

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT  
School of Engineering Science  
Tuotantotalouden koulutusohjelma

*Sakari Leinonen*

**YMPÄRISTÖTEKIJÖIDEN VAIKUTUS PARKKIHALLIPROJEKTIN  
ELINKAARIKUSTANNUKSIIN**

Työn tarkastajat: Professori Timo Kärri  
Tutkijatohtori Miia Pirttilä

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT  
School of Engineering Science  
Tuotantotalouden koulutusohjelma

Tekijän nimi: Sakari Leinonen

### **Ympäristötekijöiden vaikutus parkkihalliprojektien elinkaarikustannuksiin**

Diplomityö

Työn valmistumisvuosi 2019

108 sivua, 46 kuvaa, 10 taulukkoa ja 6 liitettä

Tarkastajat: Professori Timo Kärri ja Tutkijatohtori Miia Pirttilä.

Hakusanat: Parkkihallit, hiilijalanjäljen laskenta, elinkaarilaskenta, ympäristövaikutukset

Keywords: Parking garages, carbon footprint calculation, life cycle cost calculation, environmental impacts

Diplomityön tavoitteina oli selvittää parkkihallien ympäristövaikutukset, kasvat- taako ympäristöystävällisyys parkkihallien investointikustannuksia ja onko tilaa- jien ympäristövaatimukset muuttuneet kasvaneen ympäristökeskustelun myötä. Työlle oli asetettu kolme tutkimuskysymystä. Ensimmäinen tutkimuskysymys on selvittää rakennushankkeiden tilaajien ympäristövaatimuksia nyt ja tulevaisuu- dessa. Toinen tutkimuskysymys on, miten ja mitkä tekijät vaikuttavat ympäristöön negatiivisesti sekä positiivisesti parkkihalliprojekteissa. Kolmas tutkimuskysymys on, miten elinkaarikustannukset muuttuvat tuottamalla ympäristöystävällisempi parkkihalli.

Ensimmäistä tutkimuskysymystä tutkittiin teorian kautta käyttäen kirjallisuuskat- sausmenetelmää ja selvitettiin empiirisesti kyselyjen avulla rakennushankkeiden ti- laajilta. Toisen tutkimuskysymyksen ympäristövaikutukset selvitettiin teoriasta ja vahvistettiin käyttäen elinkaariarviolaskentaohjelmaa case-tutkimuksen avulla. Pääpainona oli hiilijalanjälki. Laskelmat tehtiin tapauskohteista. Kolmanteen tutki- muskysymykseen tutkittiin case-parkkihallien elinkaarikustannukset ja vertailtiin elinkaariarviolaskennan avulla muutoksia eri rakenne- ja käyttöenergiaratkaisuis- sa vaikutuksia elinkaarikustannuksiin sekä hiilijalanjälkeen.

Ensimmäisen tutkimuskysymyksen vastaus oli, että kaupunkien ympäristövaati- mukset pohjautuvat lain vaatimuksiin ja yrityksillä ympäristövaatimukset pohjau- tuvat lain vaatimusten lisäksi ympäristösertifikaatteihin. Toisen tutkimuskysymyk- sen vastaus oli, että rakennusmateriaalit aiheuttavat suurimmat negatiiviset ympä- ristövaikutukset. Parkkihallien positiivisia ympäristövaikutuksia on tehokkaampi pysäköintipolitiikka, joka vähentää autoilusta muodostuvaa kasvihuonekaasupääs- tää. Kolmannen tutkimuskysymyksen vastaus oli, että betonin sementtitason mää- rää vähentämällä ja uusiutuvaa energiaa käyttämällä voidaan saada 25 prosenttia vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä muutaman prosentin lisäyksellä elinkaarikus- tannuksiin.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT  
School of Engineering Science  
Degree Programme in Industrial Engineering and Management

Author's name: Sakari Leinonen

### **Environmental factors influence for parking garage projects life cycle costs**

Master's thesis

Year of completion of the thesis 2019

108 pages, 46 figures, 10 tables and 6 appendices

Examiners: Professor Timo Kärri and Post-doctoral researcher Miia Pirttilä.

Keywords: Parking garages, carbon footprint calculation, life cycle cost calculation, environmental impacts

The aim of this master's thesis work was to find out parking garages environmental impacts, does the environmentally friendly parking garage increase investment costs and to find out has the environmental requirements changed because of the increasing conversation about environment. There were three research questions in this work. First research question was to find out what kind of environmental requirements are building procurers interested in now and in future. Second research question was to find out, which are negative and positive environmental impacts in parking garage projects. Third research question was to find out how life cycle costs changes in environmentally friendly parking garage projects.

First research question's theory was researched with using a literature review method. Buildings procurers were interviewed to get the answer for empiric part of the work. Second research question's scientific method was a case research method. The Parking garage's environmental impacts were gathered from scientific articles and books. Environmental impacts were calculated with a life cycle assessment program. The focus on life cycle assessment was in a carbon footprint. Third research question's scientific method were also a case research method. Third research question began with the research on the parking garage's life cycle cost, which continued estimation how the cost will change if the parking garage will be made environmentally friendly.

First research question's results were that public procurer's environmental requirements on construction projects are based on current law. Companies' environmental requirements are based on law and environmental certificates. Second research question's results were that building materials has the biggest negative environmental impact on parking garages. The most positive impact on parking garages is that parking spots are found efficiently. Third research question's results were that lowering the amount of cement in concrete makes and using renewable energy lowers the carbon footprint of parking garages for 25 percent with minor effect on life cycle costs.

## Sisällysluettelo

Työssä käytetyt lyhenteet .....	8
1 Johdanto .....	9
1.1 Tausta .....	9
1.2 Tavoite ja rajaukset .....	10
1.3 Menetelmät ja aineisto .....	11
1.4 Työn rakenne .....	12
2 Rakentamisen ympäristövaikutukset .....	14
2.1 Rakentamisen hiilijalanjälki .....	14
2.2 Rakentamisesta muodostuvat melu, värinä ja pöly .....	18
2.3 Rakentamisesta muodostuvat maaperä- ja vesistöhaitat .....	20
2.4 Rakentamisesta muodostuvat jätteet ja kierrätys .....	21
2.5 Rakennuksen käytön aikaiset ympäristövaikutukset .....	22
3 Rakennushankkeiden ympäristövaatimukset .....	23
3.1 Julkinen hanke .....	23
3.2 Ympäristösertifikaatti .....	24
3.3 Vähähiilinen rakentaminen .....	25
3.4 Kiertotalous .....	28
3.5 Kohdeyrittäjälle tuleita ympäristövaatimuksia tarjouspyynnöissä .....	30
3.6 Tilaajien ympäristövaatimukset rakennushankkeissa .....	31
3.7 Parkkihallien ja pysäköintilaitosten tarjouspyynnöt .....	33
3.7.1 Sähköautojen pysäköintiä koskevat vaatimukset .....	33
3.7.2 Parkkihallien ympäristösertifikaatit .....	34
3.7.3 Polkupyöräpaikkojen suosiminen parkkihalleissa .....	34
3.7.4 Parkkihallien tarjouspyyntöjen ympäristövaatimukset, polkupyöräpaikat ja sähköpaikat .....	35
4 Parkkihalliprojektien ympäristövaikutukset .....	38
4.1 Parkkihalliprojektien rakentamisesta muodostuvat ympäristövaikutukset .....	38
4.1.1 Pohjarakentaminen .....	38
4.1.2 Betoni .....	38
4.1.3 Teräs .....	40
4.1.4 Louhinta .....	40
4.1.5 Varustelu ja talotekniikka .....	41
4.1.6 Rakennustyömaan aikaiset ympäristövaikutukset .....	41

4.2	Parkkihallien käytöstä muodostuvat ympäristövaikutukset.....	42
4.3	Case-parkkihallien ympäristövaikutukset.....	43
4.3.1	Elinkaariarviointi .....	44
4.3.2	Laskentarajaukset ja -menetelmä.....	46
4.3.3	Laskentaohjelma .....	48
4.3.4	Kohteen 1 ympäristövaikutukset .....	48
4.3.5	Kohteen 2 ympäristövaikutukset .....	50
4.3.6	Kohteen 3 ympäristövaikutukset .....	51
4.3.7	Yhteenvedo case-parkkihallien ympäristövaikutuksista .....	52
5	Parkkihalliprojektien elinkaarikustannukset.....	54
5.1	Rakennusten elinkaarikustannusten muodostuminen .....	54
5.2	Elinkaarikustannusten laskentamenetelmiä .....	56
5.3	Rakennusten elinkaaren huolto- ja ylläpitokustannukset.....	58
5.4	Parkkihallien elinkaari ja elinkaarikustannukset.....	60
5.5	Case-parkkihallien elinkaarikustannukset.....	60
5.5.1	Kohteen 1 elinkaarikustannukset.....	61
5.5.2	Kohteen 2 elinkaarikustannukset.....	62
5.5.3	Kohde 3 elinkaarikustannukset.....	64
5.5.4	Yhteenvedo case-parkkihallien elinkaarikustannuksista.....	65
6	Ympäristöystävällisemmän parkkihallin rakentamisen vaikutukset elinkaarikustannuksiin ja ympäristövaikutuksiin .....	67
6.1	Runkoratkaisut .....	67
6.2	Viherkatot sekä viilentävät katot.....	71
6.3	Uusiutuvat energialähteet.....	72
6.4	Kierrätys.....	74
6.5	Ympäristösertifikaatit .....	75
6.6	Talotekniikan muutokset.....	76
6.7	Yhteenvedo matalamman hiilijalanjäljen ratkaisuista elinkaarikustannuksiin .....	76
7	Johtopäätökset.....	78
7.1	Tulosten arviointi .....	78
7.2	Suositukset ja jatkotoimenpiteet .....	79
8	Yhteenvedo .....	80
	Lähteet .....	82
	Liite 1. Elinkaariarvion tekijöitä.....	102
	Liite 2. Maankäytön ja rakentamisen strategia 2030.....	103

Liite 3. Tarjouspyyntöjen ympäristövaatimukset .....	104
Liite 4. Sähköpostikysely tilaajille ympäristövaikutuksista .....	105
Liite 5. Pysäköintihallien lattioiden ja ramppien huoltovälit.....	106
Liite 6. Parkkihallien ylläpitokustannusten arviointitaulukko.....	107

## Kuvaluettelo

Kuva 1. Työn rakenne.....	13
Kuva 2. Rakennuksen elinkaaren kasvihuonepäästöjen muodostumiskohdat.....	15
Kuva 3. Rakennusten hiilijalanjäljen muodostuminen. ....	17
Kuva 4. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseen.....	26
Kuva 5. Bionovan laatima tiekartta .....	26
Kuva 6. Vähähiilisen julkisen rakennuksen hankintakriteerit. ....	27
Kuva 7. Kiertotalous.....	28
Kuva 8. Kiertotalous rakentamisessa.....	29
Kuva 9. Hiilijalanjäljen laskenta tilaajien rakennushankkeissa.....	32
Kuva 10. Ympäristösertifikaattien vaatimukset. ....	32
Kuva 11. Eurooppalaisten kaupunkien pyöräilybudjetteja.....	35
Kuva 12. Toteutuneiden kohteiden hajonta vuosien 2010-2019 välillä. ....	36
Kuva 13. Sähköautopaikkojen ja sähköautopaikkavarausten kehitys vuosina 2010-2019 .....	36
Kuva 14. Polkupyöräpaikkojen määrä tarjouspyynnöissä.....	37
Kuva 15. Ympäristövaatimukset kohteissa.....	37
Kuva 16. Betonin kierrätyksestä saatu hyöty. ....	39
Kuva 17. Louhinnasta muodostuva pöly. ....	41
Kuva 18. Elinkaariarviointi. ....	44
Kuva 20. Vaikutusarviointi.....	45
Kuva 21. Virtauskaavio vaikutusarvionnista ilmastonlämpenemisen osalta.....	46
Kuva 21. Kohteen 1 hiilijalanjälki.....	49
Kuva 22. Kohteen 1 hiilijalanjäljen osa-alueet.....	49
Kuva 23. Kohde 2 elinkaarenaikainen hiilijalanjälki. ....	50
Kuva 24. Kohde 2 materiaalien hiilijalanjälki.....	51
Kuva 25. Kohde 3 hiilijalanjälki.....	52
Kuva 26. Kohde 3 resurssien hiilijalanjälki.....	52
Kuva 27. Hiilijalanjäljen jakautuminen case-kohteissa.....	53
Kuva 28. Hiilijalanjäljen vertailut kohteittain. ....	53
Kuva 29. Rakennuksen elinkaari. ....	54
Kuva 30. Rakennuksen elinkaarikustannusten muodostuminen .....	54
Kuva 31. Rakennuksen teknistaloudellisen käyttöiän laskenta. ....	55
Kuva 32. Herkkyysanalyysi.....	57
Kuva 33. Rakennuksen elinkaaren ylläpito ja rakennusosien uusiminen.....	58
Kuva 34. Kohteen 1 elinkaarikustannukset. ....	62
Kuva 35. Kohteen 1 yhden muuttujan herkkyysanalyysi .....	62
Kuva 36. Kohteen 2 elinkaarikustannukset. ....	63
Kuva 37. Kohde 2 yhden muuttujan herkkyysanalyysi .....	63
Kuva 38. Kohde 3 elinkaarikustannukset. ....	64

Kuva 39. Kohteen 3 herkkyysanalyysi .....	65
Kuva 40. Elinkaarikustannusten jakauma.....	66
Kuva 41. Vertailtavien kohteiden laskentakorko ja laskenta-aika.....	66
Kuva 42. Parkkihallien hiilijalanjäljen muutos vihreämmällä rakenteella. ....	69
Kuva 43. Parkkihallien hiilijalanjälki.....	70
Kuva 44. Viherkattojen sopivuus eri tilanteisiin. ....	71
Kuva 45. Vihreämmän ja perus parkkihallin erot.....	77
Kuva 46. Hiilijalanjäljen jakautuminen ympäristöystävällisemmässä parkkihallissa. .....	77

## Taulukkuuettelo

Taulukko 1. Kerrostalon elinkaariaikaisten kasvihuonekaasupäästöjen muodostuminen. elinkaari 50 vuotta.	17
Taulukko 2. Asuinkerrostalon tilojen lämmitys kasvihuonepäästöt.	18
Taulukko 3. Suosituksia rakennusten värähtelyluokista.	19
Taulukko 4. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin vaatimukset.	34
Taulukko 5. Arvioitavat elinkaarivaiheet ja arvioinnissa käytettävät tiedot.	47
Taulukko 6. Laskelmien elinkaariarvioiden sisältö.	48
Taulukko 7. Kunnossapitokustannuksien tilastollisia tasoja.	59
Taulukko 8. Rakennusten keskimääräisiä kunnossapitokustannuksia.	59
Taulukko 9. Rakennusjätteiden hinnat.	75

## Kaavaluettelo

Kaava 1. Diskonttausmenetelmä
Kaava 2. Nettonykyarvo

## Työssä käytetyt lyhenteet

CO <sub>2</sub> -ekv	Hiilidioksidiekvivalentti, joka ilmaisee kasvihuonekaasujen kokonaismäärän painotettuna eri kaasujen potentiaaleilla vaikutuksella ilmaston lämpenemiseen.
dB	Äänen voimakkuuden suhteellinen mitta, joka mittaa äänen eri voimakkuustehojen suhteita (Tieteen termipankki 2019).
LCC	Life cycle costing eli elinkaarikustannus
LCA	Life cycle assessment eli elinkaariarviointi. LCA on menetelmä, jonka avulla voidaan selvittää tuotteen tai palvelun vaatimia resursseja ja ympäristövaikutuksia (SYKE 2017 s. 2).
ARA	Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (Suomi.fi).
EPD	Environmental Product Declaration eli ympäristöseloste (Vahanen 2015).
CLT	Cross laminated timber eli ristiinliimattu massiivipuu
KTI	Kiinteistötietolaitos



# 1 Johdanto

Suomessa kaikkien ajoneuvojen määrä on ollut kasvussa viimeiset yli 30 vuotta (Tilastokeskus 2018). Henkilöautoilun osuus päivittäisten matkojen osuudesta on noussut vuodesta 1998 vuoteen 2019 kuudella prosenttiyksiköllä. (Liikennevirasto 2018; Liikennevirasto 2012). Kun autojen määrä on kasvanut ja niillä kulkeminen liikkumisen muotona on lisääntynyt, tarvitaan enemmän pysäköintitilaa autoille, jotta niillä pääsee tehokkaasti liikkumaan paikasta toiseen. Kaupunkien keskustojen liikenteestä 15-20 prosenttia on pysäköintipaikkaa etsivää liikennettä. (Kaikkonen 2012 s. 13).

Suomen kaupungeissa pysäköintipaikkojen määrä ilmoitetaan asemakaavoissa. Pysäköintipaikkojen määrä asemakaavassa perustuu arvioihin, jotka pohjautuvat tilastoihin auton omistuksista ja asetettuihin tavoitteisiin pysäköintimääristä. (Helsingin kaupunki 2019; Kaikkonen 2012 s. 6). Maaperän kallistuessa kaupungeissa, tarvitaan tehokkaampia ratkaisuja pysäköintivelvoitteiden täyttämiseksi, jonka takia parkkihallit ja pysäköintilaitokset yleistyvät kenttämäisen rakentamisen sijaan (RAKLI 2015 s. 24).

Samaan aikaan, kun autoja varten tarvitsee rakentaa pysäköintitilaa, tulisi huomioida Suomen ilmastotavoitteet ja ilmastomuutos sekä muuttuva autokanta. Suomi tavoittelee vuoden 1990 päästöistä vähintään 40 prosentin päästövähennystä vuoteen 2030 mennessä ja 80-95 prosentin päästövähennystä vuoteen 2050 mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2019). Suomessa autokanta on tällä hetkellä muutoksessa. Sähköautojen määrä on lisääntynyt ja tulevaisuudessa on arvioitu niiden määrän moninkertaistuvan, joka tuo muutoksia pysäköintiin latauspisteiden kautta. (Peltola et al. 2019 s. 5-10, Traficom 2019).

Suomessa rakentaminen ja rakennukset muodostavat noin 40 prosentin osuuden kasvihuonepäästöistä (Kuittinen. & Le Roux 2017a s. 11). Liikenteen osuus Suomen vuosittaisista hiilidioksidipäästöistä on 20 prosenttia, josta noin 90 prosenttia aiheutuu tieliikenteestä (Ilmasto-opas 2019).

Ympäristöystävällisemmällä parkkihallilla voidaan vähentää rakennuksesta muodostuvaa hiilijalanjälkeä. Tehokkaampi pysäköintiratkaisu kaupungissa auttaa vähentämään ylimääräistä ajoa parkkipaikan etsimiseen, joka säästää aikaa ja vähentää kasvihuonekaasupäästöjä.

## 1.1 Tausta

Diplomityön idea pohjautuu kohdeyrityksen 2018 lanseeraamaan kehitysohjelmaan, jossa on tarkoitus tukea kohdeyrityksen toiminnan kasvua ja tuottavuuskehitystä kestäväen kehityksen periaatteella. Ohjelman tavoitteena on tunnistaa kohdeyrityksen toiminnan nykytila, asettaa kestäväen kehityksen tavoitteita ja tehostaa toimintaa energia- ja materiaalitehokkuuden sekä kiertotalouden avulla. Kohdeyrityksessä on pyritty tuotteistamaan parkkihalleja, joita voitaisiin tuottaa kustannustehokkaasti. Kustannustehokkuuden lisäksi kestävä kehitys on syytä ottaa huomioon tuotteistamisessa, jotta parkkihalleista voidaan saada

ympäristöystävällisempiä. Suomen ympäristöministeriön tavoitteena on ohjata rakennuksen elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä lainsäädännöllä viimeistään 2020-luvun puoliväliin mennessä (Ympäristöministeriö 2017a). Ympäristötekijöiden ja elinkaarikustannuksien yhtäläisyyksiä on tutkittu useassa tutkimuksessa. Tutkimukset ovat pääasiassa keskittyneet asuin- ja toimistorakennuksiin. Islam et al. (2015 s. 138) tekemässä tutkimuksessa suurimmat kustannukset muodostuvat rakentamisen aikana ja suurimmat ympäristövaikutukset, kuten kasvihuonekaasupäästöt, käytön aikana. Muutkin tieteelliset artikkelit ja julkaisut tukevat Kasvihuonekaasupäästöjen muodostumista käytön aikana -väitettä (Lavagna et al. 2018 s. 273; Bonamente et al., 2014 s. 2843; Bionova 2017 s. 12; Biswas 2014 s. 183). Kaikki eivät kuitenkaan ole täysin samaa mieltä siitä, että suurin osa kasvihuonekaasupäästöistä muodostuu käytön aikana. Osan mielestä valtaosa kasvihuonekaasupäästöistä muodostuu rakennuksessa käytetyistä materiaaleista. Materiaalien painoarvo kasvihuonekaasupäästöjen muodostumisessa korostuu entisestään vähäenergisisissä rakennuksissa kuten parkkihalleissa ja nollanenergiataloissa. (Säynäjoki et al. 2017 s. 12-14; Dokka et al. 2013 s. 107; Alwan & Jones 2014 s. 2).

Parkkihalleihin liittyvää tutkimusta ympäristövaikutuksista, elinkaariarvioinnista ja elinkaarikustannuksista ei ole paljoa kirjoitettu, jonka takia aihe sai tukea kohdeyritykseltä. Parkkihallien ympäristövaikutuksiin on alettu viime vuosina kiinnittämään enemmän huomiota. Tämä on havaittavissa muun muassa vuonna 2016 perustetusta The Green Garage Certification Program -ohjelmasta, joka toimii parkkihallien ympäristöarvostelujärjestelmänä (GBCI 2016).

## 1.2 Tavoite ja rajaukset

Diplomityön tavoitteina oli selvittää parkkihallien ympäristövaikutukset, kasvat- taako ympäristöystävällisyys parkkihallien investointikustannuksia ja onko tilaa- jien ympäristövaatimukset muuttuneet kasvaneen ympäristökeskustelun myötä. Työllä on kolme tutkimuskysymystä, jotka vastaavat työn tavoitteisiin. Ensimmäi- nen kysymys on, mitä ympäristötekijöihin liittyviä tietoja tilaavat vaativat nyt ja tulevaisuudessa. Toinen kysymys on, miten ja mitkä tekijät vaikuttavat ympäristöön negatiivisesti sekä positiivisesti parkkihalliprojekteissa. Kolmas kysymys on, miten elinkaarikustannukset muuttuvat tuottamalla ympäristöystävällisempi parkkihalli.

Kun työn lopussa on löydetty vastaukset tutkimuskysymyksiin, on saatu vas- taukseksi case-parkkihallien elinkaarikustannusten ja ympäristövaikutusten taso sekä vertailu erilaisista ympäristöystävällisemmistä toteutusmuodoista ja niiden vaikutuksesta elinkaarikustannuksiin. Elinkaarikustannuksissa suurin päähuomio on investointikustannuksessa, koska kohdeyrityksellä on suurin mahdollisuus vai- kuttaa investointikustannuksiin. Parkkihalliprojektien merkittävimmät kasvihuone- kaasupäästöjä tuottavat kohdat sekä mahdollisuudet niiden muuttamiseen pyritään tunnistamaan työn avulla. Jos päästöjä voidaan vähentää projekteissa, on tulosta mahdollista käyttää esimerkiksi yritys vastuullisuuden hallinnassa tai imagon kas- vattamisessa.

Työn rajaukset ovat seuraavanlaiset

- Tilaajien vaatimuksia haettiin julkisesta datasta, joka on kansallista ja kansainvälistä. Vahvistus väitteille hankittiin kyselyn avulla rakennushankkeiden tilaajille sekä kohdeyrityksen sisältä henkilöiltä, jotka ovat tekemisissä tarjouspyyntöjen kanssa.
- Parkkihallien tarjouspyyntöjä käydään läpi pelkästään kohdeyrityksen ulkopuolelta tulleita, koska sisäiset tarjouspyynnöt eivät ole samalla tavalla dokumentoitu kuin ulkopuolelta tulleet.
- Elinkaarikustannusten laskennassa ei oteta huomioon kohteen purkua. Käyttökustannukset arvioidaan laskennallisen elinkaaren mukaan eikä oteta huomioon, että rakennusta saatetaan käyttää laskennallisen iän jälkeen.
- Elinkaarilaskelmassa ei oteta huomioon lainkaan parkkihalleista muodostuvia tuottoja eikä tehdä tuottolaskelmia, koska tuottojen muodostuminen on tapauskohtaista parkkihalleissa. Osa parkkihalleista subventoidaan, jonka takia laskelmat vääristyvät (Tanhuanpää 2015).
- Parkkihallien elinkaariarviossa analysoidaan pelkästään hiilijalanjälkeä, koska kohdeyritys on ostanut hiilijalanjäljen laskentaa varten erillisen ohjelman. Muita ympäristövaikutuksia käydään ainoastaan kvalitatiivisesti lävitse.
- Parkkihallien tarjouspyyntöanalyysiä tehtäessä on otettu huomioon vertailukelpoisia tekijöitä, jotka ovat riippumattomia paikkakunnasta tai kuntapolitiikasta.
- Case-kohteiden analyysi pohjautuu urakkatarjousvaiheen tietoon, koska kohteiden toteumasta ei ole saatavaa tietoa.
- Ympäristöystävällisempien parkkihalliratkaisujen muita ympäristövaikutuksia ei selvitetä kvantitatiivisesti case-kohteista laskentaohjelmien lisensien puuttumisen takia.

### 1.3 Menetelmät ja aineisto

Työn tutkimusmenetelmänä käytettiin kirjallisuuskatsausta sekä case-tutkimusta. Kirjallisuuskatsauksella selvitettiin viime vuosina ilmenneitä tilaajien ympäristövaatimuksia. Case-tutkimus käytettiin tarjouspyyntöjen analysointiin ja toteutuneiden parkkihallien ympäristövaikutusten sekä elinkaarikustannusten arviointiin.

Kirjallisuuskatsauksen aineisto pohjautui Suomen ympäristöministeriön, tieteellisiin artikkeleihin Euroopan Unionin ja asiantuntijayritysten laatimiin raportteihin. Aineiston aikajänne on väliltä 2010-2019.

Kirjallisuuskatsauksessa mainituille väitteille haettiin vahvistusta haastattelemalla kohdeyrityksessä työskenteleviä työntekijöitä, jotka ovat tarjouspyyntöjen ja tilaajien kanssa tekemisissä. Tilaajaorganisaatioita haastateltiin, jotta saataisiin vahvistus kirjallisuudessa mainituille väitteille.

Case-tutkimuksella selvitettiin kohdeyritykselle vuosina 2010-2019 tulleista parkkihallien tarjouspyynnöistä ympäristövaatimukset, sähköautopaikkojen, sähköautopaikkavarausten määrät sekä polkupyörien määrä ja kolmen parkkihallin hiilijalanjälki ja elinkaarikustannukset, joissa kohdeyritys on ollut mukana ainakin

tarjouspyyntövaiheessa. Tarjouspyynnöt oli rajattu pelkästään ulkopuolisilta tulleisiin tarjouspyyntöihin eikä sisäisiä yksiköiden välisiä tarjouspyyntöjä otettu huomioon tarjouspyyntöjä tutkiessa.

Kolmen case-parkkihallin ympäristövaikutukset arvioitiin käyttäen One Click LCA -ohjelmaa, joka on tarkoitettu LCA -laskelmien tekemiseen. Markkinoilla on muitakin ohjelmia, jotka mahdollistava LCA -laskelmien tuottamisen, mutta kohdeyrityksellä on käytössä One Click LCA -ohjelma, jonka takia sillä tehdään laskelmat. Parkkihallien elinkaarikustannukset pohjautuivat tiedettyyn tarjouspyyntövaiheen omakustannehintaan sekä eri asiantuntijoilta saatuihin käyttökustannusten arvioihin.

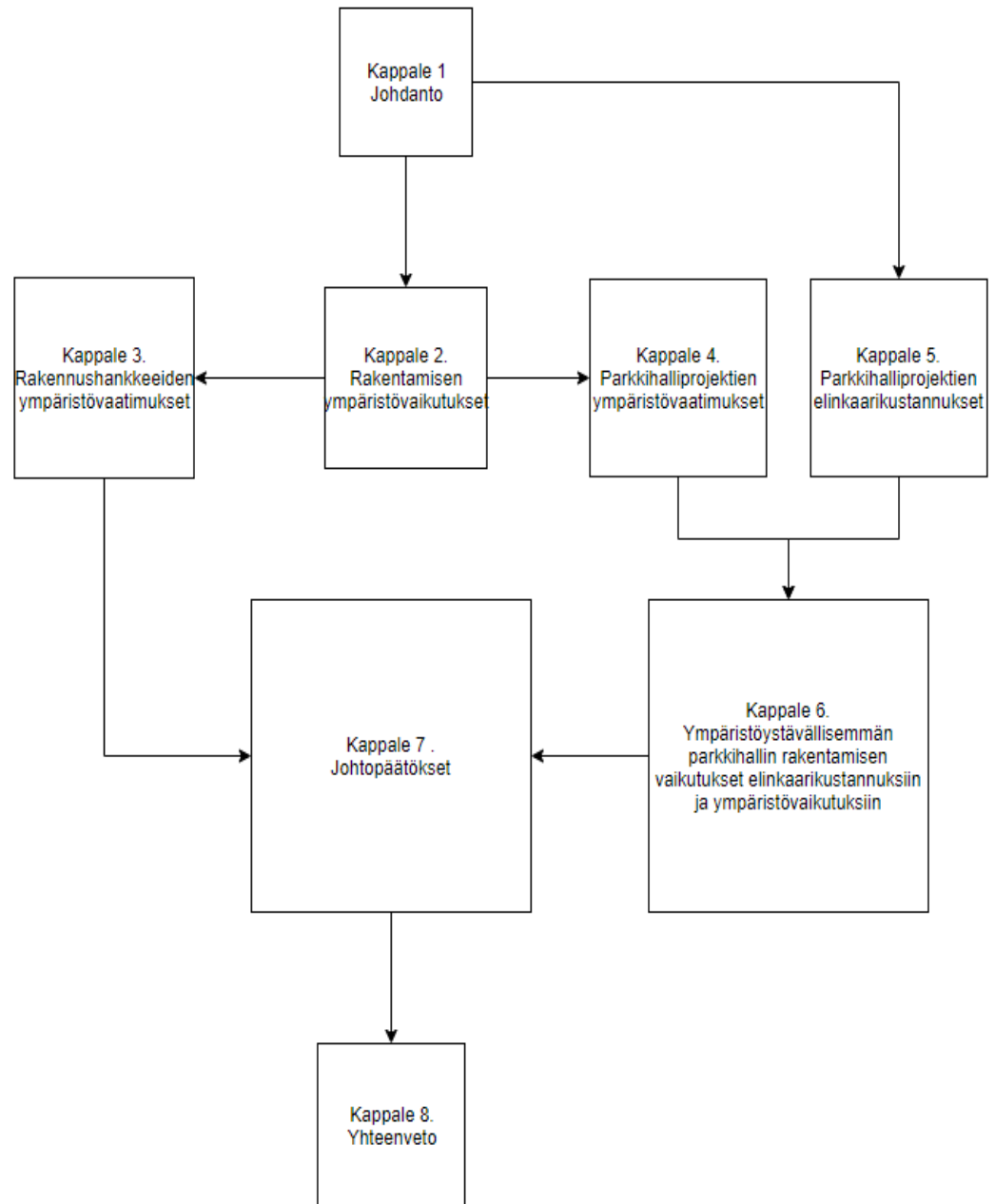
Ratkaisut, joilla voidaan vähentää negatiivisia ympäristövaikutuksia parkkihallissa, pohjautuivat alan kirjallisuuteen ja tieteellisiin artikkeleihin. Ympäristöystävällisempiä ratkaisuja vertailtiin tapauskohtaisesti artikkeleissa tai kirjallisuudessa saatuihin tuloksiin case-kohteiden osalta. Ympäristötekijöistä hiilijalanjälki selvitettiin ainoastaan kvantitatiivisesti, koska kohdeyrityksellä on tarkoitus alkaa seuraamaan muodostunutta hiilijalanjälkeä. Suurin osa elinkaarikustannuksista pohjautuu arvioihin, koska oikeita lukuja ei ole saatavilla.

#### 1.4 Työn rakenne

Ensimmäinen kappale on johdanto, jossa kerrotaan työn sisältöä, taustaa, tutkimusmenetelmää ja rakennetta. Toinen kappale alkaa ympäristövaikutuksen määritelmästä rakentamisesta, jonka jälkeen käydään läpi rakentamisesta muodostuvia sekä rakennusten käytönaikaisia ympäristövaikutuksia. Toisessa kappaleessa käsitellään myös rakentamiselle laissa asetettuja ympäristövaatimuksia. Kolmas kappale käsittelee tarjouspyynnöissä esitettyjä ympäristövaatimuksia kirjallisuuden ja haastatteluiden näkökulmasta. Kappaleen lopussa käsitellään erikseen parkkihallien tarjouspyynnöissä esitettyjä ympäristöön liittyviä vaatimuksia ja kohdeyritykselle tulleita parkkihallien tarjouspyyntöjä. Parkkihallien tarjouspyynnöt ovat ulkopuolisilta tahoilta tulleita, eikä kohdeyrityksen sisäisiä tarjouspyyntöjä ole otettu huomioon.

Neljäs kappale koostuu parkkihallien ympäristövaikutuksista. Kappaleen alussa tutkitaan tekijöitä, jotka ovat eniten ympäristöä kuormittavia mukaan ja miten käytössä muodostuu erilaisia ympäristövaikutuksia. Kappale päättyy case-tapausten ympäristövaikutusten tutkimiseen. Case-tutkimus suoritetaan käyttäen One Click LCA-ohjelmistoa, jonka avulla luodaan selvitys kolmen erilaisen parkkihallin hiilijalanjäljestä. Viides kappale käsittelee elinkaarikustannuslaskennan teoriaa ja case-parkkihallien elinkaarikustannuksista sekä niiden vertailua ulkopuolisiin kohteisiin. Kuudennessa kappaleessa pohditaan ratkaisuja, joilla voidaan parantaa parkkihallein ympäristöystävällisyyttä. Menetelmiä sovelletaan case-parkkihalleihin, joista tehdään vertailu LCA- ja LCC-laskelmia.

Seitsemäs kappale pitää sisällään tutkimustyön päätelmät. Kahdeksas kappale on yhteenveto, jossa tiivistetään työn sisältö yhteen kappaleeseen. Kuvassa 1 on esitetty työn rakenne kaaviona.



*Kuva 1. Työn rakenne.*

## 2 Rakentamisen ympäristövaikutukset

Rakennushankkeessa on monta vaihetta, joista muodostuu erilaisia ympäristövaikutuksia. Sana ympäristövaikutus tarkoittaa haitallista tai hyödyllistä muutosta ympäristössä, joka on kokonaan tai osittain organisaation toimintojen, tuotteiden tai palvelujen seurausta (Hämäläinen & Teriö 2011 s. 5). Laissa rakennushankkeen ympäristövaikutukset voivat koskea ihmisten ja väestön terveyttä, elinoloja ja viihtyvyyttä, maata, maaperää, vesiä, ilmaa, ilmastoa, kasvillisuutta, eliöitä, luonnon monimuotoisuutta, yhdyskuntarakenteita, aineellista omaisuutta, maisemaa, kaupunkikuvaa, kulttuuriperintöä ja luonnonvarojen hyödyntämistä sekä näiden keskinäisiä vaikutuksia. Osa ympäristövaikutuksista ovat toisiinsa liitännäisiä. (Ympäristövaikutusten arviointimenettelylaki 252/2017 2 § mom. 1-5). Kun rakentamisen ympäristövaikutuksista kirjoitetaan säätiöiden julkaisuissa, valtion organisaatioiden tuottamissa raporteissa tai blogeissa, viitataan monessa kirjoituksessa kasvihuonepäästöihin, energiatehokkuuteen tai kierrättämiseen (Kuittinen, & Le Roux 2017b s. 12; Senaatti yhteiskuntavastuuraportti 2018; RIL 2019; Metla 2014; Ruuska et al. 2013a; RTS 2018; Puuinfo 2017). Ympäristövaikutuksia on otettu huomioon rajoittavasti nykyisessä rakennusmääräyskokoelmassa, joita tarvitsee noudattaa rakentamisessa ilman, että siitä tarvitsee tehdä erillistä selvitystä (Ympäristöministeriö 2019a). Poikkeavissa rakennusprojekteissa ympäristövaikutuksia tarvitsee arvioida erikseen erillisellä selvitysraportilla, jos voidaan katsoa rakennuskohteesta aiheutuvan merkittäviä haitallisia ympäristövaikutuksia (Ympäristöministeriö 2018a). Poikkeavia parkkihalliprojekteja on esimerkiksi Kunkun parkki Tampereella, josta piti tehdä ympäristöarvio, koska kohteella on suuret vaikutukset Tampereen kaupungintilan käyttöön, rakennettuun kulttuuriympäristöön ja kaupungin identiteetin kannalta keskeisiin alueisiin (Tampereen kaupunki 2015).

### 2.1 Rakentamisen hiilijalanjälki

Rakennuksilla on suuri merkitys ilmastomuutoksen hillinnässä. Euroopan komission mukaan rakentaminen ja rakennukset vastaavat Euroopan unionissa noin puolta materiaalien ja energian käytöstä ja kolmasosaa veden käytöstä ja jätteen synnystä. (Bionova 2017 s. 12). Suomessa rakennukset ja rakentaminen aiheuttavat noin kolmanneksen Suomen kasvihuonepäästöistä ja noin 40 prosenttia energiankulutuksesta (Kuittinen & Le Roux 2017a s. 11).

Rakentamisen prosessista muodostuu osa kasvihuonepäästöistä, mutta merkittävin osa kasvihuonepäästöistä tulee rakentamisessa käytetyistä materiaaleista sekä rakennuksen käytönaikaisesta energiasta. Elinkaariarvion avulla saa kokonaiskuvan kasvihuonepäästöjen määrästä koko rakennuksen elinkaaren ajalta. Elinkaaren aikaisia kasvihuonepäästöjä kuvataan hiilijalanjälkenä (Bionova 2017 s. 2-11; Kuittinen & Le Roux 2017a s. 12).

Rakennuksen elinkaariarvio perustuu SFS-EN 15804 -standardiin, jonka mukaan lasketaan muun muassa hiilijalanjälki. Elinkaariarvion vaiheet muodostuvat tuotevaiheesta, rakentamisesta, käyttövaiheesta ja purkuvaiheesta (SFS-EN 15804+A1 2014 s.28-30; Figbc 2019; Bionova 2017 s. 13). Elinkaaren hiilijalanjälki ilmaistaan

yleensä kokonaissumana hiiliekvivalenttiitonina tn CO<sub>2</sub>e (Figbc 2019). Tuotevaihe tarkoittaa rakennustuotteiden kuten materiaalin valmistamista, hankintaa ja kuljetuksia. Laskelmaan ei tule ottaa mukaan huonekaluja, rakentamiseen tarvittavia materiaaleja kuten muottilautoja tai käyttäjien laitteita. Jos muottilautoja ei käytetä enää uudestaan, vaan päätyvät jätteeksi, lasketaan ne kohteen puujätteeksi (SFS-EN 15804 2014 s.28; Figbc 2019). Rakentaminen jaetaan kahteen osaan, jotka ovat kuljetus työmaalle ja työmaatoiminnot. A4 eli kuljetus työmaalle käsittää kaikki muut kuljetukset paitsi työntekijöiden kuljetuksen työmaalle ja työmaan sisällä tapahtuvat kuljetukset. A5 eli työmaatoiminnot tarkoittavat kaikkia työmaalla muodostuvia kasvihuonepäästöjä kuten rakentamiseen tarvittavan energian ja lämmityksen. Työkoneiden ja telineiden valmistukseen tarvittavaa energiaa ei tule ottaa huomioon laskelmiin. (SFS-EN 15804+A1 2014 s.28; Figbc 2019). Käyttövaiheen kasvihuonepäästöt koostuvat pääasiassa tarvittavissa korjauksissa tarvittavista tuotteista ja materiaaleista, käytön aikaisesta energiasta ja vedestä sekä jätteistä, joita muodostuu korjauksissa sekä vaihdoissa (SFS-EN 15804+A1 2014 s.30; Figbc 2019). Purkuvaihe pitää sisällään kaikki kasvihuonepäästöt, joita muodostuu materiaalien ja tuotteiden kuljetuksista ja käytöstä sekä energian ja veden käytöstä. Purkujätteen käsittely päättyy, kunnes jäte on saavuttanut End-of-Waste tilan, jonka määrittelyn kriteerit ovat:

- syntyneelle raaka-aineelle on tunnettu käyttötarkoitus
- jolle on kysyntää markkinoilla
- raaka-aine täyttää käyttötarkoituksen vaatimat tekniset ja muut ominaisuudet
- raaka-aineen käyttö ei vaaranna ympäristöä tai ihmisten terveyttä. (SFS-EN 15804 2014 s.30; Figbc 2019).

Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset käsittävät uudelleenkäytöstä, hyödyntämisestä ja kierrätyksestä arvioidut nettovaikutukset. Uudelleenkäytöllä tarkoitetaan materiaalin uudelleen käyttöä sellaisenaan ja kierrätyksessä materiaalin uudelleen käyttöä jalostusprosessin kautta. (SFS-EN 15804+A1 2014 s.30; Figbc 2019).

Kuvassa 2 esitetään rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen muodostuminen, joka pohjautuu EN-15804 -standardiin.

Rakentamisen elinkaaren tiedot				
<b>A 1-3</b> Tuotevaihe <ul style="list-style-type: none"> <li>• A1 Raaka-aineen hankinta</li> <li>• A2 Kuljetus valmistukseen</li> <li>• A3 Tuotteen valmistus</li> </ul>	<b>A 4-5</b> Rakentaminen <ul style="list-style-type: none"> <li>• A4 Kuljetus työmaalle</li> <li>• A5 Työmaatoiminnot</li> </ul>	<b>B</b> Käyttövaihe <ul style="list-style-type: none"> <li>• B1 Tuotteen käyttö rakennuksessa</li> <li>• B2 Kunnossapito</li> <li>• B3 Korjaus</li> <li>• B4 Osien vaihto</li> <li>• B5 Laajamittaiset korjaukset</li> <li>• B6 Energian käyttö</li> <li>• B7 Vedenkäyttö</li> </ul>	<b>C</b> Purkuvaihe <ul style="list-style-type: none"> <li>• C1 Purkamisen</li> <li>• C2 Kuljetukset</li> <li>• C3 Purkujätteen käsittely</li> <li>• C4 Purkujätteen loppusijoitus</li> </ul>	<b>D</b> Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uudelleenkäyttö</li> <li>• Talteenotto</li> <li>• Kierrätys</li> <li>• Ulkopuolelle myyty energia</li> <li>• Kuluttajalaitteisiin toimitettu energia</li> </ul>

Kuva 2. Rakennuksen elinkaaren kasvihuonepäästöjen muodostumiskohdat (mukaillen SFS-EN 15804+A1 2014 s.24)

Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen laskennan standardi EN-15804+A1 kuuluu standardiperheeseen, jossa ovat CEN/TC 350 Sustainability of Construction Works – standardi ja EN 15978 Assessment of environmental performance of buildings Calculation method -standardi.

Rakennuksen hiilijalanjäljen laskennassa sovelletaan yleistä rajaussääntöä, jonka avulla voidaan rajata tarkastelusta vähämerkitykselliset päästölähteet, kun ei ole tarkkaa tietoa niistä. Vähämerkityksellinen päästölähde on alle 1 prosenttia rakennuksen kokonaismassasta tai kokonaisenergiatarpeesta. Rajauksia on mahdollista tehdä enimmillään 5 prosenttia rakennuksen kokonaismassasta tai -energiatarpeesta. Rakennuksesta kierrätettävät raaka-aineet voidaan ilmoittaa hiilijalanjäljenlaskelman osassa D, mutta niitä ei voi hyödyntää laskentakohteessa hiilijalanjälkeä vähentävänä tekijänä. Muista kohteista tuotuja kierrätettyjä materiaaleja voidaan hyödyntää kasvihuonepäästölaskelman osissa A-B. Niistä ei tarvitse laskea valmistuksesta aiheutuneita kasvihuonekaasupäästöjä, vaan pelkästään kuljetuksesta muodostuneet kasvihuonekaasupäästöt. (Figbc 2019).

Rakentamisvaiheessa muodostuneen hiilijalanjäljen määrä riippuu rakennuksen materiaalivalinnoista. Betonielementin CO<sub>2</sub>e/br-m<sup>2</sup> on 282, kun taas vastaava puurakenteisen elementin yksikkömäärä on 156 CO<sub>2</sub>e/br-m<sup>2</sup>. (Häkkinen 2019 s. 4). Bio-nova Oy:n laatimassa tutkimuksessa ARA:lle tehtiin kaksi samanlaista kerrostaloa, jossa toisen runko oli puusta ja toinen betonista. Puukerrostalon päästöt olivat 20 prosenttia alhaisemmat kuin betonirakenteisessa. (ARA 2018). Puurakentamisen heikkoutena kuitenkin on palo- ja akustiikkamääräykset, jotka ovat vaativampia toteuttaa kuin betonirakenteisilla rakennuksilla. Määräysten lisäksi ongelmana on ollut puuttuva tieto puurakentamista sekä vähäinen kokemus pitkäaikaisista tuloksista. (Nykänen et al. 2017 s. 29).

