



Krister Salonen

Taloteknisten järjestelmien tuotesidonnaisten päästöjen huomioiminen suunnitteluprosessin varhaisessa vaiheessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikka

Opinnäytetyö

31.5.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Krister Salonen
Otsikko:	Taloteknisten järjestelmien tuotesidonnaisten päästöjen huomioiminen suunnitteluprosessin varhaisessa vaiheessa
Sivumäärä:	59 sivua
Aika:	31.5.2023
Tutkinto:	insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma:	talotekniikka
Ohjaajat:	yliopettaja Rauno Holopainen liiketoiminnan kehityspäällikkö Ossi Kaihua

Ilmastaselvitys ja hiilijalanjäljen laskenta tulevat osaksi rakennuslupaa vuoden 2025 alussa. Tällöin rakennusten koko elinkaarenaikaisten ympäristövaikutusten on oltava tarkemmin selvillä projekteissa. Talotekniikka on entistä merkittävämmässä roolissa nykyaikaisessa rakentamisessa. Tämän työn tarkoituksena on luoda katsausta talotekniikan ympäristövaikutuksiin osana nykyaikaista rakennushanketta ja syventyä erityisesti tuotesidonnaisten päästöjen huomioimiseen taloteknisessä suunnittelussa.

Työn alkuosassa kirjallisuustutkimuksen avulla tehdään katsausta rakennusalan ja talotekniikan nykytilanteeseen, tarkastellaan yleisesti taloteknisten järjestelmien ja tuotteiden ympäristövaikutuksia ja syvennyttään tuotesidonnaisiin päästöihin. Työssä käydään lisäksi läpi taloteknistä suunnitteluprosessia ja ympäristövaikutusten ja hiilipäästölaskennan huomioimista osana rakennushanketta. Työn loppuosan esimerkki-kohteessa syvennyttiin vesi- ja viemäritekniikan materiaalivalintojen merkitykseen eri putkivalintojen tuotesidonnaisten päästöjen tarkastelun kautta.

Suunnittelun alkuvaiheessa tehtävillä valinnoilla on merkittävä vaikutus rakennuksen koko elinkaarenaikaiseen hiilijalanjälkeen. Rakennushankkeiden elinkaaren ympäristövaikutuksiin liittyvät tavoitteet on hyvä olla tiedossa heti projektien alkuvaiheista lähtien, jotta ne voidaan huomioida ja tiedostaa suunnittelussa. Talotekniikkasuunnittelulla on mahdollista vaikuttaa tuntuvasti rakennushankkeiden hiilijalanjälkeen niin käytönaikaisten käyttösidonnaisten kuin valmistusvaiheen tuotesidonnaisten päästöjen osalta. Talotekniikan hiilijalanjäljen laskenta tehdään suunnittelun alkuvaiheessa pääosin neliömetripohjaisiin arvoihin perustuen. Eri tuotteista ja materiaaleista tulisi laatia ympäristöselosteita talotekniikan osalta kattavammin, mikä mahdollistaisi paremmin tuotetietoihin perustuvan hiilijalanjälkilaskennan. Näin suunnitteluvaiheessa tehtävillä valinnoilla olisi paremmin mahdollista vaikuttaa talotekniikan hiilijalanjälkeen.

Avainsanat: talotekniikka, ilmastaselvitys, hiilijalanjälki, tuotesidonnaiset päästöt, suunnittelun alkuvaiheessa, ympäristöseloste

Abstract

Author: Krister Salonen
Title: Embodied Emissions of HVAC Engineering in Early Stages of Planning Process
Number of Pages: 59 pages
Date: 31.5.2023

Degree: Master of Engineering De-
gree Programme: Building Services Engi-
neering
Supervisors: Ossi Kaihua, Business Development Manager
Rauno Holopainen, Principal Lecturer

The purpose of this thesis was to provide an overview of the environmental impacts of HVAC engineering as a part of modern construction projects, with a particular focus on embodied carbon emissions in HVAC design.

The current situation in the industry, the environmental impacts of HVAC systems and products, and the embodied carbon emissions were discussed in the thesis on the basis of literature. Additionally, the HVAC design process and its consideration of environmental impacts and carbon emissions were discussed. Finally, the significance of material choices in water and sewer systems was examined by analysing the embodied carbon emissions of various pipe choices in an case project.

The thesis showed the importance of choices made in the early stages of design on a building's carbon footprint. The lifecycle impact goals of construction projects should be known from the beginning to be addressed in the design. Carbon footprint calculations for HVAC are primarily based on area-based values in the early design. More environmental product declarations should be created for HVAC products and materials to allow for accurate carbon footprint calculations. This would make it easier to influence the carbon footprint of HVAC engineering through choices made during the design phase.

Keywords: HVAC engineering, carbon footprint, embodied emissions, early stages of design, environmental product declaration

Sisällys

Käsitteet ja lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Työn tavoitteet	3
2.1	Tutkimuksen tausta	3
2.2	Tavoitteet ja rajaus	5
2.3	Tutkimusmenetelmät	5
3	Taloteknisten järjestelmien ympäristövaikutukset	6
3.1	Rakentamisen hiilijalanjälki	6
3.2	Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmät	11
3.3	Taloteknisten järjestelmien ympäristövaikutukset	14
3.3.1	Energiankulutuksen hiilijalanjälki	15
3.3.2	Materiaalien hiilijalanjälki	17
3.3.3	Tutkimukset	20
4	LVI-suunnittelu rakennushankkeessa	23
4.1	Talotekniikka ja suunnitteluprosessin vaiheet	24
4.2	Järjestelmävalinnat suunnittelun alussa	28
4.3	Asetusehdotus hiilijalanjälkilaskennasta	30
5	Vaihtoehtoiset LVI-ratkaisut	31
5.1	Järjestelmät	31
5.1.1	Muuntojoustavuus	32
5.1.2	Energiantuottojärjestelmät	34
5.1.3	Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät	34
5.1.4	Vesi- ja viemärijärjestelmät	36
5.1.5	Ilmanvaihto	36
5.1.6	Rakennusautomaatio	38
5.2	Materiaalit ja tuotteet	39
6	Case-esimerkki	42
6.1	Kohteen kuvaus	42
6.2	Vaihtoehtoiset järjestelmät	43

6.3	Talotekniikan sitoutuneet päästöt	46
6.4	Tulokset ja analysointi	50
7	Yhteenveto ja päätelmät	53
	Lähteet	56

Käsitteet ja lyhenteet

EPBD:	Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi EU:ssa
EPD:	Ympäristöseloste
hiilineutraali:	Hiilidioksidipäästöjä tuotetaan korkeintaan sen verran kuin niitä voidaan sitoa ilmakehästä hiilinieluihin. Hiilineutraalin tuotteen tai rakennuksen laskettu hiilijalanjälki on koko elinkaaren ajalta nolla.
hiilinielu:	Prosessi, toiminta tai mekanismi, joka sitoo hiilidioksidia ilmakehästä.
hiili-intensiivinen:	Suuren ympäristökuorman omaava materiaali, tuote tai prosessi.
kiertotalous:	Tuotanto- ja kulutusmalli, jossa olemassa olevien materiaalien ja tuotteiden elinkaarta pidennetään hyödyntämällä ne mahdollisimman pitkälle uudelleen käyttämällä, kierrättämällä, korjaamalla, kunnostamalla. Keskeisenä tavoitteena on säästää luonnonvaroja ja hyödyntää materiaalit tehokkaasti ja kestävästi.
materiaalitehokkuus:	Tuotteiden ja materiaalien käyttämistä mahdollisimman vähän ja pitkään, materiaalihukan vähentämistä sekä tuotteiden ja materiaalien kierrätystä ympäristöä säästäten.
vähähiilinen rakennus:	Hiilijalanjälki on elinkaaren aikana pieni.

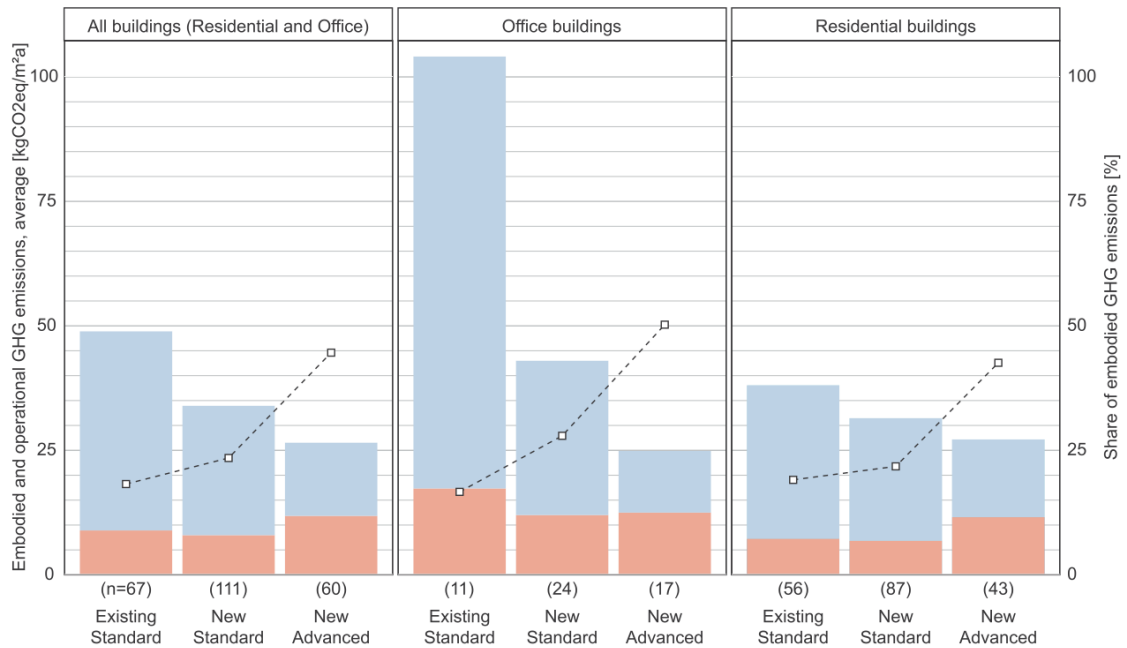
1 Johdanto

Ilmaston lämpenemisen ja ympäristön saastumisen myötä luonnonvarojen kulu-
tukseen ja erilaisten päästöinä vapautuvien kasvihuonekaasujen aiheuttamaan
ilmastokuormaan kiinnitetään entistä enemmän huomiota. Tulevina vuosina tul-
laan tekemään edelleen merkittäviä toimenpiteitä päästöjen vähentämiseksi.
Merkittävässä roolissa päästöjen vähentämiseksi ovat olleet kansainväliset il-
mastopöimukset, joihin on saatu mukaan valtaosa valtioita. Hiilineutraaliuden
saavuttaminen on Pariisin ilmastopöimuksen yksi keskeisimmistä tavoitteista.
EU on tämän söimuksen mukaan asettanut tavoitteekseen hiilineutraaliuden
2050 mennessä ja Suomi vuoteen 2035 mennessä. Suomen maankäyttö- ja ra-
kentamislain uudistamisen yhtenä päätavoitteena onkin hiilineutraali yhteis-
kunta. Tämä vaatii merkittäviä toimenpiteitä eri sektoreilla; teollisuudesta, liikene-
teestä aina rakentamiseen. (1)

Rakentamiseen ja rakennusten elinkaaren aikaiseen päästöihin vaikuttamalla
voidaan osaltaan hillitä ilmastonmuutosta. Euroopan komission mukaan raken-
nuksista ja rakentamisesta aiheutuu EU:ssa noin puolet materiaalien ja ener-
gian käytöstä sekä noin kolmannes veden käytöstä ja jätteen synnystä (2, s.
12.) Rakennusprojektien aikana käytetään suuria määriä luonnonvaroja, mutta
rakentamisen ympäristövaikutukset ulottuvat pitkälle tulevaisuuteen ja näkyvät
erityisesti rakennuksen käyttövaiheessa energian ja veden kulutuksena sekä
hiilidioksidipäästöinä (3). Tulevaisuudessa rakentamistarpeen suuren kasvun
takia, myös hiilijalanjäljen hallinta rakentamisessa on entistä tärkeämpää. Maail-
man väkiluvun arvioidaan kasvavan vuoteen 2050 mennessä 11 miljardiin. Suu-
rin osa rakennuksista on vielä rakentamatta, joita väestö tulevaisuudessa tulee
käyttämään. Uudisrakentamisen lisäksi on paljon vanhaa rakennuskantaa, joka
vaatii laajamittausta korjausrakentamista. Rakentamisessa onkin huomattavat
päästövähennysmahdollisuudet. Jo nykyisillä olemassa olevilla ratkaisuilla ra-
kennushankkeiden päästöjä on mahdollista pienentää 40–50 %. (3)

Merkittävin osuus rakennusten aiheuttamista kasvihuonepäästöistä on perinteisesti syntynyt rakennuksen käytön aikaisesta energiankulutuksesta. Käytön aikainen energiankulutus koostuu pääosin rakennuksen lämmityksestä ja jäähdytyksestä, ilmanvaihdosta, käyttöveden jakelusta ja lämmittämisestä, kiinteistö sähköstä ja valaistuksesta. Rakennusten aiheuttamia päästöjä onkin pyritty vähentämään jo vuosien ajan kiinnittämällä huomiota nimenomaan käytön aikaisen energiankulutuksen vähentämiseen. Merkittävässä roolissa on ollut energiatehokkuusdirektiivi Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), jonka myötä uusiutuvien energialähteiden käyttö rakennuksissa on lisääntynyt tuntuvasti. Direktiivin päivitystä on valmisteltu vuodesta 2020 ja se sisältää useita uusia ja tiukennettuja vaatimuksia uudisrakennusten sekä olemassa olevan rakennuskannan energiatehokkuuteen. Ja pelkän energiatehokkuuden sijaan tarkastellaan koko elinkaarenaikaisia ympäristövaikutuksia. (4)

Perinteisessä rakentamisessa noin kolmannes päästöistä on aiheutunut rakennuksen valmistusvaiheesta, materiaalien ja rakennusvaiheen päästöistä. Koska rakennuksen energian kulutuksen päästöt ovat pienentyneet energiatehokkuusvaatimusten tiukentuessa, rakennusmateriaalien ja rakennusvaiheen päästöjen suhteellinen osuus rakennuksen elinkaarenaikaisista päästöistä on kasvanut. Osaltaan vaikutuksensa on myös uusiutuvan energian hyödyntämisellä, jonka vuoksi rakennuksien energiantuotanto ja -jakelujärjestelmät ovat aikaisempaa monimutkaisempia ja aiheuttavat suurempia päästöjä rakentamis- ja valmistusvaiheessa kuin perinteisemmät energiamuodot. Rakennusmateriaalien aiheuttamien päästöjen suhteellisen osuuden kasvaminen on aiheuttanut sen, että myös niiden vaikutusta on tarvetta tutkia enemmän ja on löydettävä ympäristöystävällisempiä ratkaisuja, jotta rakennusten elinkaaren aikaisia kokonaispäästöjä on mahdollista vähentää. Kuvassa 1 on esitetty eri rakennustyyppien tuote- ja käytösidoista päästöjen jakautuminen nykyisten ja uusien standardien omaavien sekä vähäpäästöisten rakennusten osalta. Kuvasta voi havaita, että vähäpäästöisissä rakennuksissa, joissa käytön aikaiset päästöt (harmaa) ovat huomattavasti vähäisemmät, rakennusvaiheen tuotesidoista päästöjen (ruskea) osuus nousee suuremmaksi elinkaaren aikaisista kokonaispäästöistä.



Kuva 1. Olemassa olevien, uusien sekä vähäpäästöisten rakennuskohteiden tuote- ja käyttösidonnaisten elinkaaripäästöjen jakautuminen (5, s. 6).

Ympäristöministeriö on aloittanut valmistelutyön maankäyttö- ja rakentamislain uudistukselle, jonka tavoitteena on tuoda rakentamisen hiilijalanjälki osaksi säädöksiä viimeistään 2020-luvun puoliväliin mennessä. Uudistus kiinnittää erityistä huomiota vähähiilisen rakentamisen edistämiseen. Myös rakennusmateriaalien valmistusvaiheen ympäristövaikutukset huomioidaan, kun sääntely siirtyy kohti kokonaisvaltaista rakentamisen elinkaaritarkastelua. (1) Käytännön tasolla uudistukset tarkoittavat sitä, että hiilijalanjäljen huomioiminen ja laskenta tulee osaksi rakentamislupaa vuonna 2025. Monissa rakennushankkeissa huomioidaan ja lasketaan jo elinkaaren ajan energiakulutuksen lisäksi hiilijalanjälki.

2 Työn tavoitteet

2.1 Tutkimuksen tausta

Valtioneuvosto hyväksyi 15.9.2022 esityksen uudeksi rakentamislainsiksi (HE 139/2022 vp), jonka on tarkoitus tulla voimaan 1.1.2025. Lain tavoitteena on ohjata rakentamista vähähiiliseksi, minkä vuoksi siinä on mukana tekninen vaati-

mus rakennuksen vähähiilisyydelle (38 §) sekä asetuksenantovaltuudet vaikuttavalle ohjaukselle. Uudessa rakentamislaisissa rakentamislupaa varten on jatkossa laadittava ilmastaselvitys, jossa raportoidaan rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki. (6) Uusi laki tulee siis velvoittamaan hankkeille hiilipäästöihin liittyvän laskennan ilmastaselvityksen muodossa, joka vaikuttanee koko rakentamisen ketjuun. Lausuntokierroksella olevassa asetuksessa on muotoiltu seuraavasti;

Pääsuunnittelijan, rakennussuunnittelijan ja erityissuunnittelijan on tehtäviensä mukaisesti arvioitava ilmastaselvitykseen sisältyvä hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki käyttäen tässä asetuksessa säädettyä rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmää suunniteltaessa rakentamislain 38 §:n soveltamisalaan kuuluvaa uutta rakennusta tai rakennuksen laajamittaista korjausta. (7, s. 1)

Uuden lain voimaan tulon lähestyessä myös rakennuttajat ja käyttäjät sekä julkisella että yksityisellä puolella ovat entistä valveutuneempia ympäristöasioissa. Uusissa rakennushankkeissa ympäristöasioita ja vähähiilistä rakentamista huomioidaan entistä enemmän rakentamismääräysten ja rakennuttajien valveutuneisuuden takia. Entisestään tarkentuvien ilmastotavoitteiden saavuttaminen edellyttää, että rakennusten energiatehokkuuden lisäksi kiinnitetään huomiota koko elinkaaren aikana syntyviin ympäristövaikutuksiin. Rakennushankkeen jokainen vaihe tuo oman lisänsä elinkaaren aikaiseen hiilijalanjälkeen. Myös tuotteiden valmistuksen aiheuttamien päästöjen merkitys korostuu ja niiden osuus tulee ottaa huomioon ja tarkasteluun tarkemmin.

Myös taloteknisten järjestelmien osalta tuotteiden valmistusvaiheen eli tuotesidonnaisten päästöjen vaikutuksen tutkiminen on jäänyt vähemmälle huomiolle. Monissa tutkimuksissa taloteknisten järjestelmien tuotesidonnaiset päästöt ovat rajattu kokonaan laskennan ulkopuolelle. Tämä osin siksi, että taloteknisten järjestelmien ja tuotteiden aiheuttamasta hiilijalanjäljestä ei ole saatavilla riittävästi tietoa. Talotekniikassa järjestelmät ja tuotteet koostuvat usein monista komponenteista ja materiaaleista, jolloin niiden hiilijalanjäljen selvittäminen on haastavaa. Tutkimuksissa on osittain jouduttu käyttämään taloteknisten järjestelmien hiilijalanjäljen osalta keskiarvoihin perustuvia rakennuksen neliömetripohjaisia

arvoja, koska tarkempaa tietoa ei ole ollut tietyistä järjestelmistä ja tuotteista saatavilla. Viime vuosina osa merkittävistä talotekniikan laitevalmistajista on alkanut selvittämään tuotteidensa hiilijalanjälkeä. Viimeistään parin seuraavan vuoden aikana, kun hakkeiden hiilijalanjäljen laskenta tulee osaksi rakentamislupaa, alan toimijat tulevat aktivoitumaan tuotteidensa päästötietojen selvittämisessä ja ilmoittamisessa. (1)

2.2 Tavoitteet ja rajaus

Tällä opinnäytetyöllä on seuraavia tavoitteita:

- Tarkastella talotekniikan ja rakennusalan nykytilannetta ja tulevaisuutta ympäristövaikutuksen ja päästöjen huomioimisen osalta.
- Tarkastella taloteknistä suunnitteluprosessia osana rakennushanketta ja miten ympäristöasiat ja hiilijalanjäljen laskenta nykyisin huomioidaan suunnitteluprosessissa.
- Tarkastella taloteknisten järjestelmien ja tuotteiden ympäristövaikutuksia ja tuotesidonnaisia päästöjä.
- Tutkia esimerkkikohteen kautta talotekniikan tuotevalintojen vaikutusta tuotesidonnaisiin päästöihin.

Laskentaesimerkki rajautuu päivittäistavarakaupan vesi- ja viemärijärjestelmien eri putkimateriaaleista aiheutuvien tuotesidonnaisten päästöjen laskentaan. Rakenteiden ympäristövaikutuksia ei tutkita.

