sopivat niin perinteiset kuin modernitkin eristeet. Käytetyissä eristeissä on kuitenkin home- ja mikrobiriski, jonka vuoksi niiden uudelleenkäyttö on harvinaista. [30, s. 49–51.]

Lasimateriaalista julkisivulasit, profiililasit ja lasitiilet voidaan käyttää uudelleen, jos ne vain saadaan purettua ehjänä. Julkisivu- ja profiililasien kiinnitysjärjestelmät sekä lasitiilien silikonikiinnitys mahdollistavat yleensä helpon irrotuksen, jos lasimateriaalia halutaan uudelleenkäyttää. [30, s. 51–53.]

## **6 TUTKIMUSMENETELMÄT**

Opinnäytetyön tutkimusmenetelminä toimivat kirjallisuustutkimus, haastattelututkimus sekä uudelleenkäytettävän talotekniikkalaitteen hiilijalanjälkilaskenta.

Opinnäytetyön tilaajan organisaatio on aiemmin laatinut taloteknisen laitteen (vedenjäähdytyskone) purku- ja uudelleenkäyttösuunnitelmat. Haastattelututkimuksen kohteena olivat näiden purku- ja uudelleenkäyttökohteiden parissa toimineet henkilöt. Haastattelututkimukset kohdennettiin talteen otetun talotekniikkalaitteen

- rakennuskohteiden tilaajille
- purku- ja uudelleenkäyttösuunnitelmien tekijöille
- siirtämisestä ja varastoinnista vastanneille tahoille
- urakoitsijoille uudelleenkäyttökohteessa

### **6.1 Haastattelututkimus**

Haastattelututkimus on yleinen ja joustava tapa tuottaa tutkimusaineistoa. Tutkimushaastattelun tavoite on tuottaa tietoa ja aineistoa tutkimuskysymyksiin

vastaamiseksi. Haastattelumenetelmiä on useita ja ne eroavat esimerkiksi siinä, kuinka haastattelu on jäsennelty ja missä määrin haastattelukysymykset on valmisteltu etukäteen. [20]

### **Strukturoitu eli lomakehaastattelu**

Strukturoitu haastattelu etenee aina etukäteen suunnitellun lomakkeen mukaisesti. Lomakehaastattelun strukturointiaste on korkea, eli haastattelu on rakennettu tarkan kaavan mukaisesti etukäteen. Kysymykset ovat kaikille haastateltaville samat. Strukturoitu haastattelu toimii hyvin tapauksissa, joissa tietoa pyritään keräämään suurelta määrältä haastateltavia ja samalla halutaan minimoida haastattelijan oma osuus tiedonkeruuprosessissa. Tässä haastattelutavassa haastattelija myös pysyy parhaiten objektiivisena, eikä vaikuta haastateltavien vastauksiin. [20; 21, s. 28.]

### **Puolistrukturoitu eli teemahaastattelu**

Puolistrukturoidussa haastattelussa kysymykset laaditaan ennakoon. Haastattelija valitsee tutkimusaiheeseen oman näkökulmansa, päättää mitkä ovat tutkimuksen kannalta keskeiset teemat. Puolistrukturoidussa haastattelussa kysytään kysymyksiä näistä ennalta määrätyistä teemoista.

Haastattelija voi kuitenkin haastattelutilanteessa vaihdella kysymysten paikkaa ja muokata kysymysten muotoa haastateltavien välillä. Puolistrukturoidussa haastattelussa vastaustapa on vapaampi kuin strukturoidussa haastattelussa. Puolistrukturoidulle haastattelulle ei ole vakiintunut yhtenäistä määritelmää. Termiä käytetäänkin yleisesti ottaen haastatteluista, jotka sijoittuvat strukturoidun ja avoimen haastattelun välimaastoon. Teemahaastattelun katsotaan kuitenkin olevan lähempänä avointa kuin strukturoitua haastattelua. [20; 22 s. 47–48.]

### **Strukturoimaton eli avoin haastattelu**

Strukturoimattomalle haastattelulle on ominaista keskustelunomaisuus ja siinä aiheen määrittely on väljempää muihin haastattelumenetelmiin verrattuna. Avoimessa haastattelussa tavoitteena on kerätä syvällistä tietoa suhteellisen pieneltä määrältä haastateltavia. Haastattelijan tehtävä on ohjata keskustelua saatujen vastausten pohjalta. Strukturoimattomassa haastattelussa

haastateltavan ja hänen näkemystensä merkitys korostuu. Avoin haastattelu soveltuu hyvin syvällisen asiantuntijatiedon keräämiseen. [20; 22, s. 45–46.]

### **Opinnäytetyön haastattelut**

Tutustuttuani haastattelututkimukseen tiedonkeruunmenetelmänä, valitsin opinnäytetyöhöni parhaiten soveltuvan haastattelumenetelmän. Opinnäytetyössäni haastattelin suhteellisen rajattua joukkoa asiantuntijoita. Tavoitteena oli valita haastattelumetodi, joka antaisi haastateltavalle parhaan mahdollisen tavan tuoda näkemystään esille. Tässä opinnäytetyössä haastattelututkimuksen menetelmäksi valittiin avoin, strukturoimaton haastattelu.

Vedenjäähdytyskoneen purku- ja uudelleenkäyttökohteiden tutkimushaastatteluja tehtiin yhteensä kymmenelle henkilölle. Haastatteluista kaksi tehtiin kasvotusten, neljä puhelinhaastatteluna, kolme sähköpostihaastatteluna ja yksi Teamsin välityksellä. Haastattelussa puheenvuoro oli mahdollisimman paljon haastateltavilla, mutta tarkentavilla kysymyksillä ohjattiin haastattelun kulkua. Kasvokkain, puhelimen ja Teamsin välityksellä tehtyjen haastattelujen aikana kirjattiin muistiinpanoja tietokoneelle. Nauhoitusta ei käytetty haastattelujen aikana.

Sekä purkuhankkeessa että uudelleenkäyttökohteessa oli sama tilaajataho; Senaatti-kiinteistöt. Senaatti-kiinteistöt vastasi myös uudelleenkäytetyn laitteen siirtämisestä ja varastoinnista. Senaatti-kiinteistöltä haastateltiin hankkeen LVIA-asiantuntijaa. Lisäksi haastateltiin toista henkilöä, jolta saatiin taustatietoa Senaatti-kiinteistöjen muista uudelleenkäyttöhankkeesta.

Purku- ja uudelleenkäyttösuunnitelmien laatijoista haastateltiin 4 henkilöä Granlund Oy:n Kuopion aluetoimistosta. Haastateltavat olivat LVI-, sähkö- ja rakennusautomaatiosuunnittelija sekä LVIA-osastopäällikkö. Näiden talotekniikkasuunnitteluun osallistuneiden henkilöiden haastattelujen tarkoituksena oli hankkia tietoa siitä, kuinka taloteknisen laitteen uudelleenkäyttöön tähtäävä suunnitteluprosessi alkoi, eteni ja mitä haasteita suunnitteluun uudelleenkäytettävä talotekniikkalaitte mahdollisesti toi eteen.

Uudelleenkäyttökohteen rakennustyöt toteutettiin projektinjohtourakkana (PJU). Urakoista vastaavien haastattelut kohdennettiin

projektinjohtourakoitsijan projekti-insinöörille sekä putkiurakoitsijan (PU) projektipäällikölle. Näiden haastattelujen kautta hankittiin tietoa siitä, kuinka uudelleenikäytetyn vedenjäähdytyskoneen asennus- ja käyttöönotto sujui työmaalla.

Lisäksi uudelleenkäyttötyömaalla tehdyistä laitteen kunnostustoimenpiteistä on haastateltu laitteen valmistajaa.