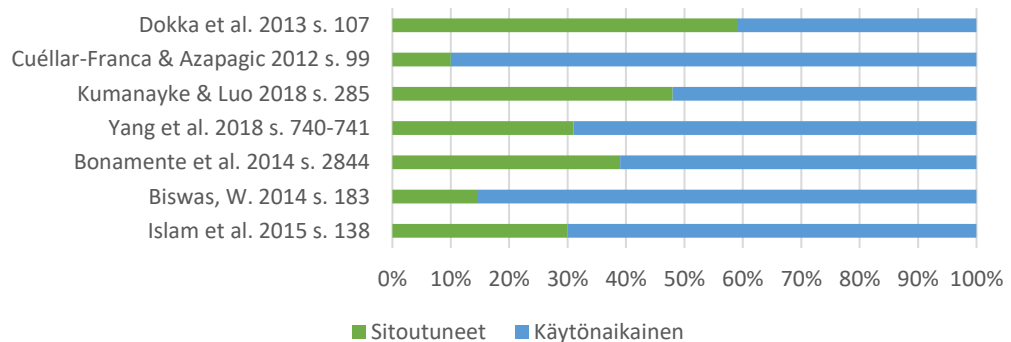
Ruuska et al. mukaan (2013a) rakennusmateriaalien valmistus on kerrostaloprojektin rakentamisvaiheen suurin energian käyttäjä, kun taas koko rakennuksen elinkaarella tilojen lämmitys, käyttösähkö ja käyttöveden lämmitys muodostavat suurimman määrän päästöjä. Taulukossa 1 on esitetty asuinkerrostalon elinkaariaikaisten kasvihuonekaasupäästöjen muodostuminen. Negatiiviset arvot taulukossa kuvaavat tekijöitä, joilla voidaan vähentää kasvihuonepäästöjä elinkaaren aikana eli jotka toimivat hiilinieluinä.



Taulukko 1. Kerrostalon elinkaariaikaisten kasvihuonekaasupäästöjen muodostuminen. elinkaari 50 vuotta (Ruuska et al. 2013a s. 32).

	Perustapaus tn CO2-ekv.	Vaihteluväli min max tn
<b>Rakentamisen materiaalien valmistus</b>	955	530...1265
<b>Rakentamisen jätteiden hyödyntäminen</b>	(-9)	(-10...-45)
<b>Korjaustoimenpiteiden materiaalien valmistus</b>	281	211...354
<b>Korjaustoimenpiteiden jätteiden hyödyntäminen</b>	(-215)	(-155...-271)
<b>Rakentamisen, korjausten ja purun energiankulutuksen päästöt</b>	240	140...345
<b>Purkamisen jätteiden hyödyntäminen</b>	(-147)	(-407...-199)
<b>Tilojen lämmitys</b>	1027	1027...1027
<b>Lämmin käyttövesi</b>	1088	1088...1088
<b>Sähkö, passiivitasoinen rakennus</b>	702	702...702
<b>Yhteensä</b>	3922	3126...4266

Kansainvälisissä tutkimuksissa rakennusten kasvihuonekaasupäästöjen muodostuminen on toisistaan poikkeavaa. Osan mielestä rakennuksen rakennuksen materiaaleilla on suurempi painoarvo kuin käytön aikaisella vaiheella. Kuvassa 3 esitetään muutamia tutkimuksia ja niiden näkemyksiään kasvihuonekaasupäästöjen osuudesta. Kuvassa sana sitoutuneet tarkoittaa materiaaliin- ja rakentamiseen sitoutuneita kasvihuonekaasupäästöjä. Käytön aikainen tarkoittaa rakennuksen käyttön aikana sitoutuneita kasvihuonekaasupäästöjä. (Bionova 2017 s. 12)



Kuva 3. Rakennusten hiilijalanjäljen muodostuminen.

Rakennuksen käytön aikaisissa kasvihuonepäästöissä voidaan saada suuria eroja kasvattamalla lämmöneristeen määrää sekä lisäämällä elinkaarta rakennukselle (Ruuska et al. 2013a s. 17). Taulukossa 2 on esitetty eri tasoisten asuinrakennusten kasvihuonepäästöt 50 ja 100 vuoden elinkaarelle.

Taulukko 2. Asuinkerrostalon tilojen lämmitys kasvihuonepäästöt (Ruuska et al. 2013a s. 17).

		Khk-päästöt (Helsinki) tn/rakennus 50 vuotta	Khk-päästöt (Helsinki) tn/rakennus 100 vuotta
Energian käyttö	kWh/brm <sup>2</sup>		
A-energialuokka			
<b>Tilojen lämmitys</b>	33	1027	1992
<b>Lämminkäyttövesi</b>	35	1088	2110
<b>Sähkö</b>	50	702	977
<b>Yhteensä</b>	118	2817	5079
Passiivitaso			
<b>Tilojen lämmitys</b>	20	620	1203
<b>Lämminkäyttövesi</b>	35	1088	2110
<b>Sähkö</b>	50	702	977
<b>Yhteensä</b>	105	2410	4290
Lähes nollaenergiataso			
<b>Tilojen lämmitys</b>	20	620	1203
<b>Lämminkäyttövesi</b>	17,5	539	1045
<b>Sähkö</b>	38	532	741
<b>Yhteensä</b>	75,5	1691	2989

Vaikka hiilijalanjäljenlaskentaa on viety eteenpäin, useammassa eri lähteessä hiilijalanjäljen elinkaarilaskentaa on kritisoitu muuttujien liian suuresta määrästä (Larsson et al. 2019 s. 713-714; Säynäjoki et al. 2017 s. 12-14; Mendoza et al. 2018 s.2152-2153). Säynäjoen et al. (2017 s. 13-14) mukaan kasvihuonepäästöt eivät voi toimia poliittisena ohjaustekijänä, koska niissä on liikaa epävarmuustekijöitä. Ongelmakohdiksi voi muodostua liian suuri painotus johonkin rakennusvaiheeseen, vaikka asiaa pitää katsoa kokonaisuutena. Infrahankkeissa kuten teissä, rautateissä ja silloissa on haasteena määritellä käytön aikaisia kasvihuonepäästöjä sekä purkukustannuksia, koska niitä harvemmin puretaan (Larsson et al. 2019 s. 711-712). Hiilijalanjälkeä arvioitaessa ohjaavana tekijänä, on suunnittelijoilla suurin vaikutusmahdollisuus hiilijalanjäljen vähentämiseen. Julkisessa rakentamisessa osassa urakkamuodoista urakoitsijalle ei ole mahdollista päättää suunnitelmista, jonka takia rakennuksen rakentajien on vaikea ohjata hiilijalanjäljen muodostumisesta omalla toiminnallaan. (Häkkinen et al. 2015 s. 11.).

## 2.2 Rakentamisesta muodostuvat melu, tärinä ja pöly

Melu on yksi rakentamisesta ja rakennuksen käytöstä aiheutuvista ympäristövaikutuksista. Sitä syntyy rakennustyön aikana sekä valmiista rakennuksesta. Melu on häiritsevää ääntä, joka voi aiheuttaa vaaraa tai haittaa sitä kuulevalle. Voimakas melu heikentää kuuloa ja saattaa hetkellisestä estää kuulemasta vaarasta varoittavia ääniä. (Työsuojelu 2017). Meluarviointi tehdään kaavatasolla, joka tulee ottaa huomioon rakennusten suunnittelussa. Kaavoituksessa voidaan määrätä erikseen

alueet, joissa meluava toiminta on sallittua. (Airola 2013 s. 5). Yleisin meluun liittyvä valituksen syy kaavoituksessa on meluselvityksen puutteellisuus (Airola 2013 s. 13). Suomessa tie- ja katuliikenne aiheuttaa noin 85 prosenttia Suomen meluhaitasta, joka tulee huomioida aluesuunnittelussa (Airola 2013 s. 6-7). Suomessa tieliikenteen melu haittaa yli 200 000 henkilön elämää ja aiheuttaa unihäiriötä, sydänriskejä ja arvioiden mukaan vuosittain yli 70 sydäninfarktia (Duodecim 2018).

Ennen rakennustöiden alkamista on tehtävä kunnan ympäristösuojeluviranomaiselle kirjallinen ilmoitus tilapäisestä melusta (Ympäristösuojelulaki 86/2000 60 § 1. mom.) paitsi, jos kunnanvaltuusto on määritellyt omat ympäristösuojelumääräyksensä tilapäiselle melulle (Ympäristösuojelulaki 86/2000 19 §). Poikkeuksena on kuitenkin kohteet, jotka vaativat ympäristövaikutusten arviointimenettelyn (Ympäristöministeriö 2018a). Kunnan rakennusjärjestyksissä voidaan vaatia esittämään yksityiskohtaisia suunnitelmia ennen rakennustöiden aloittamista melun- tai tärinän torjunnalle, jos alueella on mahdollista meluhaittaa (Airola 2013 s. 10). Asumiseen tarkoitettujen alueiden melutason ohjearvo on päivällä (klo 7-22) 55 dB ja yöllä 50 dB. Uusien asuinalueiden raja-arvot ovat päivällä 55 dB ja yöllä 45 dB. (Tiehallinto 2006 s. 2).

Rakennuksien tärinälle ei ole virallisia ohje- eikä raja-arvoja, mutta VTT on esittänyt tiedotteissaan 2278 ja 2569 värähtelyluokituksia, jotka ovat taulukossa 3. Taulukkoarvot A ja B soveltuvat asuinrakennuksiin, mutta jos niissä ei ole asumista tai liikenteen ei katsota haittaavan lepoa, voi tavoiteraja olla kaksinkertainen esitettyihin arvoihin nähden. (Airola 2013 s. 36).

Taulukko 3. Suosituksia rakennusten värähtelyluokista (Airola 2013 s. 36).

Värähtelyluokka	Kuvaus olosuhteista	$v_{w,95}$ [mm/s]
A	Hyvät asuinolosuhteet Ihmiset eivät yleensä havaitse tärinää	$\leq 0,10$
B	Suhteellisen hyvät olosuhteet Ihmiset voivat havaita tärinän, mutta se ei yleensä häiritsevää	$\leq 0,15$
C	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa Keskimäärin 15 % asukkaista pitää tärinää häiritsevänä tai voi valittaa häiriöstä	$\leq 0,30$
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla. Keskimäärin 25% asukkaista pitää tärinää häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.	$\leq 0,60$

Rakentamisesta muodostuu pölyä, joka on haitallista sekä ihmisille että ilmastolle. Pöly aiheuttaa monia erilaisia sairauksia kuten sydän- ja verisuonitauteja, akuutteja hengitystautteja ja kroonisia keuhkotautteja. (Tong et al. 2018 s. 598). Terveystaitojen lisäksi riittävän korkea pölytaso (yli 10 g/m<sup>3</sup>) käyttäytyy kuin palava kaasu, josta muodostuu räjähdysvaara. Korkea pölytaso saavutetaan, jos hienojakoista

pölyä on yhden millimetrin paksuinen kerros ja se nousee yli metrin korkeudelle muodostaen pölypilven. (Säämänen et al. 2004 s. 34-35).

Pölystä muodostuvia ongelmia ympäristölle ovat muun muassa pölypartikkeleiden aiheuttamat haitat eläimille, ihmisille ja kasveille sekä rakennuksille aiheutuneet vahingot. Tehokkaimpia tapoja estää pölyn muodostuminen on käyttää työmenetelmiä, jotka minimoivat pölyn muodostumisen. Jos pölyn muodostumista ei voi estää, on syytä pyrkiä poistamaan se mahdollisimman tehokkaasti ja estää sen leviäminen ympäristöön. (Säämänen et al. 2004 s. 10).

### 2.3 Rakentamisesta muodostuvat maaperä- ja vesistöhaitat

Rakennusten maankäyttöä säädelään lailla. Ohjaus tapahtuu kaavoituksella, joka tuottaa alueellisia suunnitelmia. Kaavoituksen eri tasot ovat maakuntakaava, yleiskaava ja asemakaava. Maakuntakaava laaditaan ja hyväksytään maakuntien liitossa. Yleiskaava ja asemakaava laaditaan ja hyväksytään kunnissa. (Ympäristö 2013). Maankäyttö ja rakennuslaissa (199/132 5§) mainitaan, että alueiden käytön suunnittelussa tulee ottaa huomioon muun muassa ympäristönsuojelu ja ympäristöhaittojen ehkäisy, luonnonvarojen säästeliäs käyttö sekä luonnon monimuotoisuuden ja muiden luonnonarvojen säilyminen. Kaavoituksella voidaan ohjata alueellista rakentamista ja määritellä asuinalueet ja teollisuusalueet erikseen. Suunnitellulla aluekäytöllä voidaan vähentää maankäytöstä muodostuvaa haittaa vesistöön, maaperään ja ilmaan, kun sijainti on otettu etukäteen huomioon. (Ympäristöministeriö 2019c).

Maaperän ja pohjaveden pilaantuminen ovat ongelmia, jotka huomioidaan rakentamisen ympäristövaikutuksissa. Pilaantunut alue on ihmisten toiminnasta muodostunut alue, joka on ympäristölle tai terveydelle haitallinen, sen viihtyisyys on alentunut tai siinä on joku muu verrattavissa oleva haitta. Pilaantumisella voi olla monta syytä, mutta yleensä se johtuu erilaisista onnettomuuksista, vahingoista tai pitkällä ajalla tapahtuneesta vähäisistä päästöistä. (Ympäristö.fi 2019a).

Pilaantunut alue on puhdistettava, jos pilaantuminen aiheuttaa ympäristö- tai terveysriskin. Puhdistus suoritetaan usein rakentamisen tai toiminnan loppumisen yhteydessä. Jos alue on pilaantunut, maanomistajan tai vuokraajan tulee kertoa luovutustilanteessa, onko maaperä tai pohjavesi mahdollisesti pilaantunut. Jos omistaja tai uusi vuokralainen on tietoinen maaperän pilaantumisesta, on hän itse velvollinen puhdistamaan maa-alueen. (Ympäristö.fi 2019b).

Pohjavesialueiden pilaantuminen ehkäistään kieltämällä rakentaminen tärkeille pohjavesialueille. Teollisuus- ja varastotoiminta ovat kiellettyjä pohjavesialueilla. Tienpidon, liikenteen, junaratojen ja asuinrakentamisen sijoittaminen pohjavesialueelle vaatii luvan ELY-keskukselta. (Suomen Vesiensuojeluyhdistys Ry 2013 s.4-8).

Rakennuksista muodostuvaa haittaa vesialueisiin pyritään estämään jo rakentamisvaiheessa. Haittatekijöitä ovat muun muassa vesialueiden rehevöityminen ja happamien sulfaattimaiden päätyminen veteen. Rehevöityminen tarkoittaa kasvien

ravinteiden kertymistä vesistöön (Ympäristö.fi 2019c). Rehevöitymisen syitä on esitetty toisistaan poikkeavia mielipiteitä, mutta yhtenä tekijänä on pidetty typen ja fosforin liiallista muodostumisten vesistöön ihmisperäisistä syistä. Suurimmat ihmisen aiheuttamat fosfori- ja typpipäästöt muodostuvat tehdastuotannosta, maa- ja metsätaloudesta, jätevesien pääsystä vesistöön, energiatuotannosta ja autoilusta (Ympäristö.fi 2018; Lappalainen 2018 s. 5; WWF 2016). Typeä ja fosforia muodostuu rakennusten käyttövaiheessa jätevedestä, joka päätyy vesistöön ilman asiallista käsittelyä (Syke 2019). Happamalla sulfaattimaalla tarkoitetaan maaperää, jossa on muodostunut ajansaotossa haitallisia metalleja kuten alumiinia ja nikkeliä. Happamia sulfaattimaita esiintyy pääasiassa rannikolla savessa tai siltissä. Ongelmia sulfaattimaasta muodostuu sen alhaisesta pH-tasosta, joka aiheuttaa korroosiota metalleihin Sulfaattimaiden metallit saastuvat vesistöjä, jotka vaurioittavat kaloja ja aiheuttaa ympäristölle vaaraa. (Suikkanen et al. 2018 s. 7-15).

## 2.4 Rakentamisesta muodostuvat jätteet ja kierrätys

Rakentamisesta muodostuu jätettä, jotka luokitellaan rakennus- ja purkujätteeksi. Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava siitä, että käyttökelpoiset rakennusosat sekä aineet otetaan jätelain mukaisesti talteen ja käytetään uudelleen. Tavoitteena on tuottaa mahdollisimman haitatonta rakennus- ja purkujätettä. (Ympäristö.fi 2017). Valtioneuvoston asetuksen (2012/179 §15-16) mukaan rakennus- ja purkujätteen haltijan tulee ensisijaisesti pyrkiä vähentämään jätteen määrää uusiokäytöllä, kierrättämisellä tai hyödyntämisellä, joka saavutetaan hankkeen suunnittelulla. Suomella on tavoite, että vuonna 2020 hyödynnetään 70 prosenttia rakennus- ja purkujätteestä (Ympäristö.fi 2017). VTT:n 2016 laatiman raportin mukaan rakennusalan kierrätysaste oli 60 prosenttia vuonna 2016 (Salmenperä et al. 2016 s.24). Uusiokäyttö on ensisijainen vaihtoehto verrattuna jätteen kierrättämiseen, koska silloin vältetään tuotantoprosessin muodostuva ympäristökuorma. Hyödyntämisessä on kyse esimerkiksi lasi- tai betonimurskan käytöstä uusien raaka-ainesten materiaalina. (Ympäristö.fi 2017). Jos kuitenkin jätettä syntyy, on järjestettävä jätteiden erilliskeräys ainakin betoni-, tiili-, kivennäislaatta-, keramiikka-, kipsipohjaiselle-, kyllästämättömälle puu-, metalli-, lasi-, muovi-, paperi-, kartonkijätteelle sekä maa- ja kiviainekselle (Valtioneuvoston asetus jätteistä 2012/179 § 16).

Rakentamisesta muodostuvaa jätettä ei huomioida erikseen omana osana, kun tehdään ympäristövaikutusten arviointi (Ympäristövaikutusten arviointimenettelylaki 252/2017 §2). Rakentamisessa kuitenkin jätettä syntyy paljon ja sillä on vaikutusta ympäristöön. Peuranen et al. (2014 s. 3) mukaan talonrakentaminen tuotti ilman maamassoja 2,2 miljoonaa tonnia jätettä vuonna 2011, kun taas palveluissa ja kotitalouksissa jätettä syntyi 3,2 miljoonaa tonnia samana vuonna. Suomen jätetilastot vuonna 2016 ovat parantuneet talonrakentamisen osalta vuodesta 2011. Talonrakentamisen jätteiden määrät vuonna 2016 olivat 1,8 miljoonaa tonnia ja kokonaisuudessaan ne olivat 13,825 miljoonaa tonnia maamassojen kanssa palveluiden ja kotitalouksien jätteiden ollessa noin 2,9 miljoonaa tonnia. (Tilastokeskus 2018).

Jätteiden käsittelystä muodostuneiden kasvihuonekaasupäästöjen määrä on vähentynyt viime vuosina. Vuonna 2013 ne olivat 2,3 miljoonaa tonnia CO<sub>2e</sub> ja vuonna

2017 ne olivat 1,7 miljoonaa tonnia CO<sub>2e</sub> (Tilastokeskus 2019b). Tilastokeskuksen raporttoima jätteiden käsittely pitää sisällään kaatopaikat, kompostoinnin ja jätevesien käsittelyn (Tilastokeskus 2019c). Samanaikaisesti rakennusjätteiden osuus kaikista jätteistä on laskenut 15,4 prosentista 12,6 prosenttiin (Tilastokeskus 2019a; Tilastokeskus 2013).

Rakennusjätteistä hyötykäytettäviä jätteitä ovat erilaiset puutuotteet kuten levyt ja laudat, ehjät tai korjattavissa olevat laitteet ja kalusteet, metalliset palkit ja pilarit, putket ja kaapelit, osa tiilistä, ikkunat, muovit, paperit, pahvit ja betoni. Suurin osa hyödystä saadaan muokkaamalla rakennusjätettä uusiomateriaaliksi sekä erottelemalla polttoon sopiva aines. Betonia muokkaamalla murskeeksi saadaan siitä korvaava-aine hiekan ja soran tilalle tai tierakenteen pohjalle. Osa materiaalista saadaan sellaisenaan hyötykäyttöön. (HSY 2015). Rakennusalalla maanrakennuksessa muodostuu selvästi enemmän jätettä kuin talopuolella. Maanrakennuksessa on tarkoitus ottaa tulevaisuudessa enemmän hyötykäyttöön maamassojen kierrätystä ja hyödyntämistä. Ympäristöministeriöllä on valmisteilla maa-ainesjätteen hyödyntämistä koskeva asetus, jonka on tarkoitus tulla voimaan vuoden 2019 puolivälissä. Asetuksen ideana on säätää ympäristönsuojeluvaatimuksia, joiden avulla tehostetaan rakentamisessa ja muussa vastaavassa toiminnassa syntyvän maa-ainesjätteen hyödyntämistä maarakentamisessa. Asetuksessa on tarkoitus yksinkertaistaa maa-ainesjätteen välivarastointia, jotta ei tarvittaisi ympäristölupaa, vaan pelkkä rekisteröinti-ilmoitus riittäisi. (Ympäristöministeriö 2019b).

## 2.5 Rakennuksen käytön aikaiset ympäristövaikutukset

Rakennuksista muodostuvat ympäristövaikutukset käytön aikana ovat kohde- ja rakennustyyppikohtaisia, jonka takia niiden vertailu on haastavaa. Esimerkiksi Hiekkaharjun vesitornin käytön aikaiset negatiiviset ympäristövaikutukset on arvioitu olevan varjostus- ja valaistushaitta, kun taas Oulun Energian jätteen lajittelulaitoksen ja biojätteen käsittelylaitoksen negatiivisia ympäristövaikutuksia on useampia kuten melu, hajuhaitta, lisääntynyt liikenne, kasvavat kasvihuonepäästöt ja roskaantumisen (Oulu Energia Oy 2017 s. 53-56; HSY 2017). Jotta käytön aikaisista ympäristövaikutuksista saisi osittain vertailukelpoisia, voidaan noudattaa elinkaariarvio-standardia, jossa huomioidaan rakennuksen koko elinkaari, mukaan lukien käyttövaihe. Elinkaariarviosta voidaan rajata pois muut osat kuin käyttövaihe, jos halutaan pelkästään selvittää rakennuksesta käytöstä muodostuvat ympäristövaikutukset. (SFS-EN 15643-2 2012 s. 21-24). Standardissa seurattavat sekä sen jälkeen tulleita nykyään seurattavia ympäristövaikutuksia elinkaariarvioinnissa on esitetty työn liitteessä (Liite 1.). Standardissa ei oteta kantaa ympäristöselvityksessä vaadittaviin ympäristötekijöihin kuten meluun, tärinään, pölyn muodostumiseen, näköhaittaan ja kaupunkikuvaan (SFS-EN 15643-2 2012 s. 29-30). Rakennuksen käytön pituuden arviota säädellään suunnitellulla käyttöiällä, joka on tavanomaisilla rakennuksilla Suomessa 50 vuotta (SFS-EN 1990+A1+AC 2006 s. 48). Elinkaariarviossa määriteltyihin käyttövaiheen ympäristövaikutuksiin voidaan vaikuttaa tehokkaimmin rakennuksen suunnitteluratkaisuilla. Lämmitysratkaisut, energiatehokkuus ja muunneltavuus vaikuttavat käytön aikaisiin ympäristövaikutuksiin eniten. (Bionova 2017 s. 11).

### 3 Rakennushankkeiden ympäristövaatimukset

Ympäristöministeriöllä on strategia, jonka tavoitteena on parantaa elinympäristöä ja kasvua vuoteen 2030 mennessä. Strategian pääpainona on ympäristönäkökulmien kasvattaminen tulevaisuudessa päätäntäprosessissa sekä kestävä kehityksen ja kierrätyksen lisääminen. Liitteessä on esitetty strategian pääteemat, painopisteet ja strategian onnistumista heijastavat indikaattorit (Liite 2).

Strategia 2030 liittyy rakennushankkeiden ympäristövaikutuksiin ohjaavalla tavalla. Strategia on valtiotason, jota viedään alaspäin lainsäädännön ja ohjauksen kautta julkiselle sekä yksityiselle sektorille. Moni indikaattoreista liittyy sekä ohjaa rakentamista, jotka strategian toteutuessa tulevat ohjaamaan rakentamisen ympäristövaatimuksia. (Ympäristöministeriö 2019f).

Rakentamisen strategian ilmastotavoitteet pohjautuvat Suomen ja Euroopan Unionin ilmastotavoitteisiin, joissa on tavoitteena kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen 40 prosentilla vuoteen 2030 mennessä. Suomella on tavoite vuoteen 2020 mennessä vähentää 20 prosenttia kasvihuonekaasupäästöjä vuoden 1990 tasoon verrattuna. Suomen omat maakohtaiset tavoitteet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen lisäksi on vähentää 16 prosenttia päästökaupan ulkopuolilta sektoreilta sekä nostaa uusiutuvan energian osuus 38 prosenttiin energian loppukulutuksesta. (Ympäristöministeriö 2018b).

Ympäristövaatimus rakennushankkeessa tarkoittaa vaatimusten asettamista rakennuksen ympäristövaikutuksille esimerkiksi kasvihuonepäästöjen tai melun rajoittamisella. Vaatimusten asettaminen voidaan suorittaa esimerkiksi ympäristösertifikaateilla tai erillisillä lauseilla urakka-asiakirjoissa. Lainsäädäntö määrittää osan ympäristötekijöiden vähimmäisvaatimuksista, jotka kohteen suunnittelija joutuu ottamaan huomioon rakennuksen suunnittelussa ja urakoitsija rakentamisessa (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132 §117b, c, f ja g). Vaikka kasvihuonepäästöjen raportointi ja seuraaminen on kehittynyt viime vuosina, ei kasvihuonekaasupäästöjen tuottamista rajoiteta tällä hetkellä Suomessa rakennuksissa tai rakentamisessa lainsäädännöllä (Ympäristöministeriö 2017b), kun taas muita rakentamisesta ja rakennuksista muodostuneita ympäristövaikutuksia rajoitetaan (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132 §117b, c, f ja g).

Ympäristövaikutuksilla ja vihreällä rakentamisella on arveltu olevan vaikutusta rahoituksen saantiin tulevaisuudessa. KTI (2018 s. 6-9) teetti vastuullisuusbarometrin 50 Suomen suurimmalle kiinteistösjoittajalle ja -omistajalle, johon vastasi 31 toimijaa, joiden kiinteistövarallisuuden arvo lähenei 50 miljardia euroa. Vastaaajista lähes puolet vastasi, että tulevaisuudessa vihreydellä on merkitystä rahoituksen saatavuudella tai sen ehtoihin.

#### 3.1 Julkinen hanke

Kun valtio, kunta, kuntayhtymät, valtion liikelaitokset tai muut hankintalainsäädännössä määritetyt hankintayksiköt tekevät hankintoja kuten tavara-, palvelu- tai

rakennusurakkahankintoja, kutsutaan tätä julkiseksi hankinnaksi (HILMA 2018). Julkisten rakennushankkeiden vuosittainen arvo on ollut vuosina 2010-2016 seitsemän miljardia euroa (Kuittinen & Le Roux 2017b s. 11). Suomessa julkisia hankintoja säätelee Hankintalaki (1397/2006), jonka mukaan valintaperusteena tulee olla kokonaistaloudellisesti edullisin tarjous, joka on hinnaltaan halvin, kustannuksiltaan edullisin tai hinta-laatusuhteeltaan paras (Kuittinen & Le Roux 2017b s.21). Julkisessa hankinnassa on otettu mahdollisuus ottaa merkitseväksi tekijäksi ympäristövaatimukset, jotka voivat toimia ohjaavana tai rajoittavana tekijänä. Ympäristövaatimusten sisällöt pyritään määrittämään julkisissa hankinnoissa viittaamaan ensisijaisesti kansallisiin standardeihin (Pasanen & Miilumäki 2017 s. 9). Ympäristövaatimusten käyttö hankinnoissa voi olla ympäristömerkkien vaatiminen, ympäristöasioiden hallinta- ja laadunvarmistustoimenpiteiden vaatiminen tai elinkaari-kustannusten arviointi, jos ulkoisten haittojen rahallinen arvo voidaan määrittää ja tarkistaa. Halvinta hintaa voidaan käyttää ympäristöasiat huomioiden, kun ympäristövaatimukset on selkeästi määritetty. (Kuittinen & Le Roux 2017b s.21-22). Muita mahdollisia tapoja rajoittaa kilpailua ympäristönäkökulmat huomioiden on vaatia tarjoajalta ympäristönlaadunhallintajärjestelmiä, kuten ISO 14001, EMAS tai Ekokompassi (Kuittinen & Le Roux 2017b s.23).

### 3.2 Ympäristösertifikaatti

Rakennushankkeille voidaan hakea ympäristösertifikaatteja, jotka toimivat rakennuksen ympäristöluokituksena. Fuerst (2009 s. 295) mukaan rakennuksilla, joilla on ympäristöluokitusjärjestelmä, on korkeammat vuokratuotot sekä myyntihinnat. Ympäristösertifikaatteja ovat muun muassa LEED, BREEAM, Joutsenmerkki, CEEQUAL, Parksmart, RTS-ympäristöluokitus, DGNB, HQE, Miljöbyggnad ja Green Globes, joista yleisimmät ovat LEED ja BREEAM (FIGBCF 2018; Parksmart 2019; CEEQUAL 2019). Ympäristösertifikaatit voivat olla eri tasoisia esimerkiksi LEED:stä on neljä eri luokkaa, jotka ovat Certified, Silver, Gold ja Platinum ja BREEAM:sta on viisi eri luokkaa, jotka ovat Pass, Good, Very good, Excellent ja Outstanding (FIGBCF 2018). Ympäristösertifikaattien ideana on varmistaa hankkeen kestävän kehityksen mukainen ajattelu läpi projektin, jossa ulkopuolinen arvioitsija varmistaa, että rakennus suunnitellaan, rakennetaan ja toimii ympäristönäkökulmat huomioiden (FIGBCF 2018). Ympäristösertifikaateilla voidaan madaltaa rakennushankkeesta muodostuvia negatiivisia ympäristövaikutuksia. Ympäristösertifikaatit eivät ole keskenään vertailukelpoisia, koska niissä on erilaisia vaatimuksia. Niiden avulla voidaan yksinkertaistaa tarjouspyyntöä, koska on mahdollista määrittää haluamansa ympäristösertifikaatin taso. (Kuittinen & Le Roux 2017b s. 27). Kun ympäristösertifikaatti asetetaan julkisen hankinnan ehdoksi, tulee ottaa huomioon, että muutkin vastaavat sertifikaatit kuin tavoiteltu sertifikaatti tulee hyväksyä, jos se täyttää vaadittavat ehdot. Tilaaja ei saa määrittellä itse erillisiä ehtoja ympäristösertifikaatille, vaan vaatimukset pitää tulla kolmannelta osapuolelta, jotka ovat puolueettomia eikä syrji muita osapuolia. (Suomen ympäristö merkintä 2017 s. 5-6).

KTI:n (2016 s. 22) laatiman kyselyn perusteella, johon osallistui 25 suurta Suomalaisista kiinteistösijoittajaa ja -omistajaa, kolme neljästä vastaajasta ilmoitti ympäristösertifioineen kiinteistöjään ja tulevansa lisäämään sertifiointien määrää seuraavan viiden vuoden aikana.



Tilaaajien vaatimukset ympäristöluokituksista ovat kasvanut määrällisesti viime vuosina. Vuonna 2016 Suomessa oli 104 LEED-sertifioituja rakennusta ja 99 BREEAM-sertifioituja rakennusta, kun taas 2019 kesäkuussa LEED-sertifioituja rakennuksia oli 270 ja BREEAM-sertifioituja rakennuksia 236. (KTI 2016 s. 23; Greenbooklive 2019; USBGC 2019). Muutamat suuret sijoittajat kuten Sponda ja Citycon vaativat ympäristösertifiointia kaikissa uusissa kohteissa ja Sponda vaatii myös suurissa peruskorjauksissa ympäristösertifiointia (Sponda 2019; Citycon 2019).

### 3.3 Vähähiilinen rakentaminen

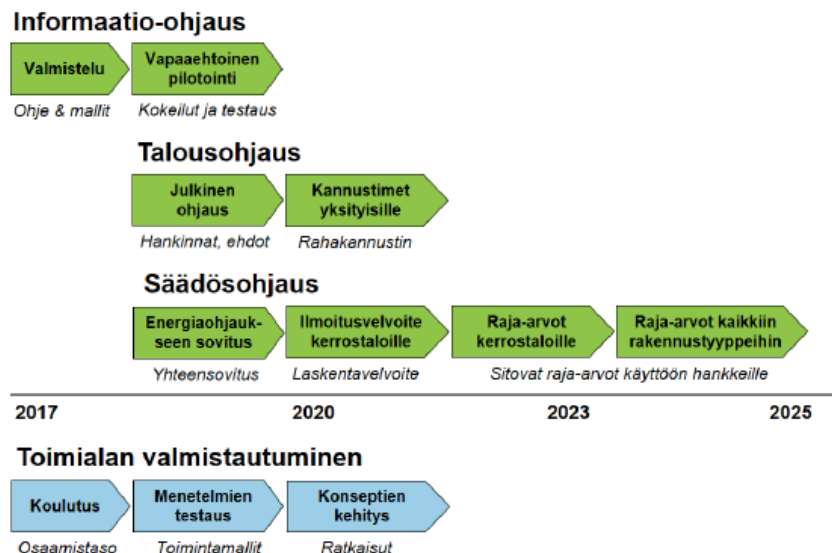
Ympäristövaikutusten pienentäminen ja ilmastomuutoksen hillitseminen on osa Suomen energia- ja ilmastostrategiaa. (Kuittinen & Le Roux 2017b s. 12). Suomessa institutionaaliset sijoitusyhtiöt kuten Ilmarinen, ELO ja Varma kertovat yritysraportteissaan seuraavansa rakennusten ympäristövaikutuksia ja erityisesti kasvihuonepäästöjä (Ilmarinen 2018, Varma 2018, Elo 2017).

Julkisten organisaatioiden kuten ympäristöministeriön raportteja ja oppaita vihreämmistä hankinnoista on tehty 2010-luvulla. Yksi syy raporttien määrän kasvulle on lisääntynyt keskustelu ilmaston lämpenemisestä, jonka hillitseminen on osa Suomen energia- ja ilmastostrategiaa. Yhtenä osa-alueena Suomen energia- ja ilmastostrategiaa on pienentää rakentamisen ja rakennusmateriaalien hiilijalanjälkeä. Ympäristöministeriön julkaisuissa on keskitytty koko elinkaaren huomioimiseen sen sijaan, että tarkasteltaisiin pelkästään yhtä rakennusvaihetta kuten käyttöä tai rakentamista. (Kuittinen & Le Roux 2017a s.11-13.; Kuittinen & Le Roux 2017b s. 14). Suomessa on tavoitteena, että 2020-luvun puolivälissä hiilijalanjälkeä säädeltäisiin lailla, jonka ohjaus tulee strategian pohjalta laaditun kartan avulla (Ympäristöministeriö 2017a). Tiekartta on esitetty kuvassa 4. Tiekartta pohjautuu kolmeen eri vaiheeseen, jossa ensimmäisenä on testaaminen ja menetelmien kartoittaminen. Testaaminen on tarkoitus suorittaa julkisissa hankkeissa kuten ARA-tuotannossa. Säädösohjaus tulisi pääasiassa painottumaan uudisrakentamiseen, joka kytkeytyy käytönaikaisen energiakulutuksen ohjaukseen. Sitovaan sääntelyyn ja rakennuskohtaisiin raja-arvoihin siirtyminen tapahtuisi tiekartan mukaan vuonna 2019 vapaaehtoisella pilotoinnilla, julkisilla hankinnoilla, ilmoitusvelvollisuuden ja tärkeimpien rakennustyyppien kautta. (Ympäristöministeriö 2017a). Pilotointikohteiden vähähiilisen rakentamisen arviointimenetelmät pohjautuvat kestäväen rakentamisen standardeihin määritellyn elinkaariarviointimenetelmään. (Ympäristöministeriö 2019e s.11)



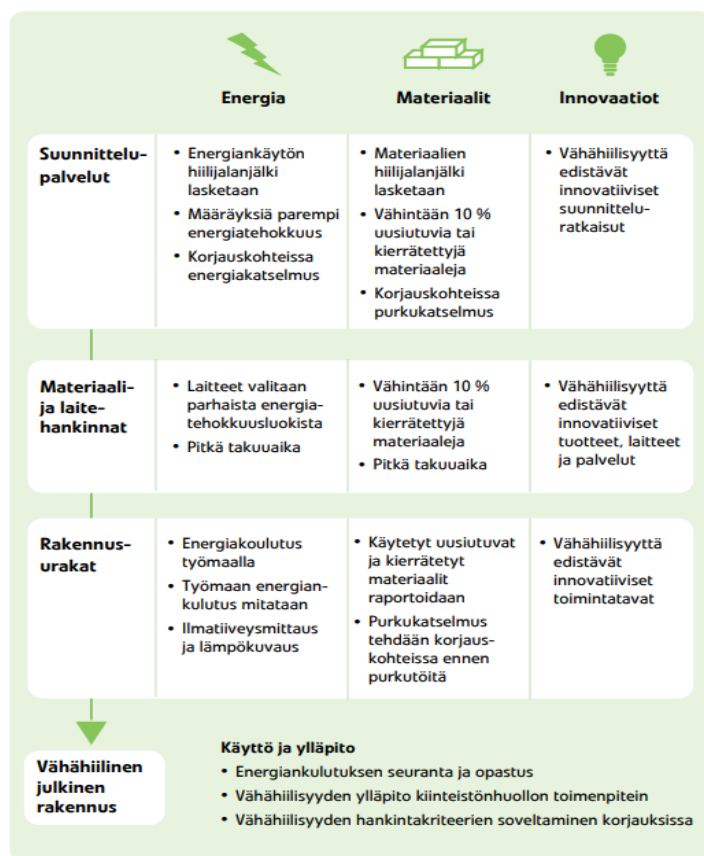
Kuva 4. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseen (Ympäristöministeriö 2017).

Ympäristöministeriön tiekartta pohjautuu konsultointiyritys Bionovan vuonna 2017 laatimaan raporttiin. Bionovan tiekartta rakennusten hiilijalanjäljen huomioimiseksi on hyvin pitkälti samanlainen kuin Ympäristöministeriön. Bionovan tiekartassa poikkeuksena on se, että vuonna 2020 tulisi hiilijalanjäljen ilmoitusvelvoite uusille kerrostaloille, hiilijalanjäljen raja-arvot uusille kerrostaloille vuonna 2023 ja raja-arvot kaikkiin rakennustyypeihin vuonna 2025. (Bionova 2017 s. 40). Bionovan laatima tiekartta on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Bionovan laatima tiekartta (Bionova 2017 s. 40).

Kuittinen & Le Roux (2017a s. 29-45) on listannut kriteereitä (kuva 6) vähähiiliseen rakentamiseen, jotka pohjautuvat ympäristösertifiointijärjestelmiin ja standardeihin. Listassa on esitetty erilaisia vähähiilisiä ratkaisuja uudis- ja korjauskohteille suunnittelijan, rakennusurakoitsijan sekä materiaali- ja laitehankkijoiden näkökulmasta.



Kuva 6. Vähähiilisen julkisen rakennuksen hankintakriteerit (Ympäristöministeriö 2017a).

Vähähiilisyteen sekä muihin ympäristöasioihin vaikuttaminen on todettu olevan parempaa, kun rakennusprojektin kaikki osapuolet ovat samalla puolella perinteisen mallin sijaan, jossa kukin osapuoli suorittaa vain oman tehtävänsä (Clement et al. s. 17-18). Julkisissa hankinnoissa osapuolten rooli omina ryhminä on suurempi kuin muissa hankkeissa, koska osassa urakamuodoista kaikki osa-alueet kilpailutetaan erikseen.

Ulkomailla hiilijalanjäljen seuranta on kehittynyt viime vuosina Suomea nopeammin ja muutamassa maassa jo suoritetaan hiilijalanjäljen mittausta. Ranskassa vuonna 2012 aloitettu pilotointi ottaa huomioon rakennusten hiilijalanjäljen, jolle on asetettu rajoitteita eri rakennuksille (Bionova 2017 s. 28-30). Hollannissa on määritelty kasvihuonekaasupäästöille hinta, joka on 0,05 €/kg. Suurin sallittu määrä on 1 €/neliö/vuosi, jossa asuinrakennusten iäksi on määritetty 75 vuotta ja muiden rakennusten 50 vuotta. Kasvihuonepäästöt otetaan huomioon vain uudiskohteissa eikä korjauskohteissa. (Bionova 2017 s. 30-31). Ruotsissa Trafikverket:n yli 50 miljoonan kruunun infrahankkeissa on käytettävä elinkaaren aikaisten energia- ja kasvihuonepäästöjen arviointimenetelmää, ja parannettava hankkeita elinkaaritehokkuuden näkökulmasta. (Pasanen & Miilumäki 2017 s. 18). Ruotsissa on tavoitteena vuonna 2021 ottaa käyttöön ”Klimat deklaraation”, joka ohjaa rakentamista vähähiiliseen rakentamiseen (Kuittinen 2019; Lagpunkten 2018).

Norjassa hiilijalanjäljenlaskenta on pakollista julkisissa hankkeissa. Norjassa on

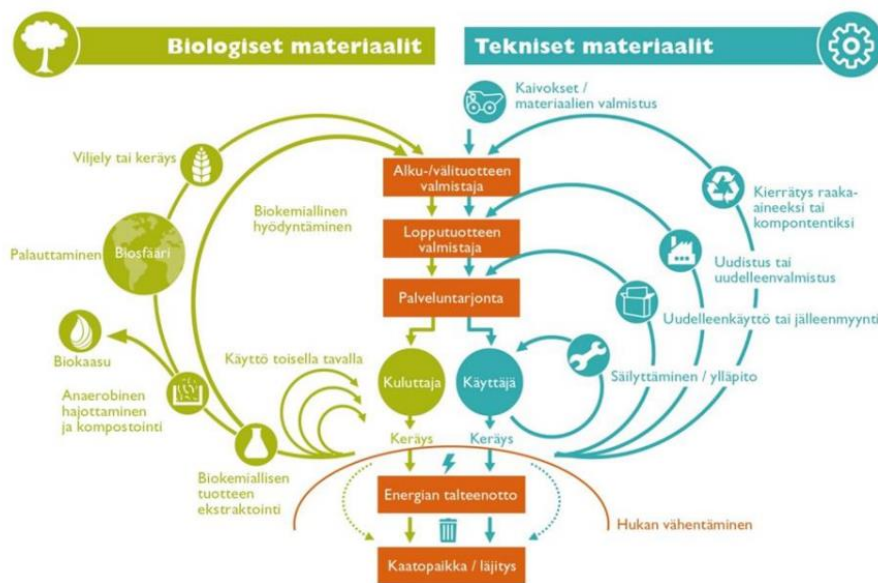
ollut myös keskustelua ottaa käyttöön Ruotsissa suunniteltu ”Klimat deklARATION” (Kuittinen 2019).

Tanskassa on kehitteillä erilaisia työkaluja arviointia varten ja Tanskan valtiolla on oma kestävän kehityksen sertifikaatti, mutta niiden käyttäminen on vapaaehtoista. (Kuittinen 2019).

### 3.4 Kiertotalous

Kiertotalouksen idea on uudelleen käyttää raaka-aineita ja tuotteita mahdollisimman kauan sekä maksimoida niiden käyttöikä. Kiertotalouden tavoitteena on vähentää neitseellisen raaka-aineiden tuotantoa ja lisätä kierrätystä, jonka avulla parannetaan ekologisia tavoitteita. (Seppälä et al. 2016 s. 10).

Kuvassa 7 esitetään, että miten kiertotalous toimii. Biologiset ja tekniset materiaalit on eroteltu toisistaan niiden poikkeavien materiaalikiertojen takia. Tekniset materiaalit ovat ihmisten valmistamia ja biologiset materiaalit ovat luonnosta peräisin. Optimaalisin materiaalikierto on kuvassa 7 lähempänä kehää tapahtuvat kierto. Mitä ulompana kierto menee, sitä epätoivottavampaa se on, koska silloin tarvitaan enemmän energiaa materiaalin hyödyntämiseen. Kaatopaikalle tai polttoon päätyvät materiaalit ovat poissa materiaalikierrosta, jota tulee vähentää kiertotalousajattelussa. Varsinkin teknisten materiaalien palauttamista materiaalikiertoon pidetään energiategokkaampana ja vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä tuottavana keinona kuin polttamista tai neitseellisten raaka-aineiden hankkimista, joista muodostettaisiin teknisiä materiaaleja. Biologisilla materiaaleilla kierrätys on myös suotuisampaa kuin polttaminen tai kaatopaikalle vienti. Biologisia materiaaleja voidaan hyödyntää esimerkiksi biokaasun tuotannossa. (Seppälä et al. 2016 s. 10-11). Suomella on tavoite, että vuonna 2020 hyödynnetään 70 prosenttia rakennus- ja purkujätteestä (Ympäristö.fi 2017).