2.3 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyö koostuu kirjallisuus- ja laskentaosioista. Kirjallisuusosuudessa tehdään kirjallisuustutkimusta, jossa käydään läpi rakentamisen ja talotekniikan hiilijalanjälkeä. Lisäksi syvennytään tarkemmin taloteknisten tuotteiden ja järjestelmien ympäristövaikutuksiin ja tuotesidonnaisten päästöjen vaikutukseen sekä tämän hetken tilanteeseen ja haasteisiin tuotetietouden ja hiilijalanjäljen pienentämisen osalta.

Laskentaosiossa käydään esimerkki kohteen kautta tuotesidonnaisten päästöjen laskentaa läpi. Työssä lasketaan esimerkkikohteen vesi- ja viemärijärjestelmien eri materiaaleista valmistettujen tuotteiden ympäristövaikutukset tuotteiden hiilijalanjälkitietojen ja ympäristöselosteiden avulla. Työssä vertaillaan markkinoilta löytyvien vaihtoehtoisten vähäpäästöisten ja kierrätetyistä materiaaleista valmistettujen vesi- ja viemärijärjestelmien tuotteiden ilmastovaikutuksia. Tuote- ja materiaalikohtaisia tietoja haetaan päästötietokannasta CO2data.fi, One Click LCA -ohjelmistosta sekä laitevalmistajilta ja ympäristöselosteista (EPD). Työn yhteydessä kootaan suunnitteluprosessin alkuvaiheen päätöksenteon apuvälineeksi tuotetietoa, jonka avulla voi vertailla taloteknisten järjestelmien ja tuotteiden hiilijalanjäljen vaikutusta.

3 Taloteknisten järjestelmien ympäristövaikutukset

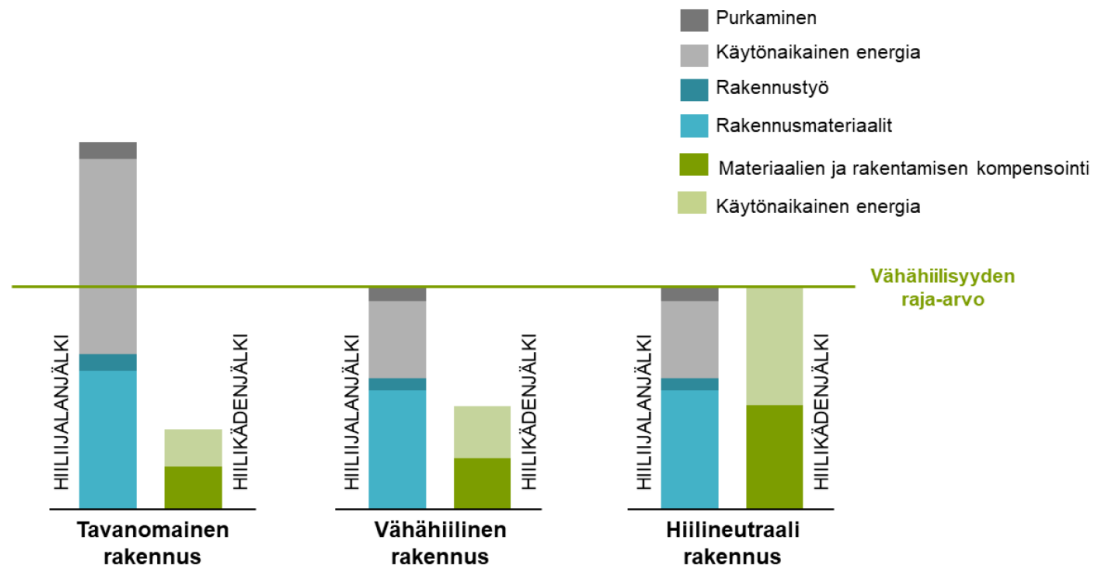
3.1 Rakentamisen hiilijalanjälki

Rakennusten elinkaaren hiilijalanjälki koostuu rakennusmateriaalien valmistuksesta, kuljetuksesta, työmaatoiminnoista, kunnossapidosta ja korjauksesta, materiaalien vaihdoista, energian ja veden käytöstä sekä rakennuksen purkamisesta ja materiaalien loppukäsittelystä. Vaikka iso osa rakennuksen hiilijalanjäljestä syntyy käytön aikaisesta energian käytöstä, rakennusmateriaalien osuus elinkaaren päästöistä on myös merkittävä. Energiantuotannon päästöjen laskiessa ja rakennusten energiatehokkuuden parantuessa rakennusvaiheen ja materiaalien osuus rakennusten koko elinkaaren aikaisista päästöistä kasvaa. (2, s. 2.) Rakennusten elinkaaren hiilijalanjälki jakaantuu käyttö- ja tuotesidonnaisiin päästöihin. Käyttösidonnaiset päästöt koostuvat kaikesta rakennuksen käytön vaatimasta energiasta kuten lämmön, sähkön, ilmanvaihdon tai jäähdytyksen kulutuksesta. Tuotesidonnaiset kokonaispäästöt muodostuvat tuotteiden valmistuksesta sekä hankkeen rakentamisen, korjaamisen ja uusimisen sekä purkuvaiheen päästöistä. (8, s. 11.)

Rakentamisen ympäristövaikutusten arvioinnissa on siirrytty kohti elinkaariajattelua, jossa pyritään arvioimaan rakennuksen ja siinä käytettyjen materiaalien ja

tuotteiden sekä sen käytön aikaiset vaikutukset koko elinkaareen ympäristövaikutukset huomioiden. Erityyppisillä rakennuksilla voi olla hyvin erilainen elinkaari ja kestävyys. Elinkaariajattelussa pyritään ottamaan jo suunnittelussa huomioon rakennushankkeen koko elinkaaren ajan negatiiviset ja positiiviset ympäristövaikutukset. Rakennushankkeiden suunnitteluvaiheessa tehtävässä elinkaaren hiilijalanjälkiarvioinnissa tarkastellaan rakennuksen koko elinkaaren aikana syntyvien kasvihuonekaasujen kokonaissummaa. Arviointien hiilijalanjälki ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenteina (CO_2e), mikä tarkoittaa kaikkien syntyvien eri kasvihuonekaasupäästöjen ilmastoa lämmittävien vaikutusten muuntamista hiilidioksidia vastaavaksi vaikutukseksi. Elinkaariarviointien laskenta perustuu kansainvälisiin standardeihin ja niitä ohjaavat standardit sekä maiden lait ja asetukset. (9)

Elinkaariajattelun myötä rakennushankkeissa on siirrytty toteuttamaan vähähiilistä rakentamista enenevässä määrin. Merkittävin asia on ollut energia-asioihin keskittyminen ja käytön aikaisen energiankulutuksen pienentäminen. Nyt ollaan siirtymässä tavoittelemaan ensimmäisten hankkeiden osalta hiilineutraalia rakentamista. Hiilineutraaliuden saavuttamisen kannalta oleellista on, että rakennushankkeessa saadaan myös elinkaaren aikaisia positiivisia ilmastovaikutuksia hiilikädenjäljen muodossa. Tällaisia vaikutuksia tarvitaan niin energiankulutuksen kuin materiaalienkin osalta. Kuvassa 2 on esitetty suuntaa antava jakauma elinkaarenaikaisesta hiilijalan- ja -kädenjäljestä tavanomaisessa, vähähiilisessä ja hiilineutraalissa rakennuksessa. Hiilineutraalissa rakennuksessa käytön aikainen energiankulutus on pieni ja hiilijalanjälki ja -kädenjälki ovat tasapainossa. Tavanomaisessa rakennuksessa hiilijalanjälki on suuri ja hiilikädenjälki on pieni. Hiilineutraalin rakennuksen rakennusmateriaalien päästöjen suhteellinen osuus on huomattavasti suurempi kuin tavanomaisella rakennuksella. Hiilineutraalissa rakennuksessa positiivisia ilmastovaikutuksia saadaan sekä materiaalien että energiankulutuksen osalta, hiilikädenjäljen vaikutusten suhteellisen osuuden ollessa huomattavasti merkittävämpi kuin vähähiilisessä rakennuksessa.

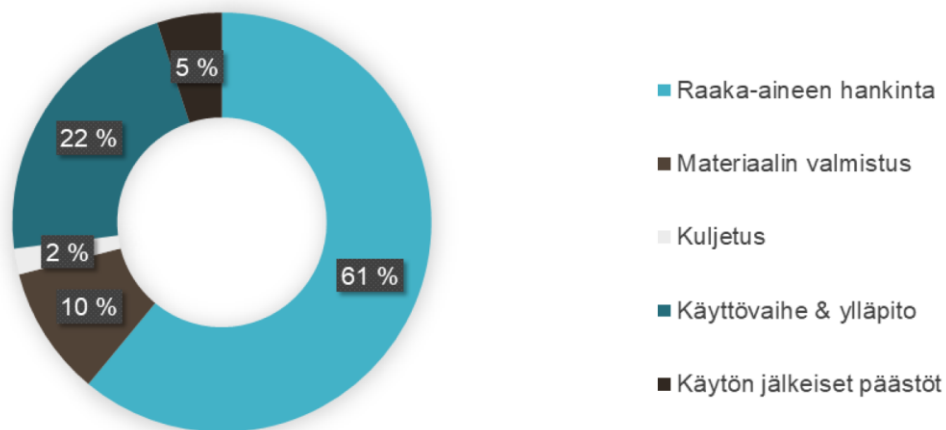


Kuva 2. Vähähiilisen rakennuksen päästöjakauma (8 s. 6).

Rakennusten energiatehokkuutta on pyritty lisäämään esimerkiksi energiatodistusten, ympäristöluokitusjärjestelmien, ympäristölupien ja vapaaehtoisten energiansäästösopimusten kautta (10, s. 8). Uusien rakennusten energiatehokkuuden parantuessa ja rakennuksen käytönaikaisten kasvihuonekaasupäästöjen vähentyessä, rakennusmateriaalien aiheuttamien päästöjen suhteellinen osuus kasvaa rakennuksen koko elinkaarenaikaisesta hiilijalanjäljestä. Rakennusmateriaalien aiheuttamien sitoutuneiden päästöjen ja energiankulutuksen päästöjen keskinäinen painoarvo elinkaaren aikaisesta hiilijalanjäljestä riippuu rakennuksesta. Energiatehokkaassa vähäpäästöiset energiatuottojärjestelmät omaavassa rakennuksessa materiaalien päästöt korostuvat. Nykyarvioiden mukaan jopa puolet energiatehokkaiden rakennusten elinkaarenaikaisesta hiilijalanjäljestä aiheutuu rakennusmateriaaleista. Rakennusten ilmastovaikutuksia tarkasteltaessa on siis entistä tärkeämpää huomioida energiankulutuksen lisäksi koko rakennuksen elinkaaren aikaiset päästöt. (11, s. 22.)

Suurin osa rakennusmateriaalien ja tuotteiden aiheuttamista päästöistä syntyy valmistusvaiheessa. Raaka-aineiden hankinta ja valmistusprosessit vaikuttavat ympäristöön ja kuluttavat uusiutumattomia luonnonvaroja aiheuttaen päästöjä

ilmakehään, vesistöihin ja maaperään (11, s. 11). Kuvassa 3 on esitetty rakennusmateriaalien ilmastovaikutusten jakautuminen eri tuotantovaiheiden kesken. Voidaan havaita, että rakennushankkeiden alkuun sijoittuva tuotteiden raaka-aineiden hankinta ja materiaalien valmistus aiheuttavat valtaosan rakennusmateriaalien aiheuttamista päästöistä.



Kuva 3. Rakennusmateriaalien ilmastovaikutusten jakautuminen eri tuotantovaiheiden kesken (8, s. 14).

Materiaalitehokkuuden näkökulmasta on yhä tärkeämpää tavoitella kiertotaloutta kokonaisvaltaisesti myös rakentamisella, silloin kun se vain on teknisesti ja laadullisesti mahdollista. Raaka-aineiden ja materiaalien hankinnan hiilijalanjälkeen on mahdollista vaikuttaa huomattavasti hyödyntämällä uusien tuotteiden valmistuksessa jo olemassa olevia materiaaleja raaka-aineita. Uusiokäytöllä voidaan pienentää merkittävästi materiaaleista aiheutuvia päästöjä, kun materiaalit pyritään pitämään kierrossa mahdollisimman pitkään. Toiseksi merkittävin osuus rakennusmateriaalien hiilijalanjäljestä syntyy käyttövaiheen ja ylläpidon päästöistä, kuten materiaalien uusimisista ja korjauksista. Tämän osuuden päästöihin voidaan vaikuttaa esimerkiksi pidentämällä käyttöikää valitsemalla kestävämpiä ja pitkäikäisempiä materiaaleja. Päästöjä voidaan vähentää myös kehittämällä uusia materiaaleja tai tekniikoita, jotka vaativat vähemmän täysin uusia raaka-aineita. Vähähiilisten materiaalien kustannustehokas käyttö

edellyttää kuitenkin osaamista ja tietoa sekä keskustelua toteuttajien ja materiaalityöntekijöiden välillä. Uusia kierrätystä hyödyntäviä rakennustuotteita ja -materiaaleja tulee markkinoille entistä enemmän, kun tavoitteet ja määräykset tarkentuvat ja rakentamisessa on tarve hyödyntää uusia vähäpäästöisiä ratkaisuja. (8, s. 14.)

Rakennusten elinkaaren päästölaskelmia laadittaessa tarvitaan hankkeessa käytettyjen rakennusmateriaalien ja -tuotteiden CO₂-päästötiedot. Päästötietoja on saatavilla eri lähteistä ja pääasiassa niitä ovat tuotteiden ympäristöselosteet, päästötietokannat ja päästölaskentaohjelmistot. Tietolähteiden laatu voi olla kuitenkin vaihteleva. Olennaisinta laskennan kannalta on, että tiedot on laadittu EN15804 standardin vaatimusten mukaisella tavalla, ne ovat keskenään yhdenmukaisia ja käytetään Suomessa käytettäviä materiaaleja luotettavasti edustavia päästötietoja. Päästölaskentaa voidaan tehdä tuoteryhmien keskiarvotietojen tai tarkemman tuotekohtaisen hiilijalanjäljen pohjalta. Tuotetason tietoa tarjoavat erityisesti ympäristöselosteet eli EPD:t (Environmental Product Declaration). Suomessa EN 15804 -standardin mukaisia ympäristöselosteita julkaisee mm. Rakennustieto Oy RTS. Tuoteryhmien keskiarvotietoja on saatavilla Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämästä rakentamisen päästötietokannasta CO2data.fi. Tietojen lisäksi tarvitaan hiilijalanjäljen laskentatyökaluja ja -osaamista, joka on toistaiseksi alalla puutteellista. Käytetyistä laskentaohjelmista mainittakoon One Click LCA -ohjelmisto, joka sisältää myös laajan tietokannan eri maiden ympäristöselosteista. (2, s. 22)

Uuden rakentamislain lainsäädännön valmistelun yhteydessä on laadittu tiekartta, jossa pääohjauksena on rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen sääntely vaiheittain toteutettuna (2). Tavoitteena on edistää Suomen rakennus- ja kiinteistöalaa koskevia ilmastotavoitteita. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaista hiilijalanjälkilaskentaa on pilotoitu erityyppisissä rakennushankkeissa vuodesta 2019. Pilotoinnin yhteydessä vähähiilisuuden arviointimenetelmä on ollut kommenttikierroksilla ja päästötietokanta on julkistettu. Kuvassa 4 on esitetty vuosikohtaisesti vähähiilisen rakentamisen tiekartan eteneminen.



Kuva 4. Vähähiilisen rakentamisen tiekartan eteneminen (12).

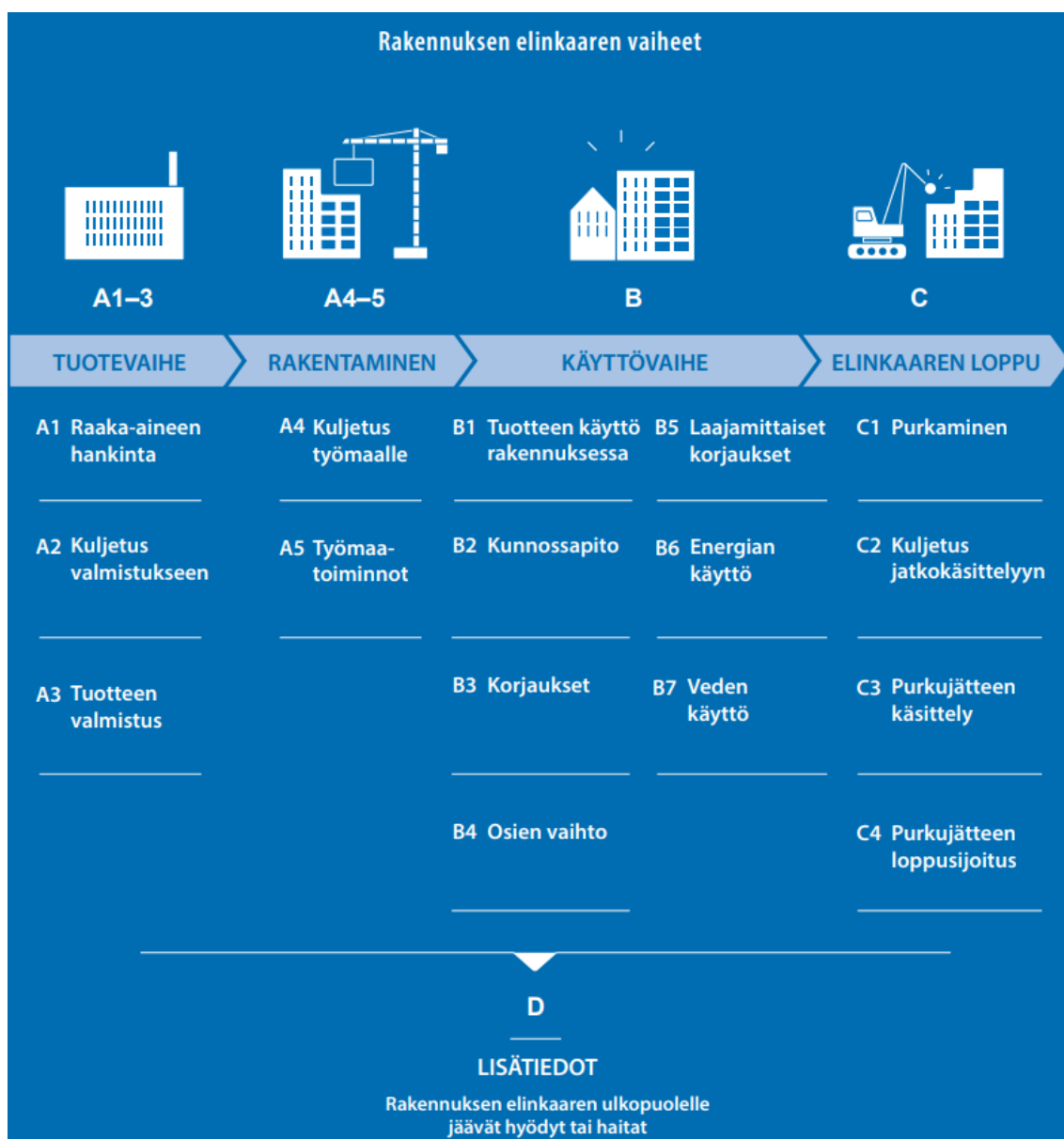
Tämän opinnäytetyön kirjoittamisen aikana eduskunta on hyväksynyt uuden rakentamislain (1.3.2023). Rakentamislaki astuu voimaan 1.1.2025. Suurin muutos on ilmastonmuutoksen hillinnän tuominen osaksi rakentamisen lainsäädäntöä. Laki ohjaa vähähiiliseen rakentamiseen, eli huomioimaan rakennuksen koko elinkaaren aikana syntyvät ilmastohaitat ja -hyödyt. (13)

3.2 Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmät

Osana uutta rakentamislakia rakennushankkeilta tullaan vaatimaan lupakäsittelyn yhteydessä ympäristöseloste, jossa esitetään raportti hankkeen hiilijalanjälki- sekä hiilikädenjälkilaskelmista. Ympäristöselosteen laskelmien menetelmä pohjautuu ympäristöministeriön vuonna 2019 rakennushankkeiden koekäyttöön julkaisemaan Suomen oloihin kehitettyyn Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmään. (14) Menetelmällä voidaan arvioida rakennuksen vähähiilisyyttä ja kestävää kehitystä. Tämä arviointimenetelmä perustuu Euroopan komission laatimaan Level(s)-menetelmään. Level(s) on menetelmä rakentamisen resurssitehokkuuden mittaamiseen, jonka pohjana ovat eurooppalaiset kestävän rakentamisen standardit (mm. EN15643-sarja, EN15978 ja EN15804). Menetelmää on kehitetty laajasti yhteistyössä EU:n jäsenmaiden sekä kestävän rakentamisen ammattilaisten kanssa. Levels'in tarkoitus on luoda yhteinen perusta eri

maissa käytettäville rakentamisen resurssitehokkuuden ja ekologisuuden mittareille. Tavoitteena on myös luoda yhtenäinen kieli ja käsitteistö kommunikaation tueksi. (15)

Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmässä huomioidaan koko rakennus, tontin rakenteet sekä keskeinen osa taloteknisistä järjestelmistä. Arvioinnin jätetään tontin kasvillisuus, maaperä tai rakentamisen väliaikaiset telineet ja suojaukset. Arviointijakson pituus on rakennuksen koko elinkaaren aika. Arvioinnin yhteydessä laaditaan materiaaliluettelo, joka sisältää hankkeeseen suunnitellut tuotteet rakennuksesta, tontilta ja keskeisimmistä taloteknisistä järjestelmistä. Arviointimenetelmän tuloksena saadaan elinkaaren yhden käyttövuoden hiilijalanjälki- ja hiilikädenjälki lämmitettyä nettoalaa, yksikkönä $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$. Elinkaaren vaiheisiin sisältyvät rakennustuotteiden valmistus, kuljetukset ja työmaatoiminnot, käyttö ja korjaukset sekä purku ja kierrätys. Elinkaaren vaiheiden moduulit on määritelty EN-standardissa EN 15643-2 ja esitetty kuvassa 5. (9)



Kuva 5. Rakennuksen elinkaaren vaiheet (8).