## **6.2 Uudelleenkäytettävän talotekniikkalaitteen hiilijalanjälkilaskenta**

Talotekniikan osuus rakennuksen elinkaaren aikana syntyvistä päästöistä vaihtelee suuresti rakennuksen käyttötarkoituksen ja valittujen talotekniikkaratkaisujen mukaan. Myös rakennusten arkkitehtuuri ja talotekninen varustustaso vaikuttavat suuresti talotekniikan osuuteen rakennuksen hiilijalanjäljestä.

Vuonna 2021 julkaistussa diplomityössä Taloteknisten järjestelmien ilmastovaikutukset, Näsänen sai hiilijalanjälkilaskelmissaan toimistorakennuksen talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen osuudeksi toimistorakennuksessa 13 %. Useissa tutkimuksissa talotekniikan materiaalien osuudeksi koko rakennuksen hiilijalanjäljestä on saatu n. 10–15 %. [3, s. 24., 28.]

Uudelleenikäytetyn talotekniikkalaitteen hiilijalanjälkilaskelmat tehtiin One Click LCA-laskentaohjelmistolla. Laskentaohjelmisto on ympäristö- ja elinkaariarvioinnin palvelu, jonka rakennuksen elinkaari päästölaskenta ja materiaalitietokanta sisältää kattavasti valmistajakohtaisia- ja keskimääräisiä paikallisia päästötietoja. One Click LCA on selainpohjainen ympäristö- ja elinkaariarvioinnin pilvipalvelu, joka tukee EN- ja ISO-standardeja (mm. EN-15978 ja ISO-21930) sekä kansainvälisiä ympäristösertifikaatteja. [5.]

Laskentaohjelmiston materiaalitietokannan päästötiedot perustuvat standardin EN-15804 mukaisiin ympäristöselosteisiin. Ohjelmiston materiaalitietokanta perustuu 50 eri vertailukelpoiseen tietokantaan, josta päivittyy automaattisesti ajantasainen kolmannen osapuolen hyväksytysti tarkastama materiaalien ympäristöselosteluettelo. [5.]

Ympäristöministeriö julkaisi ensimmäisen rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän syksyllä 2019. Siinä hiilijalanjälkilaskenta ottaa huomioon

rakennuksen koko elinkaaren aikaiset välilliset ja välittömät päästöt. Menetelmä kattaa rakennustuotteiden valmistuksen, kuljetuksen sekä työmaatoimintojen aiheuttamat päästöt. Se kattaa myös rakennuksen käytön ja korjauksien sekä elinkaaren lopulla tapahtuvan purkamisen ja kierrätyksen aiheuttamat päästöt. Laskennan tuloksena saadaan vertailukelpoinen hiilijalanjälki tai hiilikädenjälki lämmitettyä nettoalaa ja käyttövuotta kohden. Hiilijalanjälki ilmaistaan hiilidioksidiekvivalentteina, jossa eri kasvihuonekaasujen erilaiset ilmastoa lämmittävät vaikutukset on otettu huomioon. Hiilijalanjäljen laskennassa kaikki kasvihuonekaasut yhteismitallistetaan kertoimien avulla hiilidioksidiekvivalenttipainoksi kg CO<sub>2</sub>e. Rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla ja arviointijakson pituudella jaettuna lopputulos on kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. [16]

Tässä työssä käytettiin rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmää 2021. Arviointimenetelmä perustuu ympäristöministeriön vähähiilisyyden arviointimenetelmään 2019, mutta siihen on tehty muutoksia ja tarkennuksia tuon jälkeen. Arviointimenetelmän lopullista ohjetta ei ole kuitenkaan vielä julkaistu.

Alussa laskentaohjelmaan annettiin projektille perustiedot ja valittiin arviointimenetelmä. Rakennus on rakennustyyppiltään toimistorakennus, vaikka tiloissa on myös laboratoriotiloja. Arviointijakson pituutena laskennassa käytettiin 50 vuotta. Laskenta rajattiin koskemaan pelkästään talotekniikan osuutta rakennuksen hiilijalanjäljestä, ts. muita rakennusosatietoja rakennuksesta ei laskentaohjelmaan syötetty. Laskennassa otettiin huomioon tuotevaihe (A1–A3) rakentamisvaihe (A4–A5) sekä rakennusosien vaihto (B4) ja energiankäyttö (B6) ja elinkaaren loppuvaihe (C1–C4).

Seuraavassa vaiheessa laskentaohjelmaan syötettiin materiaalitiedot projektista saatavista taloteknisistä laitemääristä. Opinnäytetyössä määrätiedot saatiin MagiCad-ohjelman talotekniikkasuunnitelmista Bills of Materials-toiminnolla. Laskentaohjelmaan syötettiin määrätiedot kiloina ja valittiin tietokannasta sopiva materiaali. MagiCad-ohjelman määrätiedot muutettiin valmiiden Excel-taulukoiden avulla kiloiksi.

Tietoihin syötettiin ainoastaan hankesuunnitelmaan kirjattu VJK:n jäähdytyksen kulutusarvio 7 kWh/brm<sup>2</sup>. Vedenjäähdytyskoneen jäähdytyksen tarvitsema energiankulutus laskettiin laitteen COP-arvon mukaisesti.



Uudelleenkäytettävän vedenjäähdytyskoneen COP arvo oli 3,78 ja kokonaan uuden laitteen COP arvo oli 4,17. Laitteen COP-arvo kertoo kuinka paljon jäähdytyskone tuottaa jäähdytysenergiaa siihen syötetyllä sähköenergialla, mitä suurempi arvo on, sitä parempi hyötysuhde laitteella on.

## 7 TULOKSET

### 7.1 Haastattelututkimuksen tulokset

Tutkimushaastatteluissa kävi ilmi, että jo uudisrakennuksen hankesuunnittelu- vaiheessa alkuvuodesta 2021 LVIA-järjestelmäkuvauksessa oli linjattu LVIA-järjestelmien tavoitteiksi kestävä kehityksen ja elinkaariajattelun osalta seuraavaa *”Kestävän kehityksen huomioiminen rakennushankkeissa kohdistuu pääosin ekologiseen kestävyyteen, jolloin tärkeimpiä osa-alueita ovat terveellisyys, pitkäaikaiskestävyys, energiankäyttö ja materiaalitehokkuus.”* [25.]

Hankesuunnitteluvaiheen LVIA-järjestelmäkuvauksessa linjattiin kiinteistön pääasiallinen jäähdytysenergia tuotettavaksi maaviileällä. Tarvittavilta osin tehokkaampi kuivaus ja jäähdytystarve hoidettaisiin vedenjäähdytyskoneilla.

LVIA-järjestelmäkuvauksessa oli maininta, että tilaajalla oli tulevan uudisrakennuksen viereisessä kiinteistössä alle 10 vuotta vanha kylmävesiasema (teho n. 40 kW). LVIA-järjestelmäkuvauksessa linjattiin, että jatkosuunnittelussa tuli tutkia tämän tai mahdollisen toisen tilaajan kohteen ylimääräisen jäähdytyskoneen mahdollista hyödyntämistä jäähdytyksen tuottamisessa, jos jotkin prosessit vaativat kylmempää tai kuivempaa ilmaa. LVIA-järjestelmäkuvauksessa oli myös mainittu että *”Käyttökuntoisen nykyisen jäähdytyskoneen hyödyntäminen on myös ekologinen teko.”* [25.]