Kuva 7. Kiertotalous (Seppälä et al. 2016 s. 11).

Rakentamisen kiertotalous koskee koko rakennuksen elinkaarta. Kuva 8 kuvastaa rakentamisen kiertotalouden perusideaa. Kiertotalous alkaa rakennustuotteiden

valmistuksesta, jossa hyödynnetään kierrätysmateriaalia raaka-aineena. Suunnitteluvaiheessa pyritään luomaan muuntojoustavia rakennuksia, jotka ovat pitkäikäisiä ja monikäyttöisiä, sekä edistetään rakennusten korjattavuutta ja purettavuutta suunnitteluratkaisuilla. Rakentamisvaiheessa rakennusjätettä ehkäistään ja tavoitellaan lajittelua sekä kierrätystä. Käyttö ja huoltovaiheessa käytetään rakennusta oikein sekä huolletaan rakennus oikea-aikaisesti. Korjausvaiheessa vältetään turha purkaminen ja mahdollisesti puretut rakenteet lajitellaan, uudelleen käytetään ja kierrätetään. Kun rakennus päättyy purkuvaiheeseen, otetaan purkujäte uusiokäyttöön, jota hyödynnetään rakennustuotteiden valmistuksessa. (Hakasta 2019 s. 2).



Kuva 8. Kiertotalous rakentamisessa (Hakaste, H. 2019).

Suomalaiset kaupungit ovat luoneet tiekarttoja kiertotalouden ja vähäpäästöisyyden edistämiseksi. Suomessa on 10 edelläkävijäkuntaa, jotka ovat laatineet omat kiertotaloustavoitteet ja konkreettiset toimenpiteet niiden saavuttamiseksi. Edelläkävijäkuntien tiekarttaa kutsutaan resurssiviisauden tiekartaksi. (Circwaste 2017). Näitä kuntia ovat muun muassa Turku, Lahti, Lappeenranta, Ii, Porvoo, Riihimäki ja Vantaa. Vantaan resurssiviisaassa tiekartassa rakentamisen osalta on kirjattu esimerkiksi, että 2019-2021 rakentamisen hiilijalanjälkilaskenta tulee kirjata tonttienluovutusehtoihin ja purku- ja kierrätysmateriaalit sekä maamassat otetaan kaupungissa uusiokäyttöön. (Circwaste 2019a). Porvoon resurssiviisaassa tiekartassa on rakentamisen osalta isolla painolla maanrakennuksessa käytettävien raaka-aineiden kierrätys ja uusiokäyttö. Rakennus- ja purkujätteen hyödyntäminen 70 prosenttisesti on toinen iso teema Porvoon resurssiviisaassa tiekartassa. (Circwaste 2019b). Iiin tavoitteena on saavuttaa 80 prosentin hiilidioksidipäästövähennykset vuoteen 2020 mennessä, mikä on 30 vuota nopeampi kuin EU:n tavoite. Iissä on selvitetty yksityisautoilun sijasta ihmisten mahdollisuuksia kimpakyyteihin. Ii on pohtinut myös kunnalle yhteissähköauton hankkimista (Circwaste 2019c). Lahden kaupungin tavoitteina on hyödyntää materiaaleja 50 prosenttisesti, energian hyödyntämisenä 47 prosenttisesti ja viedä jätteistä kolme prosenttia kaatopaikalle. Muina tavoitteina Lahdella on olla hiilineutraali kaupunki vuoteen 2025 mennessä. Lahti valittiin Euroopan ympäristöpääkaupungiksi vuonna 2021. (Lahti 2019; Greenlahti 2019).

### 3.5 Kohdeyritykselle tulleita ympäristövaatimuksia tarjouspyynnöissä

Kohdeyritykselle tulleiden tarjouspyyntöjen ympäristövaatimuksia selvitettiin yrityksen sisällä haastatteleamalla eri segmenttien henkilöitä. Haastattelu suoritettiin infra-puolelta ja toimitilapuolelta. Infrapuolelta haastatteluun osallistui ympäristövastuita hoitava henkilö, tarjouspyyntöjä käsittelevä henkilö sekä rata- ja tiepuolen suunnittelupäällikkö, joka on ollut töissä suunnittelufirmassa ja tekemisissä Ruotsin sekä Suomen viranomaisten kanssa. Toimitilapuolelta haastatteluun osallistui toiminnan kehityksestä vastaava henkilö ja projektipäällikkö.

Haastattelu suoritettiin suullisesti ja vapaamuotoisesti. Kysymysluettelo on työn liitteenä (Liite 3).

Infra-puolella Suomessa tarjouspyyntökohteissa ympäristövaatimukset on huomioitu enemmän lainvaatimuksissa kuin lisäarvoa tuottavana tekijänä. Laissa tulleita vaatimuksia on muun muassa veden pilaamisen kieltäminen, maaperän saastuttamisen estämisen ja eläimistöille aiheutuvan haitan välttäminen. Melun ja tärinän aiheuttaminen voi olla rajattu tarjouspyynnössä. Työmaan kierrätysmenetelmiä on vaadittu kerrottavaksi tilaajalle, mutta raja-arvoja kierrätysasteesta ei ole määritelty tarjouspyynnöissä. Tarjouspyynnöissä on kirjattu, että urakoitsijan tulee minimoida ympäristölle haitalliset vaikutukset. (Arola & Kuusinen 2019).

Kohteissa, joissa tarjouspyyntöä pisteytetään erilaisin tekijöin kuten laadun, referenssikohteiden, aikataulun ja hinnan perusteella, ympäristöasioista ei ole saanut pisteitä. Mainintoina on ollut tarjouspyynnöissä, että yrityksellä tulee olla ympäristöjohtamisjärjestelmä tuttu. Infra-projekteille ei ole Suomen yksikölle tarjouspyynnöissä kohdistettu mitään tiettyä ympäristösertifikaattia. (Arola & Kuusinen 2019).

Epäsuoria ympäristövaatimuksia tarjouspyynnöissä on ollut huomion kiinnittäminen elinkaareen. Elinkaarta on kysytty tarjouspyynnöissä ja elinkaarikustannusten minimointia esimerkiksi huollon suhteen. (Arola & Kuusinen 2019). Elinkaarikustannuslaskenta ei suoraan ota kantaa ympäristöasioihin, mutta kustannuksiltaan ja päästöiltään tehokkaammat energiaratkaisut sekä kestävämmät rakenteet vähentävät rakennuksesta muodostuvaa hiilijalanjälkeä (Ympäristöministeriö 2017b).

Väylä- ja ratahankkeissa ympäristöasioita ei huomioida Suomessa erikseen tarjouspyynnöissä. Tarjouspyynnöissä on esitetty lainvaatimukset sekä yleismaallisten työmaan ympäristösuunnitelmien teko. Väylä- ja ratahankkeissa, joissa on pisteytys käytössä tarjouspyynnössä, ei ole sisältynyt erikseen ympäristötekijöitä. (Hassi 2019). Ruotsissa on tarjouspyynnöissä vaadittu Trafikverketin Klimatkalkyl-ohjelmalla kasvihuonepäästöjen laskentaa. Kohteissa suunnittelija tuottaa alustavan laskelman, joka liitetään tarjouspyyntöön. Jos urakoitsija alittaa suunnittelijan asettaman päästötason, saa urakoitsija siitä bonusta. Jos päästöt ylittyvät, joutuu urakoitsija maksamaan sakkoa. (Hassi 2019)

Toimitilapuolella ympäristöasiat tarjouspyynnöissä näkyvät eniten kohdekohtaisissa ympäristösertifikaateissa kuten BREEAM ja LEED. Ympäristösertifikaatit ovat osassa toimitilapuolen projekteissa rahoituksen rajoitteena; ilman

ympäristösertifikaattia kohde ei saa rahoitusta. Kohdeyrityksen nykyisillä toimintatavoilla saavutetaan omassa tuotannossa hopeatason ympäristösertifikaatti, jos hoitaa dokumentoinnin. Platinataso vaatii suurempia investointeja omassa tuotannossa. (Laine 2019). Muilta osin ympäristövaatimukset ovat olleet samanlaisia toimitilapuolella kuin infrapuolella (Ahlstedt 2019).

### 3.6 Tilaaajien ympäristövaatimukset rakennushankkeissa

Diplomityötä varten rakennushankkeiden tilaajilta kysyttiin ympäristöasioista kolme kysymystä, jotka olivat ympäristövaatimukset rakennusurakoissa, rakennusten hiilijalanjäljenlaskenta ja ympäristösertifikaatit. Tilaaajilla tarkoitetaan tässä kontekstissa rakennushankkeiden tilaajia kuten kuntia tai yksityisiä kiinteistösijoittajia. Kysely (liite 4) toimitettiin sähköpostitse 25 osanottajalle, joista vastasi 12. Vastaaajista seitsemän on kaupunkia ja viisi on yrityksiä, jotka ovat yksityisessä omistuksessa tai julkisten organisaatioiden omistuksessa. Vastaaajien nimiä tai organisaatiota ei mainita tässä diplomityössä.

Ensimmäinen kysymys oli avoin kysymys, johon vastaajat saivat vastata omilla sanoilla, minkälaisia ympäristövaatimuksia tilaajilla on rakennushankkeissa. Kaupunkien ympäristövaatimukset keskittyvät jätteiden kierrättämiseen sekä melun ja tärinän vähentämiseen. Tyypilliset vastaukset olivat

*”Jätteiden osalta ei olla asetettu mitään erillistä tasoa mutta kaikissa asiakirjoissa kehoitetaan urakoitsijoita kierrättämään mahdollisimman paljon. Purkukohteissa kierrätysaste on ollut 90-95 %”*

*” Tarjouspyynnöissämme noudatamme voimassa olevia lakeja ja asetuksia ja esimerkiksi jätteiden kierrätyksessä tulee noudattaa myös kaupungin Jätehuoltojaoston päätöksiä.”*

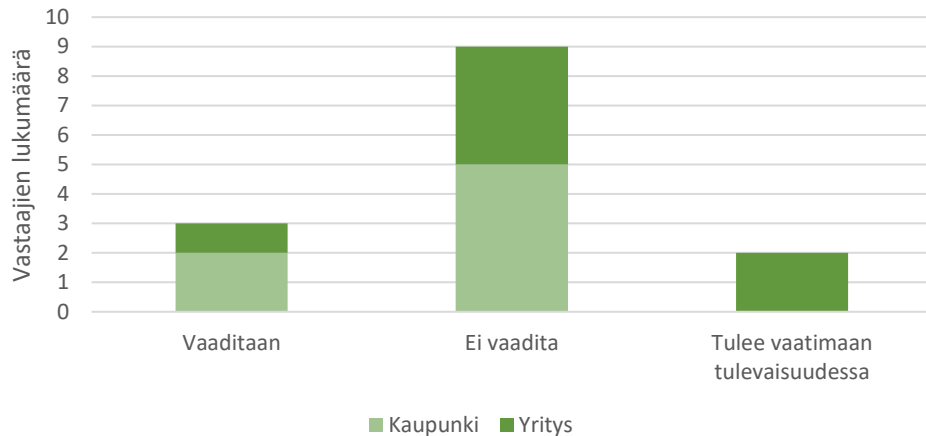
Kaksi kuntaa laittoi myös täysin samoilla sanoilla olevan viittauksen urakkaohjelmasta

*”Urakoitsijan tulee omassa työssään minimoida työmaan haitalliset ympäristövaikutukset, esim. ottamalla tuotteita valittaessa huomioon niiden käyttöikä, korjattavuus ja ympäristörasitus. Pääurakoitsijan on laadittava ennen työn aloittamista työmaata koskeva suunnitelma, jossa esitetään toimenpiteet tilaajan ympäristöä koskevien vaatimusten täyttämiseksi.”*

Vastaaajien joukossa oli poikkeuksia, jotka ottivat myös muita tekijöitä huomioon. Yksi kaupunki mainitsi, että he ovat pyrkineet hyödyntämään kohteiden sisäisiä maamassoja neitseellisten raaka-aineiden vähentämiseksi rakentamisessa sekä liikenteestä aiheutuvien päästöjen minimoimiseksi. Yrityspuolella kolme vastasi, että heidän ympäristövaatimukset pohjautuvat pääasiassa kaupallisten ympäristösertifikaattien asettamiin ehtoihin sekä kaupunkien asettamiin määräyksiin.

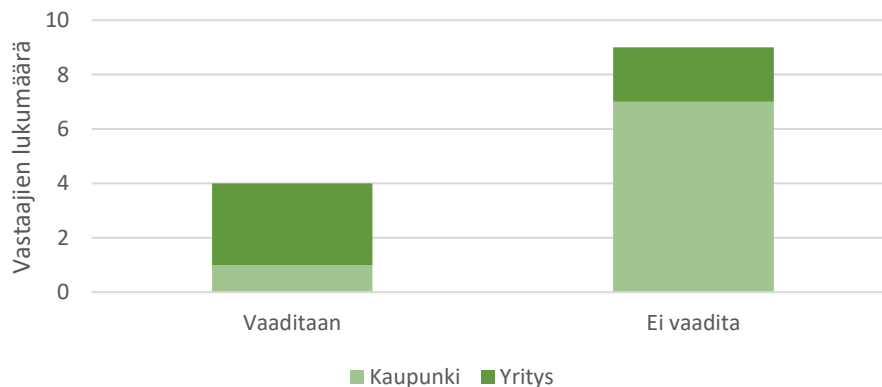
Toinen kysymys koski sitä, että vaaditaanko tarjouspyyntökohteissa rakennuksen hiilijalanjäljen laskemista. Kyselyyn vastanneista kolme vastasi, että heidän

kohteissaan tulee laskea rakennuksesta muodostuva hiilijalanjälki. Näistä kolmesta kaksi oli kaupunkia ja yksi oli yksityinen yritys. Kaksi ilmoitti, että heillä se tulee olemaan tulevaisuudessa vaatimuksena, mutta kyselyn vastaushetkellä ei ollut vaatimuksena. Suurin osa vastaajista, jotka vastasivat ei vaadita, ei perustellut omaa vastausta sen enempää. Yksi ei vaadita -vastaajista mainitsi, että he noudattavat lakia, jossa ei ole vielä kyseistä vaatimusta, jonka takia he eivät vaadi sitä myöskään. Kuvassa 9 on esitetty tulokset.



Kuva 9. Hiilijalanjäljen laskenta tilaajien rakennushankkeissa.

Kolmantena kysyttiin, vaaditaanko rakennusliikkeeltä rakennushankkeissa ympäristösertifikaatteja tai ympäristöjärjestelmää. Yrityksillä oli enemmän vaatimuksena ympäristösertifikaatteja rakennuskohteissa kuten LEED, BREEAM, Joutsenmerkki tai RTS-luokitus. Kolme kaupunkia, jotka vastasivat, etteivät käytä ympäristösertifikaatteja, kertoivat kuitenkin noudattavansa niissä olevia periaatteita tarjouspyyntöjensä laadinnassa. Yksi kaupunki mainitsi, että ei tarvitse kaupallisia ympäristösertifikaatteja markkinointimielessä, koska asiakkaat ovat kaupungin omia organisaatioita ja ympäristösertifikaatit eivät tuo lisäarvoa. Kaupunki, joka vaati RTS-luokitusta, ilmoitti, että ei käytä LEED- tai BREEAM-ympäristösertifikaatteja, koska siitä aiheutuu todentamisongelmia sertifikaattien vaatimusten suhteen. Kuvassa 10 on esitetty tulokset.



Kuva 10. Ympäristösertifikaattien vaatimukset.



### 3.7 Parkkihallien ja pysäköintilaitosten tarjouspyynnöt

Tämä alakappale käsittelee pelkästään parkkihalleihin kohdistuneita ympäristövaatimuksia. Osa näistä ympäristövaatimuksista saattaa kohdistua myös muihin kohdetyyppisiin, mutta niihin ei oteta tässä työssä kantaa.

Tutkittavat teemat kappaleessa ovat sähköautojen pysäköintiin liittyvät vaatimukset, polkupyöräpaikkojen määrät parkkihalleissa ja parkkihallien ympäristösertifikaatit. Teemat pohjautuvat Pysäköinti 2.0-hankkeessa mainittuihin tulevaisuuden trendeihin, jotka heijastuvat rakennusliikkeelle parkkihalleja urakoidessa ja ovat vertailukelpoisia muiden urakoiden välillä. Poliittiset ja kaupunkisuunnitteluun liittyvät asiat on jätetty pois, koska niihin ei voida vaikuttaa, kun parkkihalli on jo suunniteltu rakennettavaksi. (Vaismaa et al. 2019 s. 3-12).

#### 3.7.1 Sähköautojen pysäköintiä koskevat vaatimukset

Suomessa sähköautojen määrä on lisääntynyt viimeisen kymmenen vuoden aikana runsaasti, mutta määrä tulee vielä siitä moninkertaistumaan, jos ennusteet pitävät paikkansa. Suomessa oli vuonna 2010 23 sähköautoa yhteensä, ja vuonna 2018 sähköautoja oli 15 499. Tulevaisuuden arviot sähköautojen määrästä vuodelle 2030 vaihtelevat 250 – 800 000 välillä riippuen eri skenaarioista. Kansallisen energia- ja ilmastostrategian tavoite on 250 000 sähköautoa. ILMO 2045 -työryhmän raportissa on asetettu tavoitteeksi 670 000 sähköautoa vuoteen 2030 mennessä, jotta liikenteen kasvihuonekaasupäästöt voidaan poistaa 2045 mennessä. Sitran julkaisussa tavoite kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi on kasvattaa ladattavien sähköautojen määrää 800 000 autoon, jotta saavutetaan 60 prosentin päästövähennys vuoteen 2030 mennessä. GASELLI-tutkimushankkeessa, joka on VTT:n ja Motivan laatima tutkimushanke, on arvioitu täyssähköautojen määrän nousevan 80 000 ja ladattavien hybridien 290 000 ilman suurempia toimia. (Traficom 2019; Peltola et al. 2019 s. 5-6).

EU:ssa on laadittu rakennusten energiatehokkuusdirektiivi, jonka on tarkoitus tulla voimaan 2025. Taulukossa 4 on esitetty sähköautojen latauspisteiden vaatimukset. EU:n jäsenvaltioilla on mahdollisuus päättää erikseen kansallisella tasolla taulukossa mainittu säädetty määrä. Säädetty määrä voi olla kappalemääräinen tai prosentuaalinen määrä kaikista autopaikoista. Säädettyä määrää ei ole vielä päätetty Suomessa. Minimissään säädetty määrä voi olla vaikka yksi sähköautopaikka per ei-asuinrakennus. (Peltola et al. 2019 s. 10).

Taulukko 4. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin vaatimukset (mukaihen Peltola et al. 2019 s. 10)

Rakennukset, joiden latauspisteitä direktiivin toimeenpano koskee		Vaatimukset jäsenvaltioille
Uudet rakennukset ja laajasti korjattavat rakennukset	Ei-asuinrakennukset, joissa on yli 10 autopaikkaa	Vähintään yksi latauspiste. Vähintään joka viidenteen autopaikkaan tehdään sähköautopaikkavaraus
	Asuinrakennukset, joissa on yli 10 autopaikkaa	
Olemissa olevat rakennukset	Ei-asuinrakennukset, joissa on yli 20 autopaikkaa	Kiinteistöllä on oltava säädetty määrä latauspisteitä 1.1.2025 mennessä

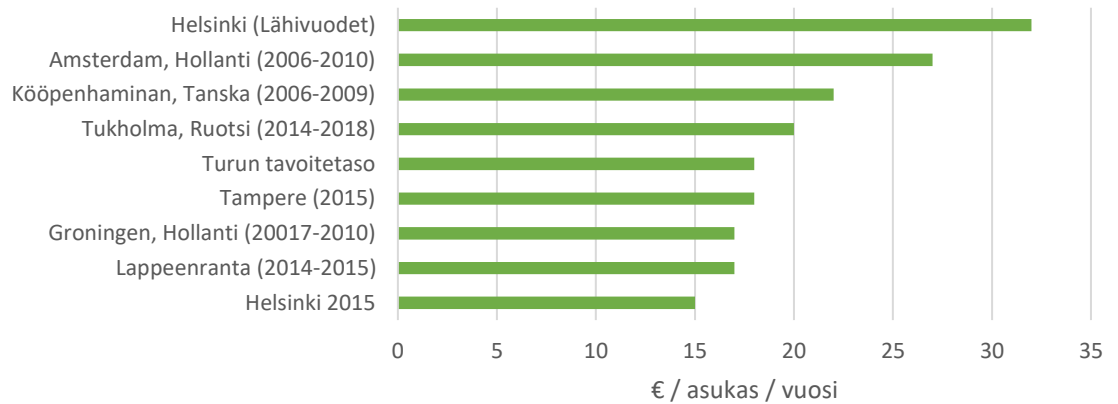
### 3.7.2 Parkkihallien ympäristösertifikaatit

Parkkihalleille on oma ympäristösertifikaattinsa, Parksmart, joka on lanseerattu 2014 International Parking Institutin toimesta. Sen ideana on luoda paremmin toimivia ja kestäväen kehityksen mukaisia parkkihalleja. Päätaoiteena on vähentää energian tarvetta valaistuksessa, ilmanvaihdossa ja parkkihallin operoinnissa. Osa-kohteena on järkevämät rakennustavat ja veden kulutuksen säästäminen (Gavin, J. 2018 s. 44-45). Sertifikaatin pisteytys koostuu useasta alalajista. Alalajeja ovat muun muassa paikallisen työvoiman ja -materiaalin käyttö, rakennusjätteen kierrätys, elinkaarikustannusten laskeminen, sähköautojen latauspisteet, viherkatot, aurinkopaneelit ja tehokkaampi talotekniikka. Tasoja on neljä, pioneer, bronze, silver ja gold. (Parksmart Scorecard 2016). Parksmart sertifioituja rakennuksia on Euroopassa tällä hetkellä yksi Serbiassa, mutta Yhdysvalloissa ja Kanadassa niitä on useampi (Parksmart 2019).

### 3.7.3 Polkupyöräpaikkojen suosiminen parkkihalleissa

Polkupyöräien käyttö on Suomessa ollut laskusuunnassa vuodesta 1998. Vuonna 1998 Suomessa päivittäisiä matkoja polkupyörällä tehtiin 11 prosenttia, kun taas 2016 vastaava luku oli 8 prosenttia. Lasku on ollut tasaista. (Liikennevirasto 2012; Liikennevirasto 2018). Polkupyöräilyyn on kuitenkin kiinnitetty huomiota kaupunkien poliittisissa suunnitelmissa, joista esimerkkinä on Helsingin kaupungin laatima pyöräilyn edistämisohjelma (Helsingin kaupunki 2014) sekä Turun kaupungin laatima pyöräilyn kehittämisohjelma 2029 (Turun kaupunki 2016). Helsingin kaupungin taioitteena on kasvattaa pyöräily kulkumuotona 10 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä. 2010-2011 taso oli 6 prosenttia. (Helsingin kaupunki 2014 s. 6). Turun kaupungin taioitteena on kasvattaa pyöräilyä 2 prosentilla vuosittain. Pyöräilyn kasvattamisella on myös taioitteena tukea Hiilineutraali Turku 2029-taioitetta. Pyöräilyyn on myös investoitu ja investoidaan suurempia määriä rahaa tulevaisuudessa. (Turun kaupunki 2016 s. 10-13). Kuvassa 11 on eri eurooppalaisten

kaupunkien budjetteja, jotka on suunnattu pyöräilyyn.

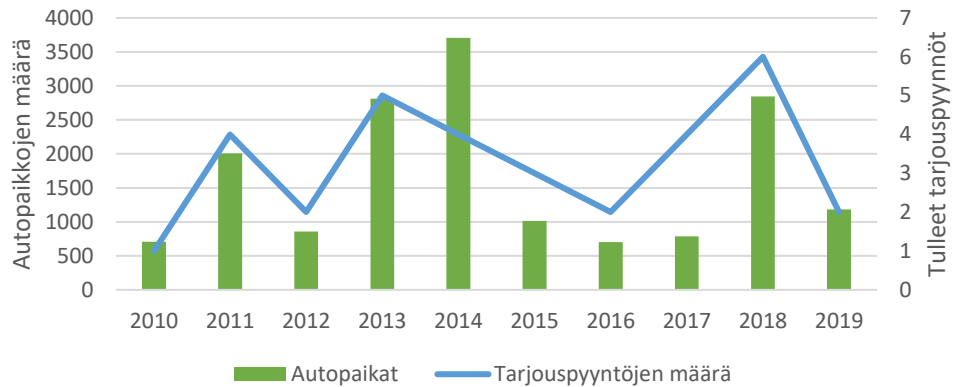


Kuva 11. Eurooppalaisten kaupunkien pyöräilybudjetteja (Turun kaupunki 2016 s. 13).

Suuremmilla pyöräilyinvestoinneilla kasvatetaan pyöräilyn määrää, joka tarkoittaa, että pyöräpaikkoja tarvitaan myös lisää. Jos pyöräilijöiden määrä Helsingissä nousee kuudesta prosentista 10 prosenttiin, tarkoittaa se pyöräilijöiden määrässä noin 26 000 uutta pyöräilijää, jos Helsingin väkiluku on 648 042. (Mäki & Vuori 2019 s. 2; Helsingin kaupunki 2014). Tulevaisuudessa kasvavat polkupyöräilymäärät vaativat lisää polkupyöräparkkipaikkoja keskustoissa ja ruuhkaisilla paikoilla. Esimerkkeinä polkupyöräpysäköinneistä on Helsingissä Odensen, jossa pysäköintitalosta poistettiin 32 autopaikkaa, jotta tilalle saatiin 800 pyöräpaikkaa kasvaneen polkupyöräpaikkojen kysynnän takia ja Tripla-kauppakeskus, jonne tulee 3400 polkupyöräpaikkaa autopaikkojen lisäksi. (Helsingin kaupunki 2014 s. 38; YIT 2018).

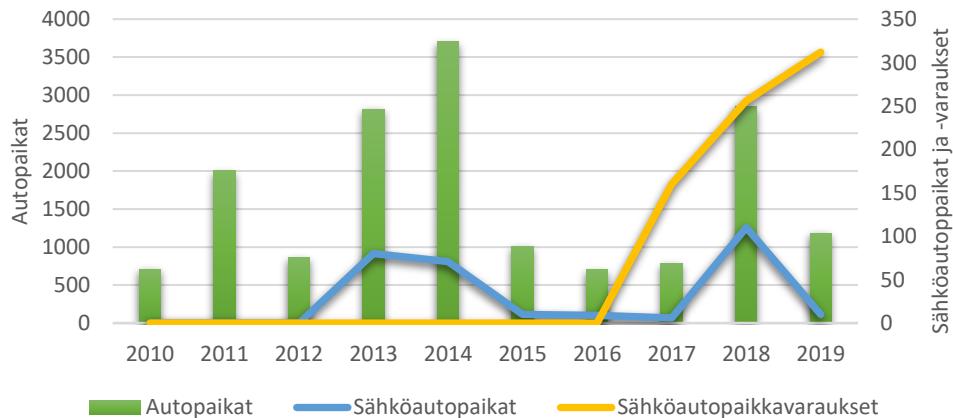
### 3.7.4 Parkkihallien tarjouspyyntöjen ympäristövaatimukset, polkupyöräpaikat ja sähköpaikat

Tätä työtä varten käytiin lävitse kohdeyritykselle tulleita tarjouspyyntöjä parkkihallista ja pysäköintilaitoksista vuosilta 2010-2019. Tarjouspyynnöt olivat pelkästään kohdeyrityksen ulkopuolelta tulleita, eikä sisäisiä tarjouspyyntöjä ole otettu huomioon lainkaan. 2019 tulleet tarjoukset rajoittuvat heinäkuuhun asti. Tarjouspyyntöjä löytyi järjestelmästä yhteensä 33. Ympäristösertifikaattivaatimuksia ei ollut yhdessäkään kohteessa. Parkkihallit sijaitsivat pääasiassa pääkaupunkiseudulla, mutta mukana on myös muualta päin Suomea, kuten Joensuusta, Turusta ja Jyväskylältä. Parkkihallien käyttötarkoitukset vaihtelivat toisistaan paljon. Osa tuli sairaaloiden viereen, kun taas osa lähiöiden aluepysäköintiä varten. Todellisuudessa tarjouspyyntöjä on voinut tulla enemmän kuin 33, mutta niitä ei ollut saatavilla. Tutkittavana kohteena oli autopaikkojen määrä, sähkölatauspisteiden määrä suhteessa autopaikkoihin, polkupyöräpaikkojen määrä, ympäristövaatimukset rakentamiselle ja onko tulevaisuudessa varauduttu sähköautoihin. Kappaleen taulukot on muodostettu tarjouspyyntöaineistoista. Osassa kohteista on voitu tehdä jälkikäteen sähköautojen latauspaikkoja tai polkupyöräpaikkoja, mutta niitä ei ole huomioitu, koska kohdeyritys ei ole toteuttanut kaikkia kohteita, minkä takia kaikkia urakan aikaisia muutoksia ei voi tietää. Kuvassa 12 on esitetty tarjouspyyntöjen määrät eri vuosina sekä toteutuneiden parkkipaikkojen määrä.



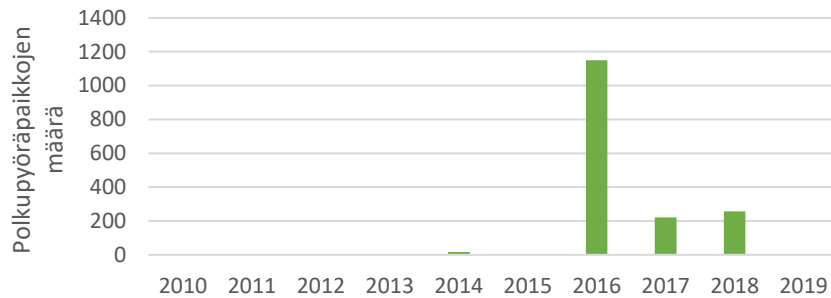
Kuva 12. Toteutuneiden kohteiden hajonta vuosien 2010-2019 välillä.

Kuvassa 13 esitetään, miten sähköautojen latauspisteiden määrä on kehittynyt vuosina 2010-2019. Sähköautopaikkojen varaukset tarkoittavat, että latauspaikkaa ei ole tehty valmiiksi, mutta pysäköintipaikkojen yläpuolelle on tuotu valmiiksi tekniikka, jotta kytkentä on nopeasti suoritettavissa. Varauksien avulla ennaltaehkäistään se tilanne, että sähköautojen määrän kasvaessa jouduttaisiin uusimaan sähköjä latauspalveluiden tuottamista varten. (Motiva 2018b). Tarjouspyyntöjen osalta on nähtävissä trendiä, että vaikka sähköautoihin ollaan varautumassa, paikkoja ei olla vielä valmiita tekemään, kuva 13. 2013 yhdessä kohteessa oli maininta, että varaudutaan sähköautoihin, mutta määrää ei ollut ilmoitettu lainkaan, jonka takia kyseinen kohta on tyhjä.



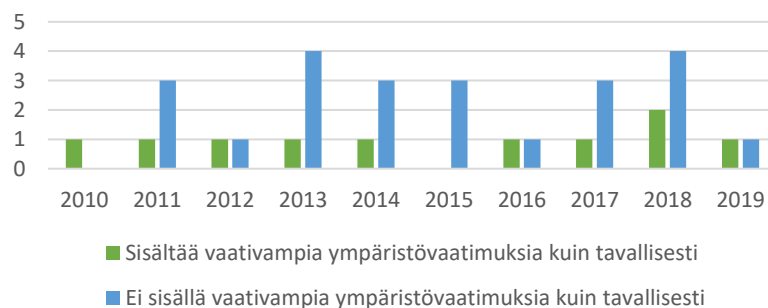
Kuva 13. Sähköautopaikkojen ja sähköautopaikkavarausten kehitys vuosina 2010-2019

Kuvassa 14 esitetään pyörille varatut paikat parkkihalleissa. 2016 näkyy isona tilastollisena poikkeuksena kuvassa, koska silloin tuli tarjouspyyntö kohteessa, jossa oli paljon polkupyöräpaikkoja. Muuten on pientä kasvua havaittavissa viime vuosina polkupyöräpaikkojen määrissä. Taulukko heijastaa tilastoja ihmisten liikkumisesta ja pyöräilyyn kohdistuneista investoinneista. Pyöräily oli laskussa ainakin vuoteen 2016 asti tilastojen valossa, mutta uusien pyöräilyntukiohjelmien kautta polkupyörien pysäköintitilat saattavat olla kasvussa parkkihalleissa.



Kuva 14 Polkupyöräpaikkojen määrä tarjouspyynnöissä.

Ympäristövaatimusten määrittäminen parkkihalliprojekteissa on vaikeaa siinä mielessä, että ei ole mitään standardia tai tarkkaa määritelmää siitä, mikä on vaativa tai helppo ympäristövaatimus. Kuvassa 15 käsitellään ympäristövaatimuksia. Ympäristövaatimuksilta vaativampi kohde on silloin, kun kohteessa pitää laatia tarkka ympäristösuunnitelma, jossa selvitetään melu, pöly, värinä, jätteiden loppusijoitus, työmaan julkisivun huomioiminen tai kierrätys. Melun, pölyn tai värinän huomioimisella viitataan normaalista poikkeavien työtapojen tarpeellisuuteen haittojen vähentämiseksi. Osassa projekteista myös vaadittiin normaalia tiukempaa jätteiden seuranta ja lajittelua sekä yhdessä projektissa oli vaatimuksena muiden jätteiden kuin maa-ainesten 70 prosenttinen hyötykäyttö. Työmaan julkisivuvaatimuksella tarkoitetaan vaatimusta kohteen normaalista siistimmästä julkisivusta, jotta kohde ei pilaa esimerkiksi maisemaa rakentamisen aikana. Yhdessäkin työmaassa ei ollut vaatimuksena seurata kasvihuonekaasupäästöjä. Tuotteiden elinkaari piti ottaa lähes kaikissa kohteissa huomioon, mutta mitään esitystapaa ei velvoitettu esittämään kohteissa, jonka pohjalta voitaisiin määritellä elinkaaren näkökulmasta tuotteen taso. Kuvan 15 pohjalta voi todeta, että mitään selvää trendiä ei ole ympäristövaatimusten osalta kohteissa, vaan ne ovat tapauskohtaisia. Selvästi vaativammat ympäristövaatimukset oli ainoastaan yhdessä kohteessa, jossa piti pohtia rakennusmateriaalien ja jätteiden hyötykäyttöä.



Kuva 15. Ympäristövaatimukset kohteissa.

## 4 Parkkihalliprojektien ympäristövaikutukset

Kappale käsittelee parkkihallien rakentamis- ja käyttövaiheen ympäristövaikutuksia ja lopuksi esitetään case-kohteista muodostuva hiilijalanjälki. Ensimmäisessä ja toisessa alakappaleessa käsitellään parkkihallien ympäristövaikutuksia, joihin on otettu huomioon muutkin tekijät kuin hiilijalanjälki. Kolmas alakappale käsittelee Case-kohteita ja niistä tehtyä hiilijalanjäljen analysointia.

### 4.1 Parkkihalliprojektien rakentamisesta muodostuvat ympäristövaikutukset

Maan päälle rakennettavien parkkihallien pääasiallinen rakennusaine on betoni. Betoni toimii runkoaineena, koska se on paloturvallinen, kestävä ja täyttää lujuusvaatimukset. Jotta betonirakenteet toimivat, tarvitsee se terästä. Teräs voidaan jännittää pidempien jännevälien saavuttamiseksi. (Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2017; RT 98-11237 2016 s. 13).

#### 4.1.1 Pohjarakentaminen

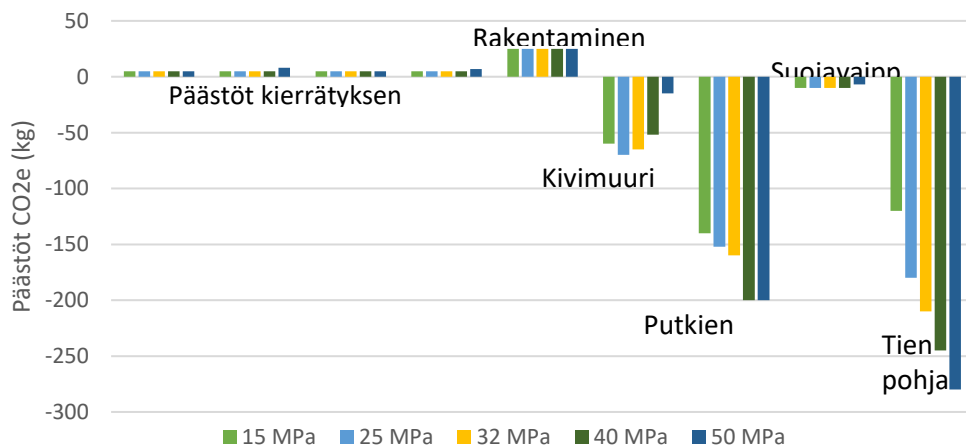
Pohjarakentamisella tarkoitetaan maanpinnan alapuolisten rakenteiden valmistamista ja tekemistä, joita ovat esimerkiksi rakennuksen perustukset, kuivanapitorakenteet ja maanvastaiset seinä- ja lattiarakenteet. Niihin liittyvät työt ovat kaivuu-, louhinta-, tuenta-, kuivanapito-, tiivistys- ja lujitustyöt. (Ympäristöministeriö 2004 s. 2). Pohjarakentamisen suuruus ja sen ympäristövaikutukset ovat aina tapauskohtaisia. Huonolla maapohjalla, jossa on huono kantavuus, joudutaan tekemään vahvemmat perustukset sekä enemmän maanrakennustöitä, jotka kasvattavat muun muassa kasvihuonekaasujen, jätteiden ja melun määrää. Piha-alue voidaan joutua myös stabiloimaan, joka kasvattaa pohjarakentamisen ympäristövaikutuksia. (Ruuska & Häkkinen 2013b s. 8-14; Ruuska et al. 2013a s. 15-16). Maankaivuussa maa-aines ei tuo itsessään juurikaan kasvihuonepäästöjä, vaan kasvihuonepäästöt muodostuvat koneista, joilla suoritetaan kaivaminen sekä kuljetuksesta (Detternborn et al. 2018 s. 10 ja 19). Paalutuksesta muodostuvia haittoja päästöjen lisäksi ovat maanpinnan painuminen tai kohoaminen ja siirtyminen, maakerrosten häiriintyminen ja huokosvedenpaineen kasvu sekä tärinä ja melu (Tielaitos 1999).

#### 4.1.2 Betoni

Betoni koostuu sementistä, vedestä ja kivistä (Betoniteollisuus Ry 2019). Sementti on maailmanlaajuisesti iso kasvihuonekaasupäästöjen tuottaja. Collins (2013 s. 331) mukaan sementti tuottaa noin seitsemän prosenttia maailman kaikista kasvihuonepäästöistä. Betonissa suurin kasvihuonepäästöjen tuottaja on sementti, joka tuottaa 60-80 prosenttia betonirakenteiden päästöistä. Raudoitus on seuraavaksi suurin 10-25 prosentin osuudella ja sähkö- ja lämpöenergia 5-20 prosentin osuudella. Betonista on suurin osa vettä ja kiviaineksia, jotka eivät tuota juurikaan kasvihuonepäästöjä. (Punkki et al. 2010 s. 47). Betonin valmistuksen lisäksi päästöjä muodostuu, kun betoni viedään työmaalle ja valetaan tai asennetaan, jos betonista on tehty valmiselementti. Kun betoni on valettu elementiksi, muodostuu kuljetusten

aiheuttamista päästöistä betonirakenteisissa pilari-palkkihalleissa 3 prosenttia kasvihuonekaasuja koko betonielementtien tuotannosta, kun kuljetusmatka on 100 kilometriä. Suomessa keskimääräinen kuljetusmatka betonielementille on 200 kilometriä. (Pikkuvirta et al. 2015 s. 64). Betonirakenteiden sementtimäärään voidaan vaikuttaa tavoitetulla lujuudella. Mitä lujempi betonirakenne on, sitä enemmän se tarvitsee sementtiä. Lujemmalla betonilla on pidempi elinkaari tavalliseen verrattuna ja sen tiheys on suurempi, jonka takia betonin kokonaismäärä on vähäisempi. Ranskassa tehtiin silta, jossa käytettiin korkean lujuusluokan betonia tavallisen sijaan. Tämän avulla saavutettiin 50 prosentin vähennykset kasvihuonekaasupäästöihin. Korkean lujuusluokan betoni ei ole kuitenkaan aina järkevää taloudellisista ja teknisistä syistä, vaan lujuusluokka tulee valita tapauskohtaisesti. (Pacheco-Torgal et al. 2014 s. 244).

Betonista muodostuva hiilijalanjälki ei ole kuitenkaan niin yksinkertaisesti lasketavissa, että voitaisiin laskea pelkästään materiaalista muodostuva kasvihuonekaasujen määrä. Betonissa tapahtuu karbonatisoitumista, jossa kemiallisessa reaktiossa osa hiilidioksidista sitoutuu rakenteeseen. Karbonatisoituminen on hidaskäyttöprosessi, joka alkaa rakenteen pinnalta ja menee syvemmälle rakenteeseen. Parhaiten karbonatisoituminen tapahtuu, kun betonirakenne kierrätetään eli puretaan, murskataan ja otetaan uusiokäyttöön, koska silloin rakenne ei ole niin tiivis ja se sitoo paremmin kasvihuonepäästöjä. Kuvassa 16 on esitetty betonin kierrätyksestä saadut hyödyt, kun betonia käytetään eri käyttökohteissa kuten kivimuurissa, suojavaipeissa ja tienpohjassa. Negatiiviset arvot ovat hiilikädenjälkiä ja positiiviset arvot kasvihuonekaasupäästöjä. (Collins 2013 s. 330-342; Xi et al. 2013 s. 880-881; RT 82-10604 s. 5).



Kuva 16. Betonin kierrätyksestä saatu hyöty (mukaillen Collins, F. 2013 s. 341).

Karbonatisoitumisen hyödyistä on esitetty useampia laskelmia. Kjellssén et al. (2005 s. 7) tutkimuksen mukaan Skandinaviassa 30 prosenttia sementin tuottamasta kasvihuonepäästöistä imeytyy karbonatisoitumisen aikana betonirakenteisiin. Xi et al (2013 s. 880) tutkimuksen mukaan vuosina 1930-2013 43 prosenttia sementin tuottamasta kasvihuonepäästöistä on imeytynyt betonirakenteisiin karbonatisoitumisen takia.

Karbonatisoituminen ei kuitenkaan ole pelkästään positiivinen reaktio, koska sen takia betonissa oleva rauditus ruostuu. Ruostunut teräs on tilavuudeltaan

suurempi, joka aiheuttaa betonin halkeilun ja lohkeilun, terästen tartunnan heikkenemisen ja rakenteen kapasiteetin pienenemisen. Karbonatisoitumista voidaan hidastaa rakenteessa rakenteen tiiveydellä, betonin määrällä ja oikealla vesisementtisuhteella. (RT 82-10604 s. 5).

Betonirakenteen parhaita puolia on kestävyys, pitkä elinkaari, vähäinen haitta-aineiden määrä ja kierrätettävyys, mutta haittapuolena on sen korkea energian käyttö sekä suuri neitseellisten raaka-aineiden käyttö. Kierrätyksen haittapuolena on, että sitä betonia saa muutettua takaisin samaan muotoon ilman suurta määrää energiaa. (Pacheco-Torgal et al. 2014 s. 239-240).

#### 4.1.3 Teräs

Teräs on betonin lisäksi toinen tärkeä materiaali parkkikhalleissa. Parkkikhalleissa käytetään terästä julkisivujen verhoiluissa, kantavina rakenteina sekä vahvistamassa betonia harjateräksen muodossa. Teräs on kestävä rakennusmateriaali, mutta ulkotiloissa se tulee suojata korroosiolta ja kantavana rakenteena se tulee palosuojata (RT 82-10765 2001 s. 9).

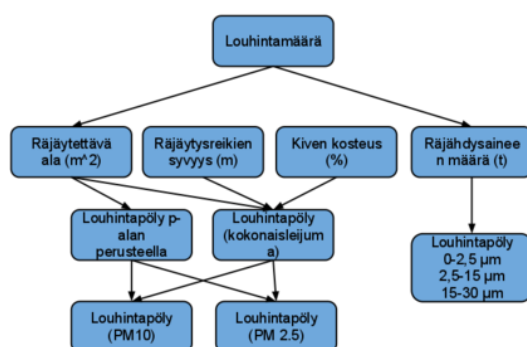
Terästuotanto muodostaa noin 4-5 prosenttia koko maailman kasvihuonepäästöistä. Terästuotanto on äärimmäisen energiantensiivistä. Esimerkiksi Kiinan terästuotannossa 90 prosenttia kasvihuonepäästöistä muodostuu energian käytöstä. (Jing et al. 2014 s. 165). Tuotannon ympäristövaikutuksia kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi ovat metallihiukkasten pääsy ilmaan, melu teräksen valmistamisesta, päästöt veteen ja muodostuneet jätteet (Metallinjalostajat Ry 2014 s. 106). Terästuotannon jätteen määrä on vähäinen, koska teräs on helposti kierrätettävää materiaalia. Maailmassa 1,6 miljardin terästonnin valmistuksesta käytetään lähes 7000 miljoonaa tonnia kierrätysterästä. Teräksen valmistuksen sivutuotteita ovat kuonat, valssihilseet ja jätelämpö. Kuonia voidaan käyttää betoninvalmistuksessa sekä maa- ja tierakentamisessa. Jätelämpöä voidaan hyödyntää esimerkiksi kaukolämmön jakelussa. (Metallinjalostajat Ry 2014 s. 107-108).