Elinkaaren vaiheet jakaantuvat tuotevaiheeseen, rakentamiseen, käyttövaiheeseen ja elinkaarenloppuun. Tuotevaihe A1–3 sisältää tuotteiden raaka-ainesten hankinnasta tuotteiden valmistukseen. Rakennusvaihe A4–5 käsittää kaikki itse kohteen rakentamiseen liittyvät vaiheet ja työmaatoiminnot sekä näiden vaatimat kuljetukset. Käyttövaihe B1–7 käsittää kaikki rakennuksen käytön aikaiset toiminnot kunnossapidosta ja korjauksista aina ylläpitoon ja energian- ja vedenkulutukseen. Vaihe C Elinkaaren loppu sisältää rakennuksen purkamisen ja purrettujen materiaalien pois kuljetuksen, purkujätteen käsittelyn ja hävittämisen. Vaihe D sisältää rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät haitat ja hyödyt ja

sisältää vielä hiilikädenjäljen eli muun muassa rakennusosien uudelleenikäytön tai materiaalien kierrätyksen kautta vältetyt kasvihuonekaasupäästöt. (9)

Vähähiilisuuden arviointi tehdään rakennuksen suunnitteluvaiheessa, kun rakennuskohteesta on tarpeeksi tietoa laskennan laatimiseen. Arviointimenetelmän laskentaan tarvitaan eri rakennustuotteiden ja prosessien päästötiedot sekä työkalun päästötietojen laskentaan. Usein arvioinnin laatiminen ajoittuu suunnitteluprosessin alkuvaiheisiin ja laskelmia voidaan laatia energialaskelmien kanssa samaan aikaan ja niiden yhteydessä. Menetelmä voidaan tehdä kaikille rakennuksille ja sitä voidaan soveltaa sekä uudis- että korjausrakentamisen hankkeisiin. Arviointi on tarkoitettu tehtäväksi rinnan rakennuksen energia- tehokkuuden arvioinnin kanssa. (9)

3.3 Taloteknisten järjestelmien ympäristövaikutukset

Talotekniset järjestelmät koostuvat kiinteistöä palvelevien teknisten järjestelmien ja laitteiden muodostamasta kokonaisuudesta. Pääasiallinen osuus taloteknisistä järjestelmistä koostuu LVI-tekniikasta, joilla hallitaan lämmitystä ja jäähdytystä, ilmanvaihtoa sekä vesi- ja viemärihuoltoa. Sähkötekniset järjestelmät vastaavat kiinteistön sähköistämisestä ja valaisemisesta. Talotekniikan avulla pyritään luomaan rakennuksiin hallitut ja terveelliset sisäolosuhteet sekä johtamaan turvallisesti puhdas vesi käyttäjille ja hoitamaan asianmukaisesti jäte- ja hulevesien poisjohtaminen. Taloteknisiin järjestelmiin kuuluvat myös muun muassa palontorjuntajärjestelmät, erilaiset kaasujärjestelmät, uima-allaslaitteet, varavoima- ja tietoliikennejärjestelmät. Taloteknisiä järjestelmiä ohjataan rakennusautomaatiojärjestelmällä. Yhä tärkeämpää on, että järjestelmät toimivat energiatehokkaasti ja ympäristöä säästäen. (16) Talon sisäisten jakelu- järjestelmien sekä energiantuottojärjestelmien kehittyessä ja osin monimutkaisuudessa on entistä tärkeämpää, että niiden ohjaaminen rakennusautomaation kautta toimii halutulla tavalla.

Taloteknisillä järjestelmillä on merkittävä rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä. Talotekniikalla on suuri vaikutus rakennuksen käytönaikaisiin päästöihin, järjestelmien ollessa pääosin vastuussa kaikesta rakennuksen toimivuuteen ja ylläpitoon liittyvissä asioissa, energian kulutuksen ollessa suurin yksittäinen käytönaikainen päästökäyttäjä. Nykyaikaiset talotekniset pääjärjestelmät ovat laajoja koko rakennuksen kattavia järjestelmiä ja ne valmistetaan monesti hiili-intensiivisistä materiaaleista. Lisäksi osa taloteknisistä järjestelmistä ja tuotteista omaa lyhyemmän käyttöikänsä kuin itse rakennus, minkä takia nämä järjestelmät on uusittava ainakin kerran rakennuksen elinkaaren aikana. Suuren massansa, valmistusmateriaaliensa ja lyhyemmän käyttöikänsä takia talotekniikalla on merkittävä osuus myös rakennusten materiaalipäästöjä tarkasteltaessa. Taloteknisillä valinnoilla pystytään vaikuttamaan niin käytön- kuin rakentamisaikaisiin päästöihin. Taloteknisillä ratkaisuilla on useita erilaisia toteutustapoja niin materiaalien tuotesidonnaisia päästöjä kuin kulutuksen käyttösidonnaisia päästöjä tarkasteltaessa. Tämä tuo paljon mahdollisuuksia myös suunnitteluun rakennusten ilmastovaikutuksia tarkasteltaessa ja taloteknisiä valintoja tehtäessä.

3.3.1 Energiankulutuksen hiilijalanjälki

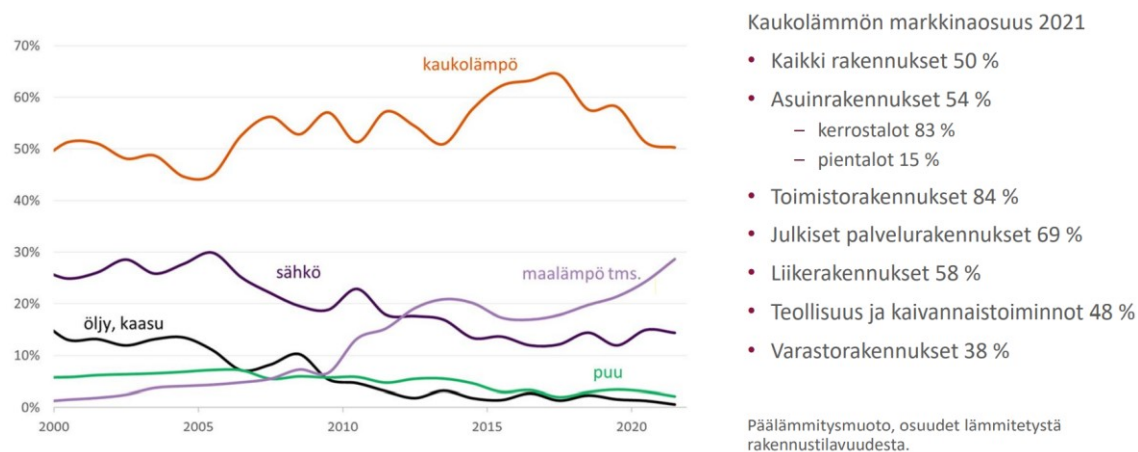
Talotekniset järjestelmät aiheuttavat merkittävän osan rakennusten käytönaikaisesta hiilijalanjäljestä energian kulutuksen kautta. Siksi energian tuotantotavoilla ja talon sisäisillä jakelujärjestelmillä ja niiden ohjauksella on olennainen rooli. Rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmillä, ilmanvaihdon sekä kiinteistöelektroniikalla on suuri vaikutus käyttösidonnaisia päästöjä tarkasteltaessa. Lämmityksen ja jäähdytyksen osalta energian tuotantotavalla ja rakennuksen sisäisillä jakelujärjestelmillä on iso rooli. Ilmanvaihdossa energiaa kierrättävä tehokas lämmöntalteenottojärjestelmä sekä tarpeenmukainen ohjaus ovat olennaisessa roolissa. Rakennusautomaatio on entistä tärkeämmässä roolissa, jotta järjestelmiä voidaan ohjata tarpeen mukaan muun muassa sääolosuhteiden ja rakennusten vaatiman käyttötarpeen mukaan. Uusi energiatehokkuusdirektiivi asettaa tiukemmat vaatimukset rakennusten energiankulutukselle myös taloteknisten järjestelmien osalta. Direktiivissä esitetään myös älykkään ja tarpeenmukaisen ohjauksen toteuttamista eri järjestelmille. (17).

Rakennuksen käyttämän energian tuotantotapa vaikuttaa oleellisesti energiankulutuksen kokonaishiilijalanjälkeen. Paikallisten vaihtoehtoisten energiamuotojen käyttö on lisääntynyt huomattavasti viime vuosina, kun energian kulutukseen on alettu kiinnittää huomiota. Esimerkiksi erilaiset lämpöpumppuratkaisut, joita hyödynnetään monesti myös jäähdytyskäytössä, ovat hyvin suosittuja uudisrakentamisessa. Erilaiset hybridiratkaisut, jossa lämpöpumppuja käytetään kaukolämmön rinnalla energian tuotossa, alkavat olla entistä vakiintuneempia ratkaisuja energiantuottotapoja harkittaessa. Auringon säteilyn hyödyntäminen keräimillä on usein käytetty ratkaisu osana rakennusten energiantuottoratkaisuja. Kokonaishiilijalanjälkeä tarkasteltaessa hyödyntämällä näitä ns. ilmaisenergioita voidaan saavuttaa merkittäviä vaikutuksia. Hanketasolla onkin tärkeä huomioida, miten paikallisen energiaverkon päästökertoimet sekä mahdollisten ilmaisenergioiden käyttö rakennuksen energiantuotantotapoina vaikuttavat koko elinkaarenaikaiseen hiilijalanjälkeen. (8, s. 12.)

Kaukolämpö on Suomessa yleisin lämmitysmuoto. Myös kaukojäähdytyksen käyttö on lisääntynyt verkoston laajenemisen myötä. Kaukolämmöllä on energiamuodon päästökertoimen kautta merkittävä vaikutus käytönaikaiseen hiilijalanjälkeen. Kaukolämmön energiamuodon päästöt pienenevät, kun uusiutuvien energialähteiden ja hukkalämmön käyttö ovat korvanneet perinteisempiä fossiilisia polttoaineita kaukolämmön tuotannossa. Lämpöpumppuratkaisuilla on iso rooli myös kaukolämmön ja -jäähdytyksen tuotannossa, kun samoilla pumpuilla voidaan tuottaa lämmitys- ja jäähdytysenergiaa. Energiateollisuuden mukaan kaukolämmön tuotannon energiamurros onkin jo pitkällä. Uusiutuvien energiamuotojen osuus on lähes kaksinkertaistunut ja hukkalämpöjen osuus on yli kolminkertaistunut viimeisen kymmenen vuoden aikana. (19, s. 7.)

Kuvassa 6 on eri lämmitysmuotojen käytön jakautuminen rakennusten päälämmönlähteenä Suomessa myönnettyjen rakennuslupien mukaan vuosina 2000–2020. Kaukolämpö on ollut suosituin rakennusten lämmitysmuoto. Maalämmön käyttö on kasvanut eniten. Pientalojen uudisrakentamisessa lämpöpumppuenergia onkin nykyisin suosituin energialähde (18). Vastaavasti sähkölämmitteisten talojen osuuden väheneminen, ei niin edullisena lämmitysmuotona, on

selkeästi vähentynyt. Voidaan havaita myös kaukolämmön käytön päälämmönlähteenä vähentyneen 2020-luvulle tultaessa. Suurimpana yksittäisenä vaikuttavana tekijänä tällekin on lämpöpumppuratkaisujen käytön kasvaminen.



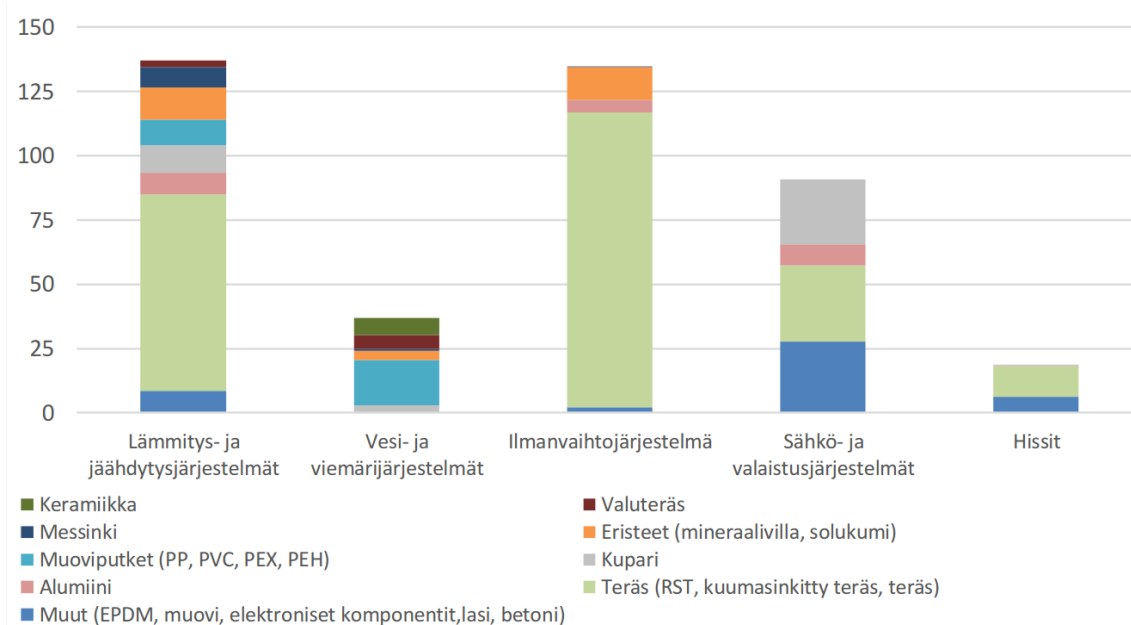
Kuva 6. Lämmitysmuotojen käytön jakaantuminen Suomessa (19, s. 21).

3.3.2 Materiaalien hiilijalanjälki

Talotekniset järjestelmät muodostavat merkittävän osuuden rakennuksessa käytetyistä materiaaleista. Rakennuksen hiilijalanjälkeä tarkasteltaessa taloteknisillä järjestelmillä on vaikutuksensa tuotteiden valmistusvaiheessa, rakennuksen käyttövaiheessa sekä elinkaaren loppuvaiheessa. Taloteknisten järjestelmien materiaalien aiheuttamista päästöistä merkittäväksi tekee se, että järjestelmät ja tuotteet valmistetaan monesti eri metallimateriaaleista. Materiaaleina käytetään paljon esimerkiksi terästä, alumiinia, kuparia ja valurautaa. Metallituotteiden valmistamiseen käytetään paljon energiaa ja tuotantoprosessi aiheuttaa paljon päästöjä. Talotekniikka sisältää myös järjestelmiä ja tuotteita, joiden käyttöikä on lyhyempi kuin rakennuksen elinkaari, jolloin tällaiset järjestelmät joudutaan uusimaan vähintään kertaalleen käyttövaiheen aikana. Nämä pakolliset laiteuusinnat lisäävät rakennuksen käyttövaiheen päästöjä järjestelmän ja tuotteiden uusimisen, mutta myös vanhan järjestelmän purkamisen ja hävittämisen takia. Elinkaaren loppuvaiheen päästöissä paljon hiili-intensiivisiä metalleja sisältävällä talotekniikalla on myös osuutensa rakennuksen purkamista ja jäteenkäsittelyä tarkasteltaessa.

Taloteknisissä järjestelmäratkaisuissa on monia eri toteutustapoja. Järjestelmät voidaan toteuttaa monella eri teknisellä ratkaisulla ja eri järjestelmissä on mahdollista käyttää monia eri tuotteita, jotka on valmistettu eri materiaaleista. Eri järjestelmät ja tuotteet poikkeavat toisistaan niin valmistusmateriaalien, käyttökänsä kuin energiankulutuksen suhteen toisistaan, mikä tuo myös paljon mahdollisuuksia suunnitteluun rakennusten ilmastovaikutuksia tarkasteltaessa ja taloteknisiä valintoja tehtäessä. Taloteknisten järjestelmien aiheuttamissa tuotesidonnaisissa päästöissä on siis paljon säästöpotentiaalia. Päästöjä voidaan vähentää muun muassa suosimalla vähäpäästöisiä kevyitä materiaaleja, suosimalla kierrätettyjä materiaaleja, valitsemalla pitkäikäisiä järjestelmiä ja pyrkimällä välttämään turhien tai ylimääräisten laitteiden suunnittelua. (20)

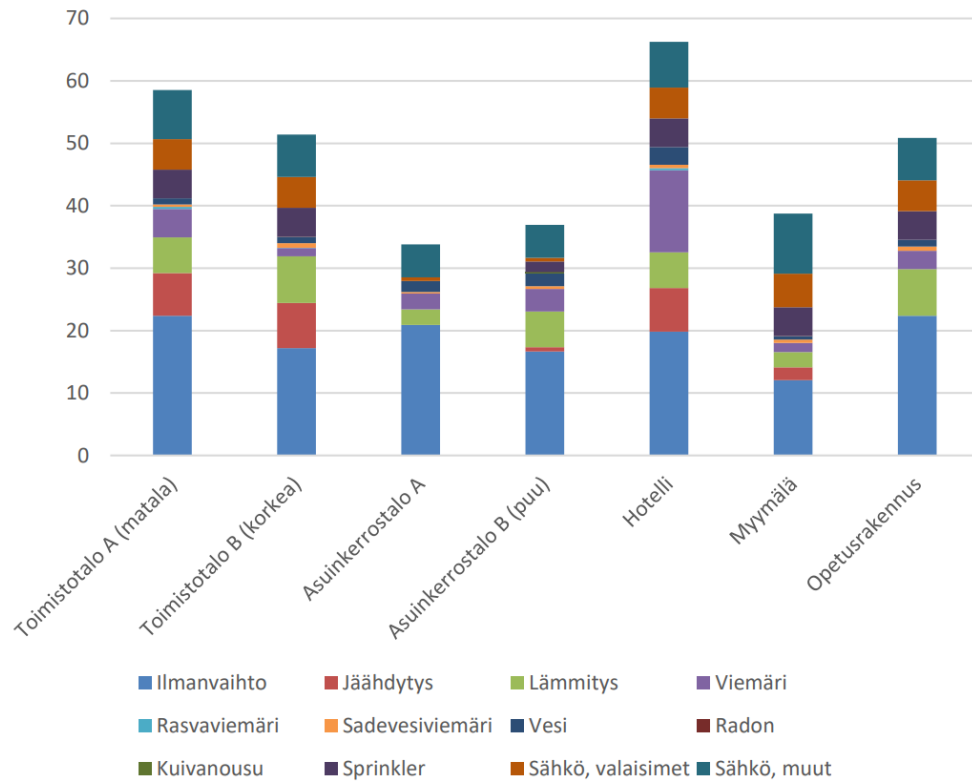
Kuvassa 7 on esitetty toimistorakennuksen taloteknisten järjestelmien materiaalien massaosuudet järjestelmäkohtaisesti. Voidaan havaita ilmanvaihto-, lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä käytetyn teräksen olevan selkeästi käytetyin materiaali. Kyseisessä toimistorakennuksessa teräksen osuus käytetyistä talotekniikan materiaaleista on noin 56 % (21, s. 26). Alumiinin, muovin ja eristeiden osuus kokonaisuudesta on pienempi.



Kuva 7. Toimistorakennuksen materiaalien massatiedot (21, s. 26).

Talotekniikan materiaalipäästöt jakautuvat hyvin samalla tavalla kuin massamäärät. Tämä johtuu siitä, että iso osa talotekniikasta on valmistettu teräksestä, jolloin eri tuotteiden päästökertoimet ovat hyvin samansuuruisia. (20, s. 7.) Taloteknisten järjestelmien aiheuttamat materiaalipäästöt eroavat toisistaan paljonkin rakennustyyppistä riippuen. Eri rakennustyypeissä voidaan käyttää erilaisia järjestelmäratkaisuja. Esimerkiksi toimisto- ja liikerakennuksissa on useimmiten tilajäähdytysjärjestelmät, joita ei yleensä ole asuinrakennuksissa. Asuin- ja hotellirakennuksissa on suhteessa paljon vesi- ja viemäritekniikkaa sisältäviä märkätiloja, tällöin näiden järjestelmien osuus on vastaavasti suuri hiilipäästöjä tarkasteltaessa. Kuvassa 8 on tutkittu eri järjestelmien aiheuttamia päästöjä rakennustyypeittäin. Paljon materiaalia sisältävän hotellirakennuksen talotekniikan materiaalipäästöt ovat suurimmat ja toimistojen toiseksi suurimmat eli talotekniikan materiaalipäästöt noudattavat samaa suuruusjärjestystä kuin massamäärä. Perinteisemmän asuinkerrostalon, jossa ei ole jäähdytystä ja sprinkler-järjestelmää, materiaalipäästöt ovat pienimmät. (20, s. 7.)