Haastattelujen perusteella kävi siis ilmi, että uudishankkeessa oli aivan alusta saakka ollut tarkoituksena uudelleenkäyttää toisesta kohteesta tarpeettomaksi jäänyt vedenjäähdytyskone perustasoa suuremman jäähdytystarpeen kattamiseen. Hankesuunnitteluvaiheessa uudelleenkäytettäviä koneikkovaihtoehtoja oli ollut kaksi. Koneikkovaihtoehdot erosivat teholtaan suuresti toisistaan; hankesuunnitelmassa mainittu viereisessä kiinteistössä ollut koneikko oli teholtaan 40 kW ja tilaajan mahdollisen toisen kohteen vedenjäähdytyskone oli teholtaan 346 kW. Hankesuunnitteluvaiheen LVIA-järjestelmäkuvauksessa ei

vielä otettu kantaa siihen, minkä tehoinen vedenjäähdytyskone uudisrakennukseen tarvitaan. Jäähdytyksen kulutusarviona hankesuunnitteluvaiheen LVIA-järjestelmäkuvauksessa oli mainittu 7 kWh/brm<sup>2</sup>, joka vastaa tavanomaista toimistorakennuksen jäähdytysenergian kulutusta.

LVIA-suunnittelun edetessä uudisrakennuksen jäähdytystehon tarve tarkentui, ja tehokkaampi vedenjäähdytyskone katsottiin sopivaksi uudiskohteeseen. Tässä vaiheessa tilaaja oli purkanut toisesta kohteesta laitteen ja varastoinut sen uudelleenkäyttöä varten. Tämän vedenjäähdytyskoneen alkuperäiset suunnitelmat sekä purkusuunnitelmat oli laadittu Granlund Kuopio Oy:ssa (nykyinen Granlund Oy, Kuopion aluetoimisto).

Uudelleenkäytettävä vedenjäähdytyskone oli vuodelta 2012. VJK oli ollut aiemmin toimistokäytössä ja laitteen käyttöikää arvioitiin olevan vielä yli puolet jäljellä. Uutena vastaavan koneen hinnaksi arvioitiin 160 000 € (Hinta-arvio LVI-osastonjohtajalta). Laite oli siis sopiva teholtaan, sen käyttöhistoria tunnettiin ja tilaajalla oli tahtotila uudelleenkäyttää varastoitu vedenjäähdytyskone.

Vedenjäähdytyskone purettiin aiemmasta kohteesta CHC-laitteiston tieltä. Tilaaja kertoi, että laitteen pois haalaaminen tapahtui ruokasalin ikkuna-aukon kautta. Ikkuna täytyi irrottaa paikaltaan laitteen siirron ajaksi. Myös jonkin verran iv-kanavistoja ja lämpöputkistoja jouduttiin purkamaan. Vedenjäähdytyskoneen kylmäaineet jätettiin laitteeseen siirron ajaksi.

Vedenjäähdytyskoneen lisäksi aiemmasta kohteesta otettiin talteen myös kattolla sijainnut nestejäähdytin. Tämän laitteen vanhat glykolinesteet imettiin pois ennen siirtoa ja nesteet vietiin ongelmajätekeräykseen. Nestejäähdytintä ei alipaineistettu, mutta laite täytettiin typpikaasulla ja putket tulpattiin kaasutiiviisti ennen siirtoa. Tällä toimenpiteellä laitteen alumiiniosat eivät päässeet happettumaan tai korroosio turmelemaan laitetta varastoinnin aikana.

Vedenjäähdytyskone ja nestejäähdytin siirrettiin tilaajan hallinnoimaan varastointipaikkaan muutaman kilometrin päähän purkupaikalta, joten kuljetuskustannukset tässä vaiheessa eivät olleet merkittävät. Isoin kustannuserä syntyi laitteiden haalaamisesta.

Talotekniikkasuunnittelijoiden haastatteluissa ilmeni, että koska vedenjäähdytyskone oli alun perin suunniteltu Granlund Kuopio Oy:ssä, löytyivät koneen alkuperäiset LVIA-suunnitelmat helposti. Uudisrakennuksen LVIAS-suunnittelussa hyödynnettiin laitteen vanhoja jäähdytyksen periaatekaavioita ja LVIA-suunnitelmia. Myös laitteen tekniset tiedot löytyivät helposti Granlund Kuopio Oy:stä sekä laitetoimittajalta. Jos kohteeseen olisi suunniteltu aivan uusi vedenjäähdytyskone, se olisi mahdollisesti suunniteltu hieman suurempitehoiseksi. Tämän laitteen tehon kuitenkin katsottiin olevan riittävä jäähdytystä varten. Haastateltava mainitsi laitevalinnasta sen seikan, että laitevalinta oli tässä tapauksessa lyöty jo lukkoon eikä urakoitsija voinut vaihtaa laitetta suunnitellusta. Mahdollinen urakoitsijan laitevalinnan muutoksen hyväksyminen jäi siis pois LVI-suunnittelijan työtehtävistä.

Rakennusautomaation tai sähkösuunnittelun osalta uudelleenkäytetyn laitteen suunnitteluprosessi ei eronnut tavanomaisesta suunnitteluprosessista juurikaan. Sähkösuunnittelija sai LVI-suunnittelijalta tarvittavat tiedot laitteesta sähkösuunnittelua varten. Uudelleenkäytettävän vedenjäähdytyskoneen RAU-kaaviot löytyivät omasta suunnittelutoimistosta ja automaatiosuunnittelija hyödynsi niitä suunnitelmissaan.

Toisaalta vanhoihin LVIAS-suunnittelutietoihin liittyen projektinjohtourakan projekti-insinööri toi esille sen seikan, että tämän uudelleenkäytettävän laitteen vanhat laitetiedot olivat laitteen suunnitteluajankaisia suunnitteludokumentteja, eivätkä laitteen todellisia lähtötietoja. Laitteen alkuperäisen suunnittelun yhteydessä loppudokumentteihin ei siis ollut päivitetty todellisia tietoja, vaan laitteen suunnittelutiedot oli siirretty sellaisenaan loppudokumentaatioon.

Ristiriitaisuuksista laitteen todellisten tietojen ja LVIS-suunnitelmien osalta mainittiin mm. nestejäähdyttimen sähkökytkentöjen ristiriitainen syöttö, ulkolämpötila-antureiden sijainti. Myöskään sähkön piirikaavioita ei ollut päivitetty vastaamaan todellisia laitekytkentöjä. Lisäksi sähkökeskuksen IP-luokkien nyky määräysten mukaisuus täytyi tarkastaa. Rakennusautomaatiosta ristiriitaisuuksia oli laitteen ohjaustavassa. Suunnitteludokumenttien mukaan laitteella ei ollut väyläohjausta, mutta aiemmassa kohteessa vedenjäähdytyskone oli ollut todellisuudessa ohjattuna LON-väyläliitännällä. Siirrettäessä laitetta, väyläkortti oli kuitenkin jäänyt edelliseen kohteeseen.

Kylmäainelainsäädäntöön liittyen haastatteluissa tuotiin esille laitteen alkuperäisen valmistusajankohdan kylmäainesäädöksiä tiukentuminen verrattuna nykypäivään. Laitteesta puuttui nykyään pakollinen kylmäaineen täyttömäärätieto. Myös hätätuuletukseen liittyvät säädökset olivat muuttuneet. Hätätuule-  
tusta varten kohteessa rakennettiin ulkopuoliset anturit mahdollisia kylmäai-  
nevuotoja varten. Myös kylmäaineiden vuototestauksen tiheyden määräytymi-  
nen oli muuttunut laitteen valmistusajankohdasta. Nykyään kylmäaineiden  
vuototestaukset määräytyvät kylmäaineen GWP-arvon mukaan siten, että  
huoltoväli isomman GWP-arvon omaavalla laitteella on tiheämpi. Tämä nostaa  
laitteen huoltokustannuksia.