Teräksestä muodostuva hiilijalanjälki on selvästi korkeampi kuin betonin tai puun (RTS19-21 2019 s. 11), mutta Su et al. (2016 s. 328) tutkimuksen mukaan teräsrunkoisen rakenteen kasvihuonepäästöt ovat matalammat kuin betonirunkoisen rakenteen. Teräsrakenteisessa rungossa kerrosala ei tuo niin paljon lisää kasvihuonepäästöjä kuin korkeuksien lisääminen, koska korkeuden takia joutuu tekemään vahvemmat ja paksummat rakenteet, jonka takia kasvihuonepäästöjen määrä kasvaa rakennuksessa (Su et al. 2016 s. 328-329).

#### 4.1.4 Louhinta

Parkkikhalleja rakentaessa voidaan joutua louhimaan, jos parkkihalli tehdään kallion sisälle tai jos maapohjana on kalliota, jota täytyy muokata esimerkiksi kellarikerrosta varten. Louhintatyö saattaa vaatia ympäristöluvan sekä melu- tai ilmansuojeluilmoituksen erityisen häiritsevästä melusta (Olin 2015 s. 90-91). Melun lisäksi louhinnasta muodostuu haitallista pölyä (Opasnet 2013). Pölyn muodostuminen louhinnassa on esitetty kuvassa 17.





Kuva 17. Louhinnasta muodostuva pöly (Opasnet 2014).

#### 4.1.5 Varustelu ja talotekniikka

Parkkihallien varustelu ja talotekniikka vaihtelee rakenneratkaisujen mukaan. Parkkihalleissa ei tarvita koneellista ilmanvaihtoa, jos ulkoseinästä on 30 prosenttia avointa tai kerroksissa on 10 prosenttia aukkoja kunkin kerroksen lattiapinta-alasta. (Ympäristöministeriö 2003 s. 28). Läpituuletus avoimissa parkkihalleissa pyritään rakentamaan kohdistamalla aukot vastakkaisille seinille ilmanvaihdon parantamiseksi. Suljetuissa parkkihalleissa tulee olla koneellinen ilmanvaihto, joka voi olla ohjattu esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuden tai ilman kosteuden mukaan. Valaistuksen taso ei vaihtelee eri parkkihalliratkaisuissa, vaan ne ovat hyvin samanlaisia kaikissa. Varustetasossa voi olla vaihtelua riippuen sähköautoille varatusta määrästä. Maanlaisissa parkkihalleissa tulee olla myös puhelinpalvelu. Parkkihalleissa tulee olla viemärit, vesijohto ja hiekan-, öljyn- sekä bensanerottimet, jotta epäpuhtaudet eivät mene kaupungin verkkoon. Jos parkkihalli on lämmittämätön, niin vesijohto tulee olla tyhjennettävissä. (RT 98-11237 2016 s. 13-14).

Osa parkkihallien talotekniikkaa on nykyään sähköautojen latausjärjestelmät. Sähköautojen omistajilla ei ole aina omaa parkkipaikkaa tai mahdollisuutta ladata autoa kotona, jonka takia ihmiset lataavat autojansa muualla kuten yleisillä parkkihalleilla ja työpaikkojen pysäköintialueilla. Sähköautot kuormittavat sähköverkkoa ja se tulisi ottaa huomioon parkkihallia suunniteltaessa. (Faddel et al. 2018 s. 1992-1993). Suunnitteluun tulee ottaa huomioon EU:n 2025 voimaan tuleva rakennusten energiatehokkuusdirektiivi, jossa on määritelty kolme tavoitetasoa sähköautojen latauspaikoista, jotka ovat suppea, keskite ja edistysellinen. (Peltola et al. 2019 s. 10). Laajempi sähköverkko kasvattaa talotekniikan osuutta parkkihalleissa ja nostaa sähkönkulutusta sekä siitä muodostuvia päästöjä. Kokonaisvaltaisesti sähköautojen vaikutukset ilmastoon saattavat olla vähäisemmät, mutta ne näkyvät parkkihallien rakentamisessa kasvaneena vaikutuksena, jos sähkön joutuu ostamaan verkosta eikä ole käytössä omaa uusiutuvaa sähkötuotantoa. (Brandt et al. 2016 s. 488-489).

#### 4.1.6 Rakennustyömaan aikaiset ympäristövaikutukset

Rakennustyön aikaiset ympäristövaikutukset ovat aina tapauskohtaisia, koska niistä

muodostuu eri määrä melua, energiantarvetta, päästöjä ja jätteitä. Ruuska & Häkkinen (2013b s. 79-80) on esittänyt tutkimuksessaan kerrostalotyömaan työnaikaista energiakulutusta, jossa työmaan energian kulutus on keskimäärin ollut 100 kWh/brm<sup>2</sup>. Vaihteluväli on ollut 50-150 kWh/brm<sup>2</sup>. Ruuska & Häkkinen (2013b s. 79-80) tutkiman työmaan energia on jakautunut sähköenergian kulutukseen (41,1 kWh/brm<sup>2</sup>), kaukolämpöön (21,8 kWh/brm<sup>2</sup>) ja maansiirtotöiden dieseliin (32 kWh/brm<sup>2</sup>). Kahden vertailutyömaan sähköenergian kulutus on ollut 42,1 ja 46,0 kWh/brm<sup>2</sup>, kaukolämpö 32,5 ja 57,7 kWh/brm<sup>2</sup> ja maanrakennuksessa ei ollut eroa. Sähköenergia jakaantuu työmaaparakkien lämmitysenergiaan (41 prosenttia), rakennuksen valaistukseen (28 prosenttia), nostoihin (4 prosenttia) ja muuhun sähkönkulutukseen (28 prosenttia). Kaukolämmön vaihtelut riippuvat talven pakkasmäärästä. (Ruuska & Häkkinen. 2013b s-79-80). Muina laskelmina on esimerkiksi tehty Tuupalan puukouluun hiilijalanjäljen laskenta, jossa todettiin työmaanaikaisissa tehtävissä muodostuvista kasvihuonekaasuista 88 prosenttia muodostuvan työmaatoiminnoista ja 12 prosenttia kuljetuksista työmaalle (LCA Consulting 2018).

Parkkihallirakentamisen energiankulutus on matalampaa kuin kerrostalotyömaalla, koska niissä ei ole niin paljoa työnaikaista lämmitystä kuivatusta varten. Meluhaitat kerrostalotyömaalla ja parkkihallia rakentaessa ovat hyvin samanlaiset.

## 4.2 Parkkihallien käytöstä muodostuvat ympäristövaikutukset

Toimivilla pysäköintipolitiikalla voidaan saavuttaa palveluiden saatavuutta paremmaksi, madaltaa käytettyä aikaa parkkipaikan etsimiseen, vähentää pakokaasupäästöjä, melua ja energiakulutusta sekä tehostaa kaupunkitilan käyttöä (Kalenoja & Häyrynen 2003 s. 3). Jos parkkipaikat ovat ilmaisia kadunvarsissa tai saman hintaisia kuin parkkihalleissa, hakevat ihmiset mieluummin parkkipaikan kadulta, koska ihmiset mieltävät ne käytännöllisemmiksi. Parkkipaikan etsiminen kadulta tuottaa kuitenkin usein turhaa ajoa, josta muodostuu kustannuksia ylimääräisestä ajosta sekä menetetyistä ajasta. Esimerkiksi Los Angelesissa Westwood Villagen alueella, parkkipaikan etsimisen takia ihmiset ajavat vuodessa 950 000 kilometriä ylimääräistä, kuluttavat 180 000 litraa bensaa ja tuottavat 730 tonnia kasvihuonepäästöjä, kun he etsivät parkkipaikkaa kaduilta. (Čuljković 2018 s. 706-707).

Parkkihallien rakentamisella voidaan muokata kaupungeissa muodostuvaa melua. Kunkun parkin ympäristövaikutusten arviointimenetelmässä on todettu, että ajoramppien alueella, joista autot poistuvat, nousee melutaso, mutta muuten melutaso laskee, koska autojen määrän oletetaan laskevan keskustassa (Tampereen kaupunki 2015 s. 73, 128). Samassa arvioissa on todettu, että maanalaisella parkkihallilla voidaan tuoda Tampereen kaupungin saatavuutta paremmaksi, koska Hämeentielle ollaan kieltämässä autoilu kokonaan raidehankkeen takia, mutta parkkihallin kautta voidaan saavuttaa silti kaupungin keskusta (Tampereen kaupunki 2015 s. 128).

Jos parkkihalli on lämmitetty yli +5 celsius asteen, voidaan sen avulla poistaa auton kylmäkäynnistyksestä muodostuvat haitat. Auton kylmäkäynnistyksellä tarkoitetaan tilannetta, jossa ulkoilman lämpötila laskee alle +5 celsius -asteen, jolloin auto tulisi esilämmittää (Liikenneturva 2018). Palamattomien hiilivetyjen määrä laskee yli puolella, kun moottori on lämpimämpi sekä dieselin kulutus laskee lähes 10

prosenttia. Bensalla vastaava säästö on neljä prosenttia. (Rautalin & Nuottimäki 2013 s. 29-30).

Parkkihalleissa yleisin rakenteellinen korjauskohta on pintalattiat, jotka ovat kovalla rasituksella. Lattian uusimisväli on 25 vuotta, mutta osa suosittelee kevyempiä korjauksia 5-10 vuoden välein. (Martsinen 2017 s. 76-78; Punkki 2017 s. 71). Parkkihallien rungon pitäisi olla huoltovapaa, ellei jotain rakenteellista virhettä ilmene. Rungon yleisimmät ongelmat johtuvat säilyvyysvauroista, jotka muodostavat ilmetessään vakavan ongelman kustannusten ja työllistävyyden takia. (Vuori et al. 2005 s. 3) Rungon tekninen käyttöikä on normaalisti 50 tai 100 vuotta (Punkki 2017 s. 66). Pysäköintihallien lattioiden ja ramppien huoltovälit sekä pinnoitteet on listattu liitteeseen (Liite 5). Muiden rakenteiden korjaustarpeet vaihtelevat käytettävistä materiaaleista ja rakenneratkaisuista kuten onko ilmanvaihtoa vai ei. Teräsjulkisivun käyttöikä voidaan vaikuttaa materiaalivalinnalla ja maalin paksuudella. Käyttöiät alkavat 15 vuodesta ja erilaisten huoltotoimenpiteiden avulla voidaan saavuttaa jopa 110 vuotta. Käyttöikä voidaan vaikuttaa alueen ilmasto, teräksen korroosio- paksuus ja tehdyt huollot. (Vares et al. 2008 s. 39-40, 59-60).

Parkkihallien ylläpitoon kuuluu pintojen puhdistus ja betonin vedenpitävyyden varmistaminen (ACI 2002 s. 37-38). Sisäpintojen puhdistuksessa suurimpia ongelmia tuottaa autojen mukana tuleva lika, joka jää parkkihalliin. Ongelma on suurempi silloin, kun parkkihalli on sijoitettu maan alle tai siinä on umpinaiset seinät, koska silloin tarvitaan ilmanvaihtoa. Ilmanvaihtoa joudutaan huoltamaan autoista muodostuvien saasteiden takia. Betonin vedenpitävyys on olennaista kallioparkeissa, jossa kalliosta vuotava vesi pitää sisällään usein erilaisia mineraaleja, jotka aiheuttavat vauriota autoille. (Keskinen 2019). Parkkihallien huollonaikainen energian tarve ja päästöt ovat noin 10 prosenttia parkkihallin rakentamiseen tarvittavasta energiasta ja siitä muodostuneista päästöistä (Chester et al. 2010 s. 2).

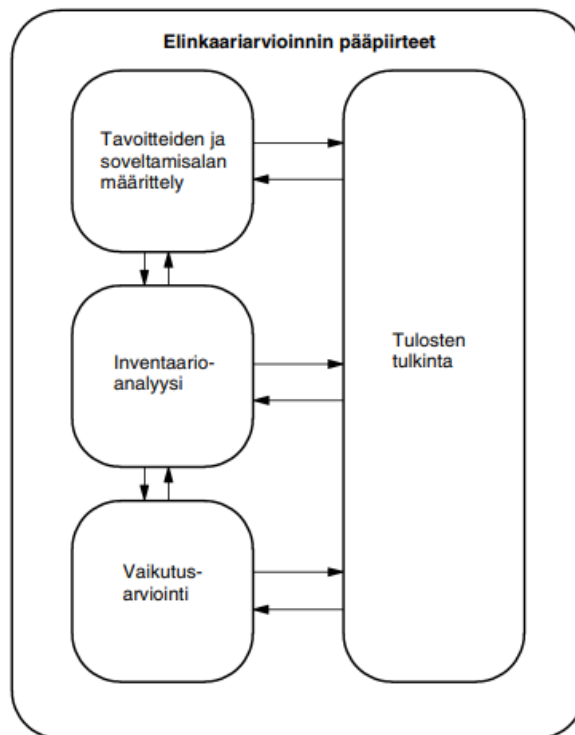
Parkkihallien elinkaaren aikana muodostuvat kasvihuonekaasut koostuvat pääasiassa talotekniikan käyttämästä energiasta, rakennuksen korjaustöistä sekä käyttäjistä. Käyttäjät muodostavat suurimman osan kasvihuonekaasupäästöistä, koska käyttäjät saapuvat autoilla. Ympäristön kannalta parkkihallien negatiivisin vaikutus on kannustaminen yksityisautoiluun, koska parkkihallit mahdollistavat tehokkaamman autojen parkkeerauksen. Yksityisautoilua voidaan rajoittaa luomalla kimppekyytipaikkoja tai käyttämällä korkeampi hintoja tiettyinä ajanjaksoina. (Yoka 2014 s. 9-11).

### 4.3 Case-parkkihallien ympäristövaikutukset

Case-parkkihallit ovat projekteja, joissa kohdeyritys on ollut osallisena ainakin tarjouspyyntövaiheessa. Parkkihallit ovat toisistaan poikkeavia rakennustavaltaan. Yksi on maan päällä, toinen on osittain maan alla ja kolmas on kallion sisään rakennettu. Kaikki case-kohteet sijaitsevat pääkaupunkiseudulla. Case-kohteiden ympäristövaikutuksista selvitetään tässä tutkimuksessa hiilijalanjälki, koska kohdeyrityksen strategiaan kuuluu hiilijalanjäljen seuraaminen ja sen madaltaminen. Hiilijalanjälki selvitetään elinkaariarvioinnilla.

### 4.3.1 Elinkaariarviointi

Elinkaariarviointi on menetelmä, jossa arvioidaan tuotejärjestelmän esimerkiksi rakennuksen koko elinkaaren aikana tuottavat ympäristövaikutukset (SFS-EN 15804+A1 2014 s.14). Elinkaariarvion vaiheet on esitetty kuvassa 18. Ensimmäinen vaihe on tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely. Tavoitteissa määritellään, mihin käyttötarkoitukseen, kenelle ja minkälainen levikki on elinkaariarvion tekemisellä. Tämän diplomityön elinkaariarvion käyttötarkoitus on kasvattaa kohdeyrityksen omaa tietoa parkkihallien hiilijalanjäljestä ja levikki on tarkoitettu kohdeyrityksen sisäiseen tietoon. Soveltamisalan määrittely sisältää muun muassa rajat, rajoitukset, valitut vaikutusluokat, vaikutusarvioinnissa käytetyt menetelmät, tutkitavan tuotejärjestelmän, olettamukset, lähtötiedon laatuvaatimukset ja selvityksestä vaadittavan raportin tyyppin. Diplomityön elinkaariarvion soveltamisalan määrittely on seuraavassa alakappaleessa ”Laskentarajaukset ja -menetelmä”. (SFS-EN ISO 14040 2006 s. 30-32).



Kuva 18. Elinkaariarviointi (SFS-EN ISO 14040. 2006 s. 24).

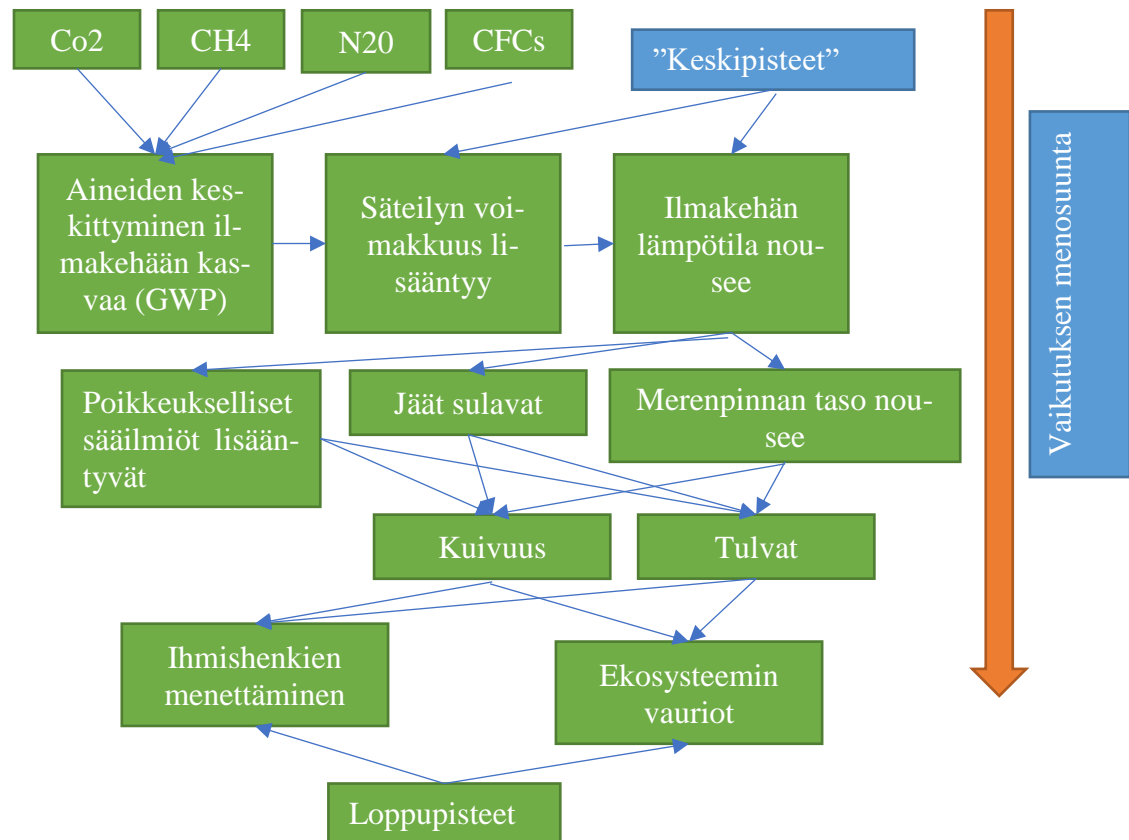
Inventaarioanalyysissä kerätään laskentakohteen yksikköprosesseja koskevat tiedot laskennalliseen muotoon. Kerättäviä tietoja ovat muun muassa energiasyötteet, raaka-ainesyötteet, apusyötteet, päästöt ilmaan ja veteen, muodostuneet jätteet ja muut ympäristönäkökohdat. Yksikköprosesseilla tarkoitetaan rakennuksissa esimerkiksi betonia. Betonista kerätään muodostuneet ympäristövaikutukset pohjautuen omaan tutkimustyöhön tai laadittuun EPD-raporttiin. (SFS-EN ISO 14040 2006 s. 34). EPD-raportit tulee olla verifioitu, jotta niitä voidaan käyttää elinkaariarvioinnissa. Verifiointi pohjautuu standardeihin EN ISO 14025 ja ISO 21930:2007. Suomessa on työn kirjoitushetkellä 11 hyväksyttyä verifioijaa. (Rakennustieto 2019). Case-parkkihallien elinkaariarvioinnin EPD-raportit ovat One

Click LCA-ohjelmasta peräisin. Määrätiedot, joista ympäristövaikutukset muodostuvat ovat kohdeyrityksen laatimista määräluetteloista.

Vaikutusarvioinnissa on tarkoitus arvioida ympäristövaikutusten merkittävyyttä inventaarioanalyysin tuloksien avulla. Vaikutusarviointi koostuu kolmesta pakollisesta osasta, jotka ovat esitetty kuvassa 19. Ensimmäisessä vaiheessa valitaan seurattavat vaikutusluokat esimerkiksi ilmaston lämpeneminen tai veden rehevöitymispotentiaali. Toisessa vaiheessa tarkistetaan tarkisteltavien vaikutusluokkien indikaattori. Jos vaikutusluokkana on ilmaston lämpeneminen, on sen indikaattori kasvihuonekaasupäästöt. Vaikutusluokkia ja niiden indikaattoreita on lueteltu standardissa SFS-EN 15804+A1. Kolmannessa vaiheessa muutetaan valitun vaikutusluokan tekijät yhteismitalliseksi. Tämä tehdään karakterisointimenetelmän avulla. Erilaisten kaasujen kuten metaanin, dityppioksidin ja hiilidioksidin muodostamat päästöt ilmaston lämpenemiseen ovat erilaiset toisiinsa verrattuna, jonka takia ne pitää yhteismitallistaa. Jotta metaanin, dityppioksidin ja hiilidioksidin ilmaston lämpenemisen tuottama määrä voidaan ilmoittaa käyttäen yhtä yksikköä usean yksikön sijasta, valitaan referenssiaineeksi esimerkiksi hiilidioksidi, jonka arvoksi määritetään yksi ja muiden kaasujen vaikutusta kerrotaan sen mukaan, että kasvatavatko ne ilmaston lämpenemistä enemmän tai vähemmän kuin hiilidioksidi. Karakterisointimenetelmiä on esimerkiksi CML, EDIP ja IMPACT2002+. Jokaisella karakterisointimenetelmällä on erilaiset arvot aineiden ympäristövaikutuksiin. (Hauschild & Huijbregts 2015 s. 5-9; Mattila 2009 s. 16; SFS-EN ISO 14040 2006 s. 34-36). Kuvassa 20 on esitetty virtauskaavio siitä, miten ilmaston lämpeneminen etenee. Kuvan alkuvaiheessa on tehty inventaarioanalyysi, josta on saatu tuotetut aineet. Aineet ovat yhteismitallistettu karakterisoinnin avulla, josta on saatu ilmastolämpenemispotentiaali, jonka jälkeen on kuvattu siitä aiheutuvat haitat.



Kuva 19. Vaikutusarviointi (SFS-EN ISO 14040. 2006 s. 24)



Kuva 20. Virtauskaavio vaikutusarvioinnista ilmastonlämpenemisen osalta (Mukaiillen Hauschild, & Huijbregts. 2015 s. 8).

#### 4.3.2 Laskentarajaukset ja -menetelmä

Case-parkkihallien laskentamenetelmänä käytetään Level(s) elinkaaren hiilijalanjälki -laskentamenetelmää, joka pohjautuu standardeihin EN 15643, SFS-EN 15804+A1 ja SFS-EN 15978 (Ympäristöministeriö 2019e s 11). Standardeissa arviointi on jaettu moduuleihin, jotka ovat esitetty taulukossa 5. Taulukon moduulivalinnat pohjautuvat yleisesti arvioitaviin tekijöihin, joita arvioidaan parkkihallien elinkaariarvioinnissa (Yoka 2014 s. 157). Moduuli A1-A3 ovat pakollisia ottaa huomioon elinkaariarvioinnissa standardin SFS-EN 15804+A1 mukaan, mutta muut moduulit eivät ole pakollisia. Karakterisointina on käytetty CML-karakterisointia. (SFS-EN 15804+A1 2014 s. 28, 84)

Kaikki A-moduulin vaiheet huomioidaan laskelmissa. Tuotteiden ympäristövaikutukset ovat pääasiassa taulukkoarvoja, koska kohteiden toteutusajankohta on menettänyt, jolloin ei pyydetty erikseen tuotekohtaisia ympäristövaikutusdokumentteja. Laskelmassa käytettävien tuotteiden ympäristövaikutus pohjautuu laskennassa käytettävään One Click LCA-ohjelmiston EPD-kansioon, joka täyttää standardin SFS-EN 15804+A1 vaatimukset (SFS-EN 15804+A1 2014 s. 46).

Laajamittaiset korjaukset ja vaihdot sekä energian käyttö arvioidaan moduulista B, joiden arvot pohjautuvat asiantuntijaraportteihin (TimHaahs 2012 s. 20-21; A-Insinöörit 2018). Usein käytönaikainen energia pohjautuu LCA-laskelmissa

energiatodistuksesta saatuihin tietoihin, mutta parkkihalleista ei tarvinnut laatia energiatodistuksia kyseisten kohteiden toteutusajankohtana, jonka takia niistä puuttuvat energiatodistukset (Ympäristöministeriö 2018c s. 3). Laajamittaiset korjaukset käsittävät rakennuksen tai rakennusosan suoritustason palauttamisen vähintään aikaisemmalle tai korkeammalle tasolle (SFS-EN 15804+A1 2014 s. 40). Muut moduulin B kohdat eli tuotteiden- ja veden käyttö, ylläpito ja korjaukset ja vaihdot on jätetty laskelmien ulkopuolelle, koska niistä ei ole saatavilla tarpeeksi tarkkoja lukuja sekä niiden painoarvo ei oletusten mukaan kovinkaan vaikuta koko elinkaaren aikana (Yoka. 2014 s.156-158).

Moduuli C eli käytön jälkeisen vaiheen ympäristövaikutukset arvioidaan, mutta ne pohjautuvat pelkästään One Click LCA:n tuottamiin taulukkoarvoihin. Moduulia D:tä ei ole otettu lainkaan huomioon elinkaariarvioinnissa

Taulukko 5. Arvioitavat elinkaarivaiheet ja arvioinnissa käytettävät tiedot.

Ennen käyttöä	Arviointi	Käytettävät tiedot
A1-3 Tuotteiden valmistus	Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot
A4 Kuljetukset työmaalle	Arvioidaan	Taulukkoarvot
A5 Rakentaminen	Arvioidaan	Taulukkoarvot
Käytön aikana	Arviointi	Käytettävät tiedot
B1 Tuotteiden käyttö	Ei arvioida	
B2 Ylläpito	Ei arvioida	
B3-4 Korjaukset ja vaihdot	Ei arvioida	
B5 Laajamittaiset korjaukset	Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot
B6 Energian käyttö	Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot
B7 Veden käyttö	Ei arvioida	
Käytön jälkeen	Arviointi	Käytettävät tiedot
C1 Purkutyöt	Arvioidaan	Taulukkoarvot
C2 Kuljetukset käsittelyyn	Arvioidaan	Taulukkoarvot
C3 Jätteenkäsittely	Arvioidaan	Taulukkoarvot
C4 Loppusijoitus	Arvioidaan	Taulukkoarvot
Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset	Arviointi	Käytettävät tiedot
D Uudelleen käyttö	Ei arvioida	
D Kierrätys	Ei arvioida	
D Hyödyntäminen	Ei arvioida	

Case-kohteiden elinkaariarviolaskelmien moduuli A:ssa huomioitavat kohdat on esitetty taulukossa 6. Laskelmien sisältö perustuu kohteiden määrälaskelmiin, jotka on tehty urakoiden tarjousvaiheessa. Toteutuneita määriä ei ole käytössä elinkaariarvioinnissa, koska kohdeyritys ei ole mahdollisesti saanut kaikkia urakoita. Kaikkia määriä ei ole ollut käytettävissä tarjouslaskennassa. Puuttuvista määristä on tehty paras mahdollinen arvaus, jotta on saatu laskettua niille ympäristövaikutukset. Työstä on rajattu standardin vaatimuksien mukaan osa-alueet pois, joiden kokonaisvaikutus on alle viisi prosenttia koko projektin tuottamasta ympäristövaikutuksesta

(SFS-EN 15804+A1 2014 s. 44). Kohteissa jäähdytysjärjestelmät on kirjattu pois arvioinnista, koska kohteet eivät sisällä jäähdytysjärjestelmiä, vaikka ne pitäisi ottaa muuten huomioon (SFS-EN 15978 2012 s. 30).

Taulukko 6. Laskelmien elinkaariarvioiden sisältö.

	Sisältyy arviointiin	Ei sisälly arviointiin
Tontti	+Maaosat +Tuennat ja vahvistukset +Päällysteet +Alueen rakenteet	-Alueen varusteet -Kasvillisuus -Kasvillisuuden, maaperän tai vesistöjen muutoksista aiheutuvat ilmastovaikutukset
Kantavat rakenteet	+Perustukset +Alapohja +Runko +Julkisivut, ovet ja ikkunat +Ulkotasot +Kattorakenteet	-Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumat ja muut kiinnikkeet
Täydentävät rakenteet	+Väliseinät ja ovet +Portaat +Pintarakenteet	-Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumat ja muut kiinnikkeet -Kiintokalusteet
Talotekniikka	+Lämmitysjärjestelmät +Vesi- ja viemärijärjestelmät +Ilmastointijärjestelmät +Sähköjärjestelmät +Hissit	-Tietotekniset järjestelmät -Jäähdytysjärjestelmät -Taloautomaatio -Varavirtajärjestelmät -Liukuportaat -Erilliset koneet ja laitteet
Työmaa	+Työmaalla kulutettu energia	-Telineet ja suojaukset -Väliaikaiset rakenteet, muotit ja tekniset laitteet -Työmaatilojen elinkaari -Työmaan henkilöliikenne

#### 4.3.3 Laskentaohjelma

Ympäristövaikutusten arvio suoritettiin käyttämällä elinkaariarviointilaskelmia varten suunnattua One Click LCA-ohjelmaa, jonka on tuottanut Bionova Oy. Ohjelman elinkaariarviointi perustuu EN- ja ISO-standardeihin (One Click LCA 2018a). One Click LCA:ta päädyttiin käyttämään diplomityössä, koska kohdeyritys on ottanut kyseisen ohjelman käyttöön vuonna 2019. Ohjelman käyttö pohjautuu neljään vaiheeseen. Ensimmäisenä syötetään laskenta-aika ja rakennusala. Laskenta-ajalla tarkoitetaan rakennuksen teknistä käyttöikää. Toinen vaihe koostuu rakennusmateriaalien, työmaatoiminnan, energian ja veden kulutuksesta koko elinkaaren aikana. Kolmantena kirjataan mahdolliset kompensatiot, jotka otetaan laskennassa huomioon. Viimeisessä vaiheessa ohjelma muodostaa erillisen raportin, joka kertoo rakennuksen ympäristövaikutukset. (One Click LCA 2018b).

#### 4.3.4 Kohteen 1 ympäristövaikutukset

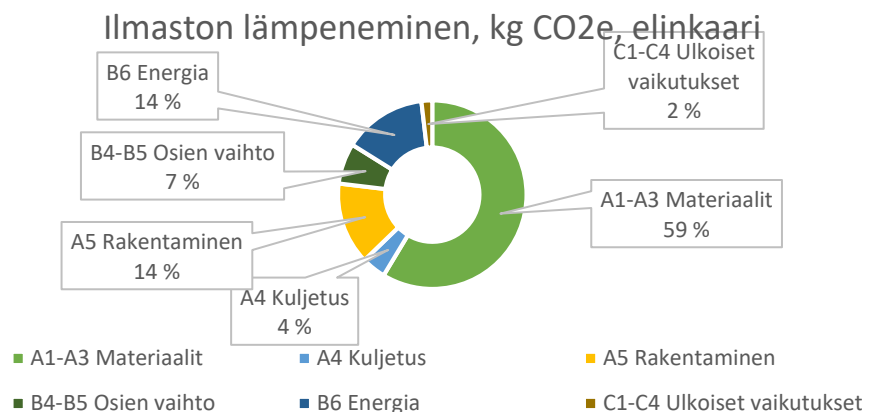
Kohde 1 on kylmä parkkihalli. Kylmällä parkkihallilla tarkoitetaan lämmittämättömää tilaa, joka ei ole suunniteltu jatkuvaan oleskeluun eikä ole tarkoituksellisesti lämmitetty. Kylmää parkkihallia ei koske lämmöneristävyysvaatimukset.



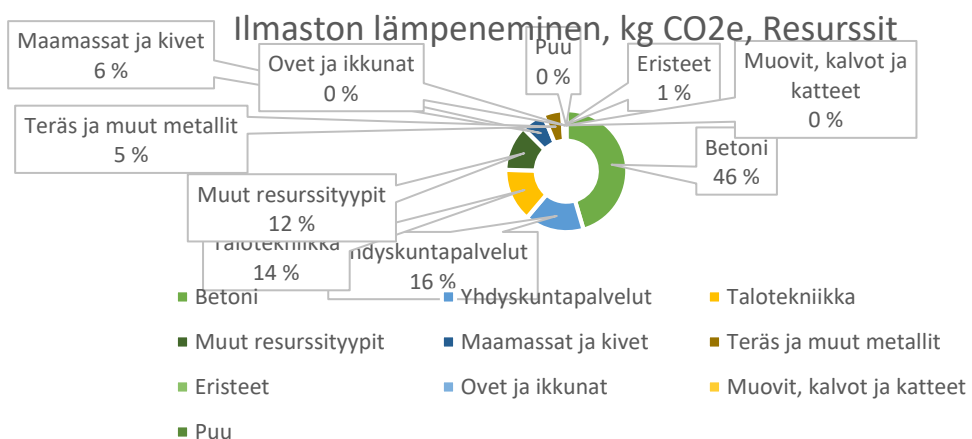
(Ympäristöministeriö 2010 s. 3-4). Rakennus on kolmekerroksinen ja 270-paikkainen teräsbetonipaaluksen päälle rakennettu parkkihalli, jonka pääkäyttäjät ovat alueen taloyhtiöt. Julkisivu on avonaista teräsrtilää, jonka kautta hoidetaan ilmanvaihto. Sadevedet on ohjattu kallistuksilla ja kattokaivoilla. Lumenluontia varten on erillinen lumikuilu. Hissejä on yksi kappale ja porrashuoneita kaksi. Rakennuksessa ei ole erillistä kattoa, vaan ylin kerros on avoin. Kohde 1 suunniteltu käyttöikä rungolle ja perustuksille on 50 vuotta. Julkisivun käyttöikä ei ole määritelty suunnitelmissa.

Kohteen 1 hiilijalanjälkilaskennan tiedot pohjautuivat tehtyyn määrälaskentaan urakkatarjousta varten. Urakkatarjousvaiheessa talotekniikka oli pyydetty erikseen, josta ei ollut määräluetteloa. Talotekniikan ympäristövaikutukset arvioitiin tilastollisten arvojen pohjalta. Laskentaohjelmasta ei löytynyt kaikkia vastaavia tuotteita, jotka oli laskettu urakkaan, mutta mahdollisimman lähelle vastaavat tuotteet on pyritty valitsemaan oikeanlaisen tiedon saamiseksi.

Kohteen 1 hiilijalanjäljen muodostuminen on esitetty kuvissa 21 ja 22. Hiilijalanjälki koostuu pääasiassa materiaaleista (59 prosenttia), joista suurin osa muodostuu betonista (46 prosenttia). Käytön aikainen energia (14 prosenttia) ja rakentaminen (14 prosenttia) muodostavat lähes yhtä suuren määrän kasvihuonepäästöjä rakennuksen elinkaaren aikana.



Kuva 21. Kohteen 1 hiilijalanjälki.

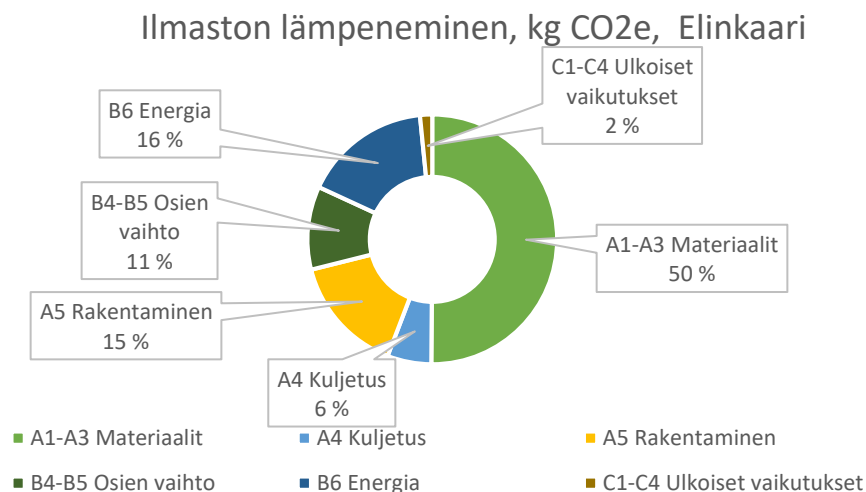


Kuva 22. Kohteen 1 hiilijalanjäljen osa-alueet.

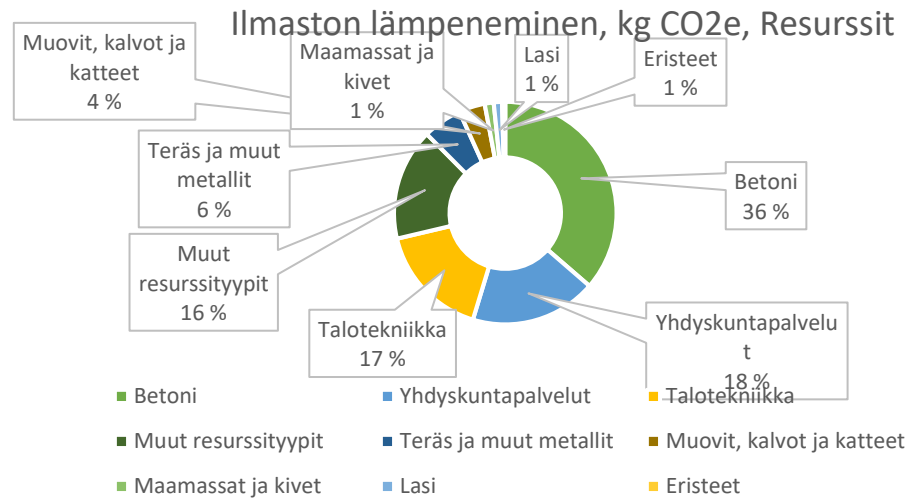
#### 4.3.5 Kohteen 2 ympäristövaikutukset

Kohde 2 on kylmä betonirunkoinen parkkihalli, jossa on pysäköintitilaa sekä kellariin maan päällä. Rakennuksessa on kerroksia neljä, mutta pysäköintitasoja on yhteensä kahdeksan, joista kaksi on maan alla ja kuusi maan päällä. Parkkihallin perustukset on tehty kallion päälle, jonka takia ei ole tarvittu erikseen pohjavahvistusta. Parkkihallin katolla on viheralue ja leikkipuisto. Rakennuksessa on koneellinen ilmanvaihto ja sprinklerialkusanmutusjärjestelmä. Autopaikkoja on yhteensä 233 kappaletta, joista 11 on invapaikkoja. Moottoripyörille on varattu paikkoja yhteensä kuusi kappaletta. Rakennuksessa on yksi hissi ja yksi porrashuone. Rakennuksen julkisivu on osittain rapattu ja osittain teräskaseteista. Osa ulkoseinistä on lämpöeristettyjä. Kohteen 2 rungon suunniteltu tekninen käyttöikä on 50 vuotta. Muita teknisiä käyttöikä ei ole määritelty.

Kohteen 2 tiedot pohjautuivat määrälaskentavaiheeseen, jossa ei ollut laskettu erikseen talotekniikkaa eikä maarakennusta, vaan niistä oli saatu tarjous. Talotekniikan ympäristövaikutukset pohjautuvat One Click LCA-ohjelmassa oleviin ohjearvoihin. Maanrakennuksen ympäristövaikutukset on laskettu karkeasti arvioimalla kaivetut kuutiot sekä kaivinkoneisiin tarvittava energia. Laskentaohjelmassa osaa arvoja ei löytynyt, mutta mahdollisimman paljon vastaavia arvoja käytettiin. Kuljetusmatkat arvioitiin lähimmälle kaatopaikalle. Maankaivuusta ei laskettu hyötykäyttöön yhtään maa-ainesta, vaan kaikki viedään pois maakaatopaikalle. Todellisuudessa tilanne on voinut olla erilainen, mutta laskelmassa ei ollut huomioitu maa-ainesten kierrättämistä. Kohteen 2 hiilijalanjäljen muodostuminen on esitetty kuvissa 23 ja 24. Hiilijalanjälki koostuu pääasiassa materiaaleista (50 prosenttia), joista suurin osa muodostuu betonista (36 prosenttia). Kohteen 2 materiaalien jälkeen tulee käytönaikainen energia, joka on 20 prosenttia kaikista resursseista.



Kuva 23. Kohde 2 elinkaarenaikainen hiilijalanjälki.



Kuva 24. Kohde 2 materiaalien hiilijalanjälki.

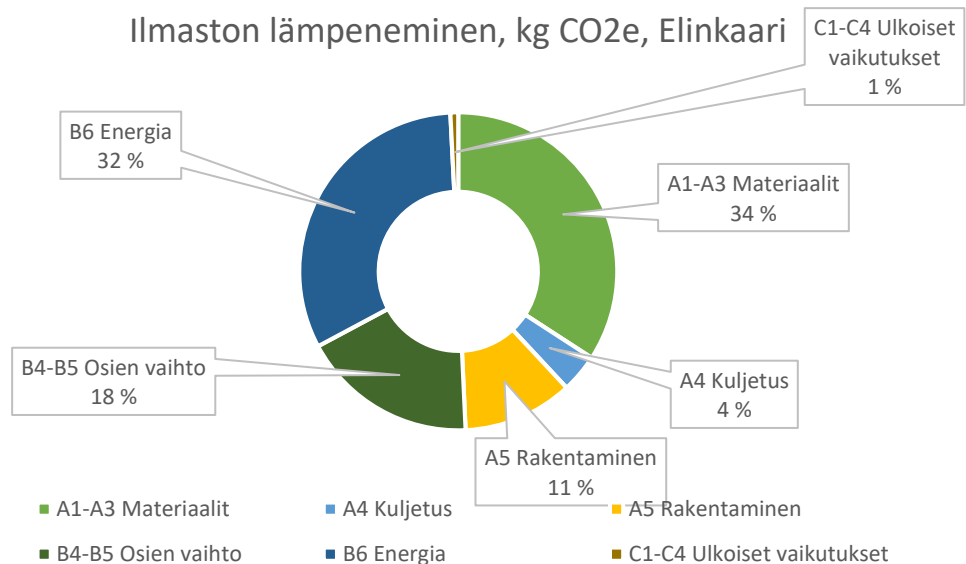
#### 4.3.6 Kohteen 3 ympäristövaikutukset

Kohde 3 on kallion sisälle rakennettu lämmin maanalainen pysäköintihalli, joka on kolmessa kerroksessa. Pysäköintilaitos lämpenee kaukolämmöllä ja sitä tehostetaan koneellisen ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla. Autopaikkoja rakennuksessa on kolmessa eri kerroksessa yhteensä 800. Osassa autopaikoista on sähköauton latauspiste. Rakennuksessa on kolme hissiä ja porraskuilua, joista pääse ulos kadulle. Rakennuksen rungon suunniteltu tekninen käyttöikä on 100 vuotta.

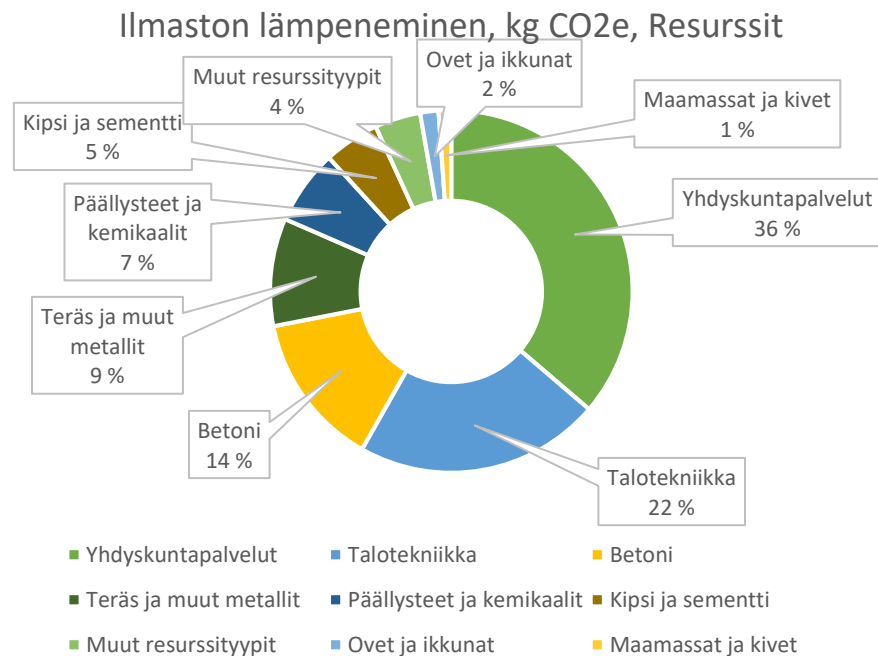
Kohde 3 poikkeaa kahdesta muusta case-kohteesta monelta osalta. Rakennus on lämmitetty, siinä on enemmän talotekniikkaa kuten ilmanvaihto ja sähköä, se sijaitsee kokonaan maan alla ja siinä on suhteessa vähemmän betonia kuin kahdessa muussa case-kohteessa. Talotekniikkaa ei ollut tarjottu lainkaan tarjouspyyntövaiheessa, jonka takia talotekniikka on arvioitu pelkästään laskentaohjelmassa annettujen neliöpohjaisten lukujen pohjalta. Kohde 3 louhinta ja louheen kuljettaminen olivat laajoja töitä, mutta louhinnalle ei ollut laskentaohjelmassa mitään omaa arvoa, jonka takia louhinta on pyritty arvioimaan siihen tarvittavasta energiasta sekä poiskuljetettavasta louheesta. Louhinnasta muodostunut maa-aines on laskettu kaikki pois kuljetettavaksi, koska kierrätyksestä ei ollut mainintaa.