Yksittäisistä järjestelmäkokonaisuuksista Ilmanvaihtojärjestelmä oli selvästi suurin talotekniikan kokonaismassasta, noin 35–65 %. Asuinrakennuksissa, joissa oli asuntokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä, kokonaismassan osuus oli 65 % ja keskitetyssä järjestelmissä osuus oli noin 45 %. Seuraavaksi suurimmat järjestelmäkohtaiset massamäärät olivat kohderakennuksesta riippuen 10–15 % luokkaa talotekniikan kokonaismassasta. Tällaisia järjestelmiä olivat lämmitys-, jäähdytys-, sprinkler-, viemäri- sekä sähköjärjestelmät. Massamäärään vaikuttaa eri järjestelmien kokonaistarve sekä käytetyt materiaalit, esimerkiksi viemärijärjestelmissä valuraudan tai muovin käyttö. (20, s. 6.)



Kuva 8. Taloteknisten järjestelmien materiaalipäästöt rakennustyypeittäin (20, s. 7).

Uusiutuvilla energiamuodoilla on myös osuutensa rakennuksien tuotesidonnaisia päästöjä tarkasteltaessa. Uusiutuvien energiamuotojen monimutkaisemmat paikan päällä kohteessa sijaitsevat, usein hybridi-ratkaisuina toteutetut järjestelmät, vaativat enemmän hiili-intensiivisiä materiaaleja ja komponentteja. Esimerkiksi maalämpöjärjestelmät ja aurinkokeräintekniikka sisältävät paljon materiaa- limassaa perinteisempiin lämmöntuotantotapoihin nähden.

3.3.3 Tutkimukset

Talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen arviointi on haastavaa. Monista laitteista ei ole saatavilla hiilijalanjälkiarvioinnin lähtötietoja, yksityiskohtaisia määrä- ja päästötietoja talotekniikan eri osille. Haasteellisuutta arvioinneissa lisää myös se, että talotekniikan laitteet voivat sisältää eri valmistajien komponentteja, ja osa komponenteista on valmistettu Suomen ulkopuolella.

Varmastikin osaksi edellä mainituista syistä rakennushankkeiden talotekniikasta aiheutuvia ympäristövaikutuksia, eteenkään tuotesidonnaisia päästöjä, ei ole tutkittu kovin paljoa. Arvioinneissa talotekniikka on monesti huomioitu elinkaariarvioissa puutteellisesti tai rajattu kokonaan arvion ulkopuolelle. Talotekniikan osalta arvioinneissa on saatettu käyttää myös neliöpohjaisia arvoja. Neliöpohjaisten arvojen käyttö ei välttämättä kerro kuitenkaan tekniikan osalta todellista hiilijalanjälkeä, sillä arvot eivät välttämättä huomioi esimerkiksi yksilöllisiä rakennuskohtaisia järjestelmäratkaisuja. Muun muassa lisääntyvän paikallisen energiantuotannon laitteita ei ole välttämättä sisällytetty arvoihin. (22) Ympäristövaikutusten ja hiilijalanjäljen laskennan siirtyessä kohti rakennusmääräyksiä myös taloteknisten järjestelmien vaikutusta tullaan tutkimaan enemmän ja varmastikin myös paraikaa on tekeillä erinäisiä tutkimuksia aiheesta. Euroopassa on tehty viime vuosina muutamia tutkimuksia talotekniikan ilmastovaikutuksista toimistorakennuksille. Sveitsiläisen toimistorakennuksen osalta talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen osuus elinkaarenaikaisista kokonaispäästöistä 15–36 %. (23) Ruotsissa valmistuneen betonirakennuksen talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen osuus oli noin 14 % ja energiankäytön osuus noin 23 % rakennuksen elinkaaren kokonaispäästöistä. (24)

Sweco on tutkinut Talotekniikan päästöjen selvityshankkeessa toteutuneiden rakennuskohteiden talotekniikan aiheuttamia päästöjä rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmää varten. Tarkastelut on tehty referenssikohteiden suunnitelmien ja tietomallien pohjalta rakennustyyppikohtaisesti ja selvityksen tavoitteena on ollut tarkentaa hankkeiden alkuvaiheen hiilijalanjälkilaskentaa, tuomalla taulukoidut neliömetripohjaiset arvot eri rakennustyypeille. Selvityksen mukaan talotekniikan materiaalipäästöt noudattavat samaa suuruusjärjestystä kuin massamäärät. Paljon talotekniikkaa sisältävien, majoitusliikerakennusten päästöt ovat suurimmat ja toimistorakennusten toiseksi suurimmat. Näissä rakennuksissa olosuhdevaatimukset ovat tarkemmat ja niihin toteutetaan tilajäähdytysverkostot. Majoitusliikerakennuksissa on lisäksi paljon vesi- ja viemäritekniikkaa. Asuinkerrostalojen materiaali päästöt ovat pienimmät. Ne toteutetaan perinteisesti ilman tilajäähdytys- ja sprinkleri-järjestelmiä. Selvityksen tulosten perusteella toimistoissa ja kauppakeskuksissa jopa suurempi osa talotekniikan

materiaalipäästöistä aiheutuu käytön aikana. Tämä johtuu siitä, että kyseisissä rakennustyypeissä tehdään paljon tila- ja käyttötarkoituksista johtuvia muutostöitä talotekniikalle jo ennen teknisen käyttöiän päättymistä. Muissa rakennustyypeissä tehdään muutostöitä tekniikalle pääsääntöisesti vasta teknisen käyttöiän loputtua. (20, s. 6, 11.)

Diplomityössä Taloteknisten järjestelmien elinkaaren ilmastovaikutukset (2021) Henna Näsänen (21) tutki esimerkkikohteena olevan toimistorakennuksen talotekniikan hiilijalanjälkeä. Tutkimuksen tulosten perusteella kohteen hybridimaalämpöjärjestelmällä elinkaaren ilmastovaikutuksia on ollut mahdollista vähentää 6 % verrattuna perinteisiin kaukolämmitys ja kaukojäähdytys- tai kaukolämmitys ja vedenjäähdytyskoneratkaisuihin. Työssä tehtiin tutkimusta myös toimistokohteen sisäisistä taloteknisistä jakelujärjestelmistä. Ilmanvaihtojärjestelmän muuntojoustavalla toteutuksella, jossa tekniikka mitoitettiin ohjearvoja suuremmaksi, saatiin 1–2 %:n vähennys kohteen elinkaarenaikaiseen hiilijalanjälkeen. Lämmitysjärjestelmän vertailussa lattialämmitys on vähähiilisin vaihtoehto verrattuna säteilypaneeleihin tai patteriverkoston. Vesi- ja viemärijärjestelmien osalta PEX-putkilla käyttövedessä ja PP- ja PVC-muoviputkilla viemärijärjestelmissä saavutettiin pienin elinkaarenaikainen hiilijalanjälki. Työn tutkimuksen perusteella talotekniikan osalta paikanpäällisen uusiutuvan energiantuotannon lisäksi päästövähennyksiä on mahdollista saavuttaa muuntojoustavalla suunnittelulla, eri järjestelmien, laitteiden ja materiaalien käyttöiän pidentämisellä ja hyödyntämällä hiili-intensiteetiltään pienempiä järjestelmäratkaisuja ja putkivalintoja. (21)

Diplomityössä Asiakkaan päästöjen vähentäminen talotekniikkasuunnittelussa (2022) Valle Raatikainen (25) vertaili eri taloteknisten ratkaisujen vaikutusta esimerkkikohteena olleen päiväkodin hiilijalanjälkeen. Talotekniikan materiaalien osuus elinkaaren kokonaishiilijalanjäljestä oli 10–15 % ja käytönaikaisen energiankulutuksen osuus 23–42 % käytetyistä ratkaisuista riippuen. Esimerkkikohteen laskennan perusteella energiantuottotapana maalämpöjärjestelmän elinkaaren hiilijalanjälki on pienin. Talotekniikan materiaaleja tutkittaessa todettiin, että muovi- ja PEX-pohjaisten tuotteiden aiheuttama hiilijalanjälki on pieni verrattuna metallista valmistettuihin tuotteisiin. Huomionarvoista on kuitenkin, että

muovien, eteenkin PEX-putken kierrätettävyys on uusiomateriaalina huono. Vastaavasti metallien kierrätettävyys on korkea jopa yli 90 %. Työssä vertailtiin myös taloteknisten eristeiden vaikutusta ja havaittiin että vähäpäästöisiä eristevaihtoehtoja käyttämällä voidaan eristeistä aiheutuvia päästöjä vähentää tuntuvasti. (25)

4 LVI-suunnittelu rakennushankkeessa

Talotekniikalla on entistä merkittävämpi rooli nykyaikaisissa rakennuksissa. Rakennuksille ja tiloille asetetaan monenlaisia toimivuuteen ja olosuhteisiin liittyviä tavoitteita. Uudet rakennukset voivat sisältääkin kymmeniä eri järjestelmiä, joiden avulla ylläpidetään ja ohjataan olosuhteita ja toimintoja rakennuksessa. Tämä asettaa haasteensa myös rakennushankkeiden suunnitteluvaiheessa eteenkin LVI-suunnittelulle. LVI-tekniikka on entistä tärkeämmässä asemassa uusissa rakennushankkeissa. Hankkeiden LVIA-järjestelmien laadukkaasti ja tehokkaasti toteutetut suunnittelu- sekä rakennusvaihe ovatkin olennainen edellytys onnistuneelle rakennusprojektille. (26, s. 4.)

Talotekniikan prosessin yhteensovittaminen muun rakennushankkeen kokonaisuuteen on entistä haastavampaa. Jokainen hanke asettaa omat haasteensa, muodostaen omanlaisensa kokonaisuuden, jonka tavoiteltu lopputulos on suunnitteluratkaisuiltaan ja teknisiltä ominaisuuksiltaan ainutlaatuinen (26, s. 12). Ensiarvoisen tärkeää on suunnittelualojen välinen yhteistyö ja kommunikointi ristiriitojen välttämiseksi ja toimivan ja halutunlaisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Eteenkin monimutkaisemmissa projekteissa taloteknisten järjestelmien suunnitteluprosessit aiheuttavat haasteita hankkeen eri osapuolille, minkä takia talotekniikkasuunnittelun koordinointi yhdessä muiden suunnittelualojen kanssa on tärkeää. Arkkitehtisuunnittelu määrittää luonnollisesti paljon kaikkea hankkeisiin liittyvää suunnittelua. Arkkitehti ja rakennesuunnittelija ovat monesti jo laatineet luonnossuunnitelmia talotekniikkasuunnittelijan tullessa kunnolla mukaan hankkeeseen. Tämä rajaa ja määrittää usein taloteknisen suunnitelmien ratkaisuja ja talotekniikkasuunnittelijan vaikutusmahdollisuuksia, mikäli talotekniikkaa koske-

vat päätökset tehdään liian myöhään. Eteenkin monimutkaisemmissa projekteissa myös taloteknisen suunnittelijan on hyvä olla mukana mahdollisimman aikaisessa vaiheessa suunnittelua. Alkuvaiheessa tehdään myös talotekniikan osalta kriittisimmät ja laajempia kokonaisuuksia koskevat suunnittelu- ja järjestelmäratkaisut, jotka määrittävät rakennuksen käytönaikaista toiminnan sekä koko elinkaaren energiankulutuksen ja hiilijalanjäljen. (26, s. 11)

Suunnittelun alkuvaiheen yhteistyön ja kommunikaation tärkeys korostuu, kun on tarve saada riittävät lähtötiedot muun muassa tiloista ja käyttötarpeista suunnittelun aloittamista varten. Muun suunnitteluryhmän ja tilaajan tekemät muutokset vaikuttavat myös olennaisesti talotekniseen suunnitteluun, mikä voi näkyä lisä- ja muutostöiden merkittävänä lisääntymisenä talotekniikkasuunnittelussa. Talotekniikkasuunnittelijat saattavat huomioida järjestelmien suunnittelussa esimerkiksi 20 %:n riskivarausten lisätöiden varalle. Ylimiöitus voi johtaa rakennuksen heikompaan energia- ja tilatehokkuutta sekä ympäristövaikutuksia. Riittäväällä taloteknisten järjestelmien vaatimusten huomioimisella voidaan vähentää lisätöiden määrää. Eri suunnittelualojen sujuvalla yhteistyöllä ja hankkeiden aktiivisella koordinoinnilla heti suunnitteluprosessin alkuvaiheessa voidaan estää tarpeettomia lisä- ja muutostöitä ja päästä parempaan ja tehokkaampaan lopputulokseen. Kustannustehokkaita ja toiminnallisia ratkaisuja tavoiteltaessa taloteknisten järjestelmien laadukkaalla suunnittelulla ja toteutuksella on olennainen merkitys hankkeissa. Taloteknisten järjestelmien osuus rakennushankkeiden kustannuksista voi nykyisin olla jopa 40 % riippuen hankkeen koosta ja vaatimuksista. (26, s. 4, s. 10–12.)

4.1 Talotekniikka ja suunnitteluprosessin vaiheet

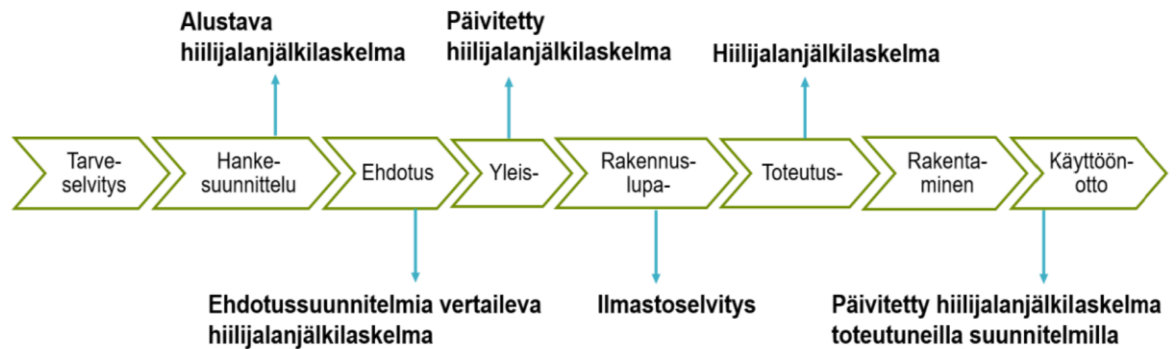
Suunnittelu- ja rakennusvaiheessa tehtävillä ratkaisuilla voidaan huomattavasti vaikuttaa rakennuksen elinkaarenaikaisiin ympäristövaikutuksiin ja kustannuksiin. Suunnitteluvaiheessa tehdään merkittävimmät ratkaisut rakennuksen elinkaaren aikaisiin ympäristövaikutuksiin liittyen. Eteenkin suunnittelun alkuvaiheessa on mahdollisuus vaikuttaa ratkaisuihin, joilla on merkitystä koko projektin elinkaaren kannalta. Suunnittelussa ja rakentamisessa tehtyjä valintoja on

hankala muuttaa jälkikäteen ja muutokset ovat usein kustannuksiltaan tuntuvia. Hankkeessa keskeisiä päätöksiä tehtäessä, tavoitteista ja ympäristövaikutuksista on hyvä olla tietoinen samalla tavalla kuin esimerkiksi hankkeiden eri ratkaisujen kustannusvaikutuksia seurattaessa. (8, s. 4.)

Kuvassa 9 on esitetty rakennushankkeen eri vaiheet ja niissä tehtävät hiilijalanjäljen ohjaukseen liittyvät laskelmat. Tarveselvityksessä tutkitaan tilahankinnan tarpeellisuutta tai muutostarvetta, määritellään tilaajan asettamat tavoitteet ja vaatimukset tiloille. Tällöin voidaan tutkia myös vaihtoehtoisia käyttömahdollisuuksia ja arvioida eri ratkaisujen kustannuksia. Taloteknisen suunnittelun osalta tehtävät tarveselvityksessä ovat tyypillisesti avustavia tehtäviä. Tarveselvityksessä määritellään alustavasti talotekniset perusratkaisut, tekniset päätilat ja tilantarpeet. (27, s. 3.) Tilaaja voi määrittellä tässä vaiheessa jo hankkeelle tavoitteeksi vähähiilisyyden. Näin voidaan paremmin varmistua, että ympäristöasiat saavat riittävästi painoarvoa hankkeen myöhemmissä vaiheissa. Tarveselvityksen pohjalta tehdään koko projektin hankintapäätös. (28 s. 2.)

Hankesuunnitteluvaiheessa hankkeelle asetetaan täsmälliset laajuutta, laatua, toimivuutta, kustannuksia, ylläpitoa ja aikataulua koskevat tavoitteet. Myös elinkaareen, energiatehokkuuteen ja ympäristövaikutuksiin liittyvät tavoitteet tehdään hankesuunnitelmassa. Hankesuunnitelman valmisteluun kuuluu myös toteutusmuodon alustava valitseminen ja tarvittavien selvitysten teettäminen. Hankesuunnittelun pohjalta tehdään investointipäätös. (28, s. 2.) Taloteknisen suunnittelijan tehtävät ovat hankesuunnitteluvaiheessa avustavia. Tehtävät liittyvät kohteen rakennettavuuden selvittämiseen, energiankulutukseen, ympäristökuormitusten ja olosuhteiden tavoitearvojen määrittelyyn sekä taloteknisten suunnittelutavoitteiden määrittelyyn ja sovittamiseen hankkeen tavoitteisiin. Tehtäviin voi kuulua lisäksi taloteknisen kustannusarvion laadinta. (27, s. 3.) Hankesuunnittelun alussa voidaan tehdä myös alustava hiilijalanjälkilaskelma. Arvioinnissa keskeistä on vaikutus kiinteistön arvoon, arvioidaan hankkeen hiilijalanjäljen merkittävimmät tekijät ja vaikutusmahdollisuudet, vertaillaan eri rat-

kaisuja ja haarukoidaan tavoitetasoa hankkeen erityispiirteet huomioiden. Alustavassa laskelmassa voidaan tehdä erilaisten vaihtoehtojen vertailua elinkaarikustannusten ja -päästöjen näkökulmasta. (8, s. 5.)



Kuva 9. Rakennushankkeen vaiheet ja hiilijalanjäljen ohjauksessa hyödynnettävät laskelmat (8, s. 4).

Ennen suunnitteluvaiheen alkua tarkennetaan suunnittelun hankintamenettelyt, laajuus ja vastuualueet ja laaditaan suunnittelun sopimus- ja hankinta-asiakirjat. Varsinainen suunnitteluvaihe jakaantuu ehdotussuunnitteluun, yleissuunnitteluun ja toteutussuunnitteluun. Suunnitteluvaiheen alun ehdotussuunnittelussa päätetään rakennuksen tilaratkaisut ja yleensä muoto. Nämä vaikuttavat oleellisesti rakennuksen toiminnallisuuteen ja muunneltavuuteen, mutta myös energian- ja materiaalien tarpeeseen. Julkisivuratkaisulla on oleellinen merkitys ilmatiivyyteen, lämpöhäviöihin- ja kuormiin sekä energiankulutukseen. (8, s. 9.) Talotekniikkasuunnittelija selvittää ne tekniset vaihtoehdot, joilla suunnittelutavoitteet voidaan toteuttaa. Tarkoituksena on selvittää ja vertailla koko suunnitteluryhmän kanssa ne talotekniset vaihtoehdot, jotka soveltuvat ja tukevat arkkitehdin määrittelemiä tilaratkaisuvaihtoehtoja. Vaiheen lopputuloksena syntyy ehdotussuunnitelma. (27, s. 10.) Ehdotussuunnitteluun kuuluu perusvaatimukset täyttävät energiatarkastelut, ja energiankulutuksen tavoitteen laskenta. Myös hiilijalanjälkilaskelma tarkennetaan ehdotussuunnitelmissa. Hanke- ja eh-

dotussuunnitteluvaiheissa tehtävillä laskelmilla on paljon painoarvoa ja ne näyttävät suunnan myöhemmin tehtäville laskelmille. Hankkeen myöhemmissä vaiheissa, kun suunnittelu ja budjetti alkavat olla jo tarkennettuja ei monestikaan ole enää mahdollisuutta esittää suuria muutoksia hankkeen eri ratkaisuihin.

Yleissuunnitteluvaiheessa suunnitelmia kehitetään edelleen toteutuskelpoisemmiksi. Yleissuunnitelmat saattavat sisältää erilaisia tilaratkaisujen toteutusvaihtoehtoja, jotka vaikuttavat myös tilojen taloteknisiin ratkaisuihin. Tate-suunnittelija esittää tässä vaiheessa pääjakelujärjestelmät mitoitusperiaatteineen, keskuslaitteiden palvelualueet, rakennuksen ulkopuoliset liittymät. Vaiheen tehtäviin kuuluu myös sovittaa tekniikan pääreitit, tekee alustavaa yhteensovitusta, tarkentaa laitekohtaisia kuormatietoja sekä määrittää jatkosuunnitteluun valittujen ehdotusten perusteella järjestelmien integraatiotarpeet. (27, s. 14.) Yleissuunnitteluvaiheessa on tarkoitus tuottaa hyväksytyt yleissuunnitelmat ja pääpiirustukset rakennuslupan hakemista varten. Rakennuslupavaiheessa selvitetään hankkeen vaatimat lupamenettelyt ja hankitaan tarvittavat talotekniikkaan liittyvät lausunnot viranomaisilta. Energialaskelmat ja energiankäyttöselvitykset liitetään rakennuslupaan. Rakennuslupan yhteydessä tullaan edellyttämään kohdeelta myös ilmastaselvitys ja hiilijalanjälkilaskelma.