Uudelleenkäytetyn laitteen osalta kaikki tarvittavat osat ja laitteet olivat tal-  
lessa, suurin osa kuului toki vedenjäähdytyskone-pakettiin fyysisestikin. Ve-  
denjäähdytyskoneen lauhdutusverkoston pumppu oli varastoitu irrallisena ja  
oli käyttökunnossa. Myös vesikatolle asennettava nestejäähdytin sähkökes-  
kuksineen oli purettu ja varastoitu hyvin. Laitteen lauhdutinpuoli oli koeponnis-  
tettu varastointipaikalla ennen uudelleenkäyttökohteeseen siirtoa ja tiedettiin  
että laitteen kuparialumiinikenno oli ehjä.

Uudelleenkäytetyn vedenjäähdytyskoneen työmaalle siirron jälkeen laitteesta  
otettiin talteen vanhat kylmäaineet (noin 30 kg). Tämän jälkeen laite täytettiin  
uudelleen koneikosta pois otetulla kylmäaineella. Lisäksi laitteeseen lisättiin 4  
kg uutta kylmäainetta, jotta koneikko saatiin täyteen. Vuotokohtia laitteesta ei  
löytynyt, joten kone oli luultavammin ollut aiemmin vajaatäyttöinen. Kylmäai-  
neiden pois oton ja uudelleentäytön välissä kylmäainetta ei regeneroitu. Kyl-  
mäaineen regenerointiprosessissa kylmäaineesta poistetaan epäpuhtaudet ja  
varmistetaan kylmäaineen komponenttien oikeellisuus. Kylmäaineiden mu-  
kana olevat öljyt vaihdettiin kokonaan uusiin. Lisäksi nestejäähdyttimeen lisät-  
tiin uudet glykolinesteet. [33.]

Haastatteluissa ilmeni, että vedenjäähdytyskoneen alkuperäisen loppudoku-  
mentoinnin puutteiden vuoksi uudelleenkäytetyn laitteen jäähdytyskaavio oli  
tehty nestekierron osalta väärin päin. Tämä asia huomattiin työmaalla siinä  
vaiheessa, kun laite putkistoihin oli valmiiksi asennettu. Nestekierron  
pumppu oli kyllä asennettu suunnitellun jäähdytyskaavion mukaisesti, mutta  
se oli siis todellisuudessa toisin päin. Tästä aiheutui jonkin verran purku- ja

uudelleenasennustöitä työmaalla. Haastateltava toi esille, että jos laite olisi käyty tarkastamassa käytön aikana alkuperäisellä paikallaan ennen laitteen purkamista, purku- ja uudelleenasennustöiltä olisi varmasti välttytty.

Väyläliitynnän ristiriitaisuudet ilmenivät vasta uudelleenkäytetyn laitteen käyttöönottovaiheessa. Tällä hetkellä käyttöön otetun vedenjäähdytyskoneen menoveden lämpötilan säätö tapahtuu vain vedenjäähdyttimen käyttöpaneelistä käsin. Vedenjäähdytyskoneeseen on kuitenkin jo hankittu uusi väyläliitäntä, jolla vedenjäähdytyskoneen menoveden lämpötilan säätö saadaan mukaan rakennusautomaatioon.

Uudelleenkäytetyn vedenjäähdytyskoneen valmistaja kertoi, että työmaalla heidän puolestaan tehtyjä toimenpiteitä vedenjäähdytyskoneeseen olivat olleet:

- kylmäaineiden talteenotto ja täyttö molempiin piireihin, samalla lisätty uutta kylmäainetta n. 4 kg jotta koneikko on saatu täyteen
- koneikon kunnon tarkistus; laite käyty läpi ja toiminta testattu
- ulkoisen asetusarvon ohjelmallinen muokkaaminen koneikossa
- koneikon uudelleen parametointia vanhassa softassa
- vedenjäähdytyskoneeseen valmistajan toimesta vaihdetut osat:
  - 3-tieventtiilin toimilaite
  - paisuntaventtiilien ajureiden akkupaketit
  - koneikon lämpötila-anturi ulos

Haastatteluissa ilmeni, että varsinkin uudelleenkäyttökohteissa on tärkeää velvoittaa urakoitsija merkitsemään uudet positiot ja merkinnät uudelleenkäytettävään laitteeseen ja poistaa samalla vanhat merkinnät. Käyttöönoton jälkeen huomattiin, että tähän kohteeseen oli jäänyt vanhat laite- ja positiomerkinnät edellisestä kohteesta. Myös kytkentäkaaviossa oli vielä työmaan luovutuksen yhteydessä epäselvyyksiä; mitkä vedenjäähdytyskokonaisuuteen liittyvät laitteet ja anturit olivat uusittuja ja mitkä alkuperäisiä. Loppudokumentoinnissa on erityisen tärkeää viedä todelliset tiedot loppudokumentteihin ja huoltotietoihin. Erityisesti uudelleenkäyttökohteessa nämä tiedot ovat saattaneet muuttua suunnitteluvaiheen jälkeen.



Kuva 2. Uudelleenkäytetty vedenjäähdytyskone asennettuna uudiskohteessa.

Vedenjäähdytyskone (kuva 2) saatiin lopulta käyttökuntoon melko vähäisillä osien vaihdoilla. Putkiurakoitsija kertoi, että kiertopumpun uraliitin vaihdettiin. Myös taajuusmuuttajan kahdelle rikkoutuneelle AC-moottorille piti etsiä korvaajat. Haastatteluissa ilmeni myös, että haastatteluhetkellä vedenjäähdytyskoneen yksi neljästä kompressorista ei toiminut ollenkaan. Syy tähän oli opinnäytetyötä kirjoitettaessa vielä selvityksen alla; ongelmaksi epäiltiin joko ohjaukseen liittyvää vikaa tai laiterikkoa. Vaikka uudelleenkäytettävällä vedenjäähdytyskoneella ei olekaan takuuaikaa jäljellä, urakoitsijoiden tekemille asennuksille takuu on kuitenkin voimassa.

Haastatteluissa ilmeni, että uudelleenkäytetyn vedenjäähdytyskoneen kylmäaineena oli R410a. Vaikka kylmäainelainsäädäntö on kiristymässä, kylmäaineen R410a käyttö vedenjäähdytyskoneissa on sallittua vielä vuoden 2030 jälkeenkin. Kylmäaineen saatavuus tulee heikkenemään, joka hankaloittaa huoltoa tulevaisuudessa. Myös kylmäaineen jyrkästi nouseva hintakehitys nostaa huoltokustannuksia tulevaisuudessa. Uudelleenkäytetyn laitteen kylmäaineen vaihtoa johonkin kylmäaineen R410a korvaajaan ei harkittu.

Kylmäainevaihdos vaikuttaa laitteen kylmätehoon ja voi sitä kautta lisätä koneen komponenttien kuormitusta. Tällöin vaarana olisi esimerkiksi kompressorin ylikuormittuminen ja rikkoutuminen, varsinkin kun kyseessä on uudelleen käytetty laite. [31, s. 25]

Uudelleenkäyttöhankkeen sujuvuuteen vaikutti suuresti se, että projektinjohdourakan projekti-insinöörillä oli aiempaa kokemusta vedenjäähdytyskoneiden uudelleenkäytöstä. Hän oli ollut mukana useassa VJK:n siirto- ja uudelleenkäyttöprojektissa aiemman työpaikkansa myötä. Tämä seikka helpotti myös kohteen urakka-asiakirjojen laatimista. Tärkein urakka-asiakirja uudelleenkäyttöhanketta ajatellen oli urakkarajaliite, jossa oli tarkkaan määritelty eri urakoitsijoiden ja tilaajan väliset urakkarajat ja vastuut.

Senaatti-kiinteistöt oli toteuttanut aiemmin muitakin taloteknisten laitteiden (ml. vedenjäähdytyskoneet) uudelleenkäyttöprojekteja. Aikaisempaa kokemusta ja osaamista laitteiden uudelleenkäytöstä löytyi siis myös tilaajataholta. Senaatti-kiinteistöt osarahoittaa myös kappaleessa 3. Kiertotalous käytäntöön rakennuslalla mainittua Digipurku-hanketta.