Vuotuinen lämmitysenergian sekä käyttösähkön kulutus on arvioitu Puutorin parkin, Siilijärven sotokeskuksen parkkihallin ja kanadalaisten parkkihallien energiakulutuksen mukaan. Kanadalaisia parkkihalleja on käytetty, koska siellä lämpötilat ovat Suomen tasoa vastaavia. Muut parkkihallit valittiin, koska ne ovat myös maan alle rakennettuja parkkihalleja. (Torkkola, P. 2019; A-Insinöörit 2018 s. 148; Energy Star 2013). Energian kulutuksella on suurempi vaikutus Kohde 3:ssa, koska suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta, jonka takia energiakulutuksen osuus hiilijalanjäljestä on selvästi suurempi kuin muissa kohteissa. Myös osien vaihdot kuten hissien uusimiset sekä talotekniikkapäivitykset muodostavat suuremman hiilijalanjäljen, koska vaihtojen määriä on enemmän kuin muissa case-kohteissa.

Kuvissa 25 ja 26 on Kohteesta 3 muodostuva hiilijalanjälki sekä resursseista muodostuva hiilijalanjälki. Luvut ovat poikkeuksellisia muihin verrattuna, koska Kohde 3 betoni ei ole suurin kasvihuonekaasupäästöjen tuottaja, vaan jakauma on tasaisempi resurssien välillä. Materiaalit kuitenkin muodostavat suurimman kasvihuonepäästön 34 prosentilla, vaikka betoni ei ole suurin resurssi kohteessa. Käytön aikaisen energian hiilijalanjälki on hyvin lähellä samaa kuin materiaalien hiilijalanjälki 32 prosentilla.



Kuva 25. Kohde 3 hiilijalanjälki.

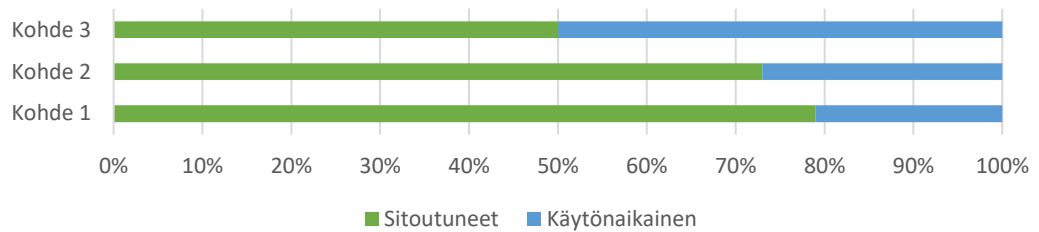


Kuva 26. Kohde 3 resurssien hiilijalanjälki.

#### 4.3.7 Yhteenveto case-parkkihallien ympäristövaikutuksista

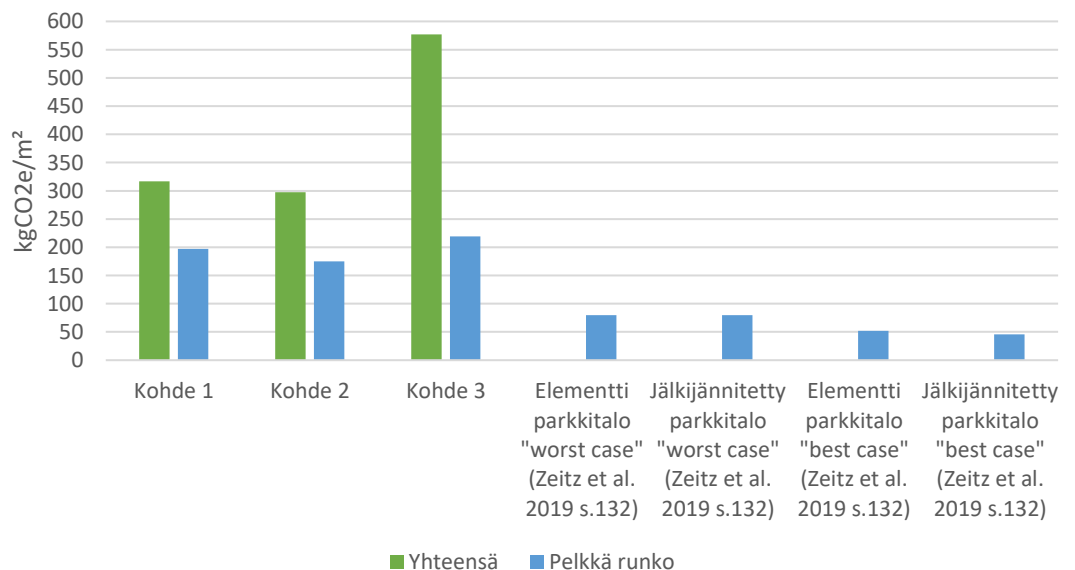
Case-parkkihallien hiilijalanjälki on hyvin materiaalipainotteinen, kuten

teoriassakin on todettu (Yoka 2014 s.154). Materiaalit muodostavat yli 50 prosenttia elinkaarenaikaisesta hiilijalanjäljestä kylmissä parkkihalleissa ja maanalaisessa parkkihallissa materiaalien osuus on 34 prosenttia. Kuvassa 27 on esitetty hiilijalanjäljen jakautuminen case-kohteiden osalta. Parkkihalleissa on enemmän sitoutuneita kasvihuonekaasupäästöjä kuin käytönaikaisia.



Kuva 27. Hiilijalanjäljen jakautuminen case-kohteissa.

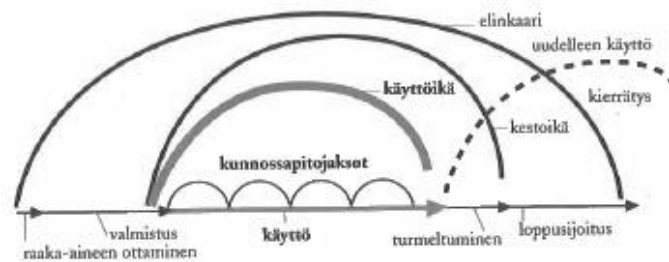
Täysin vertailtavaa aineistoa parkkihallien hiilijalanjäljestä ei ole löytynyt, joita olisi voinut verrata tässä tutkimuksessa saatujen tulosten kanssa. Yhdessä tutkimuksessa on tutkittu parkkihallien runkojen hiilijalanjälkeä (Zeitz et al. 2019 s. 129-130). Tässä diplomityössä saadut tulokset pelkästään rungon osalta ovat poikkeavia Zeitz et al. tutkimuksessa saatuihin tuloksiin, jotka on esitetty Kuvassa 28. Kohde 1 ja Kohde 2 ovat samansuuntaisia rungon ja yhteensä muodostuneiden kasvihuonekaasupäästöjen osalta, mutta Kohde 3 poikkeaa selvästi. Artikkelin ”worst case” ja ”best case” parkkihallien erona on betonissa käytetyn lentotuhkan määrä ja kierätettyjen raaka-aineiden käyttö muissa resursseissa. ”Best case”-parkkihallissa on käytetty enemmän lentotuhkaa ja kierrätettyjä raaka-aineita neitseellisten raaka-aineiden sijasta, jonka takia siinä on alhaisempi hiilijalanjälki. (Zeitz et al. 2019 s. 128-129). Case-parkkihallit on laskettu betonilla, jossa ei ole sidosaineita mukana. Case-parkkihallien hiilijalanjälki saattaa todellisuudessa olla toisenlainen, jos laskenta suoritettaisiin toteutuneilla määrillä ja betonilaaduilla.



Kuva 28. Hiilijalanjäljen vertailut kohteittain.

## 5 Parkkihalliprojektien elinkaarikustannukset

Elinkaarikustannukset kertovat tuotteen tai asian investointikustannusten lisäksi käyttö-, huolto-, energia- ja poistokustannukset. Elinkaarikustannuslaskennalla pyritään löytämään kokonaistaloudellisesti edullisin ratkaisu sen sijaan, että painotettaisiin pelkästään halpaa hankintahintaa tai matalia käyttökustannuksia (Motiva 2018a). Rakennuksen, laitteen tai rakennusosan elinkaarikustannukset muodostuvat rakennus-, ylläpito-, muutokorjaus-, ajanmukaistamis- ja purkukustannuksista (Saari 2004 s. 5). Rakennuksen elinkaari on esitetty kuvassa 29.

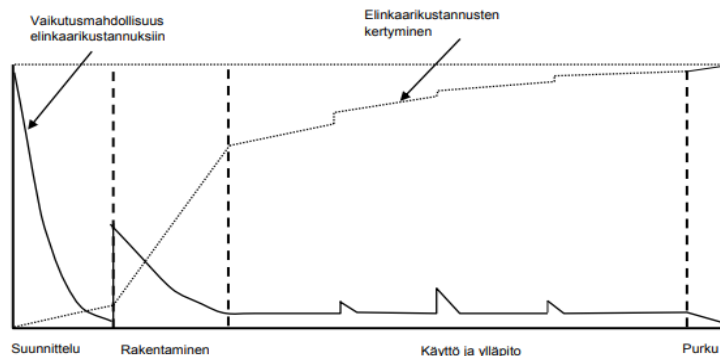


Kuva 29. Rakennuksen elinkaari (Myyryläinen, L. 2008 s. 22).

Pysäköinnistä muodostuvia tuottoja ei käsitellä tässä kappaleessa, koska niihin vaikuttavat rahoitusratkaisut sekä mahdolliset subventoinnit muilta liiketoiminnan tuottajilta esimerkiksi liike- ja kaupallisissa tiloissa (Tanhuanpää 2015).

### 5.1 Rakennusten elinkaarikustannusten muodostuminen

Elinkaarikustannuksiin pystyy parhaiten vaikuttamaan rakennuksen suunnitteluvaiheessa, jossa määritellään rakennuksen käyttötarkoitus, sijainti ja suuruus. Hyvällä suunnittelunohjauksella voidaan vähentää yllättäviä kustannuksia. Hankkeen alkuvaiheessa on syytä asettaa budjetti ja määritellä tila- sekä laatuvaatimukset. Tilojen käyttötarkoitusten muunneltavuudella voidaan saavuttaa pidempi käyttöikä rakennuksille. Kuvassa 30 on esitetty rakennuksen elinkaaren aikaiset kustannukset, jossa on nähtävillä kustannusten muodostuminen ja mitkä vaiheet niihin vaikuttavat. Käyttö- ja ylläpitovaiheen päätöksillä voidaan vaikuttaa vähän elinkaarenaikaisiin kustannuksiin. (Pulakka et al. 2007 s. 10-18).



Kuva 30. Rakennuksen elinkaarikustannusten muodostuminen (Pulakka et al. 2007 s. 18).

Elinkaarilaskenta pohjautuu rakennuksen käyttöikäan. Rakennuksen käyttöikä koostuu teknistaloudellisesta käyttöiästä, joka muodostuu erilaista rakennusosista, joiden käyttöiät määritellään suunnitteluvaiheessa. Rakennusosilla on eri käyttöiät ja ne voidaan jaotella pysyviin ja vaihdettaviin rakennusosiin. Pysyviä rakennusosia ovat esimerkiksi perustukset ja runko, joiden tulisi kestää ainakin koko rakennuksen elinkaari, koska ne ovat vaikeita huoltaa ja korjata. Vaihdettavia rakennusosia ovat esimerkiksi sisäpinnat ja talotekniikka, joiden käyttöikä on lyhyempi. Teknistaloudellisen käyttöiän laskeminen suoritetaan yhteenlaskulla, jossa rakennusosien suhteelliset kustannusjakaumat kerrotaan vastaavien rakennusosien käyttöiillä ja niiden tulokset summataan keskenään. Rakennusosien käyttöiän arviointi pohjautuu tilastoihin, kokemukseen tai on jotenkin muuten arvioitu. Teknistaloudellinen käyttöikä voidaan saavuttaa suorittamalla huollot oikein ja tekemällä tarvittavat kunnossapitotoimenpiteet ajallaan. Käyttöikä voi olla lyhyempi tai pidempi kuin elinkaarilaskelmassa on arvioitu, koska on vaikeaa ennustaa pitkälle ajanjaksolle rakennuksen tulevaisuutta. Käyttötarkoituksen muuttuessa rakennuksen käyttöikä saattaa päättyä enneaikaisesti. Muita käyttöikään vaikuttavia ulkoisia tekijöitä ovat sijainti, liikenne ja asiakkaiden tarve. Rakennus voi olla teknisesti hyvässä kunnossa, mutta jos se sijaitsee väärällä alueella tai rakennuksessa tehty toiminta päättyy, saattaa rakennus päättyä purettavaksi, vaikka rakennuksella on teknisesti käyttöikä vielä jäljellä. (Myyryläinen 2008 s. 22-29; Häkkinen et al. 2001 s. 19-22). Kuvassa 31 on esitetty rakennuksen teknistaloudellisen käyttöiän arviointi, poisto-aika sekä kustannusten muodostuminen.

**Rakennuksen Poisto-aika ja Pääomakustannusten laskenta**

Ohjeet

Rakennuksen perustiedot

Alue:	Rakennuksen numero ja nimi:	Käyttötarkoitus:	Omistaja:	Käyttäjä:
Haukilahti	11 Puistola	Asuinkerrostalo	Sijoitusasunnot Oy	Vuokra-asukkaat

Rakennuksen Poisto-aika ja Pääomakustannukset (KT-yhmän oletusarvot asetettu)

Rakennusosat	Kustannusjakauma, %	Käyttöikä, vuosia	Laskentekoiko, %
Tontin liittymät	0,5	200	3
Ulkoalueet	6	60	1858
Rakennuksen perustus ja alapohja	6,5	200	51,48
Rakennuksen runko ja väliseinät	27	200	5,94
Yläpohja ja vesikattorakenteet	3	60	71,31
Vesikate	2	30	3671,14
Julkisivupinnat: seinät ja parvekkeet	9	60	
Julkisivupinnat: ikkunat ja ovet	4	35	
Kiintokappistot ja muut kiinteät varusteet	2	50	
Pintarakenteet: seinät, katon ja lattiat	13	25	
Hissit ja muut koneelliset siirtolaitteet	3,5	60	
Putkistot: vesi, viemäri, lämpö ja muut	6	50	
Putkistolaitteet ja -varusteet	3	25	
Ilmanvaihtokanavistot	2	50	
Ilmanvaihtokoneet ja -laitteet	2	25	
Sähköverkko	5	50	
Säädönlaitteet ja -varusteet	2	25	
IT/automaatioverkosto	3	30	
IT/automaation laitteet ja varusteet	0,5	15	
<b>Kustannusjakauman %-tarkistus</b>	<b>100,00</b>		

Muuta rakennuksen osien kustannusjakauma ja osien käyttöikä haluamaksesi. Kustannusjakauman summa on oltava 100%.

Rakennuksen poisto-aika lasketaan automaattisesti rakennuksen osien kustannusjakauman ja niiden käyttöiän perusteella.

Pääomakustannukset lasketaan rakennuksen perustiedoissa olevan jälleenhankinta-arvon, pääoma- ja tuottoeron sekä tässä laskelun poistoajan perusteella.

Tallenna Paluu

Kuva 31. Rakennuksen teknistaloudellisen käyttöiän laskenta. (Myyryläinen 2008 s. 28).

## 5.2 Elinkaarikustannusten laskentamenetelmiä

Elinkaarilaskelmassa kustannukset ja tuotot muodostuvat pitkällä aikavälillä. Jotta erilaisia ratkaisuja voidaan verrata keskenään elinkaarikustannusten näkökulmasta, tulee rahaerät muuttaa nykyhetkeen, koska kustannukset ja tuotot ovat eriarvoisia eri hetkinä, jonka takia ne eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Kustannusten ja tuottojen muuttaminen nykyhetkeen tehdään diskonttaamalla, jossa diskonttaustekijällä kerrotaan kustannus tai tuotto. Diskonttaustekijä lasketaan kaavalla 1. (Häkkinen 2005 s. 49-51).

$$\text{Diskonttaustekijä} = \frac{1}{(1+r)^n} \quad (1)$$

r = korko %

n = Aika nykyhetkestä kustannuksen toteumavuoteen vuosissa

Korkotekijä määritetään tapauskohtaisesti diskonttauksessa. Laskentakorko määritetään tuoton tai kustannusten näkökulmasta. Tuoton näkökulmasta voidaan korko asettaa vaihtoehtoisten sijoituskohteiden mukaan. Rakennuksissa vaihtoehtoinen sijoituskohte voi olla esimerkiksi tilojen vuokraus tai niiden omistus. Jos pääomalle saadaan parempi tuotto vuokralla ollessa kuin rakennuksen omistamisesta voi saada, on järkevämpää olla vuokralla. Kustannusnäkökulmasta laskentakorko on minimissään lainan korko sekä riskit, jotka ovat arvioitu sen päälle. Riskejä kiinteistöissä muodostuu kohteesta, markkinoista ja rahoituksesta. EU:n elinkaarilaskelmaa koskeva työryhmäraportti suosittelee, että laskentakorko on 0-2 prosenttia ilman inflaatiota ja maksimi laskenta-aika on 100 vuotta. Laskenta-aikana on järkevää käyttää laskelmissa taloudellista pitoaika, joka vaihtelee rakennustyypeittäin. Vuokratuilla asuinrakennuksilla taloudellinen pitoaika on 30-40 vuotta ja toimisto- ja liikerakennuksilla se on noin 20 vuotta. Taloudellinen pitoaika ei ole rakennuksen tekninen käyttöikä, vaan sen määritelmä on ensimmäisen tai toisen peruskorjauksen ajankohta. (Häkkinen 2005 s. 50).

Rakennuksen elinkaaren aikaiset kustannukset voidaan laskea yhteen käyttäen nettonykyarvomenetelmää. Nettonykyarvomenetelmä antaa euromääräisen tuloksen. Menetelmän avulla voi verrata eri vaihtoehtojen kannattavuuksia elinkaarinäkökulmasta. Nettonykyarvomenetelmän laskentatapa on esitetty kaavassa 2. (Götze et al. 2015 s. 50-51; Häkkinen 2015 s. 50-51).

$$NNA = -H + \left( \sum_{i=1}^n K_i * \frac{1}{(1+r)^n} \right) + \frac{JA}{(1+r)^n} \quad (2)$$

NNA = Investoinnin nettonykyarvo

H = Investointi

$K_i$  = Kustannus/tuotto vuonna i

r = Korko %

i = Aikajänne nykyhetkestä kustannuksen toteumavuoteen (vuosissa)

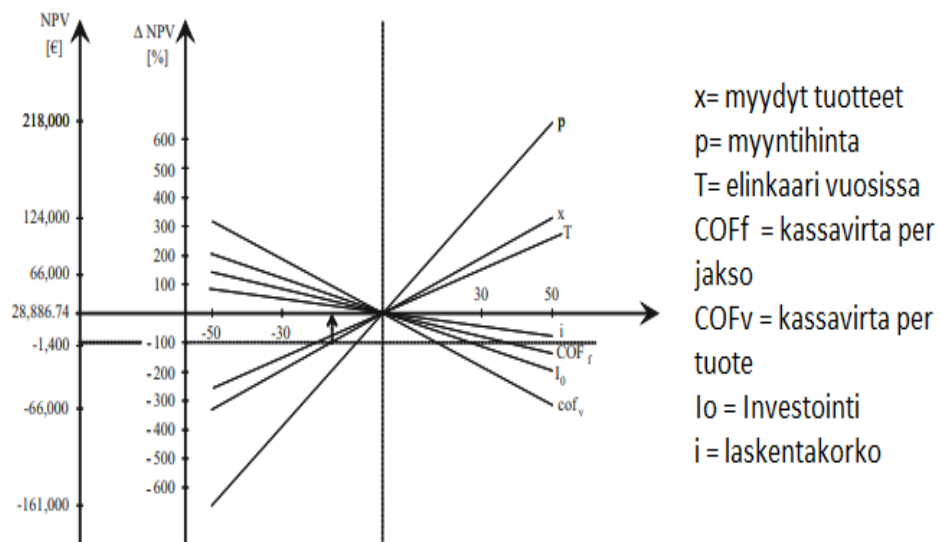
n = vuosien määrä



Nykyarvomenetelmässä kannattavin vaihtoehto on se, jossa on korkein euromääräinen arvo. Huomioon tulee kuitenkin ottaa, että nykyarvomenetelmä antaa tuloksen euromääräisenä, jonka takia suurempi hanke saattaa näyttää kannattavammalta euroissa, mutta ei välttämättä suhteellisenä. Jotta saa vertailukelpoisen tuloksen, on järkevää käyttää useampaa menetelmää samanaikaisesti, kun vertailee elinkaarikustannuksia. Muita menetelmiä ovat esimerkiksi takaisinmaksuaika ja sisäisen korkokannan menetelmä. (Götze et al. 2015 s. 53-60.)

Takaisinmaksuajassa lasketaan, kuinka nopeasti tuotot kattavat kustannukset ja hanke maksaa itsensä takaisin. Laskenta suoritetaan jakamalla tuotot kustannuksilla, josta muodostuu takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuajassa ei huomioida aikatekijää, ellei takaisinmaksuaikaa lasketa diskontatuista rahaeristä. Sisäinen korkokanta kertoo korkokannan, jossa kohteen nykyarvo on nolla. Jos nykyarvo on negatiivinen, on sisäinen korkokanta laskentakorkoa alhaisempi. Nykyarvon ollessa positiivinen, on sisäinen korkokanta laskentakorkoa korkeampi. (Häkkinen 2005 s. 51).

Rakennusten elinkaarilaskelmat sisältävät epävarmuustekijöitä niiden pitkän aikajakson takia. Laskelmiin on järkevää tehdä herkkyysoanalyysi, jotta voidaan selvittää, että miten muutokset vaikuttavat rakennuksen kustannuksiin ja kannattavuuteen. Herkkyysoanalyysi on mahdollista tehdä useammasta muuttujasta. Yleisiä tarkasteltavia muuttujia rakennusten elinkaarilaskelmissa on rakennuksen pitoaika, laskentakorko, kunnossapitojaksojen pituudet, energian hinta ja rakennuksen käyttöaste sekä siitä saatavat tulot. (Häkkinen 2015 s. 51). Kuvassa 32 on eräänlainen herkkyysoanalyysi, josta ilmenee, miten eri muuttujilla on vaikutusta nettonykyarvoon.



Kuva 32. Herkkyysoanalyysi (mukaillen Götze et al. 2015 s. 261).

### 5.3 Rakennusten elinkaaren huolto- ja ylläpitokustannukset

Rakennuksen elinkaaren aikana joudutaan tekemään ylläpitäviä- ja rakennusosia uusivia toimenpiteitä, jotta rakennus voi saavuttaa sille suunnitellun teknisen käyttöönsä. Ylläpidolla tarkoitetaan rakennuksen hoitoa, huoltoa ja kunnossapitoa, joiden avulla voidaan ylläpitää rakennuksen olemassa olevaa tasoa. Tasoa seurataan tarkastusvälein, joita on määritelty erikseen rakennuksen eri osille, laitteille, rakenteilla ja järjestelmille. Ylläpidon tavoitteena on säilyttää rakennuksen kunto, arvo, käytettävyys ja koettavuus. (RT 18-10922 s. 1-2; Myyryläinen 2008 s. 27-28; Pirinen & Kukkonen 2002 s. 558-560).

Rakennuksen hoitotehtäviin sisältyy muun muassa tilojen siivous, ulkoalueiden hoito ja korjaus. Kiinteistönhuollolla on tarkoitus estää vikojen ilmaantuminen rakennuksissa ja pitää rakennusta toiminta- ja käyttökunnossa. Huoltotehtävät määrittyvät rakenteiden, laitteiden ja rakennusosien suunniteltujen huoltovälien mukaan ja tarvittaessa aikaisemmin. Kunnossapidossa korjataan vialliset ja kuluneet osat ilman, että kohteen laatutaso poikkeaa alkuperäisestä kunnosta, vaikka teknologian kehityksen myötä pientä parannusta saattaa tulla. Kunnossapitotarpeen keskimääräistä aikaväliä kutsutaan kunnossapitajaksoksi. Kunnossapitajaksot vaihtelevat rakennuskohtaisesti. Rakennuskohtaisia eroja muodostuu rakennuksen rasitusluokista, joita on luokiteltu kolmella luokalla. Luokat ovat vaikea, normaali ja kevyt. Vaikeassa luokassa on esimerkiksi kova rasitus säästä tai käytöstä ja kevyessä luokassa on vähäistä käyttöä tai matalaa rasitusta säästä. Rakennusosien uusivat korjaukset eli aktivoivat korjaukset ovat laajempia korjauksia, jossa laatutasoa nostetaan tarkoituksella selvästi ylöspäin. Laajin korjausmuoto on perusparannus, jossa toteutetaan suurena erillishankkeena rakennusosien korjausta esimerkiksi rakennustenpinnat ja talotekniikan uusiminen. (Myyryläinen 2008 s. 27-28; Pirinen & Kukkonen 2002 s. 558-560; RT 18-10922 s. 1-2). Kuvassa 33 on esitetty rakennuksen elinkaaren aikaiset ylläpito ja rakennusosien uusimistoimenpiteet. Teknitaloudellinen elinkaaren pituus tarkoittaa kuvassa rakennuksen käyttöikä. (Myyryläinen 2008 s. 27-28)



Kuva 33. Rakennuksen elinkaaren ylläpito ja rakennusosien uusiminen (Myyryläinen. 2008 s. 28).

Rakennuksen kunnossapidon kustannukset vaihtelevat rakennuksen

käyttötarkoituksen ja korjaustason mukaan. Taulukossa 7 on listattu tilastollisia kunnossapitokustannustasoja, joita voidaan käyttää suuren kiinteistömäärän karkeaan kustannusbudjetointiin tai yhden rakennuksen pitkän aikavälin kustannustason määrittelyyn. Kunnossapitokustannusprosentilla kerrotaan rakennuksen jälleenhankintahinta, josta saadaan vuosittainen kunnossapitokustannus. Kunnossapitotasojen kolmessa ensimmäisessä suurimmat erot muodostuvat pintojen laatutasosta, mutta tekninen kunto on kaikissa yhtä hyvä. Tyydyttävässä kunnossapitotasossa taso laskee jo selvästi verrattuna hyvään laatutasoon. Välttävissä kunnossapitotasossa rakennuksen teknisestä toimivuudesta on jo karsittu sekä yleinen ilme on laskeva. Heikossa kunnossapitotason ideana on suunnitella peruskorjausta, säilöntää tai purkaa rakennukselle. (Myyryläinen 2008 s. 119-120).

Taulukko 7. Kunnossapitokustannuksien tilastollisia tasoja (Myyryläinen 2008 s. 119).

Kunnossapito-kustannus %	Kunnossapidon laatutaso	Tyypilliset kohteet
0,5	Korkeatasoinen	Edustustilat
0,4	Laadukas	Korkeatasoiset majoitus- palvelu- ja toimistotilat
0,3	Hyvä	Hyvin hoidetut asuin- ja toimisto- yms. Rakennukset
0,2	Tyydyttävä	Tyydyttävät vuokra-asunnot ja hyvin hoidetut as.oyt
0,1	Välttävä	Heikentyvät vuokra-asunnot ja välttävät as oy:n korjaukset
0,00	Heikko	Käyttötarve loppumassa, laatu heikkenee nopeasti

Taulukkoon 8 on kerätty kunnossapitokohteiden vuotuisia neliöhintoja. Asuinkerrostalon korjauskustannukset ovat vuokratalojen korjauskustannuksia. Yksityisten ihmisten omistamissa kerrostaloissa korjauskustannukset ovat 10-30 prosenttia pienemmät, koska asukkaille kuuluu huoneistojen sisäpuoliset korjaustyöt. (Myyryläinen 2008 s. 120).

Taulukko 8. Rakennusten keskimääräisiä kunnossapitokustannuksia. (Mukaien Myyryläinen. 2008 s. 120).

Käyttötarkoitusr ryhmä	Jälleenhankintahinta/ht m <sup>2</sup>	Kustannus %:a jälleenhankinta-arvosta vuodessa				
		0,5 %	0,4 %	0,3 %	0,2 %	0,1 %
Asuinkerrostalo	2000	10	8	6	4	2
Myymlärakennus	1600	8	6,4	4,8	3,2	1,6
Toimistorakennus	1850	9,25	7,4	5,55	3,7	1,85
Koulurakennus	1500	7,5	6	4,5	3	1,5
Teollisuushalli	1100	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1
Kasarmi (Sisäoppilaitos)	1400	7	5,6	4,2	2,8	1,4

#### 5.4 Parkkihallien elinkaari ja elinkaarikustannukset

Kun suunnitellaan pysäköintiratkaisua, tulee pohtia kohteen elinkaarikustannuksia. Suurin osa pysäköintiratkaisujen elinkaarikustannuksista muodostuu hankkeen investoinnista (Kauppila & Linna 2013 s. 25). Kauppila & Linna mukaan (2013 s. 25) mukaan pysäköintitalossa pääomakustannukset, jotka käsittävät rahoituksen ja lainan lyhennyksen, ovat 64 prosenttia kaikista kuluista ja pysäköintikellarissa vastaava prosenttiosuus on 73 prosenttia. Parkkihallien kustannuksia muodostavat pääomakustannusten lisäksi kiinteistön hoito ja hallinta, operointi sekä valvonta. Vaikka investointikustannukset muodostavat suurimman osan parkkihallien elinkaaren aikaisista kustannuksista, on syytä silti pohtia vaihtoehtoisia ratkaisuja, joiden avulla voidaan saavuttaa edullisemmat käyttökustannukset. (Häkkinen 2005 s. 46).

Parkkihallien elinkaaren pituus vaihtelee parkkihallityypistä. Kylmien parkkihallien suunnittelukäyttöikä betonirakenteille on 50 vuotta rungolle sekä ulkoseinille ja 100 vuotta perustuksille (Punkki 2004 s. 36).

Parkkihallien taloudellinen pitoaika kuitenkin saattaa vaihdella niiden suunnittelusta käyttöiästä. Helsinki-Vantaan lentokentän parkkihallit P1 ja P2 päätettiin purkaa 30 vuoden käyttöiän jälkeen, vaikka laskennallisesti niiden tekninen suunnittelukäyttöikä olisi antanut enemmän käyttövuosia (Lentoposti 2018). Suunnitellut tekniset käyttöiät eri osille myös vaihtelevat todellisuudessa. P-Louheen, joka valmistui Turkuun 2001, tehtiin valaisiremontti sekä uusittiin ovia vuonna 2019, vaikka valaisimien tekninen käyttöikä on 25 vuotta (TimHaahs 2012 s. 20-21; Aamuset 2019)

Pysäköintiratkaisusta investointikustannuksiltaan halvin ratkaisu toteuttaa olisi maantasopysäköinti, mutta se ei ole aina mahdollista tilan puutteen takia. Maantasopysäköinnin ongelmia muodostuu maanvuokra- ja maanmyntitulojen osalta, katurien kunnossapidossa sekä mahdollisesti laskeneen kaupunkiviihtyvyyden osalta. (Oasmaa et al. 2009 s. 7-8; Sito Oy 2011 s. 7). Muiden pysäköintiratkaisujen rakentamiseen vaikuttaa sijainti, kaavamääräykset ja tarve. Rakennuksen erilaisilla muodoilla voidaan vaikuttaa parkkipaikkojen määriin sekä rakennusten kustannuksiin. Tehokkain parkkipaikan muodostamistapa on rakentaa parkkipaikat 90 asteen kulmaan ja tehottomine 45 asteen kulma. Parkkihallien edullisin runkoratkaisu on pelkästään laatalta toteutettava ja kallein on runkoratkaisu, jossa on pilareita, palkkeja ja laattaa. (Vuori et al. 2005 s. 6-7). Parkkipaikkojen määrä vaikuttaa pysäköintilaitoksen tuottopotentiaaliin. Mitä enemmän on parkkipaikkoja, sitä enemmän pysäköintilaitoksella on mahdollisuus pystyä tuottamaan elinkaarensa aikana.

#### 5.5 Case-parkkihallien elinkaarikustannukset

Case-parkkihallit koostuvat kolmesta valikoidusta parkkihallista. Parkkihallien rakentamiskustannukset pohjautuvat tarjoushintoihin, mutta ylläpitokustannukset sekä korjauskustannukset on arvioitu muista kohteista. Ylläpitokustannukset on arvioitu jokaiseen erilaiseen parkkihallityyppiin erikseen. Kunnossapidon kustannukset sisältyvät ylläpitokustannuksiin. Laskelmat on tehty rakennusten teknisen käyttöiän loppuun saakka. Kohteen 1 ja Kohteen 2 tekninen käyttöikä on 50 vuotta ja Kohteen 3 100 vuotta.

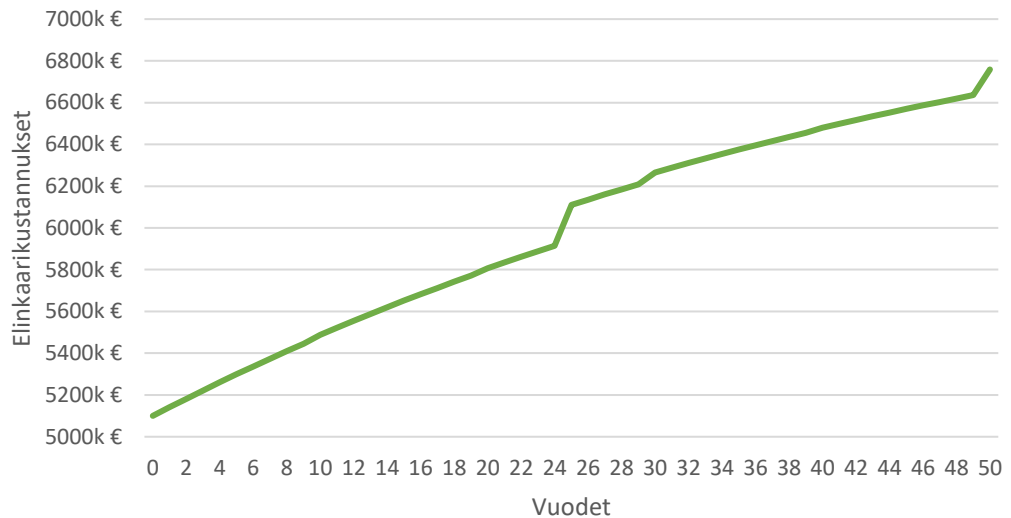
Tuottoja ei ole huomioitu laskelmissa, koska niitä ei ollut saatavilla. Ylläpitokustannuksiin ei ole tehty laskelmissa korotuksia, vaan ne on pidetty vakiona koko elinkaaren ajan. Inflaatiota ei ole huomioitu laskelmissa. Laskentakorkona on käytetty 2 prosenttia. Laskentakorko on määritelty EU:n elinkaarilaskelman työryhmäraportin mukaan (Häkkinen, T. 2005 s. 50). Rakennuksille ei määritetty jäännösarvoa lainkaan, vaikka todennäköisesti rakennuksilla on käyttöarvo niiden teknisen käyttöiän loppuvaiheessa. Kaikista kolmesta kohteesta tehtiin yhden muuttujan herkkyysanalyysi, jossa muuttujaksi valittiin investointikustannukset, korjauskustannukset, ylläpitokustannukset ja laskentakorko.

Case-kohteissa tehtävät elinkaaren aikaiset korjaukset ovat samanlaisia pienin poikkeuksin. Betonilattian korjaus on määritelty Punkki laatimasta taulukosta (Punkki 2017 s. 71) ja muut korjaukset pohjautuvat TimHaahs-yrityksen laatimaan parkkihallien kunnossapitotaulukkoon (TimHaahs 2012 s. 20-21). Raportin mukaan tehtäviä remontteja on huomioitu valaistuksen, hissien, ilmvaihtolaitteiston ja parkkipaikkojen maalauksen osalta. Kohteessa 1 ei ole huomioitu ilmanvaihtoon tehtävää korjausta, koska rakennuksessa ei ole erillistä ilmanvaihtoa. Kohteessa 2 ja Kohteessa 3 on laskettu huoltotoimenpiteitä ilmanvaihdolle. Kohteessa 2 ja Kohteessa 3 on erikseen laskettu nosto-oven käyttöikä (Assa Abloy 2015 s. 27). Teräsjulkisivulevyn oletetaan kestävän käyttöiän loppuun asti Kohteessa 1 ja Kohteessa 2, joka on 50 vuotta (Sipilä 2014 s. 44).

#### 5.5.1 Kohteen 1 elinkaarikustannukset

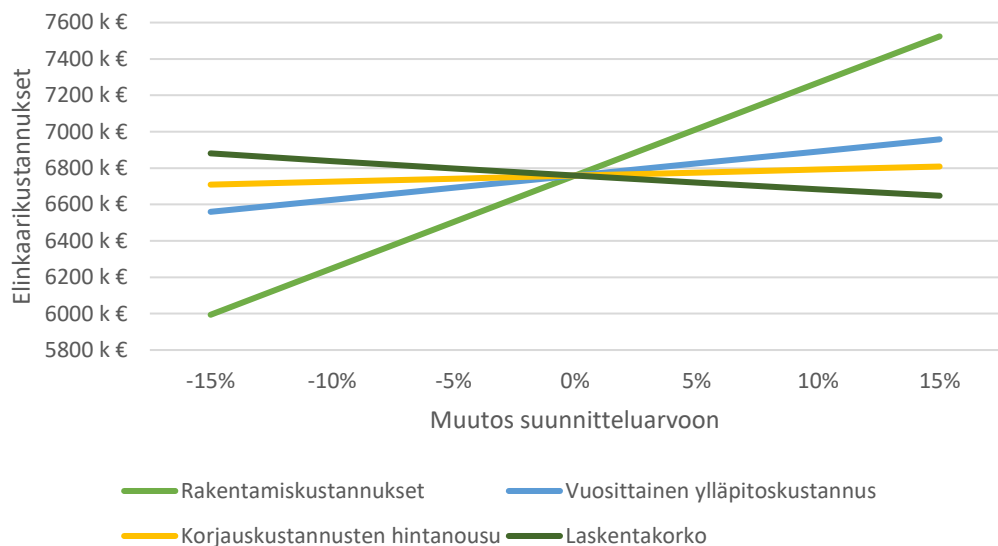
Kohde 1 elinkaarikustannuksista rakentamiskustannukset pohjautuvat tarjousvaiheen kustannusarvioon. Ylläpitokustannukset ovat keskimääräisiä hintoja, koska oikeita käyttökustannuksia ei ole saatavilla. Ylläpito- ja operointikustannukset pohjautuvat yhden taloyhtiön myyntiedustajalta saatuun parkkipaikan vuokraushintaan (Kohdeyrityksen asuntomyynti 2019). Kustannusrakennetta vuokrauksen sisällä ei ole saatavilla, koska parkkihallin tilinpäätöstietoja ei ole saatavilla, vaikka se on erillinen yhtiö, jonka takia laskelmassa on oletettu, että vuokralla ylläpidetään pelkästään parkkihallia.

Korjauskustannukset perustuvat tämän hetkisiin kustannuksiin eikä niissä ole otettu huomioon mahdollista kehitystä toteutusmuodoissa tai tulevaisuudessa pintamateriaaleissa. Kylmän parkkihallin elinkaaren suurimmat kustannukset muodostuvat rakennusvaiheessa. Käytön aikaiset kustannukset ovat suhteessa pienet, koska niissä ei ole lämmityskustannuksia, ilmanvaihtokustannuksia tai laajempia sähkökustannuksia. Sähkökustannukset muodostuvat pelkästään hissien ja valaisimien käytöstä. Suurimmat rakenteelliset korjaukset kohdistuvat parkkihallien lattiapintoihin. Ylläpitokustannukset ovat vuodessa noin 42 241,00 €. Kohteen 1 elinkaarikustannukset on esitetty kuvassa 34.



Kuva 34. Kohteen 1 elinkaarikustannukset.

Kohteen 1 herkkyyssanalyysi on esitetty kuvassa 35. Nollakohdassa on hankkeen kaikki elinkaarikustannukset yhteenlaskettuna. Muutos laskentakorkoon, korjauskustannusten hinnannousuun ja vuosittaisiin ylläpitokustannuksiin ovat saman suuruisia, mutta muutos investointikustannuksiin muuttaa eniten Kohde 1 elinkaarikustannuksia.



Kuva 35. Kohteen 1 yhden muuttuja herkkyyssanalyysi

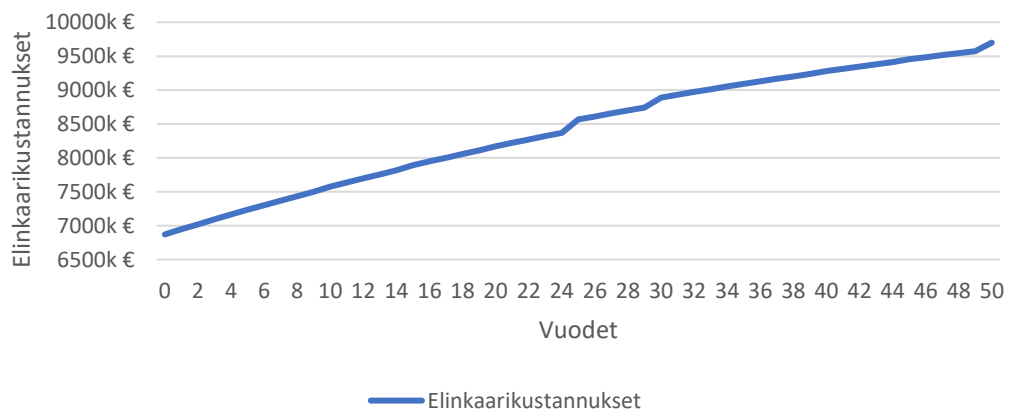
### 5.5.2 Kohteen 2 elinkaarikustannukset

Kohteen 2 on kylmä parkkihalli. Kohdeyritykseltä on saatu tieto rakennuksen tarjouspyyntöhinnan tasosta, mutta ylläpitokustannuksia ei ole ollut saatavilla. Ylläpitokustannukset on määritetty vastaavanlaisista 44 myynnissä olleesta parkkihallista. Näistä 44 parkkihallia on laskettu keskimääräiset ylläpitokustannukset yhdelle autopaikalle (Liite 6).

Vertailut pysäköintilaitokset ovat kokoluokaltaan vaihtelevia, jonka takia niiden määrä on pyritty kasvattamaan suuremmaksi, jotta hajonta olisi pienempää.

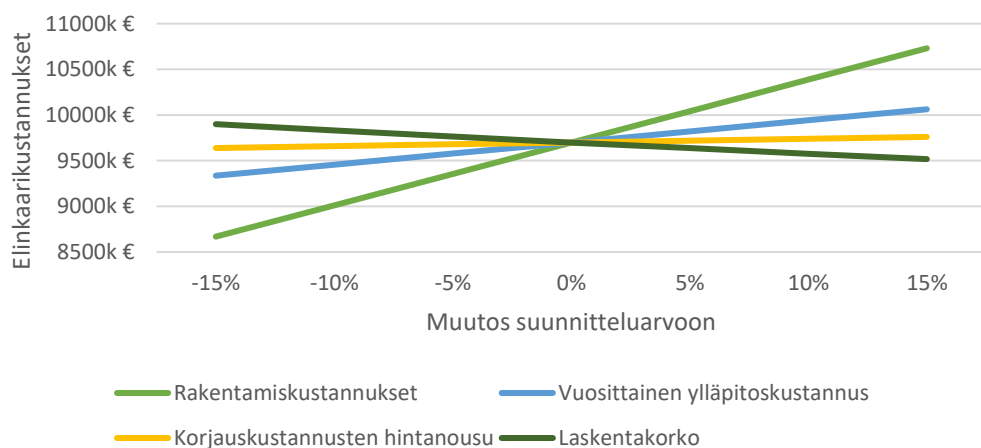
Vertailtavat pysäköintilaitokset ovat yksityiseen käyttöön tarkoitettuja pysäköintilaitoksia, jonka takia pysäköintilaitoksen operointikustannuksia ei ole saatavilla niistä ja ne on lisätty ylläpitokustannuksiin erikseen. Operointikustannukset pohjautuvat Rambollin tekemään Lempäälässä sijaitsevaan parkkihalliin (Ramboll 2016 s. 32).

Kohteen 2 käytönaikaiset kustannukset ovat korkeammat kuin Kohteessa 1, koska Kohde 2:ssa on enemmän talotekniikkaa ja huollettavia osia sekä ilmanvaihto. Kohteen 2 ylläpitokustannukset ovat vuosittain 77 060,00 €. Kuvassa 36 on esitetty Kohde 2 elinkaarikustannukset.