Toteutussuunnittelussa suunnitelmat päivitetään edelleen rakentamisen ja siihen liittyvien hankintojen vaatimiksi mitoitetuiksi ja yhteensovitetuiksi suunnitelmiksi. Tate-suunnittelija muun muassa yhteensovittaa tekniikkareitit, varmistaa päätelaitteiden ja kalusteiden sijoitukset, laatii hankintoja palvelevat asiakirjat, täydentää urakkarajaliitteet, täydentää kantavien rakenteiden varaustiedot sekä laatii määräluettelot urakkalaskentaa varten. Hankkeen loppupuolella, käyttööntöövaiheessa päivitetään energiatehokkuuslaskelmat energiatodistukseen ja päivitetään hiilijalanjälkilaskelmat hiilijalanjälkitodistukseen toteutuneilla suunnitelmilla. (8, s. 9) Käyttööntöövaiheessa tarkastetaan urakoitsijoiden laatimat luovutuspiirustukset ja päivitetään loppukuvat.

4.2 Järjestelmävalinnat suunnittelun alussa

Talotekniikkaan ja sen järjestelmiin liittyvät laajemmat merkittävät tekniset ratkaisut päätetään jo melko varhaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia. Siksi on olennaisen tärkeää, että talotekninen suunnittelija olisi mukana heti hankkeen alussa vaikuttamassa hankkeessa tehtäviin teknisiin ratkaisuihin. Arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan suunnitteluprosessin melko alkuvaiheessa tekemät tiloihin tai rakenteisiin liittyvät ratkaisut vaikuttavat monesti myös talotekniikan ratkaisuihin. Myös tilaajalla tai käyttäjällä voi olla näkemyksiä, jotka määrittävät teknisten ratkaisujen suuntaa heti suunnittelun alkuvaiheessa. Merkityksellisimmistä teknisistä ratkaisuista olisi hyvä käydä vuoropuhelua erikoissuunnittelijoiden kanssa jo projektin alkuvaiheessa, niiden vaikuttaessa olennaisesti suunnitteluun myöhemmissä vaiheissa.

Suunnitteluprosessin alkuvaiheessa, tarveselvityksessä ja hankesuunnitteluvaiheessa määritellään hankkeille täsmälliset tavoitteet kuten laajuuteen, toimivuuteen ja kustannuksiin liittyvät tavoitteet. Näihin tavoitteisiin sisältyy myös rakennuksen laatuun ja elinkaareen liittyvät tavoitteet kuten energiatehokkuus ja ympäristövaikutukset. Näillä alkuvaiheessa määritellyillä tavoitteilla on vaikutusta myös teknisiin ratkaisuihin, joita suunnitteluvaiheessa tehdään. Yleisesti kustannuksilla on hyvin merkittävä rooli rakennushankkeiden teknisiä ratkaisuja valittaessa. Viime vuosikymmenellä rakennusalalla energiankäytön vähentämisen myötä myös elinkaarenaikainen energiatehokkuus ja käytönaikaisten kustannusten pienentäminen on määritelty yhä enemmän mukaan hankkeiden tavoitteisiin. Tämä on näkynyt vaihtoehtoisten energiantuottojärjestelmien käytön suosion voimakkaana kasvuna uusissa rakennuksissa. Kuitenkin esimerkiksi rakennuksen sisäisten eri taloteknisten jakelujärjestelmien ja verkostojen suunnitteluratkaisuihin vaikuttaa vahvasti kustannustekijät. Uudempana tekijänä hankkeiden tavoitteista on viime vuosina ollut ympäristötekijöiden vaikutus ja hankkeiden hiilijalanjäljen pienentäminen. Hiilijalanjälki on aiemmin ollut harvoin valintoihin vaikuttava tärkein tekijä, ellei sitä ole asetettu tarveselvitys- ja hankesuunnitteluvaiheessa selkeästi hankkeen tavoitteeksi. Vähähiilinen rakentami-

nen ei välttämättä edellytä suurempia kustannuksia, mutta vaatii tavoitteenmukaista suunnittelua ja suunnittelunohjausta hankkeen alusta lähtien myös taloteknisten järjestelmien osalta. Nykyisin hiilijalanjälkilaskelmia ja -arvioiteja tehdäänkin jo hankkeissa jo suunnittelun alkuvaiheista lähtien. Hiilijalanjälkilaskelmat tulevat tulevaisuudessa myös merkittävästi lisääntymään, kun parissa vuodessa ne ovat osana rakennushankkeiden rakennuslupaa.

Suunnittelun alkuvaiheessa tehtävä ja rakennuslupaan liitettävä hiilipäästölasenta laaditaan hankkeen alkuvaiheen suunnittelutietoihin perustuen. Hankkeen alkuvaiheessa ei ole vielä läheskään kaikkea tietoa saatavilla ja suunnittelusta saatavat tiedot ovat usein vielä melko puutteellisia. Tästä johtuen esimerkiksi hankkeen talotekniikan hiilijalanjäljen laskenta tehdään pääsääntöisesti neliöpohjaisiin arvoihin perustuen. Tämä tehdään luonnollisesti siksi, että talotekniset suunnitelmat eivät ole vielä hankkeen alkuvaiheessa, sillä tasolla, että tarkempia teknisiä tietoja kuten tietomallia tai massalistaa olisi saatavilla. Neliöpohjaisilla arvoilla laskeminen helpottaa prosessin kokonaisuutta ja saadaan talotekniikan osuus arvioitua vaivattomasti mukaan laskentaan. Tällä tavalla saadaan toki kokonaisuus laskettua ja talotekniikasta suuntaa antava arvio. Tämä aiheuttaa kuitenkin talotekniikan osalta ristiriidan ja ongelman hankkeissa, joissa pyritään myös tuotevalintojen kautta pienentämään hiilijalanjälkeä. Suunnitteluprosessin alkuvaiheessa tehtävä neliöpohjainen laskenta talotekniikan osalta ei juurikaan vaikuta enää hankkeen myöhemmässä vaiheessa tehtäviin tuotevalintoihin ja järjestelmäratkaisuihin. Kun talotekniikan hiilijalanjälki lasketaan neliöpohjaisesti, suunnittelulla ja sen kautta tehdyillä valinnoilla ei ole vaikutusta laskennan tulokseen. Tämän takia myös talotekniikassa pitäisi päästä tuotetason laskentaan, johon voidaan vaikuttaa suunnittelun kautta.

Tällä hetkellä tehtävään neliöpohjaiseen hiilijalanjäljen laskentaan talotekniikka-suunnittelijalla ja suunnittelussa tehtävillä valinnoilla ei ole vaikutusta. Haasteena ja vaikuttavana tekijänä on varmastikin ollut myös se, ettei taloteknisistä järjestelmistä ja tuotteista ole ollut vielä samalla tavalla tuotekohtaista tietoa saatavilla valmistuksen hiilijalanjäljestä. Eli aiemmin ei ole oikeastaan ollut dataa tarpeeksi

eri tuotteista ja materiaaleista, jotta niistä olisi riittävän hyvin pystynyt tuotekohtaisiin tietoihin perustuvan hiilipäästölaskelman laatimaan. Tämä tilanne on kuitenkin viime vuosina alkanut hiukan paranemaan ja myös valmistajat ovat alkaneet tutkimaan ja esittämään taloteknisten tuotteidensa ympäristöselosteita ja hiilipäästötietoja. Tämä mahdollistaisi tuotepohjaiseen tietoon perustuvan hiilipäästölaskennan talotekniikan osalta, mikä lisäisi suunnitteluvaiheessa tehtävien järjestelmä- ja tuotekohtaisten valintojen merkitystä projekteissa. Näin talotekniikassa suunnittelussa olisi paremmin mahdollista vaikuttaa positiivisesti hankkeen ympäristövaikutuksiin.

4.3 Asetusehdotus hiilijalanjälkilaskennasta

Ilmastaselvityksen mukaan tulo rakennuslupa- ja vähähiilisyden arviointimenetelmän käyttö ovat rakennushankkeiden suunnitteluun vaikuttavia uusia asioita, joita ei ole vielä käytännön tasolla hankkeissa juurikaan testattu. Arviointimenetelmässä on varmastikin vielä asioita, joita tarvitsee kehittää ja tarkentaa, jotta lähtökohdat ja yhdenmukaisuus olisivat samanlaiset eri hankkeille. Hyväksi havaittuja menetelmiä tai toimintatapoja muodostuu varmasti myös vasta käytännön kokemusten kautta. Myös talotekniikan osalta löytyy vielä asioita, joita tarvitsee tarkentaa. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä olikin kommenttikierroksella ja sai myös talotekniikkaan liittyen rakentavaa palautetta. Arviointimenetelmää ja sen tukena olevaa päästötietokantaa pidettiin osin liian tulkinnan varaisena, jolloin se jättää tilaa eri laskentaolettamuksille.

Asetustekstiin toivottiin tarkempaa rajausta mitkä tuoteryhmät ja kokonaisuudet muodostavat keskeisen osan järjestelmiä, jotka sisällytetään arviointiin. Haasteellisena pidettiin myös Co2data.fi-palvelussa esitettyjä talotekniikan neliömetripohjaisia arvoja laskennassa. Talotekniikan neliömetripohjaiset päästöarvot perustuvat kuuden toteutuneen esimerkkikohteen jälkilaskentaan, joka on vielä melko suppea otanta. Tarkastelua tulisi jatkossa laajentaa niin, että otannassa olisi laajemmin nykyrakentamista edustavat esimerkit eri rakennustyypeistä eri järjestelmävaihtoehtoineen. Ongelmallista on myös se, ettei hankkeiden ne-

liömetripohjaisena laskettuja talotekniikan päästötietoja voi korvata tai ottaa tähän laskentaan mukaan yksittäisten tuotteiden päästötietoja. Toki tässä olisi omat haasteensa, kun alkuperäisen neliömetriperusteisen menetelmän laskenta-perusteet tarvitsisivat olla tiedossa. Nykytilanne ei kuitenkaan kannusta tuotetason tarkasteluihin ja hiilijalanjäljen parannuksiin. Vaihtoehtona on tehdä laskenta rakennusmateriaalien ja tuotteiden valmistajien ympäristöselosteisiin (EPD) perustuen. Tuotetason arviointi on toki huomattavasti työläämpää suunnittelijoille. Mikäli tuotetason arviointi olisi ensisijainen vaihtoehto laskennan suorittamisessa, kannustaisi se rakennusmateriaalien valmistajia ja toimittajia kehittämään tuotteitaan vähäpäästöisemmiksi. (29)

5 Vaihtoehtoiset LVI-ratkaisut

5.1 Järjestelmät

Taloteknisillä järjestelmillä luodaan rakennuksiin toimintoja ja olosuhteita, joita rakennukseen katsotaan tarvittavan. Rakennusprojektien suunnittelun alkuvaiheen tarveselvityksessä asetetaankin heti alustavat toiminnalliset ja olosuhteisiin liittyvät tavoitteet. Tämän pohjalta taloteknistä suunnittelua ja toteutusta määrittävät tietyt vaatimukset ja reunaehdot, joiden täytyy täytyä. Nämä vaatimukset määrittelevät osaltaan minkä tyyppisiä ja tasoisia järjestelmiä rakennukset pitävät sisällään. Tietyt perustoiminnot edellytetään nykyisin kaikkiin rakennuksiin; toimiva ilmanvaihto luo riittävät sisäilmaolosuhteet, käyttövesijärjestelmän kautta saadaan puhdasta vettä, viemärijärjestelmien avulla poistetaan jäte- ja sadevedet hallitusti ja lämmitysjärjestelmät takaavat riittävän lämmön. Rakennustyyppistä tai käyttötarkoituksesta riippuen olosuhteet tai halutut toiminnot voivat vaatia perustasoa kattavampia taloteknisiä järjestelmiä tai erityisjärjestelmiä. Jos rakennuksen käytön katsotaan edellyttävän erityisen hyvät sisäilmaolosuhteet, voidaan ilmanvaihtoa tehostaa, lisätä tilajäähdytystä tai pitää esimerkiksi ilmakeuhkus tietyllä tasolla. Jos rakennus edellyttää tarkempaa palontorjuntaa voidaan tarvita kattava sprinkler- tai savunpoistojärjestelmä. Laboratorio- ja työskentelytiloihin tarvitaan monesti kattava paineilmajärjestelmä tai kaasujär-

jestelmiä. Määritettyjen reunaehtojen puitteissa rakennuksen talotekniset järjestelmät on mahdollista toteuttaa hyvin monella eri tavoilla. Nykyisin eri järjestelmä- ja tuotevaihtoehtoja on entistä enemmän ja näiden myötä suunnitteluvaiheessa on mahdollista tehdä hyvin monenlaisia eri järjestelmäkombinaatioita ja ratkaisuja. Tämän myötä suunnitteluvaiheessa ja eteenkin hankesuunnittelun aikana on mahdollista vaikuttaa merkittävästi rakennusten taloteknisten järjestelmien aiheuttamaan ympäristökuormaan.

Taloteknisten järjestelmäkokonaisuuksien ympäristövaikutuksia tarkasteltaessa on huomioitava koko elinkaarenaikaiset vaikutukset, sekä valmistusvaiheen tuotesidonnaiset päästöt että käyttövaiheen käyttösidonnaiset päästöt. Sekä rakennuksen energiantuottojärjestelmille että sisäisille jakelujärjestelmille on nykyisin lukuisia erilaisia toteutus- ja ratkaisuvaihtoehtoja, joiden ympäristövaikutukset poikkeavat toisistaan. Käytönaikaisen energiankulutuksen tavoitteellisen vähentämisen myötä näistä järjestelmistä on kehitetty entistä ympäristöystävällisempiä käyttövaiheen ympäristövaikutusten kannalta. Järjestelmät sisältävät usein myös paljon hiili-intensiivisiä metallista valmistettuja materiaaleja, joilla on merkittävä vaikutus valmistusvaiheen kokonaispäästöihin. Joissakin ratkaisuissa on mahdollista käyttää esimerkiksi kevyemmistä muovituotteista tai kierrätetyistä materiaalista valmistettuja tuotteita, jolloin on suotuista vaikutus valmistusvaiheen ympäristövaikutuksiin. Tällaisia ratkaisuja ja tuotteita kehitetään markkinoille varmasti jatkossakin ympäristövaikutusten ollessa osa rakennuslupaa.

5.1.1 Muuntojoustavuus

Muuntojoustavalla suunnittelulla voidaan vähentää käytönaikaisia tila- ja käyttötarkoituksen muutoksista johtuvia materiaalien ja tekniikan uusimisia. Näillä voi olla tuntuva vaikutus rakennuksen käytönaikaista hiilijalanjälkeä tarkasteltaessa. Muuntojoustava rakennus, tilat ja niiden tekniikka mukautuvat erilaisiin elinkaaren aikana tapahtuviin muutoksiin ja tarpeisiin. Muuntojoustavuudella tarkoitetaan monikäyttöisyyttä ja muunneltavuutta eli tila voidaan mukauttaa uuteen käyttötarkoitukseen ilman rakenteellisia tai vähäisin rakenteellisin muutoksin. Tilojen ja niitä palvelevien järjestelmien muuntojoustavuus tulee ottaa huomioon

jo aikaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia, jotta suunnittelulle on määritelty oikeanlaiset lähtökohdat. Liiallinen muuntojoustavuuden tavoittelu suunnittelussa voi myös johtaa materiaalien hukkaan ylimitoitettujen teknisten ratkaisujen takia. Toimivien muuntojoustavien ratkaisujen kehittäminen vaatiikin eri alojen yhteistyötä suunnittelussa ja myös tilaajan osallistumista suunnitteluprosessiin. Talotekniikan muuntojoustavuus vaatii usein myös erilaisia rakenteellisia suunnitteluratkaisuja. Esimerkiksi tietyntyyppiset alakatto- ja asennuslattiaratkaisut voivat mahdollistaa paremman talotekniikan muuntojoustavuuden. Eteenkin toimistoissa paljon käytetyt 600 x 600 modulaariset alakattolevyt mahdollistavat ratkaisuna alakatossa sijaitsevan tekniikan muunneltavuuden. Ilmanvaihdon ja tilajäähdetyksen päätelaitteiden sekä tekniikkareittien sijainteja pystytään muuttamaan helpommin ilman rakennusteknisiä muutoksia. (30, s. 29, 30.)

Ilmanvaihdon suunnittelussa on monia keinoja huomioida mahdollista monikäyttöisyyttä ja muunneltavuutta. Järjestelmän muuntojoustavassa toteutuksessa tekniikka on hyvä mitoittaa ohjearvoja suuremmaksi riittävän ilmanvaihdon takaamiseksi tilamuutoksissa. Käyttötarkoituksen muutoksissa ohjearvojen mukaiset ilmamäärät voivat moninkertaistua alkuperäisestä, tällöin on huomioitava kanavapaine, järjestelmän säädettävyys ja äänitekniset haasteet. Ilmanvaihdon päätelaitteiden suunnittelussa useampaan yksikköön hajauttaminen, modulaarinen sijoittaminen esimerkiksi ikkunoiden mukaan ja alakaton käyttö vähentävät tekniikan muutostarvetta tilamuutoksissa ja väliseinien lisäyksissä tiloihin. Myös hajautetut ilmanvaihtojärjestelmät voivat tukea muuntojoustavuutta. Pienempien järjestelmien ilmanvaihtokoneisiin jää usein valmiiksi lisäkapasiteettia ja näin ne mahdollistavat paremman säädettävyuden muutoksissa. (30, s. 31, 32.)

Putkistoja suunniteltaessa on hyvä huomioida helppo vaihdettavuus saneerauksia varten ja riittävä mitoitus tilojen käyttötarkoitusten vesipisteiden lisäyksiä varten. Viemärisuunnittelussa on hyvä huomioida riittävä mitoitus ja mahdollisten lisävarausten jättäminen viemäriinjoihin. Lämmitysjärjestelmissä tärkeää on oikeanlaisen säädön omaavan järjestelmän valinta mahdollisten tilamuutosten varalta. Perinteisissä radiaattorijärjestelmissä radiaattorikohtaiset termostaatit

ovat tilamuutosten kannalta toimiva ratkaisu. Myös ikkunan alle sijoitettavien radiaattorit ja useimmiten moduulijaon mukaan sijoitettavat säteilypaneelit mahdollistavat muuntojoustavat muutokset. (30, s. 32, 33.)

5.1.2 Energiantuottojärjestelmät

Lämmitys- ja jäähdytysmuodon järjestelmäratkaisuja valittaessa voidaan nykyisin tehdä monenlaisia eri hybridiratkaisuja. Erilaiset lämpöpumppuratkaisut ja eteenkin maalämpö on erittäin käytetty lämmitysmuoto kaukolämmön rinnalla. Lämpöpumppujärjestelmiä voidaan hyödyntää sekä lämmön että jäähdytyksen tuotantoon. Näissä järjestelmissä energiaa on mahdollista varastoida lyhyeksi aikaa varaajiin, mikä tasaa energiankulutusta suurien, mutta monesti lyhyeksi jäävien, huippukulutusjaksojen aikana. Lämpöpumppujärjestelmillä, joilla tuotetaan sekä jäähdytystä, että lämmitystä voidaan myös korvata perinteisesti pelkään kiinteistöjen jäähdytyksen tuotantoon käytetty vedenjäähdytyskone.

Vaikka lämpöpumppujärjestelmät paikallisena tuotantomuotona tuovat valmistusvaiheessa runsaasti lisää hiili-intensiivisiä komponentteja tuotesidonnaisina päästöinä, koko elinkaaren näkökulmasta ne tuovat muuntojoustavuutta rakennuksen energiankulutukseen ja vähentävät runsaasti rakennuksen elinkaaren käytönaikaisia päästöjä. Rakennusten energiantuottotapoja, eteenkin erilaisia hybridi- ja lämpöpumppuratkaisuja tarkasteltaessa onkin hyvin olennaista huomioida koko elinkaarenaikaiset ilmastovaikutukset.

5.1.3 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät

Rakennusten yleisimmät lämmönjakotavat ovat patterilämmitys ja lattialämmitys. Lämmitysjärjestelmät on perinteisesti toteutettu lämmityspattereilla. Radiaattori- eli patterilämmityksen etuna on säädettävyys ja muuntojoustavuus. Termostaatit mahdollistavat laitekohtaisen säädön ja patterit sijoitetaan yleensä ikkunoiden alle, joten mahdollisissa tilamuutoksissa ne jäävät harvoin uusien väliseinien tielle. Seinälle asennettavat radiaattorit putkituksineen sisältävät kuitenkin

kin lähes pelkästään terästä, jonka aiheuttama hiilijalanjälki on suuri. Vaihtoehtoisesti lämmitysjärjestelmä on mahdollista toteuttaa esimerkiksi lattialämmitystai säteilypaneelijärjestelmänä.

Lattialämmitysjärjestelmissä huonelämmittiminä toimii teräksisten patterien sijaan lattiaan sijoitettu muovista PEX-putkea sisältävä lattialämmityspiiri. PEX-muoviputken hiilijalanjälki on huomattavasti pienempi kuin teräksen. Tämän myötä lattialämmitysjärjestelmällä on mahdollista vähentää lämmitysjärjestelmän aiheuttamia tuotesidonnaisia päästöjä tuntuvasti. Lisäksi lattialämmitysjärjestelmät toteutetaan matalalämpöjärjestelmänä, jolloin lämpöpumppujärjestelmiä voidaan käyttää tehokkaammin sen kanssa. Nykyisin eteenkin asuinrakennuksissa lattialämmitysjärjestelmät ovatkin erittäin käytettyjä. Lattialämmitysjärjestelmää on mahdollista käyttää myös jäähdytykseen, jolloin ei tarvitse erikseen tilajäähdytyksen vaatimaa tekniikkaa vaan samaa järjestelmää voidaan hyödyntää molempiin. Lattialämmitysjärjestelmä ei vastaavasti ole muuntojoustavuuden kannalta paras vaihtoehto. Tilamuutoksissa ja väliseinien lisäyksissä piirikohtaisesti tapahtuvaa lattialämmityksen säätöä on mahdotonta muokata jälkikäteen.