## **7.2 Uudelleenkäytetyn talotekniikkalaitteen hiilijalanjälkilaskennan tulokset**

Talotekniikkalaitteiden hiilijalanjälkivertailun arviointimenetelmänä on käytetty rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmää 2021. Hiilijalanjälki on eritelty standardin EN 15978 mukaisesti ympäristövaikutusten arvioinnin moduuleihin. Hiilijalanjälkilaskennan tuloksen yksikkönä on hiilidioksidiekvivalenttikilona rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden vuodessa. Rakennuksen lämmitetty nettoala oli 3 170 m<sup>2</sup> ja tarkasteluajanjaksona oli 50 vuotta.

Taulukossa 1 on esitetty One Click LCA-laskentaohjelmistolla saadut hiilijalanjälkilaskennan tulokset jaoteltuna ympäristövaikutusten arvioinnin moduuleihin. Uuden laitteen hiilijalanjäljeksi saatiin 1,8 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a ja uudelleenkäytetyn laitteen hiilijalanjäljeksi saatiin 1,7 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. Eroa laitteiden hiilijalanjälkien välillä oli siis 0,1 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a.

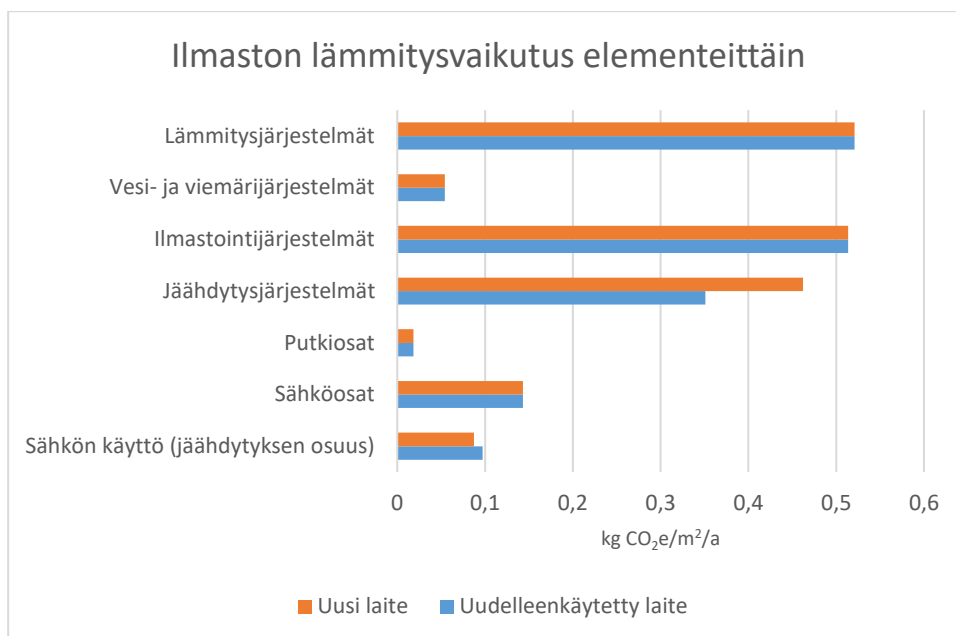
Taulukko 1. Hiilijalanjälkiraportin tulokset.

	Uusi laite	Uudelleen- käytetty laite
<b>Ympäristövaikutusten arvioinnin moduulit</b>	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	
A1-A3 Valmistus	<b>1,05</b>	<b>0,94</b>
A4 Kuljetus rakennuspaikalle	<b>0,0033</b>	<b>0,0033</b>
A5 Rakennustuotteiden työmaahävikki	<b>0,018</b>	<b>0,018</b>
B4 Rakennusosien vaihto	<b>0,62</b>	<b>0,62</b>
B6 Energiankulutus	<b>0,087</b>	<b>0,097</b>
C Päästövaikutukset käytön jälkeen	<b>0,016</b>	<b>0,016</b>
<b>Laitteen hiilijalanjälki (elinkaaren moduulien A-C summa)</b>	<b>1,8</b>	<b>1,7</b>

Laskentatuloksista huomataan, että uusi ja uudelleenkäytetty laite eroavat toisistaan ainoastaan moduulien A1–A3 Valmistuksen, sekä moduulin B6 Energiankulutus osalta. Valmistuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ovat uudelleenkäytetyllä laitteella 0,11 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a pienemmät kuin uuden laitteen aiheuttamat päästöt. Laskentaohjelman kuljetusmatkan vakioarvo oli sama kuin uudelleenkäytetyn laitteen todellinen siirtomatka. Moduulin A4 Kuljetus rakennuspaikalle hiilidioksidipäästöt olivat molemmilla laitteilla samansuuruiset. Vastaavan uuden energiankulutuksen päästöt olisivat olleet hieman pienemmät kuin uudelleenkäytetyllä laitteella. Ero johtuu uuden laitteen paremmasta COP-arvosta. Eroa energiankulutus moduulissa tuli uuden laitteen hyväksi 0,01 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a.

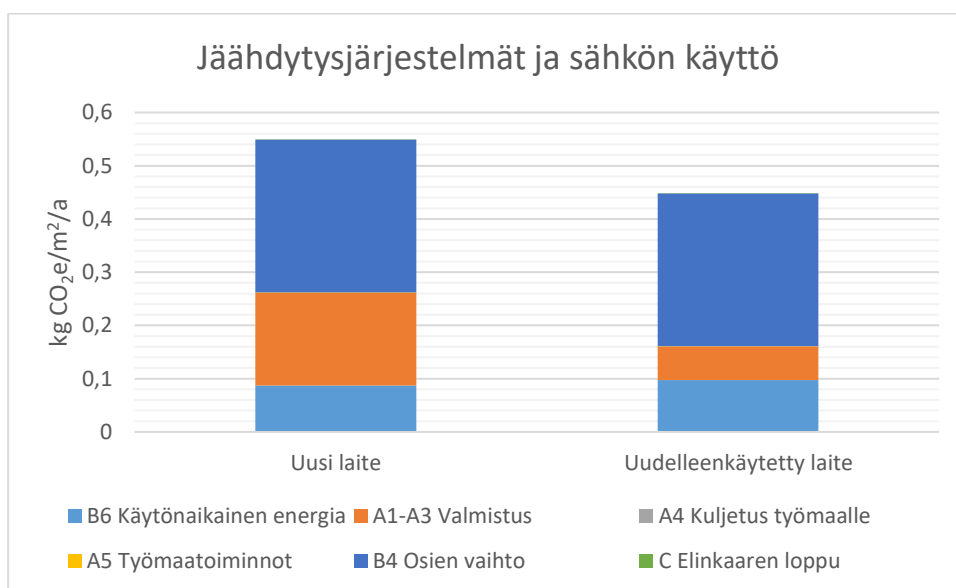
Kuvassa 3 on esitetty molempien laitteiden ilmaston lämmitysvaikutus elementteittäin. Kuvasta huomataan, että laitteiden lämmitysvaikutus eroaa laitteiden osalta ainoastaan jäähdytysjärjestelmien ja sähkön käytön osalta. Muilta osin kohteen talotekniikan materiaalitiedot olivat identtiset. Uudelleenkäytetyn laitteen osalta laskentaohjelmaan on annettu tieto laitteen uudelleenkäytöstä. Tällöin laskentaohjelma ei ota huomioon laitteen materiaalin alkuperäiseen valmistukseen (A1-A3) ja asennukseen (A5) liittyviä vaikutuksia. Sähköä uusi laite kuluttaa hieman vähemmän kuin uudelleenkäytetty laite.





Kuva 3. Ilmaston lämmitysvaikutus elementeittäin.