Kuva 36. Kohteen 2 elinkaarikustannukset.

Kuvassa 37 on Kohde 2 herkkyyssanalyysi. Nollakohdassa on koko hankkeen elinkaarikustannukset yhteensä. Investoinnilla on suurin vaikutus elinkaarikustannusten muodostumiseen. Laskentakorko, vuosittaiset ylläpitokustannukset ja korjauskustannusten hintanousu ovat hyvin pitkälti samalla tasolla.

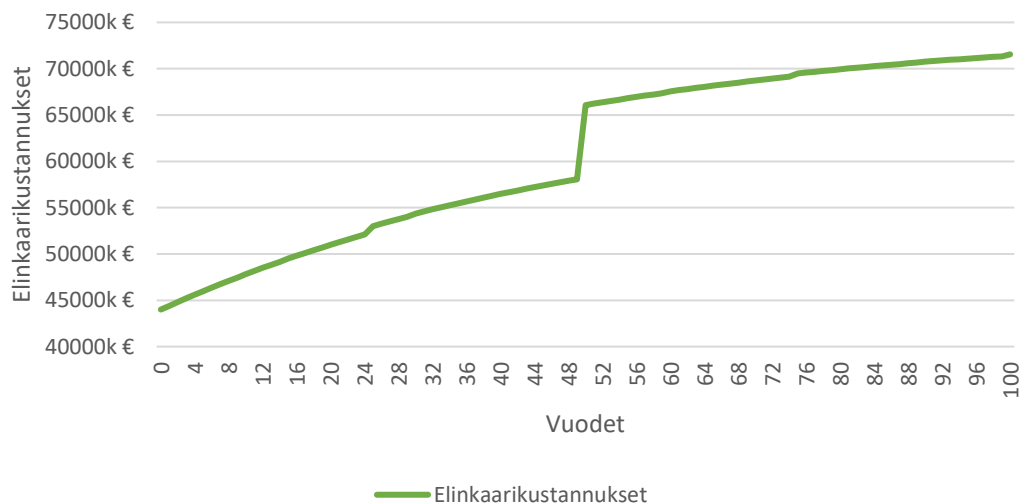


Kuva 37. Kohde 2 yhden muuttujan herkkyyssanalyysi

### 5.5.3 Kohde 3 elinkaarikustannukset

Kohde 3 on kallion sisään tehty maanalainen pysäköintilaitos, jonka takia sen elinkaarikustannukset ovat muista poikkeavat. Kohde 3:ssa on kalliimpi investointikustannus sekä hintavammat ylläpitokustannukset. Ylläpitokustannuksia ei ollut saatavilla kohteen käyttäjältä, joten ne on pitänyt arvioida erikseen. Arviointimenetelmänä on käytetty maanalaisten parkkihallien tilinpäätöstietoa sekä hankekehitysvaiheen kohteita. Täysin vastaavanlaisia kohteita ei ollut saatavilla. Tilinpäätöstiedoista on selvitetty käyttökate ja liikevaihto, joista on selvitetty niiden erotus, mistä on saatu selville muuttuvat ja kiinteät kustannukset. Nämä kustannukset on jaettu pysäköintipaikkojen määrällä, jotka on selvitetty kohteiden internetsivujen kautta. Pysäköintipaikkojen määrää on käytetty mitoittavana tekijänä, koska pinta-alaa tai tilavuutta ei ole ollut käytettävissä muista kohteista. Tilinpäätöksen kautta analysoitiin Turussa sijaitsevaa P-Louhea sekä Puutorinparkkia, Vaasan toriparkkia, Lappeenrannan Williparkkia ja Töölönlahden pysäköintiä. Eriksien vertailukohteena otettiin myös Siilijärven sote-keskuksen suunniteltu pysäköintihalli sekä Lempäälän pysäköinti, joista oli tiedossa raportin kautta parkkihallien ylläpitokustannukset (A-Insinöörit 2018 s. 150; Ramboll 2019).

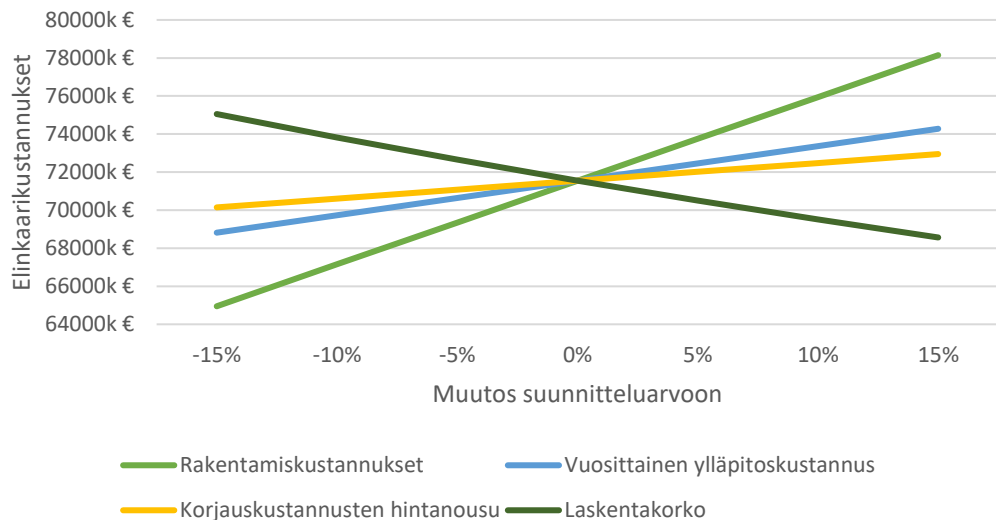
Näistä kohteista laskettiin kustannukset per autopaikka, joista otettiin keskiarvo. Tätä keskiarvokustannusta on käytetty Kohde 3 ylläpitokustannusten arvioinnissa. Korjauskustannuksien koostuminen on samanlainen hyvin pitkälti kuin Kohde 2 ainoana poikkeuksena ollen 50 vuoden kohdalla tehtävä talotekniikkaremontti Kohde 3 elinkaarikustannukset on esitetty kuvassa 38.



Kuva 38. Kohde 3 elinkaarikustannukset.

Kuvassa 39 on Kohde 3 herkkyyssanalyysi, joka on kahdesta muusta herkkyyssanalyysistä poikkeuksellinen. Kohde 3 investoinnin muutokset elinkaarikustannuksiin tekevät suurimman muutoksen. Laskentakorolla on suurempi vaikutus elinkaarikustannusten muutoksiin kuin kahdessa muussa case-parkkihallissa. Vuosittaisten ylläpitokustannusten ja korjauskustannusten muutokset ovat samaa tasoa kuin Kohde 2 ja Kohde 1. Nollakohdassa on laskettu kaikki elinkaarikustannukset yhteensä.



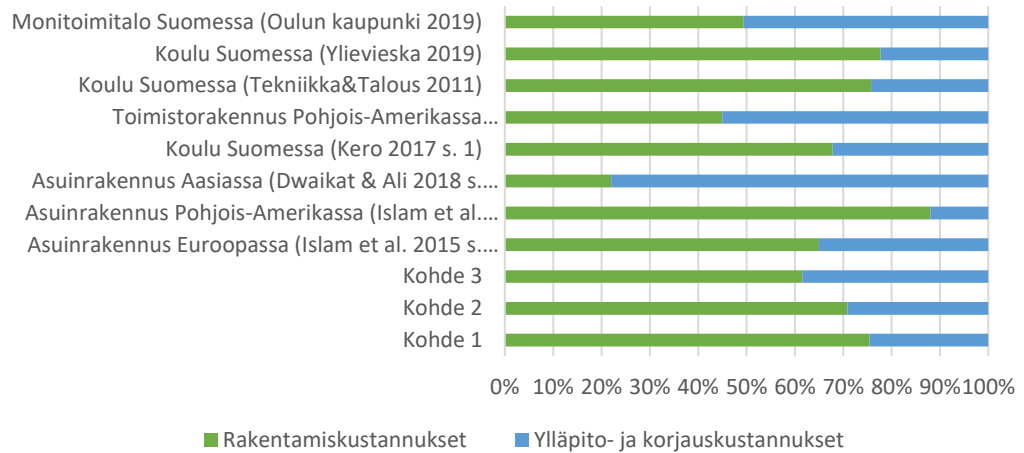


Kuva 39. Kohteen 3 herkkyyshanalyysi

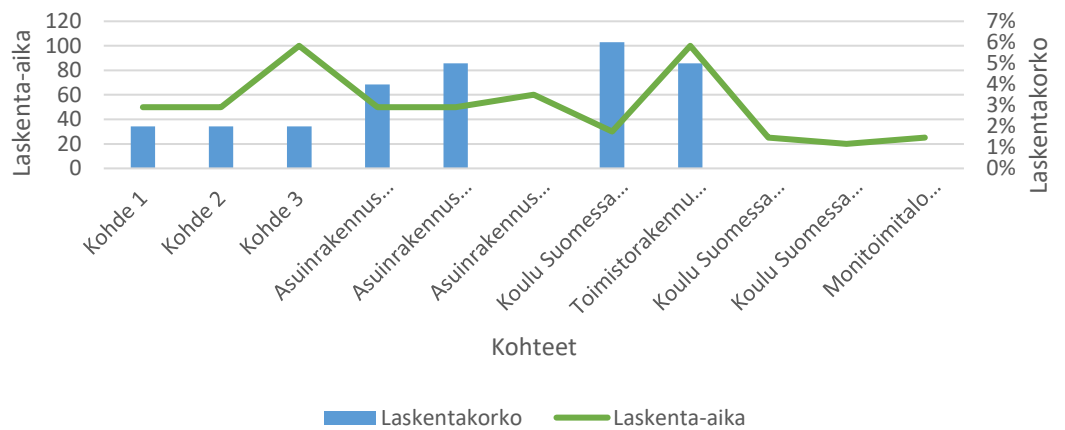
#### 5.5.4 Yhteenveto case-parkkihallien elinkaarikustannuksista

Case-parkkihalleissa elinkaarikustannusten suurin tekijä on investointikustannukset. Laskentakorolla on sen jälkeen suurin vaikutus case-parkkihallien elinkaarikustannuksiin. Vuosittaiset ylläpitokustannukset ja korjauskustannukset ovat samalla tasolla kaikissa kohteissa.

Tutkimustulokset kustannusten jakaumasta ovat osittain linjassa muun tyyppisten rakennusten elinkaarikustannusten kanssa, jotka on esitetty kuvassa 40. Kuvassa 41 on esitetty vertailukohteiden laskenta-aika ja laskentakorko, jos se on ollut saatavilla. Tuloksista voidaan päätellä, että parkkihalleilla ja kouluilla on samanlainen kustannusrakenne elinkaarikustannuksissa. Osalla asuinrakennuksista on samanlainen kustannusjakauma kuin parkkihalleilla. Tuloksiin on kuitenkin syytä suhtautua kriittisesti, koska vertailtujen kohteiden laskentakorko on erilainen, joka vaikuttaa tulevaisuudessa tuleviin kustannuksiin eli ylläpitokustannuksiin ja korjauskustannuksiin. Mitä alhaisempi laskentakorko on, sitä korkeammat ovat käyttökustannukset elinkaarilaskelmissa, koska tulevaisuuden kustannukset diskontataan nykyarvoon elinkaarilaskelmissa. (Kero 2017 s. 6; Götze et al. 2015 s. 51-53). Laskentajan pituus vaikuttaa rakennuksiin tehtäviin korjauksiin. Kalliimmat ja suuremmat remontit ovat pääasiassa 30 vuoden jälkeen, jonka takia sitä aikaisemmin päättyneet laskelmat eivät pidä sisällään näitä kustannuksia. (Turunen & Orava 2016 s. 164). Kero laskelmissa (2017 s. 6) on ainoastaan mainittu, että energian hinnan nousuun on varauduttu kustannuksissa kahden prosentin nousuvarauksella. Muissa laskentakohteissa ei ole otettu huomioon energiakustannusten nousemista. Dwaikat & Ali tutkimuksessa (2018 s. 305) ei ole diskontattu kustannuksia, jonka takia rakentamiskustannukset ja ylläpito- ja korjauskustannukset ovat muista selvästi poikkeavia.



Kuva 40. Elinkaarikustannusten jakauma.



Kuva 41. Vertailtavien kohteiden laskentakorko ja laskenta-aika.

## 6 Ympäristöystävällisemmän parkkihallin rakentamisen vaikutukset elinkaarikustannuksiin ja ympäristövaikutuksiin

Parkkihallia kuten muitakin rakennuksia, on mahdollista tehdä ympäristöystävällisemmin. Ympäristöystävällisemmällä parkkihallilla tarkoitetaan vähemmän negatiivisia ympäristötekijöitä tuottavaa parkkihallia. Ympäristötekijöiden muutoksena voi olla hiilijalanjäljen tai melutason laskeminen, yleisen viihtyvyyden kasvattaminen, jätteen tuottamisen minimointi tai maaperän ja veden pilaantumisen estäminen. Vihreiden eli ympäristöystävällisempien rakennusten elinkaarikustannukset ovat matalammat kuin tavallisessa rakennuksessa. Vihreissä rakennuksissa käyttökustannukset ovat 15 prosenttia alhaisemmat viiden vuoden jälkeen, käyttöaste on viisi prosenttia korkeampi ja rakennuksen arvo on seitsemän prosenttia korkeampi kuin tavallisessa rakennuksessa. Takaisinmaksuaika vihreällä rakennustavalla on arvioiden mukaan kahdeksan vuotta. (Walker et al. 2019 s. 20).

Kappaleen teemat ovat valikoitu ympäristöystävällisemmän parkkihallin suunnittelukirjan perusteella (Yoka 2014 s. 2-8).

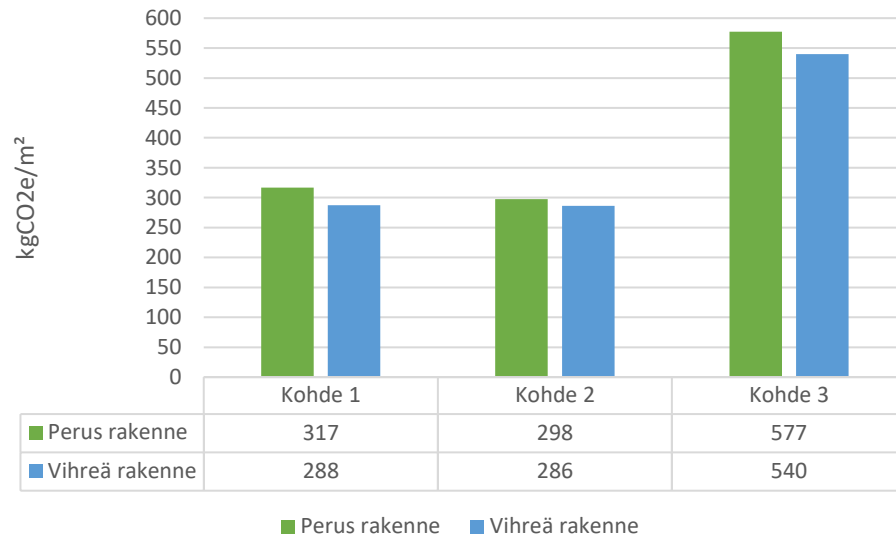
### 6.1 Runkoratkaisut

Parkkihalleissa käytönaikainen energia on vähäistä verrattuna rakentamisen aikana vaadittuun energiaan. Runkomateriaaleihin on sitoutunut eniten kasvihuonekaasupäästöjä, jonka takia niissä löytyy suurin mahdollisuus muutoksiin. Betonirakentamisessa sementin käytön vähentäminen laskee hiilijalanjälkeä. Sementin sijaan voidaan käyttää seosaineita kuten lentotuhkaa, kuona-aineita tai silikaattia. Muita tapoja vähentää sementin määrää on käyttää mahdollisimman suurta kiviainesta, oikeita rakennelujuuksia ja vedensijasta nesteyttimiä ja erilaisten vaihtoehtoisten sidosaineiden avulla. (Yoka 2014 s. 150-153). Sementtiä korvaavilla seosaineilla on positiivisia sekä negatiivisia vaikutuksia betoniin. Positiivisina vaikutuksina voidaan pitää korroosion vähentymistä, mutta negatiivisena tartunnan heikompaa kiinnittymistä. Betonin vahvuuden lisääntyminen on seosaineista riippuvaa, koska osa vahvistaa betonia ja osa heikentää. Betonin lujuuden kehittyminen on hitaampaa, jos betonissa käytetään seosaineena lentotuhkaa. Betonin lämpötilan kanssa tulee olla tarkempi lentotuhkaa käyttäessä, koska lujuuden kehittyminen lentotuhkaa sisältävässä betonissa on tavallista betonia riippuvaisempi lämpimästä lämpötilasta. Tavallinen betoni saavuttaa 50 prosentin lujuuden kolmessa päivässä, kun taas 50 prosenttia lentotuhkaa sisältävällä betonilla kestää kovettua seitsemän päivää. Rakenteet on kuitenkin mahdollista optimoida käyttäen rajattua määrää lentotuhkaa, jotta haluttu lujuus on saavutettavissa ilman, että tarvitsee muuttaa rakennusaikataulua tai -tapoja. (Qjang et al. 2019 s. 29; Zhao et al. 2019 s. 195-196; Rudus 2019; Thomas 2007 s. 18). Suomi on lopettamassa kivihiilen polttamisen, jonka takia lentotuhkan hyödyntäminen betonirakenteissa tulee loppumaan viimeistään vuonna 2025 (Pessi 2019; Järvinen 2019). Zeitz et al. (2019 s. 128-132) mukaan kierrätetyllä maa-aineksella ja teräksellä sekä sementin korvaaminen erilaisilla seosaineilla vähentää jopa 35 prosentilla kasvihuonepäästöjä betonielementtirakenteessa. Jälkijännitetyssä betonirakenteessa voidaan saada edellä mainituilla muutoksilla vähennettyä kasvihuonepäästöjä 42,5 prosenttia.

Pacheco-Torgal et al. (2014 s. 243-244) mukaan sementin vaihtaminen lentotuhkaan ei välttämättä vähennä kasvihuonekaasupäästöjä rakenteissa, vaan parempi tulos saavutetaan vaihtamalla betoni korkeamman lujuusluokan betoniin. Korkeamman lujuusluokan betonissa sementtiä menee betonikuutio kohti enemmän, mutta betonia tarvitaan vähemmän, jonka avulla saadaan vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä. Korkeampien lujuusluokkien betonien hiilijalanjälki kuutiota kohden on selkeästi suurempi. Ultralujan betonin hiilijalanjälki on neljä kertaa suurempi kuin tavallisen betonin, joka johtuu pääasiassa teräskuiduista, joita käytetään betonissa, mutta hiilijalanjälki esimerkiksi siltarakenteessa on 14 prosenttia pienempi ja materiaalia menee 27 prosenttia vähemmän. (Sameer et al. 2019 s.12-14). Korkealujuusbetonien hyvät puolet ovat samanaikaisesti ongelmallisia, koska betonipaksuuden ohentuessa ongelmaksi muodostuu teräksen suojaetäisyys, joka hidastaa korroosion muodostumista teräksessä. Tarvittavan suojakerroksen määrään voidaan vaikuttaa vaihtamalla betonissa oleva teräs ruostumattomaksi teräkseksi. Ruostumattoman teräksen ja harjateräksen kustannusero vaihtelee tapauskohtaisesti, mutta Taloon.com-sivuston mukaan ruostumaton teräs maksaa 2,65 kertaa enemmän kuin harjateräs. Korkealujuusbetonien hinnat ovat karkeasti kaksi kertaa kalliimmat betonikuutiota kohden verrattuna yleisesti käytettyyn betoniin. Kustannuserot korkealujuusbetonirakenteiden ja yleisesti käytettyjen betonirakenteiden eivät riipu pelkästään yksittäisestä rakenneosasta, koska korkealujuusbetonirakenteet ovat kevyempiä rakentaa, joka vaikuttaa koko rakennuksen suunnitteluun. Vaikka osa rakenteista voidaan pienentää korkealujuusbetonien avulla, rajoittavaksi tekijäksi voi muodostua, että teräkset eivät mahdu suunniteltuun rakenteeseen. (Mönkkänen 2019; Järvinen 2019; Elementtisuunnittelu 2019; Taloon.com 2019). Korkealujuusbetonin arvioidaan betonipilarin lujuuden parantamisella madaltavan suhteellisia kustannuksia noin 25 prosenttia (Elementtisuunnittelu 2019). Kustannussäästöväitteistä on kuitenkin muitakin mielipiteitä. Korkealujuusbetonista tehtyjen rakenteiden elinkaarikustannuslaskelmia on tehty erityisesti silloista, joista on saatu kustannussäästöä sekä kustannusnousua. Sillat sopivat korkealujuusbetonin käyttöön, koska tavallisella betonilla rakennettaessa betonipilarit ja -palkit ovat paksuja. Dong (2018 s. 424) mukaan Kiinassa tehdyssä sillassa kasvihuonepäästöt laskivat 48 prosenttia, mutta kustannukset nousivat 80 prosenttia, kun käytettiin korkealujuusbetonia tavalliseen betoniin verrattuna. Daigle & Lounis (2006 s. 16-17) mukaan Kanadassa tehdyssä tutkimuksessa, siltarakenteen elinkaarikustannukset laskivat 40-45 prosenttia ja kasvihuonepäästöt laskivat 65 prosenttia tavalliseen betonirakenteen verrattuna, kun käytettiin korkealujuusbetonia.

Case-parkkihalleista tehtiin laskelmat käyttäen sidosaineita betonin sijasta. Tulokset on esitetty kuvassa 42. Vihreämmässä rakenteessa on lentotuhkalla käytettyä betonia, kierrätetyillä maa-aineksilla ja kierrätetyillä teräksillä. Vihreät rakenteet tuottavat vähemmän hiilijalanjälkeä, mutta saatu hyöty ei ole yhtä iso kuin Zeitz et al. (2019 s. 132) on laskenut artikkelissaan. Vihreämmät rakenteet eivät vaikuta materiaalikustannuksiin. Lentotuhkan määrä paikallavalettavissa betonirakenteissa on tarpeeksi vähäinen, jotta siitä ei pitäisi muodostua viivästyksiä aikatauluun ja elementit oletetaan tilattavaksi tarpeeksi ajoissa, jotta niistä ei muodostu myöskään viivästyksiä, vaikka niistä käytetään korkeampaa määrää lentotuhkaa (Thomas

2007 s. 18). Suurin lasku hiilijalanjäljessä on Kohde 1, jossa on 10 prosentin vähennys hiilijalanjäljessä. Kohde 3 saavutetaan myös seitsemän prosentin laskua hiilijalanjäljessä vihreämmällä betonilla, mutta Kohde 2 tulokset jäävät neljään prosenttiin.

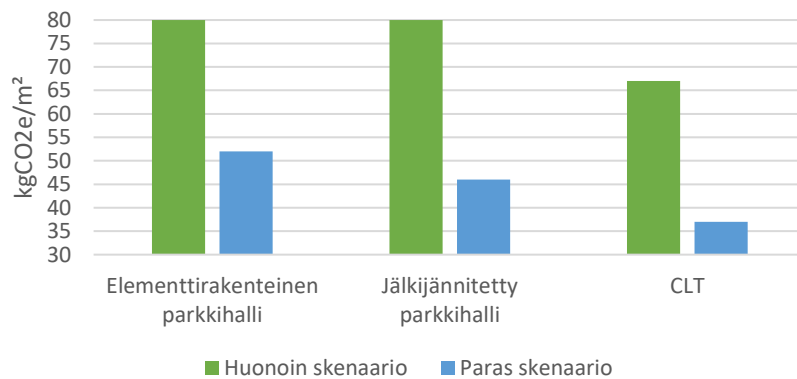


Kuva 42. Parkkihallien hiilijalanjäljen muutos vihreämmällä rakenteella.

Case-parkkihalleista ei tehty laskelmia korkealujuusbetonin kanssa, koska parkkihalleja ei ollut suunniteltu sillä rakennettavaksi. Rakenteet tulisi suunnitella erikseen korkealujuusbetonin kanssa, joka ei ollut mahdollista diplomityön aikatauluun nähden. Parkkihalleissa potentiaaliset kohdat korkealujuusbetoneille ovat jännebetonipalkit, koska ne ovat korkeita, leveitä ja pitkiä ja niihin menee paljon betonia. Suuremmat betonirakenteet on mahdollista hoikentaa ja silti saada raudoitus mahdumaan rakenteeseen. Matalammilla betonipalkeilla voitaisiin laskea rakennekorkeutta, joka toisi säästöjä betonipilareiden korkeuksissa.

Tulevaisuuden parkkihallien tarpeesta on monenlaisia arvioita, kun joukkoliikenne kasvaa, lähiöiden määrä vähenee ja kyytipalveluiden määrä lisääntyy. Parkkihallit suunnitellaan pitkiksi ajoiksi, jonka takia on hyvä pohtia vaihtoehtoisia ratkaisuja parkkihalleille, jos niitä ei enää tarvita yksityisautoilun vähenemisen takia. Parkkihallit sijaitsevat pääasiassa ruuhkaisilla paikoilla, jonne ihmisten tarvitsee päästä kuten lentokenttien ja keskustojen vieressä. Kyseisillä paikoilla on yleensä toimisto-, kauppa- ja asuinrakennuksia, joiksi parkkihallin voi muuttaa osittain tai kokonaan. Parkkihallien rungot harvemmin kuitenkin taipuvat suoraan toisenlaiseen käyttötarkoitukseen kuten kaupaksi- tai asuinrakennukseksi. Ongelmia ovat kerroskorkeus, liian vähän talotekniikkaa kuten sähköjä ja viemäriiliitoksia sekä liian vähäinen rakennekantavuus perinteisessä parkkihallissa. Yhdysvalloissa on muutama parkkihalli, jossa on muutettu kerroskorkeutta sekä vahvistettu rakenteita. Tutkimusten mukaan kustannuslisäys on ollut näissä kohteissa 30 ja 40 prosentin väliltä rakennuskustannusten päälle. (International Parking Institute et al. 2018 s. 169-177).

Springfieldin kaupungissa, Oregonin osavaltiossa Yhdysvalloissa on rakenteilla puurakenteinen parkkihalli. Parkkihallin puu on CLT-levyistä tehty. Rakennus on neljässä kerroksessa ja siinä on myös liiketilaa alakerrassa. Rakentamiskustannukset ovat yhtä suuret kuin teräsrakenteisen tai betonirakenteisen parkkihallin kustannukset olisivat. (Daily Journal of Commerce 2016). Zeitz et al. (2019 s. 130-132) on tutkinut Springfieldin kaupungin CLT-rakenteisen parkkihallin hiilijalanjälkeä, jonka huonoimman skenaarion runko muodostaa 16,25 prosenttia vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin vastaavanlainen betonirunko ja parhaassa skenaariossa muodostaa 19,6 prosenttia vähemmän kasvihuonepäästöjä kuin betonirunko. Tulokset on esitetty kuvassa 43.



Kuva 43. Parkkihallien hiilijalanjälki (Zeitz et al. 2019 s. 132).

CLT-rakenteisissa parkkihalleissa on myös ongelmia. CLT tulee pysyä samanlaisessa sääolosuhteessa ympäri vuoden. Suuret vaihtelut kosteuksien ja lämpötilan puolesta altistaa puun halkeamille ja rakenteellisille vaurioille. Lämpötilaa voidaan säädellä lämmityksen avulla, mutta se lisää kustannuksia sekä kasvattaa ympäristövaikutuksia. Palonkestävyyttä voidaan parantaa lisäämällä levyjä CLT:hen, mutta kustannukset nousevat samalla sekä tuotanto vaikeutuu. (Webster, C 2018)

Muita tutkittuja runkomateriaaleja parkkihalleissa puun ja betonin lisäksi on teräs. Teräsrunkoinen parkkihalli muodostaa enemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin betonirakenteinen (Zeitz et al. 2019 s. 132). Tulevaisuudessa runkoaineeksi voi myös muodostua geopolymeeribetoni eli ekobetoni, joka valmistetaan jätteistä. Oulun yliopistossa valmistetussa geopolymeeribetonissa käytettiin masuunikuonaa ja natriumsilikaattia, mutta muualla on käytetty myös lentotuhkaa, paperijätettä, kivi- ja puujätettä ja punaliejua. Geopolymeeribetonilla on mahdollista saavuttaa betonin tasoinen puristuslujuus. (Adesanya et al. 2018 s. 168-169; Pavithra et al. 2016 s. 117; Luukkonen et al. 2018 s. 172-179). Geopolymeeribetonin kasvihuonekaasupäästöistä on vaihtelevaa arviota suhteessa betoniin. Geopolymeeribetonin on arvioitu muodostavan 80 prosenttia alhaisemmat kasvihuonekaasupäästöt (Pavithra et al. 2016 s. 117; Oulun Yliopisto 2019). Aiheesta on saatu myös toisenlaisia tutkimustuloksia, jossa geopolymeeribetonin tuottamat kasvihuonekaasupäästöt ovat 4-9 prosenttia pienemmät betoniin verrattuna (Sandanayake et al. 2018 s. 407; Turner & Collins. 2013 s. 130). Geopolymeeribetonia on käytetty runkoaineena jo Australiassa 2013 Yliopistorakennuksen rakentamisessa (Geopolymer institute 2013).

## 6.2 Viherkatot sekä viilentävät katot

Viherkatto on rakennuksen katon päälle tehtävä erillinen kasvialusta. Viherkattoja on kolmea erilaista; maksaruohokatto, niitty/ketokatto, heinäkatto ja kattopuutarha, joka on osittain viherkatto. Viherkattojen hyvinä puolina pidetään sade- ja sulamisvesien eli hulevesien hallintaa, lämpösaarekeilmiön vähenemistä, lämpösäätelyä, melun vähentämistä ja ihmisten henkisen hyvinvoinnin kasvamista. (RT 85-11203 2016 s.1-2; Kerabit 2019 s. 2). Bozorg-Chenani et al. (2015 s. 160-161) mukaan viherkattojen ympäristövaikutukset ovat 16 prosenttia alhaisemmat tavalliseen Suomalaiseen asuinrakennuksen kattoon verrattuna. Yoka (2014 s. 138) mukaan viherkatolla on jopa tuplasti korkeampi käyttöikä tavalliseen kattoon verrattuna. Viherkatot myös vähentävät ilmanviilennyksen tarvetta 20 prosentilla. Kuvassa 44 on esitetty eri viherkattotyypin soveltuvuutta kuhunkin käyttötarkoitukseen.

Viherkaton toiminnallisuus	1. Maksaruohokatto	2. Niitty/ketokatto	3. Heinäkatto	4. Kattopuutarha
<b>Hulevesi</b> toimii osana hulevesien hallintajärjestelmää viivytämällä ja pidättämällä vettä				
<b>Luonnon monimuotoisuus</b> lisää kaupunkiluonnon monimuotoisuutta, toimii osana alueen viheralueverkostoa				
<b>Melunsäätely ja ääneneristävyys</b> vähentää äänen kulkeutumista ja heijastumista kovilta pinoilta				
<b>Lämmönsäätely</b> lievittää lämpösaarekeilmiötä ja helleaaltojen vaikutusta				
<b>Virkistys</b> luo vihreitä virkistys- ja oleskeluympäristöjä ja -malsemia				
<b>Hyötykäyttö</b> luo vihreitä toimintaympäristöjä, esimerkiksi kaupunkiviljely, opetus, kuntoutus				

sopii tarkoitukseen  
 sopii tarkoitukseen hyvin  
 sopii tarkoitukseen erinomaisesti

Kuva 44. Viherkattojen sopivuus eri tilanteisiin (RT 85-11203 2016 s. 2).

Viherkattojen negatiivisia puolia ovat niiden muodostama paino, ylläpitokustannukset ja pitkä takaisinmaksuaika. Jos rakennusta ei ole alun perin suunniteltu viherkattoa varten, saattaa viherkaton paino olla liian paljon rakennukselle. Maksaruohokatto, niittykatto ja heinäkatto vaativat vähäistä ylläpitoa, mutta kattopuutarha vaatii samanlaista ylläpitoa kuin puutarhan hoidossa tarvitaan. Viherkattojen kustannushyötyä on mitattava tapauskohtaisesti. Kaupungeissa, joissa hulevesistä joutuu maksamaan erikseen maksua, tuo viherkatto säästöä. Ympäristön virkistäväyyden lisääntyminen, lämpösaarekeilmiön ja melutason väheneminen ovat tekijöitä, joita on haastava mitata. Viherkaton hintataso on arviolta 50-60 euroa/m<sup>2</sup> (Yoka 2014 s. 136-140; (RT 85-11203 2016 s. 4; Nurmi et al. 2013 s. 5-9). Lämpösaarekeilmiöllä tarkoitetaan kaupungin keskustoissa esiintyvää lämpimämpää ilmaa, joka johtuu teollisuuden, rakennusten ja liikenteen tuottamasta hukkalämmöstä sekä rakennuksista varastoituneen auringonsäteilyn vapautumisesta lämpönä (Ilmastopas 2014).

Case-kohteista Kohde 2 on viherkatto. Viherkaton kokonaisvaltaista hyötyä ympäristövaikutusten osalta on haastava mitata ilman kokonaisvaltaista elinkaariarviota. Rakennuksen käytönaikaiset tiedot tulisi olla käytössä tai edes paremmat arviot sen suhteen. Katolle tehtiin leikkipuisto lapsia varten sekä terassia, jotka toivat ylimääräistä kuormitusta katolle ja lisäsivät hiilijalanjälkeä. Lämmönsäätelystä ei ole suoraan hyötyä Kohde 2, koska parkkihallissa ei ole jäähdytystä eikä lämmitystä. Hulevedet, luonnonmonimuotoisuus, lämpösaarekeilmiön väheneminen, melunsäätely, virkistys ja hyötykäyttö ovat tekijöitä, joita ei tässä työssä mitattu erikseen.

Viilentävällä katolla tarkoitetaan heijastavaa kattoa, jonka ideana on heijastaa auringonsäteily takaisin avaruuteen sen sijaan, että varastoisi sen lämpöä rakennukseen. Heijastavuus saavutetaan käyttämällä vaaleita sekä heijastavia pintoja tummien pintojen sijaan. Lämpötilaerot tumman ja vaalean katon välillä voivat olla kesällä jopa 30 astetta. Viilentävää kattoa kutsutaan myös valkokatoksi. Viilentävän katon etuja on säästetty energiakustannus jäähdytyksessä sekä matalampi lämpösaarekeilmiön tuottaminen. Kylmillä alueilla jäähdytyskustannukset eivät ole niin suuret, jonka takia saatu hyöty on pienempi. Osassa rakennuksista lämmityskustannukset voivat jopa nousta talvella, mutta kokonaisvaltaisesti viilentävää kattoa pidetään energiataloudellisempänä ratkaisuna. (Shi et al. 2019. s.1-2; Yoka 2014 s.146-148). Asennuskustannukset ovat samaa luokkaa viilentävällä katolla kuin tavallisella katolla. Huoltokustannukset ovat hieman kalliimmat viilentävässä katossa, koska katto tulee pitää puhtaana, jotta sen heijastuskyky pysyy korkealla. (Yoka 2014 s. 148-149).

Case-parkkihalleissa ei ole juurikaan kumibitukermikattoja tai muita tummia katopintoja, joten viilentävää kattoa ei ole juurikaan vaihdettavissa. Kohde 1 on porraskuilujen katolla kumibitumikermikatto. Kumibitumikermikaton vaihtaminen Kohde 1 viilentävään kattoon tuo 1000 kgCO<sub>2</sub>e päästöjä lisää materiaalin vaihdon takia. Tilat eivät ole lämmitettyjä tai viilennettyjä, jonka takia käyttökustannuksiin eikä energian kulutukseen tule muutoksia katon vaihtamisesta Kohde 1. Lämpösaarekeilmiötä ei tutkittu tässä työssä, joten sen muutosta ei pystytä sanomaan.

### 6.3 Uusiutuvat energialähteet

Uusiutuvalla energialla tarkoitetaan energian muotoa, joka saavutetaan uusiutuvista energian lähteistä, joita ovat maalämpö, liike-energia aalloista ja vuorovedestä, aurinko-, tuuli-, vesi- ja bioenergia. Aalto- ja vuorovesistä muodostuva energiaa ei Suomessa juuri hyödynnetä, koska se ei ole kannattavaa nykyteknologialla. Bioenergia käsittää puuperäiset polttoaineet, peltobiomassat, biokaasun ja kierrätyspolttoaineiden biohajoavan osan. (Motiva 2019a). Suomessa on tavoitteena, että 2020-luvulla yli 50 prosenttia energian loppukulutuksesta on uusiutuvaa energiaa. Vuonna 2018 uusiutuvan energian osuus on 37 prosenttia kokonaisenergiatuotannosta, joista suurin osa on muodostettu bioenergian avulla. (Motiva 2019b).

Sähkön ostamisella voi vaikuttaa rakennuksen muodostamaan hiilijalanjälkeen. Jos ostetulla sähköllä on EKOenergia-ympäristömerkki, on sähkö tuotettu uusiutuvalla energialla. LEED-ympäristösertifikaatissa on yhtenä vaatimuksena lisäpisteille, että ostettu sähkö pitää sisällään EKOenergia-ympäristömerkin. EKOenergia-



ympäristömerkillä oleva sähkö on arvioiden mukaan yhdestä kahteen prosenttia kalliimpaa kuin keskimääräinen sähkö. (EKOenergia 2019; Yle 2016).

Kohde 3:ssa sähkön ostaminen uusiutuvista energialähteistä laskee noin 13 prosenttiyksikköä kasvihuonepäästöjä verrattuna siihen, että ostetaan muilla kuin uusiutuvalla energialla tuotettua sähköä. Käytönaikaiset kustannukset nousevat vuositasolla noin tuhannella eurolla, jos käytetään oletusta, että sähkön hinta on 0,12 €/kWh.

Parkkihalleihin on mahdollisuus asentaa uusiutuvia energialähteitä kuten aurinkopaneeleita, tuulimyllyjä ja maalämpöä. Tuulienergian tuottaminen parkkihalleissa on mahdollista erilaisten turbiinien avulla. Tuulienergian takaisinmaksuaika riippuu hyvin pitkälti tuulen määrästä. Keskimääräisesti pienet tuulivoimat pystyvät tuottamaan 2000-3000 kWh vuodessa. Takaisinmaksuaika ilman, että otetaan aikatekijää huomioon, vaihtelee 13 ja 20 vuoden välillä pienissä tuulivoimailoissa asuinalueilla. Hiilijalanjäljen kompensointi, jos verrataan tuotettuun sähköön, on pienillä tuulivoimaloilla noin kaksi vuotta. (Carbon Trust 2008 s. 16-30; Popular mechanics 2009). Tuulienergian ongelmakohtat ovat esteettiset haitat, korkeusrajat rakennuksissa, rakenteista muodostuneet painorajoitteet, roottorista muodostuvat meluhaitat ja mahdolliset liitännäisyydet rakennusten kanssa (Yoka 2014 s. 104-106; Qu & Kang 2017 s. 629-630). Korkeusraja tuulivoimalalle on 300 metriä merenpinnasta lentokentän läheisyydessä, jotta lentokoneelle jää puskurivaraa. (ANS Finland 2019).

Auringon säteilystä on mahdollista muodostaa sähköä aurinkopaneelien avulla. (Motiva 2017a). Aurinkopaneelien kannattavuus riippuu pitkälti auringon säteilyn määrästä sekä aurinkosähkön tuotannon oman käytön osuudesta. Motivan (2016) teettämän tutkimuksen mukaan kaukolämmöllä lämpiävän toimistorakennuksen, jossa käytetään aurinkoenergiaa käyttönsähkukulujen pienentämiseksi, koroton takaisinmaksuaika on 16 vuotta. Järjestelmän arvioitu vuotuinen teho on 23 625 kWh, investointikustannus 37 500 euroa ja vuotuiseksi säästökäsi/tuotoksi on laskettu 2363 euroa (Motiva 2016). Aurinkopaneelien tuottama teho on kannattavaa pitää mahdollisimman korkealla omassa tuotannossa, jos haluaa saada maksimaalisen tuoton. Aurinkopaneelilla tuotetun sähkön myyminen eteenpäin ei ole kannattavaa toimintaa siitä maksetun huonon hinnan takia. Otollisissa olosuhteissa aurinkoenergia tuottaa 3-8 prosentin tuoton pääomalle. (Finsolar 2017). Aurinkopaneelin tekninen käyttöikä on 25 ja 30 vuoden välillä. Valmistajien mukaan aurinkopaneelit tuottavat vielä 25 vuoden iässä 80 prosentin teholla sähköä. (Motiva 2018c) Aurinkopaneelien tehoja on monen tasoisia, mutta yhden piikkikilowatin aurinkopaneeli tuottaa 800-1000 kWh vuodessa Etelä-Suomessa ja sen valmistus tuottaa noin 231 kgCO<sub>2e</sub> kasvihuonepäästöjä. Verkkovirrasta ostettu 800 kWh sähköä tuottaa vuodessa 176 kgCO<sub>2e</sub> kasvihuonepäästöjä, joten yhden paneelin tuottama sähköenergia hyvittää vuodessa ja neljässä kuukaudessa siitä muodostuneen kasvihuonepäästön, jos toiminta-aste on 100 prosenttia. (Motiva 2017b; Motiva 2018c; Bionova 2019).

Maalämmön lämmitysmuoto perustuu maahan, veteen tai kallioon varastoituneesta lämmön hyödyntämisestä. Lämpö kerätään lämpökaivojen avulla, joissa

kierrätetään vettä. Veden pumpppaa maalämpöpumppu, joka käyttää sähköä. Maalämmössä on suuri alkuinvestointi, mutta pienet käyttökustannukset. Investointikustannukset omakotitaloon ovat 10-15 000 euron luokkaa, mutta kerrostaloissa kustannukset nousevat 200-300 000 euroon ja isoimmista jopa 400 000 euroon. Takaisinmaksuajat ja käyttökustannukset vaihtelevat rakennuskohteittain. Uudessa kerrostalossa korollinen takaisinmaksuaika on 15 vuotta, kun taas uudessa rivitalossa korollinen takaisinmaksuaika on 13 vuotta. Maalämpöasennuksia rajoittaa niiden vaatima toimenpidelupa, koska lämpökaivot vaikuttavat maanalaisiin rakennuksiin, pohjavesialueisiin ja muihin lämpökaivoihin. (Motiva 2019c; Kotkan Energia 2015). Jos maalämpöön yhdistää vihreän sähkön, on maalämmön käytön aikaiset kasvihuonekaasupäästöt entistä alhaisemmat ja joissain tapauksissa jopa nolla. (WWF 2012 s.6-7).

One Click LCA-ohjelmassa ei ole erikseen tuulivoimaloita, jonka takia niistä saatua hyötyä ei pysty laskemaan case-kohteissa. Kohde 2, jos otetaan aurinkopaneeleita tarpeeksi tuottamaan kaiken tarvittavan sähköenergian, tarvitaan yhteensä 256 neliometriä aurinkopaneeleita. Aurinkopaneeleilla tuotettu sähkö alentaa 13,7 prosentilla Kohde 2 hiilijalanjälkeä. Käyttökustannukset laskevat noin 18 000 eurolla, jos sähkönhinta arvioidaan olevan 0,12 euroa/kWh. Investointikustannukset nousevat noin 230 000 €, jos hintana käytetään 1,5 euroa/W<sub>p</sub> (Motiva 2017c). Huomioon tulee kuitenkin ottaa, että sähkö voidaan välillä joutua ostamaan verkosta, jota ei laskelmassa otettu huomioon. Aurinkopaneelien sijoittaminen voi olla haastavaa sekä kiellettyä arkkitehtonisista syistä. Ideana oli kuitenkin antaa laskennallinen arvo ja hyöty sähköpaneeleista.

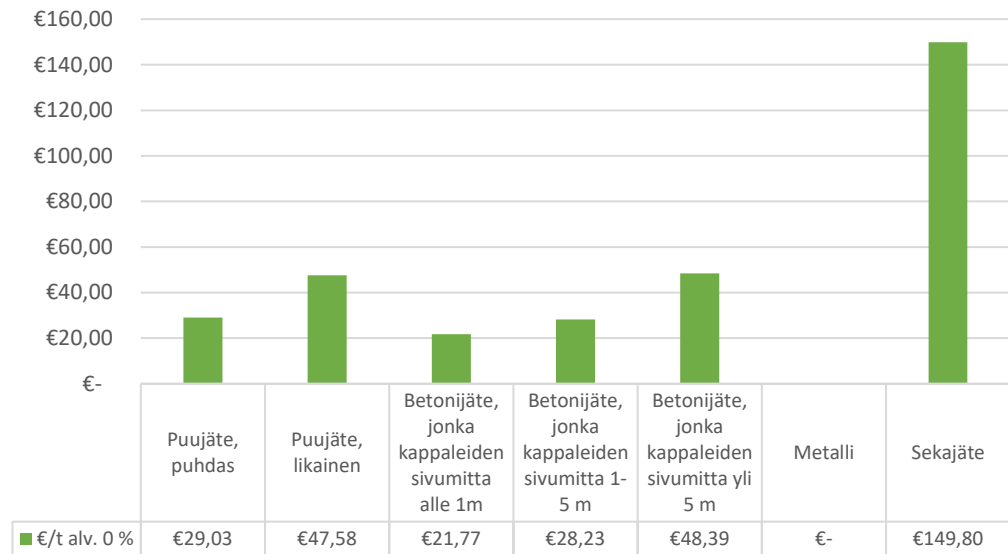
Maalämmön tuottamia hyötyjä on mahdollista laskea ainoastaan Kohde 3:ssa, koska kaksi muuta pysäköintilaitosta ovat kylmä, jonka takia niihin ei tarvita erikseen lämmitysjärjestelmää. Kohde 3 on lämmitetty kaukolämmöllä. Jotta vertailulaskennan voisi tehdä, tulisi olla oikeat tiedot käytössä kulutuksesta. Jos käyttää samaa energiamäärää, mitä tarvitaan kaukolämmön tuottamiseen maalämmössä, on Kohde 3 hiilijalanjälki noin 10 prosenttia alhaisempi maalämmöllä kuin kaukolämmöllä, jos maalämmön tarvitsema sähkö ostetaan vihreänä sähköinä.