Säteilylämmitys on suosittu lämmitystapa suurissa avoimissa tiloissa kuten toimistoissa tai halleissa. Muihin järjestelmiin verrattuna kattosäteilijät ovat kevyen rakenteensa vuoksi helposti muunneltavia. Kattoon sijoitettujen säteilypaneelien etuna on myös se, että niitä on mahdollista hyödyntää sekä tilan lämmitykseen että jäähdytykseen. (30, s. 33.) Tilajäähdytys omana järjestelmänään toteutettuna tuo runsaasti lisää hiili-intensiivisiä terästä sisältäviä komponentteja. Säteilypaneelit ovat tehokas energianjakelumuoto, niiden hyödyntäessä tehokkaasti myös säteilyä energiansiirrossa. Lisäksi passiivisena jakelutapana ei siinä kuluteta puhallinsähköä, kuten esimerkiksi puhallinkonvektoreja käytettäessä. Lämmitysjärjestelmien tuotesidonnaisia päästöjä tarkasteltaessa lattialämmitysverkoston päästöt voivat olla 30 % vähemmän verrattuna säteilypaneeliverkoston päästöihin ja 6 % vähemmän verrattuna patteriverkoston päästöihin. (14)

5.1.4 Vesi- ja viemärijärjestelmät

Vesi- ja viemärijärjestelmien toiminnassa oleellista on käyttövarmuus ja kestävyys. Erilaiset putkirikot ja vesivahingot voivat aiheuttaa merkittävästi vahinkoa ja käytönaikaisia materiaalien uusimisia. Kun järjestelmät on toteutettu hyvin ja kestävästä materiaaleista, niistä ei aiheudu materiaalien uusimisina ylimääräistä käytönaikaista hiilijalanjälkeä kiinteistölle. Käyttövesijärjestelmän runkolinjat on hyvä mitoittaa riittävän kokoisiksi käytönaikaisten muutosten varalle. Runkoputket tulee yleisesti sijoittaa siten että niiden luokse on mahdollisuus päästä ja ne ovat helposti vaihdettavissa.

Lämpimän käyttöveden kulutuksella voi olla merkittävä vaikutus rakennuksen käytönaikaiseen energiankulutukseen ja hiilijalanjälkeen. Esimerkiksi asuinkerrostaloissa lämmitysenergian kulutuksesta merkittävä osa syntyy käyttöveden lämmittämisestä ja lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöistä. (31, s. 46.) Verkoston suunnittelussa on tärkeää edistää keinoja, joilla voidaan vähentää turhaa energiankulutusta. Järjestelmän putkiston, putkivarusteiden ja mahdollisen varaajan riittävällä eristämällä voidaan vähentää turhia lämpöhäviöitä. Lämpimän käyttöveden energiankulutusta voidaan vähentää myös vettä säästävillä vesikalusteilla ja vakio paineventtiilillä, jolla voidaan pudottaa järjestelmän tarpeettoman korkea verkostopainetta. Uudempi tuoreemmissa rakennushankkeissa jonkun verran käytetty innovaatio on jäteveden lämmöntalteenotto, jossa kiinteistön jätevedestä kerätään ylimääräinen lämpö talteen. Huoneistokohtaisilla vesimittareilla asuinrakennuksissa on todettu olevan käyttöveden kulutusta säästävä vaikutus. (31, s. 46.)

5.1.5 Ilmanvaihto

Talotekniikasta ilmanvaihtojärjestelmät aiheuttavat merkittävimmän osan rakennusten käytönaikaisesta energiankulutuksesta sekä rakennusvaiheen tuotesidonnaisista päästöistä. Ilmanvaihtojärjestelmiä ja niiden tehokkuutta onkin kehitetty vuosien saatossa tuntuvasti. Ilmanvaihtojärjestelmissä käytetyt tuotteet

koostuvat pääosin hiili-intensiivisistä materiaaleista. Kanavat valmistetaan galvanoidusta sinkitystä teräksestä ja ilmanvaihtokoneet pääosin teräksestä, alumiinista, muovista ja kuparista. Riittävällä ilmanvaihtokanavien eristyksellä voidaan varmistua, ettei järjestelmä kärsi turhista lämpöhäviöistä tai kondensoitumisesta. Ilmanvaihtojärjestelmän ja ilmanvaihtokoneen oikeanlaisella mitoituksella sekä riittävällä kunnossapidolla ja huollolla voidaan varmistaa, että järjestelmä toimii energiatehokkaasti sisäilman laadusta tinkimättä. Ilmanvaihtokoneen puhaltimien sähkön käytön tehokkuutta mittaava SFP-luku on hyvä mitoittaa riittävän alhaiseksi, jotta järjestelmä on energiatehokas.

Nykyiset ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenottojärjestelmät kierrättävät energiaa hyvin tehokkaasti. Esimerkiksi nykyisillä pyörivillä roottorilämmöntalteenottojärjestelmillä pystytään hyödyntämään jäteilman hukkalämpö talteen parhaimmillaan jopa 80 %:n hyötysuhteella. Nykyisten tehokkaiden ilmanvaihtokoneiden hiilijalanjälki voikin kääntyä hiilinegatiiviseksi jo ensimmäisen käyttövuoden aikana. (30, s.18, 19) Järjestelmäkohtaisesti tarkasteltuna hajautetulla ilmanvaihtojärjestelmällä on mahdollista saavuttaa säästöjä energiankulutuksessa keskitettyyn ilmanvaihtoratkaisuun nähden. Asuinkerrostalokohteissa huoneistokohtaisilla ilmanvaihtokoneilla voi saavuttaa jopa 30 % paremman vuosihyötysuhteen keskitettyyn ilmanvaihtoon nähden. (31, s. 45.) Tämä pääosin siksi, että hajautetuissa järjestelmissä tarpeenmukainen käyttö, jonka myötä voidaan säästää lämmitysenergiaa ja puhallinsähköä, pystytään toteuttamaan vaivattomammin.

Vähän uudempi innovaatio ilmanvaihtokoneissa on lämpöpumpputekniikan hyödyntäminen tuloilman lämmityksessä ja jäähdyttämisessä. Lämpöpumpulliset ilmanvaihtokoneet toimivat sikäli itsenäisesti, että ne eivät tarvitse ulkoista lämmön tai jäähdytyksen tuotantoa tuloilman käsittelyyn, lämpöpumpun hoitaessa tuotannon. Energiantuottolähteenä toimii ainoastaan kiinteistösähkö lämpöpumpun hyötysuhteella. Nämä ilmanvaihtokoneet ovat erittäin energiatehokkaita, kun tehokkaan lämmöntalteenoton rinnalla hyödynnetään lämpöpumpputekniikkaa. Voidaan ajatella, että tämän innovaation avulla on mahdollista säästää

myös tuotesidonnaisissa päästöissä, kun lämpöpumpulliselle ilmanvaihtokoneelle ei tarvitse erikseen rakentaa putkiverkostoa tai joissain tapauksissa energiantuottojärjestelmiä lämmitykselle ja jäähdytykselle.

Tarpeenmukaisella ohjauksella on olennainen rooli energiatehokkaiden ilmanvaihtojärjestelmien toiminnassa. Rakennusautomaation kautta ilmanvaihtojärjestelmiä voidaan käyttää nykyisin esimerkiksi läsnäolo-, hiilidioksidi- tai aikaohjauksella. Näin vähennetään ilmanvaihtokoneen turhaa tai liian tehokasta käyntiä, kun voidaan pysäyttää tai käyttää konetta osateholla tarpeen mukaan ja säästää puhallinsähköä. (30, s. 19)

5.1.6 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatio on entistä tärkeämmässä roolissa taloteknisten järjestelmien ohjauksessa. Ilmanvaihtoa sekä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiä ohjataan nykyisin poikkeuksetta tarpeen mukaan eteenkin liike- ja toimitiloissa. Rakennusautomaation rooli myös energiantuottojärjestelmissä on nykyisin olennainen. Eteenkin vaihtoehtoisia energiamuotoja sisältävät hybridijärjestelmät, joissa hyödynnetään hukkaenergioita ja energiaa voidaan tuottaa useamman eri lähteen kautta, energiavirtojen ohjaus ja varastointi tapahtuu automatisoidusti rakennusautomaation kautta. Tällaisten monimutkaisempien tuottojärjestelmien tehokas toiminnan optimointi rakennusautomaation kautta voi pienentää kiinteistöjen käytönaikaista energiankulutusta ja hiilijalanjälkeä. Rakennusautomaatiolla seurataan erilaisten taloteknisten järjestelmien kulutusta. Automaatiojärjestelmän kautta pystytään tarkastelemaan verkostojen toimintaa ja tilojen olosuhteita entistä yksityiskohtaisemmin. Näin voidaan seurata, että järjestelmät toimivat halutunlaisesti ja tämä antaa myös mahdollisuuden kehittää ja optimoida kiinteistöjen järjestelmiä entisestään. Kulutusseurannan avulla saadaan monesti pienennettyä järjestelmien turhaa käyttöä. Esimerkiksi käyttöveden kulutuksen seuranta vesimittarien kautta on tuonut positiivisia tuloksia. Huoneisto-kohtaisten mittarien tultua asuinrakennuksiin käyttöveden ja lämpimän käyttöveden kulutus on selkeästi pienentynyt.

5.2 Materiaalit ja tuotteet

Talotekniset järjestelmät koostuvat eri jakeluverkostoista muun muassa verkostojen linjoista, pääte- ja säätölaitteista, ilmankäsittelylaitteista sekä energiantuototekniikasta, lämmönsiirtimistä ja energiavaraajista. Talon sisäisissä jakeluverkostoissa on perinteisesti käytetty eri metalleista valmistettuja hiili-intensiivisiä tuotteita. Lämmitys- ja jäähdytyslinjat, käyttövesi- ja viemäriinjat sekä ilmanvaihtokanavat on perinteisesti valmistettu eri metallituotteista. Nykyisin monille järjestelmille löytyy myös hyviä vaihtoehtoisia ratkaisuja mm. muovista valmistettuja tuotevaihtoehtoja, joiden hiilijalanjälki on vähäisempi. Myös muut osat kuten pääte- ja säätölaitteet, lämmönsiirtimet, varaajat tai ilmanvaihtokoneet valmistetaan lukuisista eri materiaaleista, mutta sisältävät suuren määrän eri metalleja. Nykyään rakennusten ja tuotteiden ympäristövaikutusten ollessa entistä merkityksellisempiä laitevalmistajat ovat alkaneet tuomaan markkinoille myös kierrätetyistä tai uusiutuvista materiaaleista valmistettuja tuotteita. Näin myös paljon metallimateriaaleja sisältävien hiili-intensiivisten tuotteiden hiilijalanjälkeä on mahdollista pienentää.

Käyttövesijärjestelmät on perinteisesti valmistettu kupariputkesta. Myös muovista valmistettu PEX-putki ja muovia ja metalleja (kupari, sinkki alumiini) sisältävä komposiittiputki ovat erittäin käytettyjä. PEX- ja komposiittiputkia käytetään paljon esimerkiksi omakotitalorakentamisessa. Vesijohtojen tekninen käyttöikä on määritelty olevan 50 vuotta. Kaikille muoviputkille ei tätä ole vielä ehditty käytännössä todentaa. Kupari on painavana metallimateriaalina hiili-intensiivisempi. Kuparin etu materiaalina on kuitenkin 100 % kierrätettävyys, joka voidaan käyttää uusien juomavesiputkien valmistamiseen. Kupariteollisuuden mukaan käytetty kupariromu on laadultaan niin puhdasta, että se voidaan sulattaa ilman puhdistusvaiheita. Kierrätyskuparin hyödyntäminen raaka-aineena kuluttaa energiaa vain noin kymmenesosan primäärikuparin valmistukseen verrattuna. Sen hyödyntäminen vaihtelee alueellisesti, mutta Euroopassa ja pohjoismaissa kierrätysaste on korkea. Kupariputkien koko valmistusvaiheen hiilijalanjäljestä suurin osuus tulee raaka-aineen valmistuksesta eli kierrätyskuparin hyö-

dyntäminen raaka-aineen valmistukseen vaikuttaa merkittävästi koko valmistusvaiheen hiilijalanjälkeen. (32) Suomessa kupariset käyttövesiputket ovat kärsineet paikoitellen korroosio-ongelmista 2000-luvulla. Syyksi on arveltu muun muassa pohjaveden koostumusta. (33)

Muovi- ja komposiittiputkien osalta kierrätetyn materiaalin hyödyntäminen ei ole niin yksinkertaista. Juomavesiputkien valmistukseen liittyvistä hygieni- ja laatusyistä, putkissa käytettyjä raaka-aineita ei voida sellaisenaan käyttää uusien putkien valmistamiseen. Niiden osalta käytettyjen putkien hyödyntäminen kierrätykseen rajoittuu uusiomuovituotteisiin tai energian hyödyntämiseen. Uponor on tuonut markkinoille uuden biopohjaisen PEX-putkituotteen pienemmillä putkikoilla (16 mm ja 20 mm), jonka hiilijalanjälki on jopa 90 % pienempi verrattuna fossiilipohjaisiin eli uusiutumattomista luonnonvaroista valmistettuihin putkiin. (34) Komposiittiputkien valmistuksessa käytettyjen metallien osalta hyödynnetään yleisesti myös kierrätettyjä metalleja, mutta niiden osuus jää melko pieneksi. (32, s.14, 20) Merkittävä tekijä putkien valmistusvaiheen ympäristövaikutuksessa on myös valmistuksessa käytetyn sähkön ja lämmön alkuperä. Energiantuotannon tapahtuessa uusiutuvien lähteiden kautta valmistusvaiheen hiilijalanjälki on merkittävästi pienempi. Tällöin voidaan ajatella, että tuotannon maantieteellisellä sijainnilla on merkitystä. Esimerkiksi pohjoismaissa tuotettu kupari tai muoviputket ovat hiilijalanjäljeltään pienempiä, koska täällä suurempi osa sähköstä tuotetaan uusiutuvilla polttoaineilla. (32, s. 29)

Suomen ympäristökeskus tutki vuonna 2020 Työ- ja elinkeinoministeriön teettämässä raportissa Rakennuksessa käytettävien putkimateriaalien arviointi, käyttövesijärjestelmän eri putkimateriaalien hiilijalanjälkeä. Tutkittiin nimenomaan kuparin, PEX-putken ja komposiittiputken ympäristövaikutuksia. Raportti perustui asiantuntijoiden haastatteluihin ja kupari- ja muoviteollisuudelta saatuihin tietoihin ja aiempiin tutkimuksiin. Kuvassa 10 voidaan nähdä raportissa saadut tulokset eri putkimateriaalien valmistuksen hiilijalanjäljestä yhtä putkimetriä kohden. Kuparin osalta todettiin, että oman alansa asiantuntijana kupariteollisuuden ensikäden tietoon perustuvat laskelmat oletetaan tarkemmiksi. Kupariteollisuuden laskelmissa on käytetty valmistajan ilmoittamaa 67 % kierrätettyä kuparia.

Tuloksista voidaan havaita, että eri putkien putkimetriä kohden laskettu hiilijalanjälki on jotakuinkin samaa suuruusluokkaa.

<i>Elinkaaren vaihe</i>	Muoviteollisuus (Europe)			Kupariteollisuus (Global)
	<i>Komposiitti</i>	<i>PEX</i>	<i>Kupari</i>	<i>Kupari</i>
Putkien raaka-aineiden valmistus	0,6	0,3	0,2 - 0,7	0,1 - 0,7
Raaka-aineiden kuljetus tehtaalle ^a	0,0	0,0	0,2	0,0
Putkien valmistus	0,1	0,2	1,3	0,3
Hiilijalanjälki, CO₂ ekv/m	0,7	0,5	1,7 - 2,3	0,4 - 1,0
Energiankulutus, MJ/m	14,5	15,8	26,2	6,3 - 12,1

Kuva 10. Eri materiaaleista valmistettujen putkien hiilijalanjälki (kgCO₂ e/m putkea) (32, s. 13).

Lopputuloksena todettiin, ettei selvitysten perusteella löydetty selkeitä eroja eri putkimateriaalien ympäristövaikutuksista. Hiilijalanjäljen osalta tulokset voivat vaihdella materiaalien kierrätysasteesta, valmistuksessa käytetystä energialähteistä ja valmistuspaikan sijainnista riippuen. Eri putkimateriaaleilla on kullakin omat hyväksi havaitut käyttötarkoituksensa ja -paikkansa. Esimerkiksi rakennusten nousulinjat soveltuvat hyvin tehtäväksi jäykistä kupari- tai komposiittiputkista. PEX-putkea on kätevää käyttää paljon vesipisteitä sisältävässä tilassa, jaettaessa linjat jakotukilta vesipisteille. (32, s. 20.)

Viemärijärjestelmien käytetyimmät materiaalit ovat muovi ja valurauta. Viemäriputkien käyttöikä on noin 30–50 vuotta riippuen olosuhteista ja käytetystä materiaalista. Valurautaviemärit ovat viime vuosikymmeninä kärsineet laatuongelmista. Joissakin melko uusissa, vain joitakin vuosia vanhoissa valurautaviemäreissä on havaittu korroosio- ja laatuongelmia. Tämä johtuu joidenkin valmistajien käyttämistä heikommista seosmateriaaleista, putken seinämien ohenemisesta ja valmistustekniikan muuttumisesta. (35) Tämä on osaltaan varmasti vaikuttanut valurautaviemärien suosioon käyttömateriaalina. Muovista valmistetut (PP, PE ja PVC) viemäriputket ovatkin vastaavasti entistä käytetympiä. Kevyenä materiaalina sillä on etunsa helpon käsiteltävyytensä vuoksi työmaalla ja asennuksissa. Muovimateriaali ei myöskään kärsi samalla tavalla korroosiosta. Vaativammassa olosuhteissa viemärimateriaaleina käytetään muun muassa ruostumattomasta (RST) tai haponkestävästä (HST) materiaalista valmistettuja putkia esimerkiksi sadevesiviemäreissä ja keittiön rasvaviemäreissä.

Lähtökohtaisesti kevyemmistä muovimateriaaleista valmistettujen viemäriputkien hiilijalanjälki on metallimateriaaleista valmistettuihin verrattuna pienempi. Myös viemäröintijärjestelmien tuotteita on saatavilla nykyisin osin tai kokonaan kierrätetyistä materiaaleista. Kierrätysaste voi vaikuttaa merkittävästi tuotteiden valmistusvaiheen hiilijalanjälkeen. Maailman suurimpia valurautaviemärien valmistajia oleva Saint-Gobain ilmoittaa valmistavansa viemäriputket 100 % kierrätetystä raudasta. Blucherin RST-viemäri valmistetaan korkean kierrätysasteen omaavasta ruostumattomasta teräksestä. Suomessa Uponor ja Pipelife ovat tuoneet markkinoille muoviviemärituotteita, jotka hyödyntävät valmistuksessa kierrätettyjä materiaaleja. (34; 36) Viemäriputkissa käytettäville uusiokäyttömateriaaleille on asetettu myös rajoituksia, jotka määrittävät kierrätetyn materiaalin määrää ja laatua tuotteissa. Esimerkiksi ympäristöministeriö asetus polypropeenista (PP) valmistettujen viemäriputkien olennaisista teknisistä vaatimuksista rajaa käyttöä seuraavasti:

Käyttämättömän materiaalin lisäksi voidaan käyttää vain valmistajan omaa uusiokäyttömateriaalia, joka on peräisin putkien ja putkiyhteiden valmistuksesta. Vierasta uusiokäyttömateriaalia ja kierrätysmateriaalia ei saa käyttää. Uusiomateriaalin määrä raaka-aineen massasta voi olla enintään 25 prosenttia. (37)

Muovimateriaalin ominaisuudet muuttuvat prosessoitaessa, jonka vuoksi uusiomateriaalien määrää rajoitetaan. Kuitenkin jo kevyen materiaalin ansiosta muovista valmistettujen viemärijärjestelmien hiilijalanjälki jää monesti melko alhaiseksi.