Kuvassa 4 on esitetty pelkästään laitteiden jäähdytysjärjestelmien ja sähkön käytön ilmaston lämmitysvaikutus elinkaarivaiheittain. Kuva havainnollistaa uuden laitteen valmistuksenaikaiset päästöt huomattavasti suuremmiksi kuin uudelleenkäytetyn laitteen päästöt. Kuten taulukosta 2 ja kuvasta 3 jo huomattiin, laitteiden käytönaikainen energiankulutuksen lämmitysvaikutuksen ero on hyvin pieni.



Kuva 4. Jäähdytysjärjestelmän aiheuttama ilmaston lämmitysvaikutus elinkaarivaiheittain.

## 8 TULOSTEN ANALYSOINTI

### 8.1 Haastattelututkimus

Koska jo hankesuunnitteluvaiheessa linjattiin mahdollisuus vedenjäähdytys-koneen uudelleenkäytöstä, oli uudelleenkäyttöön tähtäävä prosessi alusta saakka selkeä taloteknisen suunnittelun ja projektin läpimenon kannalta. Tilaajalla oli tiedossa sopiva laite, jonka tehon riittävyys tarkastettiin LVI-suunnittelijan toimesta.

Uudelleenkäytettävän laitteen talotekninen suunnittelu ei juurikaan eronnut tavanomaisesta suunnittelusta. Tässä projektissa lähtötiedot uudelleenkäytettävästä laitteesta löytyivät helposti saman suunnittelutoimiston sisältä. Lähtötietojen oikeellisuuden varmistamiseen on tämän kaltaisissa projekteissa jatkossa syytä kiinnittää erityistä huomiota. Suunnitteluajaiset tiedot eivät välttämättä vastaa täysin todellisuutta työmaalla; aivan kaikkia työmaa-ajaisia muutoksia ei välttämättä ole toimitettu suunnittelijalle. Tässä kohteessa uudelleenkäytetyn vedenjäähdytyskoneen työmaa-ajaiset muutokset eivät olleet päivittyneet loppudokumentteihin, joten esimerkiksi väylätieto osoittautui ristiriitaiseksi.

Purkusuunnitelmat uudelleenkäytettävälle laitteelle olivat onnistuneet, kaikki tarvittavat osat oli otettu talteen ja laite oli oikein varastoitu. Vaikka kylmälaiteistoon jouduttiin uusimaan joitakin osia, niin laitteen käyttökuntoon saattaminen sujui kuitenkin melko vähäisin toimenpitein. Suurin haaste työmaalla on ollut vedenjäähdytyskoneen ohjaustavan ristiriitaisuuksien selvittäminen.

Poikkeuksetta kaikki uudelleenkäyttöhankeeseen osallistuneet henkilöt kokivat projektin positiivisena kokemuksena. Kehitysehdotuksina ja oppina tulevaisuuteen mainittiin se, että laitetoimittajan toivottiin tulevan tekemään laitteen rakennusautomaatio-ohjaukset kuntoon ja myös kokonaisuudessaan laitteen käyttökuntoon saattaminen olisi hyvä olla laitetoimittajan vastuulla. Tästä pitäisi tietenkin olla sopimus laitetoimittajan kanssa ennen urakkarajaliitteen laatimista.

Myös kohtuullista taloudellista riskinjakoa urakoitsijoiden ja tilaajan kesken toivottiin. Tässä hankkeessa tilaajan vastuulla oli laitteen toimittaminen

työmaalle. Urakoitsijoilla oli toive, että uudelleenkäytettävän laitteen testaaminen voitaisiin tehdä kokonaisuutena ennen työmaalle toimittamista. Mahdolliset rikkoutuneiden osien hankinnat ja vaihdot vievät aikaa ja vaikuttavat pahimmassa tapauksessa urakan valmistumisajankohtaan ja saattavat aiheuttaa viivästyssakkoja urakoitsijoille.

Kiertotalouden näkökulmasta, taloteknisen laitteen uudelleenkäyttö on potentiaalinen kustannussäästökohde rakennuttajalle ja mahdollistaa kiertotalouden tuomisen käytäntöön rakennusallalla.

## 8.2 Hiilijalanjälkilaskenta

One Click LCA-laskentaohjelmistolla uuden laitteen hiilijalanjäljeksi saatiin 1,8 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a ja uudelleenkäytetyn laitteen hiilijalanjäljeksi 1,7 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. Eroa laitteiden hiilijalanjälkien välillä oli siis 0,1 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a.

Koko tarkastelujakson (50 vuotta) ajalle ja rakennuksen koko lämmitetylle nettoalalle (3170 m<sup>2</sup>) laskettuna tämä kokonaishiilidioksidimäärä uudelleenkäytetyllä laitteella olisi 15 850 kg CO<sub>2</sub>e vähemmän kuin uudella vastaavan kokoisella vedenjäähdytyskoneella. Mielestäni uudelleenkäytetyn talotekniikkalaitteen positiivinen vaikutus hiilijalanjälkeen on hyvin pieni. Esimerkiksi kunkin suomalaisen hiilijalanjälki on keskimäärin 7 700 kg CO<sub>2</sub>e vuodessa.

Tutkimuksessa tarkasteltiin pelkästään uudelleenkäytetyn vedenjäähdytyskoneen hiilijalanjälkeä verrattuna uuteen laitteeseen. Laskentaohjelmaan annettiin koko rakennuksen talotekniikan määrätiedot. Laskentaohjelmaan ei kuitenkaan syötetty rakennuksen muita energiankulutustietoja, vaan pelkästään jäähdytyksen tarvitsema energiankulutus.

Tässä tutkimuksessa uuden laitteen vaiheen A1-A3 talotekniikkaosien materiaalityypiksi saatiin 1,05 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a ja uudelleenkäytetyn laitteen vaiheen A1-A3 talotekniikkaosien materiaalityypiksi 0,94 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. Lämmitetty nettoalaa kohden koko tarkastelujakson ajalle laskettuna tulokseksi saadaan uuden laitteen osalta 52,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ja uudelleenkäytetyn laitteen osalta 47 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Tässä tutkimuksessa vaiheen A1-A3 talotekniikkaosien materiaalityypien suuruutta voi verrata Swecon Talotekniikka Oy:n päästötietojen

selvityshankkeessa saatuihin vastaaviin tuloksiin vuodelta 2021. Tuossa hankkeessa toimistorakennuksen vaiheen A1-A3 talotekniikkaosien materiaali-päästöiksi saatiin 66 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. [32.]

Uudelleenkäytetyn vedenjäähdytyskoneen kylmäaineen täytöstä aiheutui hiilidioksidipäästöjä, joita hiilijalanjälkilaskenta ei ota huomioon. Taulukossa 2 on vertailtu uudelleenkäytettyyn laitteeseen lisätyn kylmäaineen ja kohteeseen mahdollisesti valitun saman tehoisen uuden vedenjäähdytyskoneen kylmäaineen lämmitysvaikutusta. Tässä tutkimuskohteessa uudelleenkäytetyn vedenjäähdytyskoneen kylmäaineena oli R410a, jota lisättiin koneeseen 4 kg. Tuon kylmäainemäärän lämmitysvaikutus on lähes 8,4 t CO<sub>2</sub>e. Jos kohteeseen olisi suunniteltu uusi vedenjäähdytyskone, olisi sen kylmäaine mahdollisesti ollut R32. Tuolloin uuden vedenjäähdytyskoneen kylmäaineen lämmitysvaikutus olisi ollut hieman yli 16 t CO<sub>2</sub>e.

Taulukko 2. Kylmäaineiden lämmitysvaikutusvertailu.