#### 6.4 Kierrätys

Kierrätyksen avulla jatketaan tuotteen elinkaarta ja ehkäistään samalla neitseellisten raaka-aineiden käyttöä. Kierrätettyjä materiaaleja muodostuu kahdella tavalla eli prosessin sivutuotteena ja aikaisemman käyttötarpeen päättymisen jälkeen. (Yoka 2014 s. 154-155). Kivihiilellä käytetystä lämmityksestä, jota käytetään esimerkiksi sementin valmistamiseen, saadaan lentotuhkaa, jota voidaan käyttää betonin valmistamiseen. Aikaisemman käyttötarpeen päättymisen jälkeinen materiaali on esimerkiksi vanhan betonin kierrätys murskeena, jota voidaan käyttää seinissä ja portaissa (Saarinen, 2015 s. 44-47). Parkkihalleissa pääasiallisena runkoaineena on usein betoni paloturvallisuus sekä rakennusteknisistä syistä (RT 98-11237 s. 13). Betonin valmistuksen yhteydessä voidaan käyttää prosessin sivutuotteita kuten lentotuhkaa ja masuunikuonaa, jotka alentavat kasvihuonekaasupäästöjen määrää betonissa (Kuittinen 2015s. 474-475).

Rakennusjätteiden kierrätys ja lajittelu on niin ympäristön kuin kustannuksienkin kannalta tärkeää suorittaa. Rakennusjätteiden kierrätystä säädetään lailla (Ympäristö.fi 2016). Parkkihalleissa pääasiallinen jäte on puuta, rautaa ja betonia. Taulukossa 9 on esitetty niiden jätteiden hinnat, joita muodostuu pääasiassa parkkihalli-projekteissa. Tuotteiden lajittelematta jättäminen (sekajäte) maksaa moninkertaisesti enemmän kuin niiden lajittelu.

Taulukko 9. Rakennusjätteiden hinnat (Kiertokapula 2019).



Kun rakennus saavuttaa käyttöikänsä päätepisteen, on kaikki betoni mahdollista kierrättää ja ottaa uusiokäyttöön. Suomessa tällä hetkellä käytetään 80 prosenttia betonijätteestä kiviaineen korvikkeena maanrakentamisessa. (Finnsementti 2019 s. 19). Betonimurskeen käyttämisestä on tutkittu maanrakentamisessa ja sen on todettu vahvistavan maaperää sekä kasvattavansa vuosien mittaan lisää kantokykyä (Silva et al. 2019 s. 2-3).

Case-kohteissa kierrätyksen vaikutus rakentamiseen on esitetty tämän kappaleen kohdassa 6.1. Rakennuksen elinkaaren jälkeistä hyödyntämistä ei käsitellä tässä diplomityössä, jonka takia niitä ei ole huomioitu laskelmissa.

## 6.5 Ympäristösertifikaatit

Ympäristösertifioiturakennus osoittaa, että rakennusta tehtäessä on otettu huomioon ympäristöasioita. Ympäristösertifikaatteja voidaan käyttää myös muistilistana sekä ohjaavana tekijänä erilaisten vihreiden näkökulmien huomioonottamiseen, vaikka niitä ei hakisi edes itse kohteelle. Parkkihallien ympäristösertifikaatti on Parksmart. Parksmartin avulla voi saavuttaa 25 prosentin kustannussäästöt sekä tehostaa asiakkaiden parkkihallin käyttöä. Erilaisia käytön-tehostamistoimia ovat muun muassa sähköiset varaupalvelut sekä automaattisella tunnistuksella toimivat portit, valaisimet ja ilmanvaihto. Korkeammat pisteet edellyttävät pyöräpaikkojen ja sähköautojen tai vähäkulutuksisten autojen parkkipaikkojen rakentamiseen. (GBCI Canada 2019).

Ympäristösertifikaattien hyödyllistä tosin myös kyseenalaistettu, että ottavatko ne oikeasta huomioon ympäristöasioita ja kuinka tehokkaasti ne ottavat huomioon (Walker et al. 2019 s. 9).

Case-kohteiden osalta ympäristösertifikaattien vaikutusta elinkaarikustannuksiin ja elinkaariarvioon on vaikea mitoitaa, koska toteutusvaihe ei ole tarkastelussa mukana. Laine (2019) mukaan kohdeyrityksen toteutustavalla tuotantokustannuksia ei tule lisää, ellei tehdä jotain poikkeuksellista parempien pisteiden takia. Kustannussäästöjä ja matalampi hiilijalanjälki on mahdollista saavuttaa materiaalien kierrätyksen avulla, joista saa pisteitä Parksmart-ympäristösertifikaatissa.

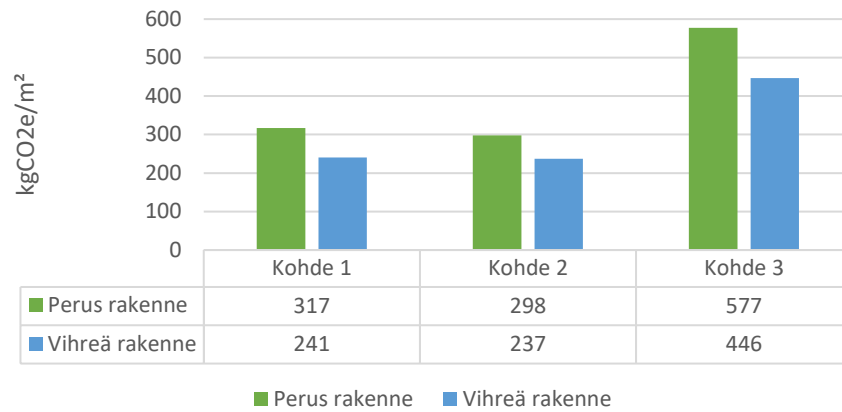
## 6.6 Talotekniikan muutokset

Parkkihalleissa on suhteessa muihin rakennustyyppeihin kuten asuinrakennuksiin, toimistoihin ja sairaaloihin erittäin vähän tekniikkaa. Kylmissä parkkihalleissa tekniikka koostuu usein viemäröinnistä ja sähköstä, joka jakautuu valaisimiin, sähköauton latauspaikkoihin, sähköpistokepaikkoihin, hissiin, opasteisiin ja parkkihallin palveleviin toimintoihin kuten portteihin ja lippuautomaatteihin.

Elinkaarikustannuksia sekä hiilijalanjälkeä alentavia teknisiä ratkaisua on pyrkiä rakentamaan parkkihalli ilman mekaanista ilmanvaihtoa. Esimerkiksi Kohde 2:ssa koneellinen ilmanvaihdon materiaali nostaa hiilijalanjälkeä 26 000 kgCO<sub>2</sub>e, joka on 1,2 prosenttia koko rakennuksen hiilijalanjäljestä. Tieteellisissä artikkeleissa sekä kirjallisuudessa (Yoka 2014 s. 110-113; Woodroof & Pinyot 2015 s. 10; Bresnahan 2014 s. 1;) mainitaan, että LED-valaisimien kanssa saavutetaan suuri säästö energiakustannuksissa ja niiden avulla saavutetaan matalampi hiilijalanjälki, mutta kohdeyritykselle tulleissa tarjouspyynnöissä pääsääntöisesti on ollut vaatimuksena käyttää LED-valaisimia parkkihalleissa.

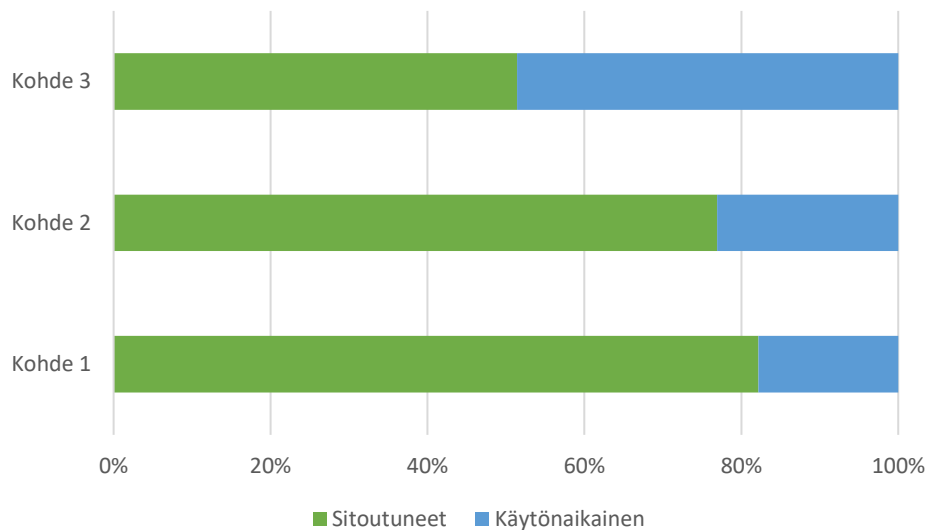
## 6.7 Yhteenveto matalamman hiilijalanjäljen ratkaisuista elinkaarikustannuksiin

Matalin hiilijalanjälki sekä vähäiset lisäykset elinkaarikustannuksiin on saavutettavissa, kun käytetään kierrätettyjä raaka-aineita, uusiutuvaa energiaa työmaan aikana ja valmistumisen jälkeen sekä betonissa käytetään sidosaineena lentotuhkaa. Elinkaarikustannukset ovat 2-3 prosentin korkeammat kalliimman energian takia. Eniten kasvihuonekaasupäästöjä laskeva tekijä on uusituvan energian käyttäminen työmaan aikana ja valmistumisen jälkeen. Tulokset on esitetty kuvassa 45. Vielä alhaisempi hiilijalanjälki on saavutettavissa, jos parkkihalleihin asennettaisiin uusiutuvien energioiden lähteitä kuten aurinkopaneeleita tai lämmitykseen maalämpöä, mutta silloin elinkaarikustannukset nousevat enemmän.



Kuva 45. Vihreämmän ja perus parkkihallin erot.

Kuvassa 46 on esitetty case-parkkihallien hiilijalanjäljen jakautuminen sitoutuneiden ja käytönaikaisten välillä. Matalamman hiilijalanjäljen parkkihallissa sitoutuneiden hiilijalanjäljen määrä on perus rakennetta suurempi kaikissa kohteissa. Erot ovat 1-4 prosenttiyksikköä.



Kuva 46. Hiilijalanjäljen jakautuminen ympäristöystävällisemmässä parkkihallissa.

## 7 Johtopäätökset

Diplomityössä on kolme tutkimuskysymystä. Ensimmäinen kysymys on, mitä ympäristötekijöihin liittyviä tietoja tilaajat vaativat nyt ja tulevaisuudessa. Ensimmäisen kysymyksen vastaus on, että suurin osa kyselyyn vastanneista julkisten rakennushankkeiden tilaajista edellyttää lainsäädännöstä tulevia vaatimuksia. Yritykset muodostavat kyselyn vastausten perusteella ympäristövaatimuksensa lainsäädäntöön sekä ympäristösertifikaatteihin. Kohdeyrityksessä tehdystä haastatteluista sai saman käsityksen rakennushankkeiden tilaajien ympäristövaatimuksista. Parkkihallissa ympäristövaatimukset ovat olleet samanlaisia vuosina 2010-2019. Muutoksena on tullut ekologisempien kulkutapojen suosiminen lisääntyneillä sähköauto- ja polkupyöräpaikoilla.

Toinen kysymys on, miten ja mitkä tekijät vaikuttavat ympäristöön negatiivisesti sekä positiivisesti parkkihalliprojekteissa. Suurin hiilijalanjälki muodostuu materiaaleista ja rakentamisesta kylmissä parkkihalleissa. Lämmitetyssä parkkihallissa ja pidemmällä käyttöiällä hiilijalanjälki muodostuu noin puolet materiaalista ja rakentamista ja noin puolet käytönaikaisesta toiminnasta. Parkkihallit tehostavat pysäköintiä, jonka pitäisi vähentää ylimääräistä parkkipaikkojen etsintää ruuhkaisilla paikoilla.

Kolmas kysymys on, miten elinkaarikustannukset muuttuvat tuottamalla ympäristöystävällisempi parkkihalli. Uusiutuvan energian ostaminen lisää elinkaarikustannuksia, mutta vähentää päästöjä. Kierrätyksellä ei ole kustannusvaikutusta. Betonissa lentotuhkan käyttäminen seosaineena madaltaa kasvihuonekaasupäästöjen määrää. Lentotuhkaa muodostuu kivihiilen polttamisesta, joka ei ole ekologista ja sen käyttö energiamuotona ollaan lopettamassa Suomessa vuoteen 2025 mennessä. Vihreiden kattojen ja viilentävien kattojen kustannushyötyjä ei ollut mahdollista analysoida työssä, koska työssä ei selvitetty kvantitatiivisesti melutason laskemista alueella tai miellyttävämmän rakennuksen positiivisista vaikutuksista hyvinvointiin. Itse tuotetulla uusiutuvalla energialla kuten aurinkopaneeleilla, tuulivoimalla ja maalämmöllä, parkkihallit voivat tuottaa vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä. Aurinkopaneeleilla ja tuulivoimalla elinkaarikustannukset nousevat selvästi. Todelliset hyödyt aurinkopaneeleista ja tuulivoimasta vaihtelevat tapauskohtaisesti aurinkon ja tuulen määrästä. Maalämpöä ei voi hyödyntää kylmissä parkkihalleissa. Tutkimusten mukaan, maalämpö on elinkaarikustannuksiltaan edullisempi kuin muut lämmitysmuodot, mutta sitä ei tässä diplomityössä ollut mahdollista todistaa puutteellisen aineiston takia.

### 7.1 Tulosten arviointi

Parkkihallien hiilijalanjäljen määrästä löytyi yksi tieteellinen artikkeli (Zeitz et al. 2019), jonka tutkimustulokset eivät olleet linjassa diplomityössä saatuihin tuloksiin. Artikkelissa tutkituissa parkkihalleissa oli selvästi alhaisempi hiilijalanjälki verrattuna tässä diplomityössä saatuun tulokseen. Syytä poikkeukselle on vaikea määrittellä, koska artikkelissa ei ollut määrälueteloa tai muuta selvitystä käytetyistä materiaaleista.

Parkkihallien elinkaarikustannuksista ei löytynyt tutkimuksia, mutta koulurakennusten kanssa case-parkkihallien elinkaarikustannukset olivat samansuuntaiset. Case-parkkihallien ja koulurakennusten elinkaarikustannukset painottuvat investointivaiheeseen. Case-parkkihallien ja koulurakennusten laskenta-ajassa oli eroavaisuuksia. Koulurakennuksien laskenta-aika oli 25-30 vuotta, kun taas case-parkkihallien oli 50 vuotta ja yhdessä 100 vuotta. Laskentakorko oli samaa suuruusluokkaa kaikissa.

Ympäristöystävällisemmistä ratkaisuista lentotuhkan lisääminen betoniin ja kierrätettyjen raaka-aineiden käyttäminen olivat ainoa parkkihallien hiilijalanjäljen vähentämiseen tutkittu keino. Diplomityössä saadut tulokset poikkeavat hyvin paljon artikkeleissa mainituista vähennyksistä kasvihuonekaasupäästöjen osalta. Diplomityössä saatiin 10 prosentin päästövähennys, kun taas Zeitz et al. (2019 s. 132) sai artikkelissaan 35-42,5 prosentin päästövähennykset kierrätystä lisäämällä ja lentotuhkaa käyttämällä. Muista tutkimustuloksista ei ollut referenssiarvoja, jonka takia niiden oikeudellisuutta ei voi varmistaa.

## 7.2 Suositukset ja jatkotoimenpiteet

Jotta kohdeyritys voi saada paremman tietoisuuden parkkihallien ympäristövaikutuksista, tulee laskelmia tehdä tulevista kohteista ja kerätä tunnuslukuja vertailun mahdollistamiseksi. Laskelmissa tulee ottaa huomioon materiaalin alkuperä ja valmistusmaa, jotta voidaan selvittää paikallisten ja ulkomailta hankittujen materiaalien kasvihuonekaasupäästö erot. Ympäristösertifikaattien hyödyntämistä parkkihallien rakentamisessa on syytä ainakin tutkia, koska ympäristösertifikaatteja voidaan käyttää ohjaavana tekijänä ympäristöystävällisempää rakentamiseen.

Tulevaisuudessa kannattaa tutkia mahdollisuuksia parkkihallin rakentamista puusta, korkealujuusbetonista tai geopolymeeribetonista. Tutkimusten perusteella niissä on mahdollisuuksia pienentää sitoutunutta hiilijalanjälkeä, mutta toteutusratkaisuja tulee tutkia vielä lisää, jotta voitaisiin saada selville kustannustaso sekä ympäristövaikutukset.

Parkkihallien runkoa suunnitellessa tulee tarkastaa rungon muuntomahdollisuuksia, jos rakennus muutetaan elinkaarensa aikana toiseen käyttötarkoitukseen kuten asuin- tai toimistorakennukseksi. Elinkaarikustannuslaskelmaan tulee ottaa optiona huomioon parkkihallin käyttötarkoituksen muuttaminen.

Muita jatkotutkimusaiheita on muiden ympäristövaikutuksien kuin hiilijalanjäljen selvittäminen parkkihalleista sekä tutkia, että onko niitä mahdollisuus vähentää ilman, että elinkaarikustannukset nousevat.

## 8 Yhteenveto

Diplomityön tavoitteina oli selvittää parkkihallien ympäristövaikutukset, kasvat- taako ympäristöystävällisyys parkkihallien investointikustannuksia ja onko tilaa- jien ympäristövaatimukset muuttuneet kasvaneen ympäristökeskustelun myötä. Tätä lähdettiin selvittämään kolmella tutkimuskysymyksellä, jotka olivat:

- Mitä ympäristötekijöihin liittyviä tietoja tilaavat vaativat nyt ja tulevaisuu- dessa?
- Miten ja mitkä tekijät vaikuttavat ympäristöön negatiivisesti sekä positiivi- sesti parkkihalliprojekteissa?
- Miten elinkaarikustannukset muuttuvat tuottamalla ympäristöystävälli- sempi parkkihalli?

Tutkimusmenetelminä käytettiin case-tutkimusta, kirjallisuuskatsausta ja haastatte- lua.

Työ alkaa termin ympäristövaikutusten määrittämisellä rakennushankkeessa. Ym- päristövaikutuksia rakennushankkeissa on kahdesta eri näkökulmasta, lain- ja arki- kielen näkökulmasta. Lainnäkökulmasta ympäristötekijöillä viitataan muun muassa meluun, ilmastoon, vesistöihin ja yleiseen viihtyvyyteen. Arkikielessä ympäristö- vaatimuksilla viitataan pääasiassa kasvihuonekaasupäästöihin.

Rakennushankkeiden ympäristövaatimuksia tutkittiin tulevaisuuden näkökulmasta, jotka pohjautuivat Suomen 2030-ympäristöstrategiaan sekä tämän hetkisestä tilan- teesta. Teoriaosuudessa käytiin lävitse myös, mitä rajoitteita julkisella hankinnalla on ja mitä tarkoittaa ympäristösertifikaatti. Empiriaosuus koostui haastattelusta eri rakennushankkeiden tilaajaorganisaatioille sekä kohdeyrityksen sisällä. Haastatte- luissa julkiset hankkijat vastasivat heidän ympäristövaatimuksensa pohjautuvan la- kiin. Haastateltavilla yrityksillä oli lain lisäksi ympäristösertifikaatteja ympäristö- vaatimusten muodostamisessa. Kohdeyrityksellä oli samanlaiset näkemykset osa- puolten ympäristövaatimuksista. Parkkihalleissa teorian ja tarjouspyyntöanalyysin perusteella ekologisemmat liikkumismuodot ovat kasvattaneet suosiota.

Teorian mukaan parkkihallien materiaaleista koostuu suurin osa kasvihuonekaasu- päästöistä. Elinkaariarviosta saatujen tulosten perusteella materiaalit muodostuvat 50-70 prosenttia sitoutuneista kasvihuonekaasupäästöistä. Lämmitetyissä parkki- halleissa käytönaikaisella toiminnalla on iso vaikutus hiilijalanjälkeen. Parkkihal- leissa hiilijalanjälki muodostuu pääasiassa sitoutuneista kasvihuonekaasupääs- töistä.

Parkkihallien elinkaarikustannukset muodostuvat suurimmalta osalta investointi- vaiheessa. Herkkyysanalyysien perusteella investointikustannukset ovat herkimpiä muutokselle.

Ympäristöystävällisemmän parkkihallin osatekijät määriteltiin kirjallisuudesta ja niitä tarkasteltiin ympäristötekijöiden ja elinkaarikustannusten näkökulmasta.



Tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella tehokkain tapa vähentää kasvihuonekaasupäästöjä on vaihtaa energiatuotanto uusiutuvaan energiaan. Lentotuhkan lisääminen betoniin on artikkeleiden mukaan tehokas tapa vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, mutta tässä työssä ei saatu samanlaisia tuloksia.

## Lähteet

A-Insinöörit. 2018. Siilijärven Sote-keskus – hankesuunnitelma. Siilijärvi: A-Insinöörit.

Aamuset. 2019. Pysäköintitalo Louhi saneerataan kevään aikana [WWW-dokumentti]. [Viitattu 6.9.2019]. Saatavilla <https://www.aamuset.fi/uutiset/4504798/Py-sakointitalo+Louhi+saneerataan+kevaan+aikana>

Adesanya, E., Ohenoja, K., Luukkonen, T., Kinnunen, P. & Illikainen, M. 2018. One-part geopolymer cement from slag and pretreated paper sludge. Journal of Cleaner Production, vol. 185, s. 168-175.

Ahlstedt, J. 2019. Operations Development. Kohdeyritys. Haastattelu Toimitilapuolen ympäristöasioista 29.7.2019

Airola, H. 2013. Melun- ja tärinätorjunta maankäytön suunnittelussa. Helsinki: Uudenmaan ELY-keskus.

Alwan, Z. & Jones, P. 2014. The importance of embodied energy in carbon footprint assessment. Structural Survey, vol. 32, s. 49-60.

ANS Finland. 2019. Esteetön ilmatila takaa sujuvan ja turvallisen lentoliikenteen. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.9.2019]. Saatavilla <https://www.ansfinland.fi/fi/palvelumme/lentoesteet>

ARA. 2018. Puu vai betoni – elinkaaripäästöjen vertailu Kuninkaantammessa. [WWW-dokumentti]. Saatavilla [https://www.ara.fi/fi-FI/Tietopankki/ARAviesti/ARAviestin\\_verkkoartikkelit/Puu\\_vai\\_betoni\\_elinkaaripaastojen\\_verta\(47724\)](https://www.ara.fi/fi-FI/Tietopankki/ARAviesti/ARAviestin_verkkoartikkelit/Puu_vai_betoni_elinkaaripaastojen_verta(47724)) [Viitattu 26.8.2019].

Arola, J. & Kuusinen, J. 2019. Development Manager & Development Manager. Kohdeyritys. Haastattelu INFRA-puolen ympäristöasioista 4.7.2019.

Assa Abloy. 2015. Lamellinosto-ovi. [WWW-dokumentti]. Saatavilla [https://www.assaabloyentrance.fi/aaes/products\\_2.1/product-documentation/fi/industrial-doors/overhead-sectional-doors/universal-overhead-sectional-doors/doc/3.tuotetiedotteet/pd\\_cra\\_oh1042f\\_fi.pdf](https://www.assaabloyentrance.fi/aaes/products_2.1/product-documentation/fi/industrial-doors/overhead-sectional-doors/universal-overhead-sectional-doors/doc/3.tuotetiedotteet/pd_cra_oh1042f_fi.pdf) [Viitattu 5.9.2019].

Betoniteollisuus Ry. 2019. Betonin valmistus. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 9.7.2019]. Saatavilla <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betonirakennusmateriaalina/betonin-valmistus/>

Bionova. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Helsinki: Bionova Oy

Bionova. 2019. One Click LCA (version 21.09.2019). [Ohjelma]. [Käytetty

27.9.2019]

Biswas, W. 2014. Carbon footprint and embodied energy consumption assessment of building construction works in Western Australia. *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 3, s. 179-186.

Bonamente, E., Merico, M.C., Rinaldi, S., Pignatta, G., Pisello, A.L., Cotana, F. & Nicolini, A. 2014. "Environmental Impact of Industrial Prefabricated Buildings: Carbon and Energy Footprint Analysis Based on an LCA Approach", *Energy Procedia*, vol. 61, s. 2841-2844.

Bozorg-Chenani, S., Häkkinen, T., Lehvävirta, S. 2015. Life cycle assessment of layers of green roofs. *Journal of Cleaner Production*, vol. 90, s. 153–162.

Brandt, T., Wagner, S. & Neumann, D. 2016. Evaluating a business model for vehicle-grid integration: Evidence from Germany, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 50, s. 488-504.

Bresnahan, R. 2014. Is LED Really that Efficient and Cost Effective? *Industrial maintenance & Plant Operation*, vol. 12, pp 1-4.

Carbon Trust. 2008. Small-scale wind energy – Policy insights and practical guidance. Lontoo: The carbon trust.

CEEQUAL. 2018. An introduction to CEEQUAL. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 25.06.2019]. Saatavilla <http://www.ceequal.com/download/4487/>

Chester, M., Horvath, A. & Madanat, S. 2010. Parking infrastructure: energy, emissions, and automobile life-cycle environmental accounting. *Environmental Research Letters*, vol 5, s. 1-8.

Circwaste. 2017. Kiertotalouden tiekartat. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 31.7.2019]. Saatavilla [http://www.materiaalitkiertoon.fi/fi-FI/Tyokalut/Kiertotalouden\\_tiekartat](http://www.materiaalitkiertoon.fi/fi-FI/Tyokalut/Kiertotalouden_tiekartat)

Circwaste. 2019a. Vantaan kaupungin kiertotalouden tiekartta [WWW-dokumentti]. [Viitattu 31.7.2019]. Saatavilla [https://www.slideshare.net/Circwasteproject/vantaan-kaupungin-kiertotalouden-tiekartta?ref=http://www.materiaalitkiertoon.fi/fi-FI/Tyokalut/Kiertotalouden\\_tiekartat/Edellakavijakuntien\\_tiekartat](https://www.slideshare.net/Circwasteproject/vantaan-kaupungin-kiertotalouden-tiekartta?ref=http://www.materiaalitkiertoon.fi/fi-FI/Tyokalut/Kiertotalouden_tiekartat/Edellakavijakuntien_tiekartat)

Circwaste. 2019b. Porvoon kaupungin kiertotalouden tiekartta. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 16.8.2019]. Saatavilla [https://www.slideshare.net/Circwasteproject/porvoon-kaupungin-kiertotalouden-tiekartta?ref=http://www.materiaalitkiertoon.fi/fi-FI/Tyokalut/Kiertotalouden\\_tiekartat/Edellakavijakuntien\\_tiekartat](https://www.slideshare.net/Circwasteproject/porvoon-kaupungin-kiertotalouden-tiekartta?ref=http://www.materiaalitkiertoon.fi/fi-FI/Tyokalut/Kiertotalouden_tiekartat/Edellakavijakuntien_tiekartat)

Circwaste. 2019c. Ii. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.8.2019]. Saatavilla <http://www.materiaalitkiertoon.fi/fi-FI/Circwaste/Edellakavijakunnat/Ii>

Citycon. 2019. Ympäristösertifiointit. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 12.8.2019]. Saatavilla <https://www.citycon.com/fi/vastuullisuus/ymparisto/ymparistosertifioinnit>

Clement, S., Semple, A., Galvin, M., Rudin, T., Bergman, I-M. & Tisch, A. 2012. Innovatiivista, kestävästä rakentamista hankintaosaamisella. The SCI-Network Consortium, EU.

Collins, F. 2013. "2nd generation concrete construction: carbon footprint accounting", Engineering, Construction and Architectural Management, vol. 20, no. 4, s. 330-344.

Cuéllar-France, L. & Lounis, Z. 2006. Life cycle cost analysis of high performance concrete bridges considering environmental impacts. Canada: Institute for Research in Construction.

Čuljković, V. 2018. Influence of parking price on reducing energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions. Sustainable cities and society, vol 41, s. 706-710.

Daigle, L. & Lounis, Z. 2006. Life cycle cost analysis of high performance concrete bridges considering environmental impacts. Canada: Institute for Research in Construction.

Daily Journal of Commerce. 2016. CLT products could be a game changer for Northwest wood products industry. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 30.9.2019]. Saatavilla <https://www.djc.com/news/co/12088907.html>

Dettenborn, T., Kohonen, R., Känkänen, R. & Niemelin, T. 2018. CO<sub>2</sub>-päästölasennuksen kehittäminen Skanssin alueella ja Turun kaupungin infrarakentamisessa. Turku: Turun kaupunki.

Dong, Y. 2018. Performance assessment and design of ultra-high performance concrete (UHPC) structures incorporating life-cycle cost and environmental impacts. Construction and Building Materials, vol. 167, s. 414-425.

Duodecim. 2018. Liikenteen melu altistaa sydänkohtauksille – suurentaa myös kuolleisuutta. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 19.06.2019]. Saatavilla osoitteesta <https://www.duodecim.fi/2018/11/09/liikenteen-melu-altistaa-sydankohtauksille-suurentaa-myos-kuolleisuutta/>

Dwaikat, L-N. & Ali, K.N, 2018. Green buildings life cycle cost analysis and life cycle budget development: Practical applications. Journal of Building Engineering, vol. 18, s. 303-311.

EKOenergia. 2019. Ympäristömerkki. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.9.2019]. Saatavilla <https://www.ekoenergy.org/fi/ecolabel/>

Elementtisuunnittelu. 2019. Tulossa 150-250 MPA:n erikoislujat kuitubetonit. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 4.10.2019]. Saatavilla <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/ymparistoominaisuudet/lujuus?term=korkea%20lujuus>

Elo. 2017. Vuosi ja vastuu. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 24.06.2019]. Saatavilla [https://www.elo.fi/-/media/files/yhtioasiat/tulos-ja-taloustieto/2017/elo\\_vuosi\\_ja\\_vastuu\\_2017.ashx?la=fi-fi&hash=00E52BC02AFAABB3310807D1AA0547129618FC4D](https://www.elo.fi/-/media/files/yhtioasiat/tulos-ja-taloustieto/2017/elo_vuosi_ja_vastuu_2017.ashx?la=fi-fi&hash=00E52BC02AFAABB3310807D1AA0547129618FC4D)

Energy Star. 2013. Portfolio Manager. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 24.9.2019]. Saatavilla <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/energy/pdf/benchmarking-rendement/Parking-ACC-EN.pdf>

Faddel, S., Elsayed, A. & Mohammed, O. 2018. Bilayer Multi-Objective Optimal Allocation and Sizing of Electric Vehicle Parking Garage, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 54 ( 3), s. 1992-2001.

FIGBC. 2018. Rakennushankkeiden ympäristöluokitukset Suomessa. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 25.6.2018]. Saatavilla <https://figbc.fi/wp-content/uploads/2018/11/Rakennushankkeiden-ymp%C3%A4rist%C3%B6luokitukset-Suomessa.pdf>

FIGBC. 2019. Rakennusten elinkaarimittarit – kahdeksan mittaria kestävään kiinteistöjohtamiseen. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 18.06.2019]. Saatavilla osoitteessa: <https://figbc.fi/elinkaarimittarit/>

Finnsementti. 2019. Ympäristöraportti. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 1.10.2019]. Saatavilla [https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/Finnsementti\\_ymparistoraportti\\_2019\\_aukeamittain\\_lowres-1.pdf](https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/Finnsementti_ymparistoraportti_2019_aukeamittain_lowres-1.pdf)

FinSolar. 2017. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.9.2019]. Saatavilla <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>

Fuerst, F. 2009. "Building momentum: An analysis of investment trends in LEED and Energy Star-certified properties", Journal of Retail and Leisure Property, vol. 8, no. 4, s. 285-297.

Gavin, J. 2018. Certifiably parked. Electrician contractor, vol. 6, s. 44-46.

GBCI. 2016. GBCI to Administer Green Garage Certification Program. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 14.06.2019]. Saatavilla <https://gbc.org/gbci-administer-green-garage-certification-program>

GBCI Canada. 2019. Smarter Parking. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 5.10.2019]. Saatavilla <http://www.gbcanada.ca/parksmart.shtml>

Geopolymer Institute. 2013. World's first public building with structural Geopolymer Concrete. [WWW-Dokumentti]. [Viitattu 15.10.2019]. Saatavilla <https://www.geopolymer.org/news/worlds-first-public-building-with-structural-geopolymer-concrete/>

GreenBookLive. 2019. Search results. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 26.6.2019]. Saatavilla [http://www.greenbooklive.com/search/advancedsearchresults.jsp?from=0&companyName=&addressPostcode=&productName=&certNo=&countryId=2&id=217&results\\_pp=50&pageNo=1](http://www.greenbooklive.com/search/advancedsearchresults.jsp?from=0&companyName=&addressPostcode=&productName=&certNo=&countryId=2&id=217&results_pp=50&pageNo=1)

Greenlahti. 2019. Lahti on sinun ympäristökaupunkisi. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.8.2019]. Saatavilla <http://greenlahti.fi/faktat>

Götze, U., Northcott, D. & Schuster, P. 2015. Investment Appraisal. Berlin: Springer Texts in Business and Economics.

Hakaste, H. 2019. Kiertotalous rakentamisen ohjauksessa. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.8.2019]. Saatavilla <https://www.novia.fi/assets/CE-wood/190509/Hakaste190509-Kiertotalous-rakentamisen-ohjauksessa.pdf>

Hassi, K. 2019. Design Manager, Kohdeyritys. Haastattelu ympäristöasioista 17.7.2019.

Hauschild, M. & Huijbregts M. 2015 Life Cycle Impact Assessment. New York: Springer Science+business.

Helsingin kaupunki. 2014. Pyöräilyn edistämishjelma. Helsinki: Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto

HILMA. 2018. Yleistä julkisista hankinnoista. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 25.06.2019]. Saatavilla <https://www.hankintailmoitukset.fi/fi/docs/yleista/>

HSY. 2015. Rakennusala. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.6.2019]. Saatavilla <https://www.hsy.fi/fi/opettajalle/sahkoisetoppimateriaalit/ammattilisetoppilaitokset/rakennusala/Sivut/default.aspx>

HSY. 2017. Ympäristövaikutukset. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 4.9.2019]. Saatavilla <https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/vesihuolto/vesitorni/hiekkaharjun-vesitorni/Sivut/Ymparistovaikutukset.aspx>

Häkkinen, T., Vares, S., Vesikari, E. & Karhu, V. 2001. Rakennusten elinkaaritekniikka. Tuoteinformaatio käyttöikäsuunnittelun tueksi [Service life planning. Product specific life information]. Espoo, Technical Research Centre of Finland, VTT Julkaisuja – Publikationer 848.

Häkkinen, T. 2005. Rakennus- ja kiinteistöalan ympäristö- ja elinkaarimittarit. Helsinki: Rakennusteollisuuden kustannus RTK & Rakennusteollisuus RT.

Häkkinen, T., Kuittinen, M., Ruuska, A. & Jung, N. 2015. Reducing embodied carbon during the design process of buildings. *Journal of Building Engineering*, vol. 4, s. 1-13.

Häkkinen, T. 2019. Seminaari 10: Tutkimustuloksia vähähiilisestä rakentamisesta – Vähähiilisen rakentamisen vuosiseminaari. Helsinki: VTT.

Hämäläinen, J. & Teriö, O. 2011. Talonrakentamisen ympäristömittari. Helsinki: Suomen rakennusmedia Oy.

Jing, R., Cheng, J.C.P., Gan, V.J.L., Woon, K.S. & Lo, I.M.C. 2014. Comparison of greenhouse gas emission accounting methods for steel production in China. *Journal of Cleaner Production*, vol. 83, s. 165-172

Järvinen, M. 2019. Puhelinhaastattelu korkealujuusbetonirakenteista, Turun Ammattikorkeakoulu. Lehtori, Laboratoriopäällikkö, Koulutusvastaava. 4.10.2019

Kaikkonen, H. 2012. Autopaikoitus- ja pysäköintiratkaisut kunnissa. Helsinki: Suomen kuntaliitto.

Kalenoja, H. & Häyrynen, J-P. 2003. Keskustan pysäköinti osana liikennejärjestelmää – Tampereen keskustan pysäköintitutkimus. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.

Kauppila, A. & Linna, J. 2013. Tuusulan keskustan ja Rykmentinpuiston pysäköinti. Vantaa: Versta by Fira.

Kerabit. 2019. Ekokatot – sijoitus tulevaisuuteen. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 25.9.2019]. Saatavilla <https://www.kerabit.fi/Download/24712/Kerabit%20Ekokatot%202019%20web.pdf>

Kero, P. 2017. Elinkaarilaskelma, Hirvialhon koulu. Helsinki: FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy.

Keskinen, M. 2019. Director, Development. Kohdeyritys, Haastattelu parkkihallirakenteista 25.8.2019.

Kiertokapula. 2019. Hinnasto. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 1.10.2019]. Saatavilla <https://www.kiertokapula.fi/palvelut/jatteiden-vastaanotto/hinnasto/>

Kjelssen, K., Guimaraes, M. & Nilsson, Å. 2005. The CO<sub>2</sub> Balance of Concrete in a Life Cycle Perspective. Copenhagen: Danish Technological Institute.

Kohdeyrityksen Asuntomyynti. 2019. Asiakaspalvelija. Kohdeyritys. Puhelu Kohde 1 autopaikkahinnastosta 18.9.2019.

Kotkan Energia. 2015. Yhteenveto kaukolämmön ja maalämmön lämmitysjärjestelmävertailusta. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.9.2019]. Saatavilla [http://www.kotkanenergia.fi/sites/default/files/tiedostot/Maal%C3%A4mp%C3%B6selvityksen\\_yhteenveto\\_19082015.pdf](http://www.kotkanenergia.fi/sites/default/files/tiedostot/Maal%C3%A4mp%C3%B6selvityksen_yhteenveto_19082015.pdf)

KTI. 2016. Vastuullinen liiketoiminta 2016. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 25.6.2019]. Saatavilla <https://kti.fi/wp-content/uploads/KTI-Vastuullinen-kiinteistoliiketoiminta-2016.pdf>

Kuittinen, M. 2015. Does the use of recycled concrete lower the carbon footprint in humanitarian construction?. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, vol. 7, s. 472-488.

Kuittinen, M. & Le Roux, S. 2017a. Vähähiilisen rakentamisen hankintakriteerit. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Kuittinen, M. & Le Roux, S. 2017b. Vihreä julkinen rakentaminen. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Kuittinen, M. 2019. Kansainväliset kuulumiset: Level(s) ja pohjoismainen yhteistyö. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Kumanayake, R. & Luo, H. 2018. A tool for assessing life cycle CO<sub>2</sub> emissions of buildings in Sri Lanka. *Building and Environment*, vol. 128, s272-286

Lagpunkten 2018. Krav på klimatdeklaration i byggsektorn tidigast 2021. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 2.9.2019]. Saatavilla <http://www.lagpunkten.se/Lagnytt/krav-p229-klimatdeklaration-i-byggsektorn-tidigast-2021>

Lahti. 2019. Lahti on Euroopan ympäristöpääkaupunki vuonna 2021 [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.8.2019]. Saatavilla <https://www.lahti.fi/ajankohtaista/uutiset/lahti-on-euroopan-ymp%C3%A4rist%C3%B6p%C3%A4kaupunki-vuonna-2021>

Laine, P. 2019. Project Manager. Kohdeyritys. Haastattelu ympäristöasioista ja ympäristösertifikaateista 19.6.2019.

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 5.5.2017 252/2017. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 14.6.2019]. Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170252>

Lappalainen, K.M. 2018. Itämeren rehevöitymisen uudistettu diagnoosi ja paradigma. Väitöskirja. Oulun yliopisto.

Larsson Ivanov, O., Honfi, D., Santandrea, F. & Stripple, H. 2019. "Consideration of uncertainties in LCA for infrastructure using probabilistic methods", *Structure and Infrastructure Engineering*, vol. 15, no. 6, s. 711-724.



Lavagna, M., Baldassarri, C., Campioli, A., Giorgi, S., Dalla Valle, A., Castellani, V. & Sala, S. 2018. "Benchmarks for environmental impact of housing in Europe: Definition of archetypes and LCA of the residential building stock", *Building and Environment*, vol. 145, s. 260-275.

Lentoposti. 2018. Helsinki-Vantaan pysäköintijärjestelyt mullistuvat kun parkkihallit P1 ja P2 puretaan tammikuussa. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 26.7.2019]. Saatavilla [http://www.lentoposti.fi/uutiset/helsinki\\_vantaan\\_pys\\_k\\_intij\\_rjestylyt\\_mullistuvat\\_kun\\_parkkihallit\\_p1\\_ja\\_p2\\_puretaan\\_tammikuussa](http://www.lentoposti.fi/uutiset/helsinki_vantaan_pys_k_intij_rjestylyt_mullistuvat_kun_parkkihallit_p1_ja_p2_puretaan_tammikuussa)

Liikenneturva. 2018. Unohda igluautoilu – muista esilämmitys ja käytä lumiharjaa. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 16.07.2019]. Saatavilla <https://www.liikenneturva.fi/fi/ajankohtaista/liikennevinkki/unohda-igluautoilu-muista-esilammitys-ja-kayta-lumiharjaa>

Liikennevirasto. 2012. Henkilöliikennetutkimus 2010-2011. Helsinki: Liikennevirasto, liikennesuunnitteluosasto.

Liikennevirasto 2018. Henkilöliikennetutkimus 2016. Helsinki: Liikenneviraston tilastoja 1/2018.

Luukkonen, T., Abdollahnejad, Z., Yliniemi, J., Kinnunen P. & Illikainen, M. 2018. Comparison of alkali and silica sources in one-part alkali-activated blast furnace slag mortar. *Journal of Cleaner production*, vol. 187, s. 171-179.

Ilmarinen. 2018. Yritysvastuuraportti. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 24.06.2019]. Saatavilla [https://www.ilmarinen.fi/siteassets/liitepankki/ilmarinen/taloudellisia-tietoja/vuosikertomus/2018/yritysvastuuraportti-2018\\_fi.pdf](https://www.ilmarinen.fi/siteassets/liitepankki/ilmarinen/taloudellisia-tietoja/vuosikertomus/2018/yritysvastuuraportti-2018_fi.pdf)

Ilmasto-opas. 2014. Lämpösaarekeilmion ymmärtäminen tukee kaupunkisuunnittelua. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 26.9.2019]. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/sopeutuminen/-/artikkeli/ce71e82c-24a4-4566-985a-8955d12b717c/lamposaarekeilmion-ymmartaminen-tukee-kaupunkisuunnittelua.html>

Ilmasto-opas. 2019. Liikenne on merkittävä kasvihuonekaasupäästöjen tuottaja. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 5.8.2019]. Saatavilla <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/cd3c06f0-ddc2-4984-840f-c35a98daf01e/liikkuminen-ja-yhdyskuntarakenne.html>

International Parking Institute, Fernandez, K. & Yoka, R. 2018. *A Guide to parking*. New York: Taylor & Francis.

Islam, H., Jollands, M. & Setunge, S. 2015. Life cycle assessment and life cycle cost implication of residential buildings – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 42, s. 129-140.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 24.6.2019] Saatavilla <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L17P117i>

Martsinen, M. 2017. Pysäköintihallien lattiakorjaukset. *Betoni*, vol. 4, s. 76-81.

Mattila, T. 2009. Haitallisten aineiden ja päästöjen huomioon ottaminen elinkaariarvioinnissa. Helsinki: Suomen ympäristökeskuksen raportteja.

Mendoza Beltran, A., Prado, V., Font Vivanco, D., Henriksson, P.J.G., Guinée, J.B. & Heijungs, R. 2018. "Quantified Uncertainties in Comparative Life Cycle Assessment: What Can Be Concluded?", *Environmental science & technology*, vol. 52, no. 4, s. 2152-2161.