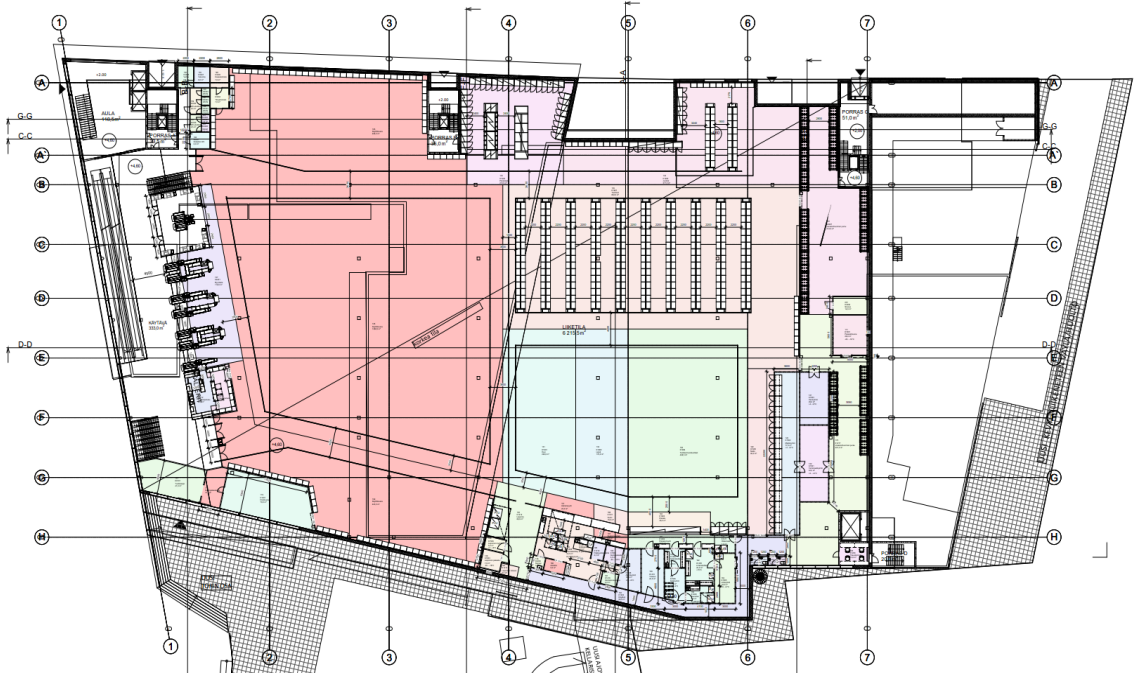
6 Case-esimerkki

6.1 Kohteen kuvaus

Työn yhteydessä tehdään vesi- ja viemärijärjestelmien tuotesidonnaisten hiilipäästöjen vertailuanalyysia esimerkkitapahtuman kautta. Esimerkkikohteenä on suunnittelun alkuvaiheessa oleva Etelä-Suomeen rakennettava uudiskohde, Keskon päivittäistavarakauppa hypermarketti Citymarket. Tämä Citymarket on

osa laajempaa rakennushanketta, jossa samassa monitoimirakennuksessa sijaitsee myös hotelli- ja asuinrakennuksia. Tässä tarkastelussa keskitytään kuitenkin vain Citymarketin tekniikkaan.

Citymarket sijaitsee 5-kerroksisen rakennushankkeen 1. kerroksessa. Kellari-kerroksessa sijaitsee parkkihalli ja Citymarketin päällä tulevat hotelli- ja asuin-kerrokset sekä pihakansi. Hypermarketin pinta-ala 6 500 m². Kuvassa 11 on esitetty arkkitehdin laatima alustava pohja kohteesta.



Kuva 11. Esimerkkikohteen pohjapiirustus.

6.2 Vaihtoehtoiset järjestelmät

Citymarketin suunnittelua varten tehtiin alustavaa vertailuanalyysia vesi- ja viemärijärjestelmien tuotteiden valmistusvaiheesta (A1–3) aiheutuvista ympäristövaikutuksista. Vertailussa tarkastellaan rakennuksen sisäpuolisten vesi- ja viemärijärjestelmien putkien ja niiden eristeiden aiheuttamaa tuotesidonnaista hiilijalanjälkeä. Vesi- ja viemäritekniikan putkimäärät kohteessa ovat arvioitu perustuen aikaisempiin vastaavanlaisiin suunnittelukohteisiin. Eri putkimateriaalien

päästötietoina on käytetty valmistajien ympäristöselosteita sekä Suomen ympäristökeskuksen CO2data.fi päästötietokantaa. Tuotteiden hiilijalanjälkilaskenta ympäristöselosteissa noudattaa Eurooppalaista EN15804 standardia. Kohteen järjestelmät on määritelty alustavissa dokumenteissa toteutettavan tietyistä putkimateriaaleista ja eristeistä. Analyysissa tarkastellaan näiden perustapausten aiheuttamaa hiilijalanjälkeä ja tehdään vertailevia laskelmia vaihtoehtoisille materiaali- ja tuotevaihtoehdoilla.

Rakennusten vesijohdot tehdään kupariputkesta. Työssä lasketaan esimerkki-kohteen käyttöveden kupariputken ympäristövaikutuksia kierrätetyllä kupariputkella sekä kierrättämättömällä kupariputkella. Vaihtoehtoisesti tutkitaan, että kohteen käyttövesiverkosto tehdään kokonaan PEX-, komposiitti- tai teräsputkesta. Vertailu tehdään niin, että järjestelmä on tehty aina kokonaan kyseisestä tutkittavasta materiaalista. Eristysvaihtoehtoina käyttövesiverkostolle tutkitaan mineraalivilla- ja solukumimateriaaleista valmistettuja tuotteita. Taulukossa 1 on esitetty käyttövesiputkien tarkasteltavat materiaalivevaihtoehdot ja niiden aiheuttama hiilijalanjälki kilogrammaa kohden.

Taulukko 1. Käyttövesiputkien tarkasteltavat materiaalivevaihtoehdot.

Materiaali	kg CO _{2e} / kg
Kupari (kierrätetty)	0,8
Kupari (kierrättämätön)	2,0
PEX	2,9
Komposiitti	5,4
Ruostumaton teräs	3,6

Viemärijärjestelmiä on rakennuksessa useampi, joiden ympäristövaikutuksia tutkitaan muutamalla vaihtoehtoisella putkimateriaalilla. Järjestelmiä on jätevesi-, sadevesi-, rasva-, ja kondenssivesiviemärijärjestelmä. Jätevesiviemärit toteutetaan muoviviemärillä, jotka ovat polypropeenista valmistettua PP-muoviputkea. Työssä laskettiin PP-muoviputken ympäristövaikutuksia osin kierrätetyllä PP-

putkella sekä paremman äänenvaimennuksen omaavalla desibeliviemäriputkella. Vaihtoehtoisesti tutkitaan valurautaviemärien ympäristövaikutuksia.

Kattosadevedet johdetaan ulos rakennuksesta sisäpuolisilla sadevesiviemäreillä. Tämän tyyppisissä isommissa markettirakennuksissa on paljon kattopinta-alaa, jolloin sadevesijärjestelmäkin on laaja. Sadevesiviemärijärjestelmän osalta tutkittiin ruostumattomasta teräksestä valmistettua RST-putkea sekä muovista valmistettua PE-putkea. Molemmat ovat käytettyjä materiaaleja sadevesijärjestelmissä. RST-putkea käytetään materiaalina eteenkin vaativissa olosuhteissa, kun halutaan kestävän materiaalin omaava järjestelmä. Sadevesiviemärit lämpöeristetään solukumilla. Rasvaviemärijärjestelmä on tämän tyyppisissä rakennuksissa verrattain laaja, koska erilaisia ruuan käsittelytiloja on paljon. Rasvaviemärijärjestelmä tehdään HST-viemärinä. Rasvaviemärijärjestelmän putkimateriaalien aiheuttamaa hiilijalanjälkeä tutkittiin tässä analyysissä RST materiaalista valmistetun putken päästöarvoilla. Yleensä rasvaviemärijärjestelmän materiaalina käytetään HST:tä (haponkestävä teräs). Näiden materiaalien valmistusprosessi on tuotevalmistajan mukaan melko lähellä toisiaan. RST- ja HST-viemärit valmistetaan suurelta osin samoista metalliaineista ja myös RST-materiaalia käytetään toisinaan rasvaviemärien putkimateriaalina sen ollessa myös riittävän kestävä ammattikeittiöiden viemärointiin. Molemmat materiaalit ovat rautaseosta, joka sisältää kromia ja nikkeliä. Hapon kestävässä HST-seoksessa on nikkeliä enemmän ja lisäksi molybdeeniä, joka takaa hyvän korroosiokestävyyden. Pääasiassa kohteen jäähdytyslaitteita palveleva kondenssivesiviemäriverkosto tehdään PP-muoviputkesta tai vaihtoehtoisesti tutkitaan kupariputkea. Taulukossa 2 on esitetty putkivaihtoehdot eri viemärijärjestelmille päästötietoineen.

Taulukko 2. Viemäriputkien tarkasteltavat materiaalivevaihtoehdot.

Materiaali	kg CO₂e / kg
PP (osin kierrätetty)	2,3
PP (db viemäri)	3,0
Valurauta (kierrätetty)	1,5
PVC	2,8
RST (teräs, osin kierrätetty)	4,3
HST (teräs, hapon kestävä)	4,3
PE	2,5

Taulukossa 3 esitetty on tutkittavien putkieristeiden hiilijalanjälki. arvot eristeiden osalta saatu tuotevalmistajien teettämistä ympäristöselosteista. Tutkittavina putkieristeinä olivat mineraalivilla, solukumi ja paloluokiteltu solukumi.

Taulukko 3. Putkieristeiden tarkasteltavat materiaalivevaihtoehdot.

Eristys	kg CO₂e / m³
Mineraalivilla	120,9
Solukumi	264,1
Solukumi (paloluokiteltu)	292

6.3 Talotekniikan sitoutuneet päästöt

Kohteen käyttövesi- ja viemäritekniikka palvelee pääosin ruoan käsittely- sekä WC- ja sosiaalityloja. Viemärien osalta lisäksi järjestelmät palvelevat katon sadevesiä ja jäädytyksen kondenssivesilinjoja. Jätevesi- ja rasvaviemäriverkoston linjoihin on arvioitu mukaan varaukset mahdollista muuntojoustavuutta varten. Käyttövesiverkoston putkimääriin on arvioitu mukaan pikapalopostien linjojen massat. Kohteen varsinainen suunnittelu on vasta alkuvaiheessa. Vesi- ja vie-

märitekniikan putkimäärät kohteessa ovat arvioitu perustuen aikaisempiin vastaavanlaisiin suunnittelukohteisiin. Tässä analyysissä esitetyt alustavat vertailulaskelmat kohteen suunnittelua varten on tehty tällä hetkellä saatavilla tiedoilla, ja kaikki päästölaskennan tulokset eivät välttämättä ole objektiivisesti vertailtavaa.

Taulukossa 4 on esitetty käyttövesiputkien valmistusvaiheen A1–3 aiheuttama hiilijalanjälki eri materiaalivaihtoehdoilla. Kuparista valmistetun putken hiilijalanjälki vaihtelee merkittävästi riippuen materiaalin valmistuksesta. Materiaalina kuparin etuna on mahdollisuus korkeaan kierrätysasteeseen. Kierrätetyn kuparin laskennassa käytettiin pohjoismaisen täysin kierrätetyn kuparin päästöarvoja (viittaus päästötietokantaan). Voidaan havaita, että vertailulaskennassa tällä kierrätetyllä kuparilla käyttövesijärjestelmän hiilijalanjälki on verrattaen pieni. Vastaavasti kierrättämättömän kuparin laskennassa käytettiin Keski-Eurooppalaisen valmistajan ympäristöselosteen arvoja, jolloin käyttövesijärjestelmän hiilijalanjälki on huomattavasti suurempi.

Kierrätysasteen lisäksi tuotteen valmistuksesta aiheutuneeseen hiilijalanjälkeen vaikuttaa oleellisesti myös valmistuksessa käytetyn sähkön- ja lämmöntuotannon energiamuotokertoimet. Pohjoismaissa on mahdollista käyttää ja käytetään monesti energiamuotokertoimeltaan edullisempaa energianlähdettä, esimerkiksi uusiutuvaa energiaa. Muovista valmistetulla PEX-putkella saatiin vertailussa myös maltillinen hiilijalanjälki. Vertailun PEX-putkelle käytettiin pohjoismaissa valmistetun tuotteen ympäristöselosteen arvoja. Muovista valmistetut tuotteet ovat monesti jo kevyen massansa takia moniin raskaisiin metallituotteisiin nähden ekologisempia. Analyysissa ruostumattoman teräsputken osalta käytettiin korkean kierrätysasteen (>80%) omaavan saksalaisen valmistajan ympäristöselostetta. Kuitenkin terästuotteen painavan massan ja hiili-intensiivisen valmistusprosessin takia ympäristövaikutukset jäivät verrattaen suuriksi.

Taulukko 4. Käyttövesijärjestelmän hiilijalanjälki eri materiaalivaihtoehdoilla.

Järjestelmän materiaali	A1-3 (kg CO ₂ e)
Kupari (kierrätetty)	1612
Kupari (kierrättämätön)	4092
PEX	2929
Komposiitti	4906
Ruostumaton teräs	6800

Taulukossa 5 esitetty käyttövesiputkien eristevaihtoehtojen hiilijalanjälki. Solukumilla päästään vähän alhaisempiin tuloksiin kuin mineraalivillalla. Tilavuusyksikköä kohden mineraalivillan hiilijalanjälki on melko paljon pienempi kuin solukumilla, mutta villaeristettä käytetään paksumpi kerros putken eristämiseen. Perinteisesti käyttövesiputket eristetään mineraalivillalla.

Taulukko 5. Käyttövesijärjestelmän eristyksen hiilijalanjälki eri materiaalivaihtoehdoilla.

Eristys	A1-3 (kg CO ₂ e)
Mineraalivilla	2884
Solukumi	2494
Solukumi (paloluokiteltu)	2758

Jätevesijärjestelmän hiilijalanjälkeä tutkittiin vertailemalla valuraudasta ja muovimateriaaleista PP (polypropeeni) ja PVC (polyvinyylikloridi) valmistettuja putkia. Alla olevassa taulukossa 6 esitetty analyysin tulokset eri putkivaihtoehdoille. Tuloksista nähdään muovista valmistettujen viemärien selkeästi pienempi hiilijalanjälki valurautaviemäriin nähden. Vaikka valurautaviemäriin osalta käytettiin eurooppalaisen valmistajan, täysin kierrätetystä materiaalista valmistetun tuotteen ympäristöselosteen arvoja, muovia huomattavasti painavamman valuraudan hiilijalanjälki on analyysin perusteella monta kertaa suurempi. Analyysin perusteella pienin hiilijalanjälki on saatu käyttämällä järjestelmässä osin kierrätettyä PP-putkea. Analyysissä käytettiin pohjoismaisen valmistajan tuotteita,

joista 50–110mm viemäriputkista oli noin kolmannes peräisin kierrätetystä materiaalista. PP-putkesta valmistetut viemärit ovatkin nykyisin hyvin käytettyjä kiinteistöjen jätevesijärjestelmissä. PVC-putkesta valmistettu järjestelmä omaa analyysin perusteella jonkin verran suuremman hiilijalanjäljen. PVC viemäriissä käytettiin saksalaisen tuotteen ympäristöselostetta. PVC-putkea ei enää nykyisin käytetä niin paljon kiinteistöjen sisäisenä viemäriinä, sen heikkouden ollessa heikko iskun kestävyys.

Taulukko 6. Jätevesijärjestelmän hiilijalanjälki eri materiaalivaihtoehdoilla.

Järjestelmän materiaali	A1-3 (kgCO ₂ e)
PP (osin kierrätetty)	3247
PP (db viemäri)	4525
Valurauta (kierrätetty)	12101
PVC	3938

Taulukossa 7 esitetty analyysin muiden viemärijärjestelmien tulokset eri putkivaihtoehdoilla. Sadevesiviemärijärjestelmien osalta muovimateriaalista valmistetun PE-putki aiheuttaa verrattaen pienen hiilijalanjäljen. Kevyt materiaali ja melko alhainen tuotteen valmistusvaiheen hiilijalanjälki ovat tämän PE-putken etuja. Arvioinnissa käytettiin PE-putken osalta eurooppalaisen tuotteen ympäristöselosteen arvoja. RST-materiaalin osalta sadevedessä käytettiin geneeristä konservatiivista vertailuarvoa. Tämä näkyy analyysin tuloksissa järjestelmän huomattavan korkeana hiilijalanjälkenä.

Hiili-intensiivisenä metallimateriaalina RST-putken hiilijalanjälki on toki korkeampi, mutta konservatiivinen arvo nostanee järjestelmän kokonaispäästöjä entisestään. Rasvaviemärijärjestelmän putkimateriaalien aiheuttamaa hiilijalanjälkeä tutkittiin tässä analyysissä RST-materiaalista valmistetun putken arvoilla, joka on samaa suuruusluokkaa keittiöissä yleisesti käytetyn HST-viemäriin kanssa. Kondenssivesiviemärien vaikutus pienempänä järjestelmänä jää luonnollisesti vähäisemmäksi vesi- ja viemärijärjestelmien kokonaishiilijalanjälkeä

tarkasteltaessa. PP-viemäriputkesta tehdyn kondenssijärjestelmän päästöt ovat pienimmät.

Taulukko 7. Muiden viemärijärjestelmien hiilijalanjälki eri materiaalivaihtoehtoilla.

Järjestelmän materiaali	A1-3 (kg CO ₂ e)
Sadevesiviemäri	
RST (osin kierrätetty)	7591
PE	2772
Rasvaviemäri	
RST (osin kierrätetty)	5386
Kondenssivesiviemäri	
PP (osin kierrätetty)	251
Kupari (kierrätetty)	468

6.4 Tulokset ja analysointi

Analyysin tulokset olivat melko paljon samansuuntaisia kuin on esitetty aiemmassa materiaalissa taloteknisten järjestelmien hiilijalanjälkeen liittyen, ja joita käydään läpi tämän työn kirjallisuustutkimuksen osuudessa. Kevyitä muovituotteita sisältävien järjestelmien valmistusvaiheen hiilijalanjälki on useimmiten pienempi kuin raskaammista metalleista koostuvien järjestelmien. Hiili-intensiivisten metallituotteiden valmistusprosessi on luonnollisesti raskaampi kuin muovituotteiden. Metallituotteiden etuna on mahdollisuus erittäin korkeaan kierrätysasteeseen, joka ei ole samalla tavalla muovituotteiden osalta mahdollista. Eteenkin pohjoismaissa metallituotteiden valmistajat vaikuttaisivat pyrkivän hyödyntämään korkean kierrätysasteen omaavia raaka-aineita tuotannossaan. Tämä on huomionarvoista ympäristövaikutuksia tarkasteltaessa. Kuparista valmistetut vesijohtoputket ovat hyvä esimerkki tästä. Täysin kierrätetyn kuparin hiilijalanjälki on huomattavasti pienempi kuin uudesta materiaalista valmistettu tuote. Myös pohjoismaisia ja kotimaisia kierrätettäviä materiaaleja hyödyntäviä

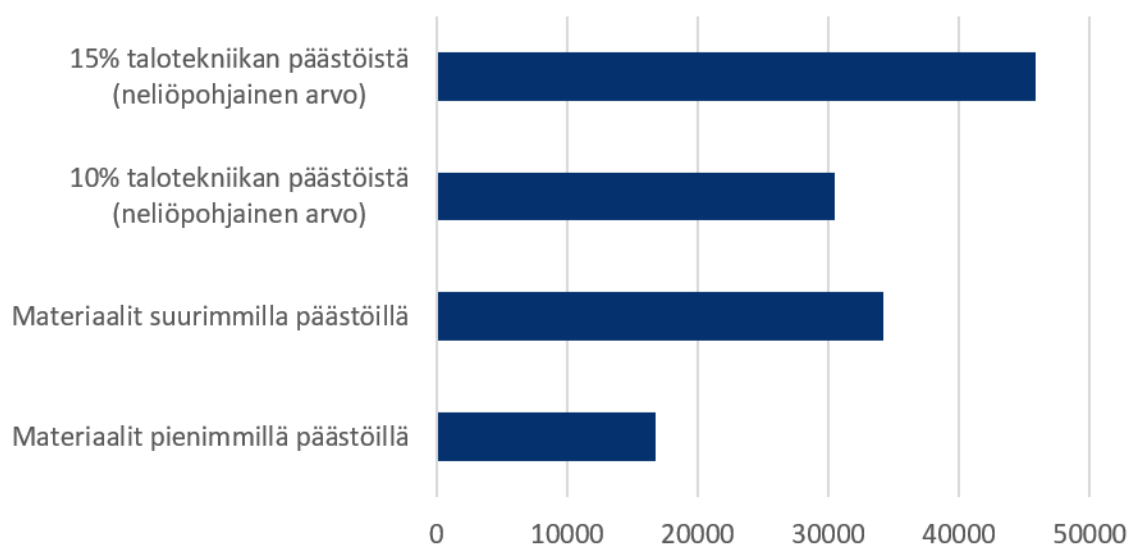
muovituotteita on markkinoilla jo useampia. Osansa tuotteiden valmistusvaiheen hiilijalanjälkeen on myös valmistuksessa käytetty energia. Vähäisen energiamuotokertoimen omaavat uusiutuvat energiamuodot voivat pienentää tuotteiden valmistusvaiheen hiilijalanjälkeä. Pohjoismaissa ja Suomessa uusiutuvaa energiaa pyritään hyödyntämään tuotteiden valmistuksessa. Jatkoselvityksen aiheeksi analyysistä jäänee, löytyykö tarkempia tuotekohtaisia ympäristöselosteita, joilla tarkastella haponkestävästä teräksestä valmistettujen viemärijärjestelmien ympäristövaikutuksia. Tähän työhön ei löytynyt tuotekohtaisia ympäristöselosteita hapon kestäville viemärituotteille vaan käytettiin yleistä konservatiivista RST-tuotteen hiilijalanjäljen arvoa, mikä on mahdollisesti suurempi kuin tuotekohtainen arvo.