	Uudelleenkäytetty laite	Uusi laite
<b>Kylmäaine</b>	R410a	R32
<b>GWP-arvo</b>	2088	675
<b>Kylmäainemäärä kg</b>	4	24
<b>kg CO<sub>2</sub>e</b>	8352	16200

## 9 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kirjallisuuskatsauksen tutkimusaineiston perusteella voidaan todeta, että pyritäessä kohti vähähiilistä rakentamista on rakentamisen kiertotalous keskeisessä roolissa vähennettäessä koko rakennuksen elinkaaren aikaisia päästöjä. Ensi vuoden alussa voimaan tuleva rakentamislaki antaa uusia työkaluja rakentamisen kiertotalouden vauhdittamiseen. Kirjallisuuskatsauksen ja haastattelututkimuksen perusteella suurimpana esteenä rakennusmateriaalien ja taloteknisten laitteiden uudelleenkäytölle on ajantasaisen laiterekisterin puuttuminen. Rakentamislakiin kirjattu ehdotus valtakunnallisen rakennetun ympäristön rekisteristä ja tietopalustasta tulisi mahdollistamaan ajantasaisen tiedon liikkumisen purkukohteiden ja uudelleenkäyttökohteiden välillä.

Tulevaisuudessa rakennussektoria ohjataan monin tavoin hiilineutraaliksi. Rakentamislakiin kirjattu velvoite ilmastaselvityksestä tulee voimaan vuoden 2026 alussa. Ilmastaselvitys tulee laatia rakennuksen lopputarkastuksen yhteydessä ja se sisältää myös rakennushankkeen hiilijalanjälkilaskennan. Lisäksi uudet ympäristöministeriössä valmistelussa olevat asetukset rakennustuoteluettelosta ja rakennuksen purkumateriaali- ja rakennusjäteselvityksestä helpottaisivat rakennustuotteiden uudelleenkäyttöä ja kiertotaloutta.

Haastattelututkimuksen perusteella vedenjäähdytyskoneen uudelleenkäytöllä on mahdollista saada huomattava kustannussäästö verrattuna uuden laitteen hankintakustannuksiin. Vaikka laitteen haalaamisesta, siirrosta ja varastoinnista sekä laitteen tarkastamisesta ja mahdollisista osien vaihdoista syntyykin kustannuksia; ovat ne murto-osa uuden laitteen hankintamenoista.

Vedenjäähdytyskoneen kaltaisten laitteiden uudelleenkäyttöä on myös mahdollista pohtia varavoiman tuottamisen kannalta. Haastattelututkimuksessa selvisi, että rakennushankkeen tilaajalla oli toinen uudelleenkäyttökohde, jossa vedenjäähdytyskone toimi lämpöpumppujen jäähdytyksen varavoimana. Uudelleenkäytettävä laite voi myös soveltua laitteen alkuperäistä mitoitus-tehoa alemman jäähdytystarpeen tuottamiseen. Tällöin laite kävisi osateholla eikä elinkaarensa loppupuolella oleva laite kuormittuisi alkuperäiselle mitoitus-teholle lainkaan.

Muuttuva kylmäainelainsäädäntö ohjaa vedenjäähdytyskoneiden kylmäaineita ilmastovaikutuksiltaan vähäpäästöiseen suuntaan. Harkittaessa tämän kaltaisen laitteen uudelleenkäyttöä, on hyvä huomioida laitteeseen mahdollisesti tehtävät tiukentuneen lainsäädännön velvoittavat modifikaatiot. Näitä voivat olla esimerkiksi kylmäainetäytön määrätieto, hätätuuletukset ja laitteen tihtyneet huoltovälit.

Hiililaskennan tulokset molemmissa tutkimustapauksissa olivat elinkaarivaiheen A1–A3 talotekniikan materiaalipäästöjen osalta hieman pienemmät kuin Sweco Talotekniikka Oy:n päästötietojen selvityshankkeessa saatu toimistorakennuksen tulos. Eroja eri tutkimusten välillä voi selittää rakennuksien erilainen arkkitehtuuri, käytetyt talotekniset järjestelmät (radiaattori–lattialämmitys), ilmanvaihdon erilaiset ratkaisut jne. Tässä tutkimuksessa saatuja

hiilijalanjälkilaskennan tuloksia voidaan pitää melko luotettavina, koska laskennassa käytettiin LVIAS-suunnitelmista saatavia todellisia materiaalien määrätietoja.

Verrattaessa One Click LCA-laskentaohjelmalla saatua uudelleenikäytetyn vedenjäähdytyskoneen hiilijalanjälkeä uuden vastaavan laitteen aiheuttamaan hiilijalanjälkeen huomataan, että laitteen uudelleenikäytöllä saatava ilmasto-hyöty on lopulta melko pieni. Lisäksi on huomattava, että hiilijalanjäljen laskentaohjelma huomioi pelkästään laitteen materiaalien ja energiakulutuksen aiheuttamat päästöt elinkaaren aikana. Laskentaohjelma ei siis huomioi eri kylmäaineiden aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä.

Vedenjäähdytyskoneiden osalta uudelleenikäytöllä on mahdollista saavuttaa sekä kustannussäästöjä että vähentää hiilidioksidipäästöjä. Vedenjäähdytyskoneen uudelleenikäytöllä säästetään rahaa laitteen hankintamenoissa. Uudelleenikäytöstä syntyy kustannuksia mm. laitteen siirrosta, varastoinnista ja osien vaihdosta. Lisäksi mahdollisen GWP-arvoltaan suuremman kylmäaineen isompien huoltokustannusten ja kalliimman kylmäaineen vuoksi ero uuteen laitteeseen kaventuu jonkin verran. Harkittaessa vedenjäähdytyskoneen uudelleenikäyttöä, olisi hyvä huomioida ero todellisten hiilidioksidipäästöjen ja hiilijalanjälkilaskentaan kehitetyn laskentaohjelman antaman hiilijalanjäljen välillä. Tämän tutkimuksen mukaan vedenjäähdytyskoneen kylmäaineen lisäyksen aiheuttama lämmitysvaikutus oli melko suuri. On huomattava, että uuden rakennuslain velvoittama hiilijalanjälkilaskenta ei ota huomioon kylmäaineen lämmitysvaikutusta, vaan rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä ottaa huomioon pelkästään materiaalien elinkaaren aikaiset päästöt.

Suomen Kylmäliikkeiden Liitto ry:n julkaisemassa toimintaohjeessa talteenotetulle fluoratulle kylmäaineelle ohjataan kylmäaineen kierrätykseen ja regenerointiin. F-kaasuasetuksen mukaisen vähentämissuunnitelman mukaisesti kylmäaineen uudelleenikäytöllä edistetään kiertotalouden monipuolistumista Suomessa. Toimintaohjeessa kylmäaineen uudelleenikäytöstä linjataan seuraavaa; *”Jos talteenotettu kylmäaine on tarkoitus käyttää samassa laitteessa uudestaan, kylmäaineen laatu ja puhtaus pitää tarkastaa. Talteenotetusta kylmäaineesta olisi otettava näyte ja lähetettävä se analysoitavaksi kylmäaineiden laadun kokonaisvaltaiseen määrittelyyn soveltuvaan*

*laboratorioon, jotta varmistuttaisiin mahdollisuus uudelleenkäyttöön.”* Tämän tutkimuksen kohteena olevassa vedenjäähdytyskoneessa kylmäaineen laatua ja puhtautta ei ollut tarkastettu.

Haastattelututkimus oli hyvin informatiivinen tiedonkeruutapa ja kaikki haastateltavat kertoivat seikkaperäisesti uudelleenkäyttöhankkeesta omasta näkökulmastaan. Onnistuneen haastattelututkimuksen myötä opinnäytetyöhön saatiin luotua kattava synteesi taloteknisen laitteen uudelleenkäytöstä tässä esimerkkikohteessa.