Tämän analyysin perusteella eri järjestelmien valmistusvaiheen hiilijalanjälki vaihtelee melko paljon riippuen käytetystä materiaalista. Huomion arvoista järjestelmien materiaalivalintoja tarkasteltaessa on niin käyttöveden kuin viemärienkin osalta myös se, että eri materiaaleille ja tuotteilla on paikkansa, johon ne soveltuvat parhaiten riippuen kohteesta ja olosuhteista. Esimerkiksi viemäritekniikassa ruostumaton teräs tai haponkestävä teräs ovat ehdottoman hyviä materiaaleja vaativiin olosuhteisiin, kun halutaan käyttää kestäviä materiaaleja ja elinkaarenaikaista käyttövarmuutta, muun muassa keittiöiden rasvaviemäreissä. Muovista valmistettujen tuotteiden etuna ovat muun muassa materiaalien keveys, jolloin ne ovat helposti käsiteltäviä asennusvaiheessa.

SYKEN tietokannassa CO2data.fi on esitetty talotekniikalle neliöpohjaiset päästöarvot rakennustyyppikohtaisesti rakennushankkeiden hiilijalanjäljen arviointimenetelmää varten. Myymälärakennusten talotekniikan konservatiivinen arvo valmistusvaiheelle (A1–3), jota voidaan käyttää rakennusluvan yhteydessä tehtävässä laskennassa, on $47 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$. Taustaraportin mukaan talotekniikan neliöpohjainen hiilijalanjälki valmistusvaiheelle vaihtelee rakennustyyppistä riippuen $42\text{--}70 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$ ja tästä vesi- ja viemärijärjestelmien osuus on 10–15 %. (20, s. 9) Kohderakennuksen pinta-ala on $6\,500 \text{ m}^2$. Neliöpohjaisella konservatiivisella arvolla laskettuna saadaan vesi- ja viemäritekniikan A1–3 vaiheen hiilijalanjäljeksi $30\,500\text{--}45\,800 \text{ kgCO}_2$. Kohderakennukselle tehdyn analyysin perusteella,

jos valitaan vähäpäästöisimmät materiaalivaihtoehdot vesi- ja viemärijärjestelmille, valmistusvaiheen hiilijalanjälki on yhteensä 16 800 kgCO₂. Jos järjestelmien materiaaleiksi valittaisiin kaikkein suurimmilla hiilijalanjäljen omaavilla vaihtoehdoilla, valmistusvaiheen hiilijalanjäljeksi saadaan yhteensä 34000 kgCO₂. Suhteellisesti tarkasteltuna vähäpäästöisemmällä vaihtoehdoilla saavutetaan siis 50% pienempi vesi- ja viemärijärjestelmien tuotevaiheen kokonaishiilijalanjälki korkean hiilijalanjäljen vaihtoehtoihin verrattuna. Kuvassa 12 on esitetty analyysin perusteella lasketut kokonaispäästöt eri skenaarioilla.

Vesi- ja viemärijärjestelmien päästöt



Kuva 12. Vesi- ja viemärijärjestelmien kokonaispäästöt (kgCO₂) eri skenaarioilla.

Analyysin perusteella voidaan havaita, että vesi- ja viemärijärjestelmien ympäristövaikutukset ovat huomattavasti pienemmät, jos käytetään vähäpäästöisempiä vaihtoehtoja. Vaikka tehty analyysi on karkean tason arviointi suunnittelun alkuvaiheen tueksi ja materiaalikohtainen arviointi tehtiin vain osalle tekniikasta, voidaan varmastikin ajatella, että ollaan neliöpohjaisten laskenta-arvojen perusteella oikeassa suuruusluokassa vesi- ja viemäritekniikan arvioinnin osalta.

Taloteknisten järjestelmien hiilijalanjälkeä tarkastellaan hankkeissa pääsääntöisesti neliömetripohjaisiin laskelmiin perustuen. Oheinen analyysi ja vertailu antavat osaltaan jonkinlaista näkökulmaa tuotetason laskennasta. Talotekniikan valmistusvaiheen tuotesidonnaisia päästöjä tarkasteltaessa, tuotetason laskennalla voisi olla mahdollista saavuttaa ja löytää ratkaisuja, joilla vähentää hiilijalanjälkeä. Tämän analyysin perusteella voidaan todeta, että vesi- ja viemärijärjestelmien tuotevalinnoilla on merkitystä valmistusvaiheen tuotesidonnaisiin päästöihin. Huomioitavaa tarkastelussa on myös se, että tutkittiin vain yhtä osaluetta talotekniikassa. Mikäli projekteissa tehdään vastaavanlaisia tarkasteluja suunnittelussa kaikille taloteknisille järjestelmille, talotekniikan kautta on mahdollista tehdä merkittäviäkin päästövähennyksiä tuotteiden ja materiaalien aiheuttamaan hiilijalanjälkeen.

7 Yhteenveto ja päätelmät

Ympäristövaikutusten huomioiminen on keskeisessä roolissa rakennushankkeiden läpiviemisessä. Ilmastaselvitys ja hiilijalanjäljen laskenta tulevat osaksi rakennuslupaa vuoden 2025 alussa. Tällöin rakennusten käytönaikaisen energiankulutuksen hiilijalanjäljen lisäksi koko elinkaarenaikaisten ympäristövaikutusten myös valmistusvaiheen tuotesidonnaisten päästöjen vaikutukset on oltava tarkemmin selvillä projekteissa. Tämä rakentamislain uudistus tuo lisää haasteita rakennushankkeille ja niiden suunnittelulle ja suunnittelijoiden on oltava entistä valveutuneempia ympäristöasioissa. Tässä työssä tarkasteltiin rakennusalan ja talotekniikan nykytilannetta ympäristövaikutuksen ja hiilipäästöjen huomioimisen osalta. Käytiin läpi taloteknistä suunnitteluprosessia ja ympäristövaikutusten ja hiilipäästölaskennan huomioimista osana rakennushanketta. Tutkittiin yleisesti taloteknisten järjestelmien ja tuotteiden ympäristövaikutuksia ja tuotesidonnaisia hiilipäästöjä. Esimerkkikohteen avulla syvennyttiin enemmän vesi- ja viemäritekniikan materiaalivalintojen merkitykseen eri putkivalintojen tuotesidonnaisten päästöjen tarkastelun kautta.

Yksityiskohtaisia tutkimuksia talotekniikan ympäristövaikutuksista ei ole tehty kovin paljon. Aiemmin rakennushankkeista tehdyistä tutkimuksista talotekniikan

osuus saattaa olla huomioitu puutteellisesti tai on keskitytty lähinnä käytönaikaisen energiankulutuksen vaikutuksiin. Ja esimerkiksi taloteknisten tuotevalintojen merkitystä ei ole tarkasteltu kovin paljoa. Erilaisten järjestelmä- ja suunnitteluratkaisujen vaikutuksia tulisi tutkia kehitysmielessä, jotta voidaan löytää tehokkaita ratkaisuja sekä ympäristö- että kustannustekijät huomioiden. Tutkimustyö mahdollistaisi paremmin myös uusien innovaatioiden kehittämisen. Talotekniikan ympäristövaikutuksiin liittyvä tutkimus on ollut osaksi myös sen takia vähäistä, ettei tuote- ja materiaaliikohtaista tietoa talotekniikasta ole ollut kovin paljon saatavilla. Tällä hetkellä tuotetietoa on jo jonkin verran, mutta alan tuote- ja laitevalmistajat ovat vasta osin aktivoituneet ympäristöasioihin. Tämä näkyy ympäristöselosteiden laadinnassa, vasta osa valmistajista on alkanut selvittää tuotteidensa hiilijalanjälkeä. Laitevalmistajat tulevat varmastikin aktivoitumaan tulevina vuosina ympäristöasioissa, hiilijalanjäljen tullessa osaksi rakennuslupaa. Tällöin myös tuote- ja materiaaliikohtainen ympäristövaikutusten tarkastelu helpottunee, kun myös taloteknistä tuotetietoa on saatavilla enemmän.

Rakennusluvan yhteydessä vähähiilisuuden arviointimenetelmällä laadittavan hiilijalanjälkilaskennan osalta talotekniikan huomioiminen tulee varmasti vielä kehittymään ja tarkentumaan. Suunnitteluprosessin alkuvaiheessa tehtävä neliöpohjainen laskenta talotekniikan osalta ei juurikaan vaikuta enää hankkeen myöhemmässä vaiheessa tehtäviin tuotevalintoihin ja järjestelmäratkaisuihin. Kun talotekniikan hiilijalanjälki lasketaan neliöpohjaisesti, suunnittelulla ja sen kautta tehdyillä valinnoilla ei ole vaikutusta laskennan tulokseen. Tuotekohtainen tarkastelu talotekniikan osalta mahdollistaisi sen, että suunnittelussa olisi mahdollista vaikuttaa hiilijalanjälkitarkasteluun ja rakennusvaiheessa tehtäviin valintoihin.

Talotekninen suunnittelu on entistä tärkeämmässä roolissa nykyaikaisessa rakentamisessa. Hankkeiden LVIA-järjestelmien laadukkaasti ja tehokkaasti toteutetut suunnittelu- sekä rakennusvaihe ovat olennainen edellytys onnistuneelle rakennusprojektille. Suunnittelun alkuvaiheessa tehdään talotekniikan osalta kriittisimmät ja laajempia kokonaisuuksia koskevat suunnittelu- ja järjestelmäratkaisut.

Nämä vaikuttavat osaltaan koko hankkeen myöhempään suunnittelu- ja rakennusaikaiseen toimintaan ja koko elinkaaren hiilijalanjälkeen. Rakennushankkeiden elinkaaren ympäristövaikutuksiin liittyvät tavoitteet on hyvä olla tiedossa heti projektien alkuvaiheista lähtien, jotta ne voidaan huomioida ja tiedostaa suunnittelussa. Eri suunnittelualojen välinen aktiivinen ja sujuva yhteistyö heti suunnitteluprosessin alkuvaiheista lähtien mahdollistaa paremmat lähtökohdat onnistuneelle hankkeelle ja sille asetettujen tavoitteiden toteutumiselle myös ympäristöasioissa.

Talotekniikkasuunnittelulla on mahdollista vaikuttaa tuntuvasti rakennushankkeiden hiilijalanjälkeen niin käytönaikaisten käyttösidonnaisten kuin valmistusvaiheen tuotesidonnaisten päästöjen osalta. Paljon talotekniikkaa sisältävissä rakennuksissa talotekniikalla on iso rooli myös tuotesidonnaisissa päästöissä. Vähäpäästöisten materiaalien käytöllä on mahdollista saavuttaa positiivisia ympäristövaikutuksia. Esimerkiksi kierrätettyjen tai kevyemmistä muovimateriaaleista valmistettujen tuotteiden suosimisella voidaan pienentää hankkeen tuotesidonnaisia päästöjä. Elinkaariajattelun huomioiminen rakentamisessa voi tarkoittaa paitsi vähäpäästöisten materiaalien ja järjestelmien hyödyntämistä myös muuntojoustavia ja elinkaareltaan pitkäikäisten ratkaisujen suunnittelua. Nykyaikaiset laajat, paljon eri materiaaleja ja komponentteja sisältävät, talotekniset järjestelmät, mahdollistavat myös monenlaisia eri ratkaisuja, joilla pienentää hiilijalanjälkeä. Kun suunnittelun alkuvaiheista lähtien eri järjestelmissä pyritään kattavasti ympäristöystävällisiin ratkaisuihin, yhteisvaikutus materiaalipäästöihin voi olla merkittävä. Tällä tavalla taloteknisillä materiaali- ja tuotevalinnoilla on kokonaisuutena mahdollista vaikuttaa tuotesidonnaisiin päästöihin ja hankkeen koko elinkaarenaikaiseen hiilijalanjälkeen.

Lähteet

- 1 Maankäyttö- ja rakentamislaki. 132/1999. 5 §, 12 §, 22 §, 28 §. Ympäristöministeriö.
- 2 Bionova Oy: Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. 2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>>. Luettu 20.06.2022.
- 3 Bruce-Hyrkäs, Tytti; Kuittinen, Matti & Lylykangas, Kimmo. Johdatus vähähiiliseen rakentamiseen. 2021. Verkkoaineisto. Aalto yliopisto. <<https://www.aalto.fi/fi/vahahiilinenrakentaminen>>. Luettu 08.07.2022.
- 4 Euroopan komission ehdotus uudeksi EPBD direktiiviksi – keskeinen sisältö. 2022. Verkkoaineisto. Green building council Finland. <<https://figbc.fi/euroopan-komission-ehdotus-uudeksi-epbd-direktiiviksi-keskeinen-sisalto/>>. Luettu 08.12.2022.
- 5 Röck, Martin; Mendes Saade, Marcella Ruschi; Balouktsi, Maria & Rasmussen, Freja Nygaard. 01/2020. Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. Verkkoaineisto. Applied energy vol. 258. s. 1-12. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919317945>>. Luettu 22.11.2022.
- 6 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä. 11.11.2022. Lausuntopyyntö. Ympäristöministeriö. <<https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=70fe9e3d-e065-4143-ba6e-4e1f63299842>>. Luettu 19.2.2023.
- 7 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä. Luonnos. 30.9.2022. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=70fe9e3d-e065-4143-ba6e-4e1f63299842>>. Luettu 19.2.2023.
- 8 12.3.2021. Vähähiilisen rakennuttamisen klinikka - tulosraportti. 2021. Verkkoaineisto. A-insinöörit. Rakli. <<https://www.rakli.fi/wp-content/uploads/2021/03/vahahiilinen-rakennuttaminen-klinikan-tulosraportti.pdf>>. Luettu 12.2.2023.
- 9 Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. 2019. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161761>>. Luettu 19.2.2023.

- 10 Elinkaariajattelun vaikutusmahdollisuudet rakentamisen ohjaamisessa. 2019. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161923/YM_2019_32.pdf>. Luettu 19.2.2023.
- 11 Taloudellisten kannusteiden käyttö vähähiilisen rakentamisen ohjauksessa – Talon hankkeen loppuraportti. 2019. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161923/YM_2019_32.pdf>. Luettu 30.11.2022.
- 12 Vähähiilisen rakentamisen tiekartan eteneminen. Verkkoaineisto. One Click LCA. <<https://www.oneclicklca.com/fi/rakennusten-hiilijalanjaljen-arviointimenetelma/>>. Luettu 11.12.2022.
- 13 Eduskunta hyväksyi rakentamisen päästöjä pienentävät ja digitalisaatiota edistävät lait. 2023. Verkkoaineisto. Valtioneuvosto. <<https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/eduskunta-hyvakysyi-rakentamisen-paastoja-pienentavat-ja-digitalisaatiota-edistavat-lait>>. 1.3.2023. Luettu 13.3.2023.
- 14 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä. 11.11.2022. Lausuntopyyntö. Ympäristöministeriö. <<https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=70fe9e3d-e065-4143-ba6e-4e1f63299842>>. Luettu 19.2.2023.
- 15 Level(s) – rakennuksen resurssitehokkuuden yhteiset mittarit. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/levels-rakennusten-resurssitehokkuuden-mittarit>>. Luettu 19.2.2023.
- 16 Talotekniset järjestelmät. 2022. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://www.ymparisto.fi/fi_fi/rakentaminen/rakennushanke/talotekniset_jarjestelmat_lvi>. Luettu 12.12.2022.
- 17 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muutos (2018/44/EU). Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuus>>. Luettu 12.12.2022.
- 18 Rakennusten lämmitys kuluttaa runsaasti energiaa. Verkkoaineisto. Ilmasto-opas.fi. <<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/73fa2827-42d1-4fd7-a757-175aca58b441/rakennusten-lammitys-kuluttaa-runsaasti-energiaa.html>>. Luettu 1.12.2022.
- 19 Energiavuosi 2022 Kaukolämpö. 2023. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/files/5650/Kaukolampovuosi_2022.pdf>. Luettu 22.2.2023.

- 20 Taloteknisten järjestelmien selvityshanke. 2021. Verkkoaineisto. Sweco Talotekniikka Oy. Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/documents/1410903/40549091/YM_TATE_P%C3%A4%C3%A4st%C3%B6t_loppuraportti.pdf/d9c1c20c-e50f-49c1-4946-26b94dd7463d/YM_TATE_P%C3%A4%C3%A4st%C3%B6t_loppuraportti.pdf?t=1619092963729>. Luettu 12.2.2023.
- 21 Näsänen, Henna. 2021. Taloteknisten järjestelmien elinkaaren ilmastovai-
kutukset. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Aalto.doc-tietokanta
- 22 Näsänen, Henna. Talotekniikan tuotesidonnaisilla päästöillä on merkittävä
rooli rakennuksen hiilijalanjälkilaskennassa. Verkkoartikkeli. Ramboll Fin-
land Oy. <[https://fi.ramboll.com/media/artikkelit/rakentaminen-ja-kiinteis-
tot/talotekniikan-tuotesidonnaiset-paastot](https://fi.ramboll.com/media/artikkelit/rakentaminen-ja-kiinteis-
tot/talotekniikan-tuotesidonnaiset-paastot)>. Luettu 22.2.2023.
- 23 Kiamili, Christina; Hollberg, Alexander & Habert, Guillaume. 2020. De-
tailed assessment of embodied carbon of HVAC systems for new office
building based on BIM. Sustainability 2020. Vol 12:8 s.1-18.
<<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/8/3372>>. Luettu 22.12.2022.
- 24 Ylmen, Peter; Penalosa, Diego & Mjörnel, Christina. 2019. Life cycle as-
sessment of an office building based on site-specific data. Energies.
Vol.12. s.1-8. <<http://doi.org/10.3390/en12132588>>. Luettu 22.12.2022.
- 25 Raatikainen, Valle. 2022. Asiakkaan päästöjen vähentäminen talotekniik-
kassa. Diplomityö. LUT-yliopisto. <[https://lutpub.lut.fi/han-
dle/10024/163125](https://lutpub.lut.fi/handle/10024/163125)>. Luettu 2.3.2023.
- 26 Peltokorpi, Antti; Varteva, Katariina & Seppänen, Olli. 2021. Taloteknisten
järjestelmien rooli rakennushankkeen prosessissa- Tutkimushankkeen lop-
puraportti. Aalto yliopisto. <[https://www.lvi-tu.fi/wp-con-
tent/uploads/2021/12/Tate-jarjestelmat-loppuraportti_2.12.2021.pdf](https://www.lvi-tu.fi/wp-con-
tent/uploads/2021/12/Tate-jarjestelmat-loppuraportti_2.12.2021.pdf)>. Lu-
ettu 3.3.2023.
- 27 Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo. 2016. RT 10-11129. Rakennus-
tieto Oy
- 28 Pääsuunnittelijan tehtävät tarveselvityksessä. 2014. Aalto Yliopisto.
<[https://www.aaltopro.fi/media/aalto-pro-publications/ps/ps_2014_tut-
kielma_halikka.pdf](https://www.aaltopro.fi/media/aalto-pro-publications/ps/ps_2014_tut-
kielma_halikka.pdf)>. Luettu 3.3.2023.
- 29 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä - lausunto-
menettely. 11/2022. Ympäristöministeriö. <[https://ym.fi/hankesivu?tun-
nus=YM027:00/2021](https://ym.fi/hankesivu?tun-
nus=YM027:00/2021)>. Luettu 29.3.2023.

- 30 Polojärvi, Joel. 2022. Talotekniikan järjestelmien päästövaikutukset ja niiden vähentäminen. Karelia ammattikorkeakoulun julkaisuja: Raportteja C99. Verkkoaineisto. Karelia ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/785079/C99_Talotekniikan_p%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6vaikutukset.pdf?sequence=2>. Luettu 20.1.2023.
- 31 Ahola, Riina & Liljeström, Kimmo. 08/2018. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratilakohteessa. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuksen raportteja. Verkkoaineisto. ARA. <https://joutsenmerkki.fi/wp-content/uploads/2022/08/Hiilijalanjäljen-pienentaminen-kustannustehokkaasti_2018.pdf>. Luettu 20.1.2023.
- 32 Laitinen, Jyrki & Malila, Riikka. 2020. Rakennuksissa käytettävien putkimateriaalien arviointi. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 41/2020. Verkkoaineisto. Suomen ympäristökeskus. <<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/319739>>. Luettu 14.3.2023.
- 33 Lammassaari, Jari. 2019. Kupariputkien nopealle syöpymiselle etsitään selitystä. Verkkoaineisto. Rakennusmaailma. <<https://rakennusmaailma.fi/kupariputkien-nopealle-syopymiselle-etsitaan-selitysta/>>. Luettu 20.4.2023.
- 34 Maailman Ensimmäinen biopohjainen putki. Verkkosivu. Uponor. <<https://www.uponor.com/fi-fi/tuotejarjestelmat/pex-pipe-blue>>. Luettu 15.3.2023
- 35 Aatsalo, Johanna. 2019. Valurautaiset viemäriputket hajoavat liian aikaisin. Verkkoartikkeli. Rakennuslehti 12/2019. <<https://www.rakennuslehti.fi/2019/12/valurautaiset-viemariputket-hajoavat-liian-aikaisin/>>. Luettu 18.3.2023.
- 36 Master 3 Plus on hiljainen kiinteistöviemäri. Pipelife. Verkkosivu. <<https://www.pipelife.fi/master.html>>. Luettu 15.3.2023.
- 37 Ympäristöministeriön asetus rakennusten jätevesilaitteistoihin tarkoitettujen polypropeenista valmistettujen viemäriputkien ja putkiyhteiden olennaisista teknisistä vaatimuksista. 498/2019. 2 §, 3 §. Ympäristöministeriö.