Tämän tutkimuksen perusteella vedenjäähdytyskoneen uudelleenkäyttöä varten olisi hyvä laatia tarkistuslista huomioitavista asioista. Uudelleenkäyttöhankke eroaa kuitenkin monelta osin ns. tavallisesta hankkeesta, eikä kaikilla mukanaolijoilla välttämättä ole kokemusta vastaavasta. Tässä tutkimusprojektissa vastuut ja toimenpiteet olivat ilmeisen selkeästi jaettu ja uudelleenkäyttöhankke onnistui hyvin. Jatkotutkimusta talotekniikkaosien uudelleenkäytöstä käytännössä tullaan tekemään toisen hankkeen tiimoilta, jossa Granlund Oy on mukana.

Tämän tutkimuksen perusteella kiertotalouden tuomat kustannushyödyt ovat laajasti tiedossa rakennushankkeiden eri osapuolilla. Tahtotilaa materiaalien uudelleenkäyttöön siis löytyy, eikä uudelleenkäyttöä tämän tutkimuksen perusteella pidetä mitenkään ylitsepääsemättömän vaikeana asiana missään vaiheessa projektia. Kunhan uudelleenkäytettävien materiaalien kysyntä ja tarjonta saadaan kohtaamaan, niin uskon että rakennusalan kiertotalous pääsee vihdoin kunnolla vauhtiin.

## LÄHTEET

1. Green Building Council Finland. Vähähiilisyiden sanakirja. PDF-dokumentti. Julkaistu 27.5.2020. Saatavissa: [https://figbc.fi/media/vahahiilisyiden-sanakirja-figbc\\_2020.pdf](https://figbc.fi/media/vahahiilisyiden-sanakirja-figbc_2020.pdf) [viitattu 6.2.2024].
2. Huttunen E. (toim). Kiertotalous rakennetussa ympäristössä. Helsinki. Rakennustieto Oy. 2021.
3. Häkkinen, T. & Kuittinen, M. Kohti vähähiilistä rakentamista – Opas arviointiin ja suunnitteluun. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2020.
4. RT 103170, 2020. Ilmastonmuutos, Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä.
5. One Click LCA. Luotettava koko rakennuksen elinkaariarviointi, hetkessä. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://www.oneclick-lca.com/fi/rakennushankkeisiin/elinkaariarviointiohjelmisto/> [viitattu 7.2.2024].
6. Tähkänen M. & Tähtinen L. BuildingLife: hiilineutraalin rakennetun ympäristön toimintaohjelma. Green Building Council Finland. Julkaistu 23.5.2022
7. Ympäristöministeriön julkaisu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/rakentamislaki> [viitattu 12.1.2024]
8. SFS-EN 15978:en. 2012. Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method.
9. Valtioneuvoston asetus jätteistä (987/2021)
10. Wahlström, M., Hradil, P., Teittinen, T., Lehtonen, K. Purkukartoitus – opas laatijalle. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:30
11. Toorikka, A., Kumpuniemi, P., Paakkari, J & Sariola, L. Passiivisten talotekniikkakomponenttien uudelleenkäyttöpotentiaali. Raportti 05.01.2022. Vahanen Rakennusfysiikka Oy. WWW-dokumentti 2022. Saatavissa: <https://www.lahti.fi/uploads/2022/02/23dc7643-esiselvitys-passiivisten-talotekniikkakomponenttien-uudelleenkayttopotentiali-5.1.2022.pdf> [viitattu 12.1.2024]
12. Laki eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä (21.12.2012/654)



13. Ympäristöministeriö. Rakennustuotteiden kansalliset hyväksyntämenettelyt. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/rakennustuotteiden-kansalliset-hyvaksyntamenettelyt> [viitattu 21.2.2024].
14. Palojärvi J. Talotekniikan järjestelmien päästövaikutukset ja niiden vähentäminen. Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisuja C:Raportteja, 99. Karelia-ammattikorkeakoulu 2022.
15. Laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista (1397/2016)
16. Kuittinen M. [toim.] Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä.. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22
17. Rakennustietosäätiö RTS. 2008. RT-kortti, RT-18-10922 Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot.
18. Ympäristöministeriö, 2017a. Vihreä julkinen rakentaminen. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4744-9> [viitattu 7.2.2024]
19. Zhu, Y., Lonka, H., et al. Purkumateriaalien kelpoisuus eri käyttökohteisiin turvallisuuden ja terveellisuuden näkökulmasta. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:15.
20. Kallinen, T. & Kinnunen, T. (2021). Etnografia. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) *Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja*. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto [ylläpitäjä ja tuottaja]. Saatavissa: <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus> [viitattu 9.5.2024.]
21. Aaltola, J. & Valli, R. 2001. Ikkunoita tutkimusmetodeihin. Metodien valinta ja aineiston keruu – virikkeitä aloittelevalle tutkijalle. Jyväskylä.
22. Hirsjärvi, S. & Hurme, H. 2003. Tutkimushaastattelu – teemahaastattelun teoria ja käytäntö. 2003. Helsinki.
23. Tilastokeskus. Tietoa tilastoista. Käsitteet. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://stat.fi/meta/kas/gwp\\_kertoimet.html](https://stat.fi/meta/kas/gwp_kertoimet.html). [viitattu 22.5.2024]
24. Ympäristöministeriö. Tiedote 22.4.2024. Saatavissa: <https://ym.fi/-/ymparistoministerio-sai-lahes-280-lausuntoa-rakentamislakiin-esitetyista-muutoksista-keskeiset-linjaukset-lain-muuttamisesta-tehty> [viitattu 22.5.2024]
25. LVIA-järjestelmäkuvaus, hankesuunnitelman liite n:o 7. 12.4.2021. Granlund Oy. Sisäinen dokumentti. [Viitattu 7.5.2024]
26. Sähköposti Emma Väliaho, Granlund Oy/Elina Ärväs, Granlund Oy 14.5.2024

27. Sähköposti Tytti Bruce-Hyrkäs, Granlund Oy/ Elina Ärväs, Granlund Oy  
13.5.2024
28. Näsänen, H. Taloteknisten järjestelmien elinkaaren ilmastovaikutukset. Aalto yliopisto. Sustainable Energy in Buildings and Built Environment. Master's Programme in Advanced Energy Solutions. Diplomityö. WWW-dokumentti. 2021. Saatavissa: [Taloteknisten järjestelmien elinkaaren ilmastovaikutukset \(aalto.fi\)](#) [viitattu 27.5.2024]
29. Digipurku-hanke. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://gnf.fi/fi/gnf/digipurku/> [viitattu 27.5.2024]
30. Huuhka, S. Kierrätys arkkitehtuurissa. Betonielementtien ja muiden rakennusosien uudelleenkäyttö uudisrakentamisessa ja lähiöiden energiatehokkaassa korjaus- ja täydennysrakentamisessa. Diplomityö. WWW-dokumentti. 2010. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/6547/huuhka.pdf?sequence=3&isAllowed=y#page=16&zoom=100,148,338> [viitattu 27.5.2024]
31. Timberg, V. R-410A-kylmäaineen korvaaminen vedenjäähdytyskoneissa. Opinnäytetyö. 2023. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/7944784>
32. Laasonen, N., Pluuman, K. & Suur-Uski, T. Raportti: Talotekniikan päästötietojen selvityshanke. Sweco Talotekniikka Oy. PDF-dokumentti. 19.3.2021. Saatavissa: [YM TATE Päästöt loppuraportti.pdf](#) [viitattu 29.5.2024]
33. Toimintaohje talteenotetulle fluoratulle kylmäaineelle. Suomen Kylmäliikkeen liitto ry. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.kylma-extra.fi/files/177/talteenotettuKylmaaine\\_a4\\_netti.pdf](https://www.kylma-extra.fi/files/177/talteenotettuKylmaaine_a4_netti.pdf) [viitattu 30.5.2024]