Metallinjalostajat Ry .2014. Teräskirja. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 16.7.2019]. Saatavilla osoitteesta [https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/teras-kirja\\_flip/mobile/index.html#p=1](https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/teras-kirja_flip/mobile/index.html#p=1)

Metla. 2014. Rakentamisen ympäristövaikutusten määrittäminen. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 24.06.2019]. Saatavilla <http://www.metla.fi/tapahtumat/2014/puu-loppuseminaari/pdf/raty.pdf>

Motiva. 2016. Sähköverkkoon kytketty toimistorakennus – vaihtosähkö. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.9.2019]. Saatavilla [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/ennen\\_jarjestelman\\_hankintaa/jarjestelman\\_kannattavuus/sahkoverkkoon\\_kytetty\\_toimistorakennus\\_vaihtosahko](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/jarjestelman_kannattavuus/sahkoverkkoon_kytetty_toimistorakennus_vaihtosahko)

Motiva. 2017a. Auringosta sähköä. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.9.2019]. Saatavilla [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringosta\\_sahkoa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa)

Motiva. 2017b. Aurinkosähköjärjestelmän teho. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.9.2019]. Saatavilla [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/aurinkosahkojarjestelman\\_teho](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho)

Motiva. 2017c. Aurinkosähköjärjestelmien hinta. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.9.2019]. Saatavilla [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/aurinkosahkojarjestelmien\\_hinta](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelmien_hinta)

Motiva. 2018a. Elinkaarikustannuslaskenta – LCC (Life Cycle Costing). [WWW-dokumentti]. [Viitattu 17.7.2019]. Saatavilla osoitteesta [https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kestavat\\_julkiset\\_hankinnat/tietopankki/elinkaarikustannuslaskenta\\_lcc\\_\(life\\_cycle\\_costing\)](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/elinkaarikustannuslaskenta_lcc_(life_cycle_costing))

Motiva. 2018b. Kiinteistöjen latauspisteet kuntoon. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 22.8.2019]. Saatavilla osoitteesta [https://www.motiva.fi/files/15446/Kiinteistojen\\_latauspisteet\\_kuntoon\\_paivitetty\\_05.11.2018.pdf](https://www.motiva.fi/files/15446/Kiinteistojen_latauspisteet_kuntoon_paivitetty_05.11.2018.pdf)

Motiva. 2018c. Sopiiko aurinkosähkö sinulle? [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.9.2019]. Saatavilla osoitteesta [https://www.motiva.fi/ajankohtaista/uutiset/uutiset\\_2018/sopiiko\\_aurinkosahko\\_sinulle.12829.news](https://www.motiva.fi/ajankohtaista/uutiset/uutiset_2018/sopiiko_aurinkosahko_sinulle.12829.news)

Motiva. 2019a. Uusiutuva energia. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 26.9.2019]. Saatavilla [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia)

Motiva. 2019b. Uusiutuva energia Suomessa. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 26.9.2019]. Saatavilla [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/uusiutuva\\_energia\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa)

Motiva. 2019c. Maalämpöpumppu. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.9.2019]. Saatavilla [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu)

Mäki, N. & Vuori, P. 2019. Helsingin väkiluku vuodenvaihteessa 2018/2019. Helsinki: Helsingin kaupunki

Mönkkänen, A. 2019. Myyntipäälikkö. Rudus Oy. Puhelinhaastattelu vihreän betonin ja korkealujuusbetonin hinnoista 2.10.2019 & 4.10.2019.

Nurmi, V., Perrels, A., Votsis, A. & Lehvävirta, S. 2013. Viherkatot Helsingissä – kustannushyötyanalyysi. Helsinki: Ilmatieteen laitos.

Nykänen, E., Häkkinen, T., Kiviniemi, M., Lahdenperä, P., Pulakka, S., Ruuska, A., Saari, M., Vares, S., Cronhjort, Y., Heikkinen, P., Tulamo, T. & Tidwell, P. 2017. Puurakentaminen Euroopassa – LeanWOOD. Helsinki: VTT Technology 297.

Oasmaa, K., Lehtiö, P., Puumalainen, N., Vastamäki, V., Kaijansinkko, M., Myllyläri, J. & Ruuska, P. 2009. Autopaikkojen toteuttamiskustannukset ja niiden kohdistaminen nykyistä suuremmassa määrin autopaikkojen käyttäjille. Helsinki: Helsingin kaupunki.

Olin, T. 2015. Infrarakentajan ympäristöopas. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy

One Click LCA. 2018a. Standards supported in One Click LCA. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 17.9.2019]. Saatavilla <https://desk.zoho.eu/portal/oneclick-lca/kb/articles/standards-supported>

One Click LCA. 2018b. Building LCA according to EN 15978. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 17.9.2019]. Saatavilla <https://desk.zoho.eu/portal/oneclick-lca/kb/articles/building-lca-according-to-en-15978/>

Opasnet. 2013. Pöly. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 5.8.2019]. Saatavilla <http://opasnet.org/fi/P%C3%B6ly>

Opasnet. 2014. Louhinnan päästöt. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 5.8.2019]. Saatavilla [http://opasnet.org/fi/Louhinnan\\_p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6t](http://opasnet.org/fi/Louhinnan_p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6t)

Oulun Energia Oy. 2017. Jätteen lajittelulaitoksen ja biojätteen käsittelylaitoksen ympäristövaikutusten arviointi. Oulu: Oulun Energia Oy

Oulun kaupunki. 2019. Kasellin Monitoimitalo. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 11.9.2019]. Saatavilla osoitteessa <https://www.ouka.fi/oulu/kastellin-monitoimitalo/esittely>

Oulun Yliopisto. 2019. Ennätysluja ekobetoni kehitetty Oulun yliopistossa. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 15.10.2019]. Saatavilla <https://www.oulu.fi/yliopisto/node/56919>

Pacheco-Torgal, F., Cabeza, L.F., Labrincha, J. & De Magalhães, A. 2014. Eco-Efficient Construction and Building Materials - Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies. Philadelphia: Woodhead Publishing.

Parksmart. 2016. Parksmart scorecard. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 16.8.2019]. Saatavilla osoitteesta [https://parksmart.gbci.org/sites/default/files/scorecardparksmart\\_0.xlsx](https://parksmart.gbci.org/sites/default/files/scorecardparksmart_0.xlsx)

Parksmart. 2019. Projects. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 19.8.2019]. Saatavilla osoitteesta <https://parksmart.gbci.org/projects>

Pasanen, P. & Miilumäki, N. 2017. Infrahankkeiden EN-standardeja noudattava hiilijalanjälki- ja elinkaariarviointi - Hankkeiden hiilijalanjäljen ohjaus- ja optimointimahdollisuudet suunnittelu- ja rakennuttamistoiminnassa. Helsinki: Liikennevirasto

Pavithra, P., Srinivasula Reddy, M., Dinakar, P., Hamantha Rao, B., Satpathy, B.K. & Mohanty, A.N. 2016. A mix design procedure for geopolymer concrete with fly ash. Journal of Cleaner Production, vol. 133, s. 117-125.

Peltola, V., Laitila, P., Varis, T. & Motiva Oy 2019. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (EPBD) mukaiset sähköautojen latausvalmiudet ja latauspistevaatimukset. Helsinki: Motiva Oy

Pessi, M. 2019. Hallituksen jäsen. Finn Ash-Power Ltd. Oy. Puhelinhaastattelu 8.10.2019.

Pikkuvirta, J., Köliö, A. & Lahdensivu, J. 2015. Pilari-palkkihallin uudelleenkäytön hiilijalanjälki. Betoni, vol. 2, s. 60-65.

Pirinen, A. & Kukkonen, E. 2002. Rakennuksen huoltokirjan laadinta ja hyödyntäminen. Artikkelit Rakentajain kalenteri 2002:sta, s. 554-561.

- Popular Mechanics. 2009. Has affordable, efficient rooftop wind power arrived? [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.9.2019]. Saatavilla <https://www.popularmechanics.com/home/how-to/a6312/4321836/>
- Pulakka, S., Heimonen, I., Junnonen, J.-M. & Vuolle, M. 2007. Talotekniikan elinkaarikustannukset. Espoo: VTT Tiedotteita – Research Notes 2409.
- Punkki, J. 2004. Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu. Betoni, vol. 4, s. 36-41.
- Punkki, J., Lounamaa, A. & Junnila, S. 2010. Betonirakenteiden merkitys rakennuksen elinkaaren aikaisista hiilidioksidipäästöistä. Betoni, vol. 1, s. 46-49
- Punkki, J. 2017. Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu. Betoni, vol. 2, s. 66-71.
- Puuinfo. 2017. Puu on ekoin. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 24.06.2019]. Saatavilla <https://www.metsateollisuus.fi/uploads/2017/03/30035337/478.pdf>
- Qiang, Z., Yaozhuang, L., Lei, X. & Peiyuan, L. 2019. Bond strength and corrosion behavior of rebar embedded in straw ash concrete. Construction and Building Materials, vol. 205, s. 21-30.
- Qu, F. & Kang, J. 2017. Effects of built environment morphology on wind turbine noise exposure at building façades. Renewable Energy, vol. 107, s. 629-638.
- Rakennustieto. 2019. EPD:n verifiointi eli todentaminen. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 25.9.2019]. Saatavilla <https://epd.rts.fi/epdn-verifiointi-eli-todentaminen>
- Rakennustietosäätiö RTS sr. 2018. Kiertotalous ja rakentamisen ympäristövaikutukset – miten ympäristömyönteisyyttä tuetaan? [WWW-dokumentti]. [Viitattu 24.06.2019]. Saatavilla <https://glt.rts.fi/kiertotalous-ja-rakentamisen-ymparistovaikutukset-miten-ymparistomyonteisyytta-tuetaan/>
- RAKLI. 2015. Selvitys kaavamääräysten kustannusvaikutuksista. Helsinki: RAKLI Ry.
- Ramboll. 2016. Lempäälän keskustan pysäköintilaitoksen liiketoimintamalli. Lempäälä: Ramboll.
- Rautalin, J. & Nuottimäki, J. 2013. Henkilöauton moottorin esilämmityksen vaikutus päästöihin ja energian kulutukseen. Helsinki: VTT-Tutkimusraportti.
- RIL. 2019. Ympäristönäkökohdat paremmin huomioon rakentamisen julkisissa hankinnoissa. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 24.06.2019]. Saatavilla <https://www.ril.fi/fi/rakennustekniikka/ymparistonakokohdat-paremmiin-huomiointiin-rakentamisen-julkisissa-hankinnoissa.html>
- RT 18-10922. 2008. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS.

RT 85-11203. 2016. Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS.

Rudus. 2019. Betonin valinta rakenteisiin – olosuhdehallinta. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 1.10.2019]. Saatavilla <http://www.rudus.fi/Download/23940/Betonin%20valinta%20rakenteisiin%20-%20olosuhdehallinta.pdf>

Ruuska, A., Häkkinen, T., Vares, S., Korhonen, M.-. & Myllymaa, T. 2013a. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset - Selvitys rakennusmateriaalien vaikutuksesta rakentamisen kasvihuonekaasupäästöihin, tiivistelmäraportti, Ympäristöministeriö.

Ruuska, A. & Häkkinen, T. 2013b. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset – Taustaraportti. Helsinki: VTT.

Saarinen, S. 2015. Kansainväliset esimerkit osoittavat, että potentiaalia on kierrätysbetonin käytössä ympäristörakentamisessa. *Betoni*, vol. 2, s. 44-49. Environmental Assessment of Ultra-High-Performance Concrete Using Carbon, Material, and Water Footprint. *Materials*, vol. 6, s. 1-31.

Salmenperä, H., Sahimaa, O., Kautto, P., Vahvelainen, S., Wahlström, M., Bacher, J., Dahlbo, H., Espo, J., Haavisto, T. & Laine-Ylijoki, J. 2016. Kohdennetut keinot kierrätyksen kasvuun. Helsinki: Valtioneuvoston Kanslia.

Sameer, H., Weber, V., Mostert, C., Bringezu, S., Fehling, E. & Wetzel, A. 2019. Environmental Assessment of Ultra-High-Performance Concrete Using Carbon, Material, and Water Footprint. *Materials (Basel)*. Vol. 6. s. 1-31.

Senaatti. 2018. Senaatin vuosi 2018 – Yhteiskuntavastuuraportti. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 24.06.2019]. Saatavilla <https://www.senaatti.fi/yhteiskuntavastuuraportti2018/vastuullisuus-senaatissa/ymparisto/kestava-rakentaminen/>

Seppälä, J., Sahimaa, O., Honkatukia, J., Valve, H., Antikainen, R., Kautto, P., Myllymaa, T., Mäenpää, I., Salmenperä, H., Alhola, K., Kauppila, J. & Salminen, J. 2016. Kiertotalous Suomessa – toimintaympäristö, ohjaukset ja mallinnetut vaikutukset vuoteen 2030. Helsinki: Valtioneuvoston kanslia.

SFS-EN 1990+A1+AC. 2006. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Rakennustuoteteollisuus RTT Ry.

SFS-EN ISO 14040. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 15643-2. 2012. Sustainability of construction works. Assessment of buildings. Part 2: Framework for the assessment of environmental performance. Helsinki: Rakennustuoteteollisuus RTT Ry.

SFS-EN 15978. 2012. Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method. Helsinki: Rakennustuoteteollisuus RTT ry.

SFS-EN 15804+A1. 2014. Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. 2. painos. Helsinki: Rakennustuoteteollisuus RTT ry.

Shi, D., Gao, Y., Guo, R., Levinson, R., Sun, Z. & Li, B. 2019. Life cycle assessment of white roof and sedum-tray garden roof for office buildings in China. *Sustainable cities and Society*, vol. 46, s. 1-13.

Silva, R.V., Brito, J. & Dhir, R.K. 2019. Use of recycled aggregates arising from construction and demolition waste in new construction applications. *Journal of Cleaner Production*, vol. 236, s. 1-16.

Sipilä, R. 2014. Pinnoitettujen teräsohutlevyjen käyttöikäsuunnittelu. *Teräsraakenne*, vol. 1, s. 44-45.

Su, X. and Zhang, X., 2016. A detailed analysis of the embodied energy and carbon emissions of steel-construction residential buildings in China. *Energy and Buildings*, vol. 199, s. 323-330.

Suikkanen, T., Lindroos, N., Autiola, M., Napari, M., Taipale, T., Laine, J., Forsman, J., Auri, J. & Boman, A. 2018. Esiselvitys happamien sulfaattimaiden kartoitusmenetelmistä ja suosituksia toimenpiteiksi infrahankkeissa pääkaupunkiseudulla. Helsinki: Ramboll.

Suomen Vesienpuhdistusyhdistyksen liitto Ry. 2013. Pohjavesialueita koskeva lainsäädäntö. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 20.06.2019]. Saatavilla <http://www.vesiensuojelu.fi/pohjanmaa/wp-content/uploads/2013/04/Liitteet-1-8.pdf>

Suomen ympäristömerkintä. 2017. Opas ympäristömerkin käyttämiseen julkisissa hankinnoissa. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 3.10.2019]. Saatavilla [https://joutsenmerkki.fi/wp-content/uploads/2017/02/Julkiset\\_hankinnat\\_opas\\_huhtikuu\\_2017.pdf](https://joutsenmerkki.fi/wp-content/uploads/2017/02/Julkiset_hankinnat_opas_huhtikuu_2017.pdf)

Suomi.fi. 2019. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA). [WWW-dokumentti]. [Viitattu 26.8.2019]. Saatavilla <https://www.suomi.fi/organisaatio/asumisen-rahoitus-ja-kehittamiskeskus-ara/465dec0e-d173-4b66-b38c-5b2db608f94d>

SYKE. 2017. Tietoa elinkaariarvioinnista (LCA) ja elinkaariklinikatoimintamallista pk-yrityksille. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.

SYKE. 2019. Passiiviset hybridipuhdistusratkaisut arktisten valumavesien typen ja raskasmetallien puhdistamiseen (HybArkt). [WWW-dokumentti]. [Viitattu 16.9.2019]. Saatavilla [https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_kehittaminen/Tutkimus\\_ja\\_kehittamishankkeet/Hankkeet/Passiiviset\\_hybridipuhdistusratkaisut\\_arktisten\\_valumavesien\\_typen\\_ja\\_raskasmetallien\\_puhdistamiseen\\_HybArkt/Passiiviset\\_hybridipuhdistusratkaisut\\_ar\(47861\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Passiiviset_hybridipuhdistusratkaisut_arktisten_valumavesien_typen_ja_raskasmetallien_puhdistamiseen_HybArkt/Passiiviset_hybridipuhdistusratkaisut_ar(47861))

Säämänen, A., Riipinen, H., Kulmala, I. & Welling, I. 2004. Pölyntorjunta. Tampere: VTT.

Säynäjoki, A., Heinonen, J., Junnila, S. & Horvath, A. 2017 “Can life-cycle assessment produce reliable policy guidelines in the building sector?” Environmental Research letters, vol. 12, s. 1-16.

Taloon.com. 2019. Harjateräkset. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 4.10.2019]. Saatavilla <https://www.taloon.com/harjaterakset/5007/dg>

Tampereen kaupunki. 2015. Kunkun parkki – Ympäristövaikutusten arviointiselostus. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 24.06.2019]. Saatavilla [https://www.tampere.fi/tiedostot/k/baN7OutnH/kunkun\\_parkki\\_yva-selostus\\_2015.pdf](https://www.tampere.fi/tiedostot/k/baN7OutnH/kunkun_parkki_yva-selostus_2015.pdf)

Tanhuanpää, V-P. 2015. Pysäköintiratkaisut kiinteistösijoittajan näkökulma. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 1.8.2019]. Saatavilla [http://www.rakli.fi/media/ta-pahtumien-aineistot/sujuva-maankaytto-8.10.2015/20151008\\_tanhuanpaa\\_veli\\_pekka\\_sponda.pdf](http://www.rakli.fi/media/ta-pahtumien-aineistot/sujuva-maankaytto-8.10.2015/20151008_tanhuanpaa_veli_pekka_sponda.pdf)

Tekniikka & Talous. 2019. NCC rakentaa Haukiputaalle kouluja elinkaarimallilla. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 11.09.2019]. Saatavilla <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/ncc-rakentaa-haukiputaalle-kouluja-elinkaarimallilla/5aae1759-c5db-37bb-91a7-39886021a8f2>

Thomas, M. 2007. Optimizing the use of fly ash in concrete. Washington: Portland Cement Association.

Tielaitos. 1999. Teräsputkipaalut. Helsinki: Edita Oy

Tiehallinto. 2006. Tieliikenteen melu – perustietoa tieliikenteen melusta ja sen torjunnasta. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 19.06.2016]. Saatavilla [https://julkaisut.vayla.fi/pdf/meluesite\\_tammikuu\\_06\\_a4.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf/meluesite_tammikuu_06_a4.pdf)

Tieteen termipankki. 2014. Geofysiikka: desibeli. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 25.06.2019]. Saatavilla <https://tieteentermipankki.fi/wiki/Geofysiikka:desibeli>.

Tieteen termipankki. 2019. Ympäristötieteet: lentotuhka. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 1.10.2019]. Saatavilla <http://tieteentermipankki.fi/wiki/Ymp%C3%A4rist%C3%B6tieteet:lentotuhka>



- Tilastokeskus. 2015. Jätetilasto 2013. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 2.10.2019]. Saatavilla [http://tilastokeskus.fi/til/jate/2013/jate\\_2013\\_2015-05-28\\_tau\\_002\\_fi.html](http://tilastokeskus.fi/til/jate/2013/jate_2013_2015-05-28_tau_002_fi.html)
- Tilastokeskus. 2018. Jätetilasto 2016 [WWW-dokumentti]. [Viitattu 2.10.2019]. Saatavilla [http://www.stat.fi/til/jate/2016/jate\\_2016\\_2018-08-31\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/jate/2016/jate_2016_2018-08-31_tie_001_fi.html)
- Tilastokeskus. 2019a. Jätetilasto 2017. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 2.10.2019]. Saatavilla [http://tilastokeskus.fi/til/jate/2017/jate\\_2017\\_2019-07-09\\_tau\\_002\\_fi.html](http://tilastokeskus.fi/til/jate/2017/jate_2017_2019-07-09_tau_002_fi.html)
- Tilastokeskus. 2019b. Kasvihuonekaasut 2018 [WWW-dokumentti]. [Viitattu 2.10.2019]. Saatavilla [http://www.stat.fi/til/khki/2018/khki\\_2018\\_2019-05-23\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/khki/2018/khki_2018_2019-05-23_tie_001_fi.html)
- Tilastokeskus. 2019c. Kasvihuonekaasut: laatuseloste 2018. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 2.10.2019]. [http://www.stat.fi/til/khki/2018/khki\\_2018\\_2019-05-23\\_laa\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/khki/2018/khki_2018_2019-05-23_laa_001_fi.html)
- TimHaahs. 2012. Pugh Street Parking Garage – Condition Appraisal Report. Timothy Haahs & Associates INC. Philadelphia.
- Tong, R., Cheng, M., Zhang, L., Liu, M., Yang, X., Li, X. & Yin, W. 2018. The construction dust-induced occupational health risk using Monte-Carlo simulation. *Journal of cleaner production*, vol 184, s. 598-608.
- Traficom. 2019. Liikennekäytössä olevat sähköautot. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 2.10.2019]. Saatavilla [http://www.aut.fi/tilastot/autokannan\\_kehitys/sahko-autojen\\_maaran\\_kehitys](http://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/sahko-autojen_maaran_kehitys)
- Turner, L.K. & Collins, F.G. 2013. Carbon dioxide equivalent (CO<sub>2</sub>-e) emissions: A comparison between geopolymers and OPC cement concrete. *Construction and Building Materials*, vol. 43, s. 125-130.
- Turun kaupunki. 2016. Turun Pyöräilyn kehittämissuunnitelma 2029. Turku: Turun kaupunki.
- Turunen, O. & Orava, J. 2016. Osta, vuokraa, vaurastu. Helsinki: Alma Talent Oy.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2019. Energia- ja ilmastotavoitteet strategiatyön taustalla. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 22.8.2019]. Saatavilla <https://tem.fi/energia-ja-ilmastotavoitteet>
- Työsuojelu. 2017. Melu. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 19.06.2019]. Saatavilla <https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/fysikaaliset-tekijat/melu>
- USGBC. 2019. Projects. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 26.6.2019]. Saatavilla <https://www.usgbc.org/projects>

- Vahanen. 2015. Rakennustuotteiden ympäristöselosteiden (EPD) verifiointilla varmistetaan tieto ympäristövaikutuksista. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 24.9.2019]. Saatavilla <https://vahanen.com/fi/vahanen/ajankohtaista/rakennustuotteiden-ymparistoseosteiden-epd-verifiointilla-varmistetaan-tieto-ymparistovaikutuksista/>
- Vaismaa, K., Karhula, K., Huhta, R., Lahtinen, T., Gruzdaitis, L., Bäckström, J. & Jaakola, H. 2019. Pysäköinti 2.0. Helsinki: WSP Finland Oy.
- Vares, S., Ojanen, T., Pohjanne, P. & Häkkinen, T. 2009. ENNUS-Teräs Teräsrakenteiden käyttöään ennakointi. Helsinki: VTT:n tutkimusraportti.
- Varma. 2018. Vuosi- ja yritysraportti. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 24.06.2019]. Saatavilla <https://www.varma.fi/globalassets/vuosikertomus/varman-vuosi-ja-yritysraportti-2018.pdf>
- Torkkola, P. 2019. Asiakkuuspäällikkö, V-S Isännöintitalo Oy. Sähköpostikeskustelu.
- Vuori, M., Pahkala, M., Vuorinen, H., Aho, T. & Vuorinen, P. 2005. Paikallavalettu jälkijännitetty pysäköintirakennus. Helsinki: Suomen betonitieto.
- Walker, T., Krosinsky, C., Hasan, L.N., & Kibsey, S.D. 2019. Sustainable Real Estate. Cham: Palgrave Macmillan.
- Webster, C. 2018. Cross laminated timber: The new frontier in parking construction. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 11.10.2019]. Saatavilla <https://www.get-parkplus.com/single-post/2018/09/07/Cross-Laminated-Timber-The-New-Frontier-in-Parking-Construction>
- Wilberg, A.H., Georges, L., Dokka, T.H., Haase, M., Time, B., Lien, A.G., Mellegård, S. & Maltha, M. 2014. A net zero emission concept analysis of a single-family house. Energy and buildings, vol. 74, s. 101-110.
- Woodroof, E. & Pinyot, J. 2015. LEDs for Parking Garage Lighting. Buildings, vol. 109, s. 10-11.
- WWF. 2016. Itämeren rehevöityminen. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 16.9.2019]. Saatavilla <https://wwf.fi/alueet/itameri/rehevoytyminen/>
- WWF. 2012. Suomalisen vaikuttavimmat ilmastoteot. Helsinki: WWF Suomi.
- Xi, F., Davis, S-J., Ciais, P., Crawford-Brown, D., Guan, D., Pade, C., Shi, T., Sydal, M., Lv, J., Ji, L., Bing, L., Wang, J., Wei, W., Yang, K-H., Lagerbald, B., Galan, I., Andrade, C., Zhang, Y. & Liu, Z. 2016. Substantial global carbon uptake by cement carbonation. Nature Geoscience, vol. 9, s. 880-883.

Yang, X., Hu, M., Wu, J. & Zhao, B. 2018. Building-information-modeling enabled life cycle assessment, a case study on carbon footprint accounting for a residential building in China. *Journal of cleaner production*, vol. 183, s. 729-743

YIT. 2018. Liikenteen keskus. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 20.8.2019]. Saatavilla <https://tripla.yit.fi/liikenteen-keskus>

Yle. 2016. Sähkösovimuksen nimi ei kerro energian vihreydestä: Apua vihersävyyn valintana. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.9.2019]. Saatavilla <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2016/10/13/sahkosopimuksen-nimi-ei-kerro-energian-vihreydesta-apua-vihersavyn-valintaan>

Ylivieska. 2019. Uuden yhtenäiskoulun ja Jokirannan koulun elinkaarihankkeen sopimusten allekirjoitus kaupungintalolla 3.4.2019 klo 9.00. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 29.3.2019]. Saatavilla [http://www.ylivieska.fi/kouluhankkeet/ajankohtaiset/101/1/uuden\\_yhtenaiskoulun\\_ja\\_jokirannan\\_koulun\\_elinkaarihankkeen\\_sopimusten\\_allekirjoitustilaisuus](http://www.ylivieska.fi/kouluhankkeet/ajankohtaiset/101/1/uuden_yhtenaiskoulun_ja_jokirannan_koulun_elinkaarihankkeen_sopimusten_allekirjoitustilaisuus)

Ympäristö.fi. 2013. Kaavoituksen eteneminen. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 20.6.2019]. Saatavilla [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto\\_ja\\_kaavoitus/Kaavoituksen\\_eteneminen](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Kaavoituksen_eteneminen)

Ympäristö.fi. 2016. Työmaan jätehuolto. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 1.10.2019]. Saatavilla [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Pientalot/Korjaushankkeet/Materiaalitehokkuus/Työmaan\\_jatehuolto](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Pientalot/Korjaushankkeet/Materiaalitehokkuus/Työmaan_jatehuolto)

Ympäristö.fi. 2017. Rakennusmateriaalien uudelleenkäyttö, kierrätys ja jätehuolto. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 26.6.2019]. Saatavilla [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Rakennusmateriaalien\\_tietopankki/Uudelleen\\_kaytto\\_kierratys\\_ja\\_jatehuolto](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Rakennusmateriaalien_tietopankki/Uudelleen_kaytto_kierratys_ja_jatehuolto)

Ympäristö.fi. 2018. Rehevöityminen. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 16.9.2019]. Saatavilla [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika\\_on\\_Itameren\\_tila/Rehevoityminen](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika_on_Itameren_tila/Rehevoityminen)

Ympäristö.fi. 2019a. Pilaantuneet maa-alueet. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 20.6.2019]. Saatavilla [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Pilaantuneet\\_maaalueet](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Pilaantuneet_maaalueet)

Ympäristö.fi. 2019b. Pilaantuneen alueen puhdistamisvelvollisuus. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 20.6.2019]. Saatavilla [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Pilaantuneet\\_maaalueet/Pilaantuneen\\_alueen\\_puhdistamisvelvollisuus](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Pilaantuneet_maaalueet/Pilaantuneen_alueen_puhdistamisvelvollisuus)

Ympäristö.fi. 2019c. Järven rehevöityminen. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 16.9.2019]. Saatavilla [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesistöjen\\_kunnostus/Jarvien\\_kunnostus/Kunnostustarvetta\\_aiheuttavia\\_tekijoita/Rehevoityminen](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesistöjen_kunnostus/Jarvien_kunnostus/Kunnostustarvetta_aiheuttavia_tekijoita/Rehevoityminen)

Ympäristöministeriö. 2003. D2 Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö. 2003. B3 Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Pohjarakenteet. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö. 2010. C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten lämmöneristys. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö. 2017a. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjaljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 13.06.2019]. Saatavilla [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Rakentamisen\\_ohjaus/Vahahiilinen\\_rakentaminen/Tiekartta\\_rakennuksen\\_elinkaaren\\_hiilijalanjaljen\\_huomioimiseksi](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Tiekartta_rakennuksen_elinkaaren_hiilijalanjaljen_huomioimiseksi)

Ympäristöministeriö. 2017b. Kohti vähähiilistä julkista rakentamista. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 28.6.2019]. Saatavilla <https://www.ym.fi/download/none/%7B8F842B04-AA01-4497-8557-E1930B64CE1F%7D/130591>

Ympäristöministeriö. 2018a. Ympäristövaikutusten arviointi. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 14.6.2019]. Saatavilla [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi\\_luvat\\_ja\\_ymparistovaikutusten\\_arviointi/Ymparistovaikutusten\\_arviointi](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi)

Ympäristöministeriö. 2018b. Kansallinen ilmastopolitiikka. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 16.8.2019]. Saatavilla [https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Ilmastonmuutoksen\\_hillitseminen/Kansallinen\\_ilmastopolitiikka](https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansallinen_ilmastopolitiikka)

Ympäristöministeriö. 2018c. Energiatodistuksen laadintaesimerkki: Erillinen moottoriajoneuvosuoja. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö. 2019a. Suomen rakentamismääräyskokoelma. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 14.6.2019]. Saatavilla [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma)

Ympäristöministeriö. 2019b. Jätteiden hyödyntämismahdollisuuksia maanrakentamisessa laajennetaan. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 27.6.2019]. Saatavilla [https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Ymparistonsuojelun\\_valmisteilla\\_oleva\\_lainsaadanto/Jatteiden\\_hyodyntaminen\\_maanrakentamisessa](https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Ymparistonsuojelun_valmisteilla_oleva_lainsaadanto/Jatteiden_hyodyntaminen_maanrakentamisessa)

Ympäristöministeriö. 2019c. Maankäytön suunnittelun ohjaus – tavoitteena hyvinvoiva elinympäristö. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 26.8.2019]. Saatavilla [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Maankayton\\_suunnittelun\\_ohjaus](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Maankayton_suunnittelun_ohjaus)

Ympäristöministeriö. 2019d. Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 4.9.2019]. Saatavilla <https://www.ym.fi/download/none/%7BE8BE6A10-881E-42FF-A58A-D63328ED4178%7D/149180>

Ympäristöministeriö. 2019e. Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä. Helsinki, Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22.

Ympäristöministeriö. 2019f. Strategia 2030. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 2.10.2019]. Saatavilla <https://www.ym.fi/download/noname/%7B4ABFD0F8-6476-4B40-878F-259A0B98C6C0%7D/137607>

Ympäristösuojelulaki 4.2.2000 86/2000 [WWW-dokumentti]. [Viitattu 20.6.2019]. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000086#Pidp446800528>

Yoka, R. 2014. Sustainable Parking Design & Management: A Practitioner's Handbook. Alexandria: International Parking Institute

Zeitz, A., Griffin, C.T. & Dusicka, P. 2019. Comparing the embodied carbon and energy of a mass timber structure system to typical steel and concrete alternatives for parking garages. Energy & buildings, vol. 199, s. 126-133.

Zhao, Z., Wang, K., Lange, D., Zhou, H., Wang, H. & Zhu, D. 2019. Creep and thermal cracking of ultra-high volume fly ash mass concrete at early age. Cement and Concrete composites, vol. 99, s. 191-202.

## Liite 1. Elinkaariarvion tekijöitä (Ympäristöministeriö 2019d s.7).

**Luokka**  
Ilmaston lämpenemispotentiaali (GWP),  
eli ns. "hiilijalanjälki"



**Yksikkö**  
Hiilidioksidiekvivalentti

**Haitta**  
Kasvihuonekaasujen lisääntyminen ilmakehässä lämmittää maata lähinnä olevia ilmakerroksia, mikä johtaa ilmastonmuutokseen.

**Luokka**  
Happamoitumispotentiaali (AP)



**Yksikkö**  
Rikkidioksidiekvivalentti

**Haitta**  
Veden kanssa reagoivat happamoittavat aineet voivat johtaa happosateeseen, joka aiheuttaa muun muassa juuristojen hajoamista ja ravinteiden poistumista kasveista.

**Luokka**  
Fossiilisten luonnonvarojen abioottinen ehtyminen (ADPF)



**Yksikkö**  
MJ

**Haitta**  
Voimakas abioottisten luonnonvarojen kulutus voi kiihdyttää käytettävissä olevien fossiilisten energialähteiden kuten öljyn ja hiilen ehtymistä.

**Luokka**  
Otsonikatopotentiaali (ODP)



**Yksikkö**  
Triklloorifluorimetaaniekvivalentti

**Haitta**  
Vahingoittaa stratosfäärin otsonikerrosta, joka suojaa elollista luontoa auringon haitalliselta UV-A- ja UV-B-säteilyltä.

**Luokka**  
Rehevöitymispotentiaali (EP)



**Yksikkö**  
Fosfaattiekvivalentti

**Haitta**  
Ravinteiden liikatarjonta aiheuttaa herkissä ekosysteemeissä ei-toivottua kasvinkasvua, esimerkiksi kaloja tappavaa levien kasvua.

**Luokka**  
Primäärienergian kokonaiskulutus (PEtot)



**Yksikkö**  
MJ tai kWh

**Haitta**  
Voimakas primäärienergian varojen kulutus fossiili- ja uusiutuvista lähteistä voi kiihdyttää luonnonvarojen ehtymistä.

**Luokka**  
Valokemiallinen  
otsoninmuodostuskyky (POCP)



**Yksikkö**  
Etyleeniekvivalentti

**Haitta**  
Muodostaa ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta otsonia alailmakehään (summer smog -ilmiö). Otsoni mm. vahingoittaa hengityselimistöä.

**Luokka**  
Ei-fossiilisten luonnonvarojen abioottinen ehtyminen (ADPe)



**Yksikkö**  
Antimoniekvivalentti

**Haitta**  
Abioottisten luonnonvarojen voimakas kulutus voi kiihdyttää käytettävissä olevien materiaalien kuten metallien ja mineraalien ehtymistä.




**Luokka**  
Uusiutuvien vaihtoehtoisten  
polttoaineiden käyttö (Sec)



**Yksikkö**  
MJ tai kWh

**Haitta**  
Vaihtoehtoiset polttoaineet, esimerkiksi jäte, ovat periaatteessa rajallisia resursseja, joten niiden voimakas kulutus voi johtaa epäsuorasti resurssipulaan.

## Liite 2. Maankäytön ja rakentamisen strategia 2030 (Ympäristöministeriö 2019f)

Vaikuttavuustavoitteet	Painopisteet	Indikaattorit
 <p><b>Hyvä ympäristö ja monimuotoinen luonto</b></p>	Itämeren ja vesien hyvä tila on saavutettu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hyvässä tai erinomaisessa tilassa olevien vesien osuus</li> <li>• Suomen typpi- ja fosforikuormitus Itämereen</li> </ul>
	Luonnon monimuotoisuuden kato on pysäytetty ja suotuisa tila on turvattu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lajien ja luontotyyppien uhanalaisuus</li> <li>• Lintukannat elinympäristöittäin</li> <li>• Suojelualueiden määrä ja osuus pinta-alasta</li> </ul>
	Ympäristöriskit on tunnistettu ja ne hallitaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ympäristölupien keskimääräinen käsittelyaika (uusi toiminta ja toiminnan muutokset)</li> <li>• Tutkitut ja kunnostetut PIMA -alueet ja alan vienti</li> <li>• Pysyvien organisten yhdisteiden käyttömäärä</li> </ul>
 <p><b>Hiilineutraali kiertotalousyhteiskunta</b></p>	Elinympäristö parantaa ihmisten hyvinvointia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pienhiukkasten ja mustahiilen päästöt ilmaan sekä rikki- ja typpipäästöt</li> <li>• Rakennetun ympäristön tila, rakennukset</li> <li>• Tyytyväisyys asuinalueen viihtyisyyteen</li> </ul>
	Suomi on vähentänyt kasvihuonekaasupäästöjään merkittävästi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kasvihuonekaasupäästöt ja nielu, taakanjakosektorin kasvihuonekaasupäästöt</li> <li>• Uusiutuvan energian osuus energian loppukäytöstä</li> <li>• Rakennerahastovarojen käyttö vähähiiliseen talouteen</li> </ul>
	Luonnonvaroja käytetään säästeliäästi ja kestävästi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luonnonvarojen kulutus, RMC (raw material consumption)</li> <li>• Muovin käyttö ja kierrätys</li> <li>• Ympäristöliiketoiminnan (Cleantech) liikevaihto</li> </ul>
 <p><b>Kestävä kaupunkikehitys</b></p>	Kiertotalous uudistaa yhteiskuntaa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yhdyskuntajätteen kierrätysaste</li> <li>• Kiertotalousliiketoiminnan liikevaihto</li> </ul>
	Rakennusten elinkaari on vähähiilinen ja materiaalitehokas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rakentamisen hiilijalanjälki</li> <li>• Uusien rakennusten energiatehokkuus, energiatodistus A-luokka</li> <li>• Uusien puukerrostalojen osuus kaikista uusista kerrostaloista</li> </ul>
	Kaupunkiseudut lisäävät alueiden kestävä kasvua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yhdyskuntarakenteen eheys ja joukkoliikenteen ja palveluiden toimintaedellytykset</li> <li>• Asemakaava-alueelle rakennettujen asuntojen osuus kaupunkiseudun uusista asunnoista</li> <li>• Jalankulku- ja joukkoliikenneväyhykkeillä sijaitsevan väestön ja työpaikkojen yhteen laskettu osuus kaupunkiseututaajamissa</li> </ul>
<p><b>Lähiympäristöt ovat sosiaalisesti ja ekologisesti kestäviä</b></p>	Lähiympäristöt ovat sosiaalisesti ja ekologisesti kestäviä	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaupunkialueiden virkistysalueiden pinta-ala/asukas</li> <li>• Kaupungin asuinalueittaisten tulojen jakauma</li> </ul>
	Asuntoja on eri väestöryhmien tarpeisiin kysyntää vastaavasti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asumismenojen osuus tuloista</li> <li>• Yli 75-vuotiaiden kotona asuvien määrä</li> </ul>
	Kehitys kaupunkiseutujen ja maaseudun välillä on toisiaan tukevaa ja vuorovaikutteista	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maaseudun ja harvaan asutun seudun työllisyysaste</li> <li>• Kyläkauppojen määrä</li> </ul>

### Liite 3. Tarjouspyyntöjen ympäristövaatimukset

1. Minkälaisia ympäristövaatimuksia on ilmennyt tarjouspyynnöissä?
2. Onko hiilijalanjäljen laskentaa huomioitu?
3. Onko melun tai värinän huomioiminen ollut tarjouspyynnöissä? Entä maaperän saastuttaminen?
4. Onko ympäristösertifikaatteja vaadittukohteissa?



## Liite 4. Sähköpostikysely tilaajille ympäristövaikutuksista

Hei,

kirjoitan diplomityötä, jonka aiheena on ”Ympäristötekijöiden vaikutus parkkihalliprojektien elinkaarikustannuksiin”. Parkkihallien lisäksi kartoitan diplomityössä tarjouspyynnöissä ilmenneitä ympäristövaatimuksia.

Ehtikö Teidän organisaatiosta joku vastaamaan kolmeen rakennusten ympäristövaikutuksiin liittyvään kysymykseen, jotka ovat

1. Minkälaisia ympäristövaatimuksia Teillä on tarjouspyynnöissä (esimerkiksi jätteiden kierrätyksessä jokin tietty taso, melun rajoittaminen ym.)?
2. Vaaditaanko Teidän kohteissa, että täytyy laskea rakennusten kasvihuonekaasupäästöjä?
3. Onko Teidän kohteissa vaadittu ympäristösertifikaatteja (BREEAM, LEED tai urakoitsijalta ISO14000-järjestelmää)?

Vastaus onnistuu ”anonyymisti” eli nimeä ei julkaista diplomityössä, jos Te ette halua.

PS. Vastaamisesta ei saa mitään palkintoa tai lahjaa eikä osallistu mihinkään arvontaan, mutta vastaaminen edesauttaa minun valmistumista, joten yhden tyytyväisen mielen ainakin saa, jos ei muuta 😊.

**Sakari Leinonen**

Diplomityöntekijä | Master thesis worker

## Liite 5. Pysäköintihallien lattioiden ja ramppien huoltovälit (mukaillen Punkki 2017 s. 71).

	Yksityinen pysäköintitalo	Julkinen pysäköintitalo	Ruuhkainen julkinen pysäköintitalo
<b>Alue I Kova kulutusrasitus</b>	by 45, luokka 2	by45, luokka 1	by45, luokka 1
	Sirotepinnoite A8	Sirotepinnoite A5 tai A8	Sirotepinnoite A5 tai A8
	Silikaattikäsittely	Silikaattikäsittely	Silikaattikäsittely
	Betonipinta uusitaan 25 v välein	Betonipinta uusitaan 10-25 v välein	Betonipinta uusitaan 10-25 v välein
<b>Alue II kohtuullinen kulutusrasitus</b>	by 45, luokka 2	by 45, luokka 2	by45, luokka 1
	Silikaattikäsittely	Sirotepinnoite A8	Sirotepinnoite A5
	Betonipinta uusitaan 25 v välein	Silikaattikäsittely	Kovabetoni, A8
		Betonipinta uusitaan 25 v välein	Silikaattikäsittely
		Betonipinta uusitaan 10-25 v välein	
<b>Alue III Muut alueet</b>	by 45, luokka 3	by 45, luokka 2	by 45, luokka 2
	Betonipinta uusitaan 25 v välein	Silikaattikäsittely	Sirotepinnoite A8
		Betonipinta uusitaan 25 v välein	Silikaattikäsittely
			Betonipinta uusitaan 25 v välein

## Liite 6. Parkkihallien ylläpitokustannusten arviointitaulukko

Mikä	Autopaikka- vastike €/kk	Autopaikka- vastike €/a	Autopaikan lunastushinta	Ylläpito- kustan- nusten %- osuus/k k	Ylläpitokus- tannusten %-osuus/a
Autohalli- paikka	15	180	5000	0,30 %	3,6 %
Autohalli- paikka	25	300	15000	0,17 %	2,0 %
Autohalli- paikka	25	300	15000	0,17 %	2,0 %
Autohalli- paikka	30	360	26000	0,12 %	1,4 %
Autohalli- paikka	31	372	12000	0,26 %	3,1 %
Autohalli- paikka	24	288	25000	0,10 %	1,2 %
Autohalli- paikka	25	300	14000	0,18 %	2,1 %
Autohalli- paikka	30	360	35000	0,09 %	1,0 %
Autohalli- paikka	30	360	50000	0,06 %	0,7 %
Autohalli- paikka	30	360	35000	0,09 %	1,0 %
Autohalli- paikka	15	180	26000	0,06 %	0,7 %
Autohalli- paikka	25	300	18000	0,14 %	1,7 %
Autohalli- paikka	25	300	22000	0,11 %	1,4 %
Autohalli- paikka	30	360	30000	0,10 %	1,2 %
Autohalli- paikka	18,5	222	22000	0,08 %	1,0 %
Autohalli- paikka	18	216	12600	0,14 %	1,7 %
Autohalli- paikka	17,4	208,8	18000	0,10 %	1,2 %
Autohalli- paikka	25	300	25000	0,10 %	1,2 %
Autohalli- paikka	20	240	15000	0,13 %	1,6 %
Autohalli- paikka	30	360	24000	0,13 %	1,5 %
Autohalli- paikka	29,4	352,8	27000	0,11 %	1,3 %

Autohalli- paikka	30	360	26000	0,12 %	1,4 %
Autohalli- paikka	25	300	22000	0,11 %	1,4 %
Autohalli- paikka	35	420	22000	0,16 %	1,9 %
Autohalli- paikka	24	288	27000	0,09 %	1,1 %
Autohalli- paikka	31	372	19400	0,16 %	1,9 %
Autohalli- paikka	16	192	12000	0,13 %	1,6 %
Autohalli- paikka	30	360	28000	0,11 %	1,3 %
Autohalli- paikka	20	240	35000	0,06 %	0,7 %
Autohalli- paikka	30	360	32000	0,09 %	1,1 %
Autohalli- paikka	20	240	35000	0,06 %	0,7 %
Autohalli- paikka	24	288	22000	0,11 %	1,3 %
Autohalli- paikka	25	300	40000	0,06 %	0,8 %
Autohalli- paikka	25	300	40000	0,06 %	0,8 %
Autohalli- paikka	25	300	40000	0,06 %	0,8 %
Autohalli- paikka	20	240	35000	0,06 %	0,7 %
Autohalli- paikka	35	420	27000	0,13 %	1,6 %
Autohalli- paikka	30	360	33000	0,09 %	1,1 %
Autohalli- paikka	10	120	26000	0,04 %	0,5 %
Autohalli- paikka	20	240	22000	0,09 %	1,1 %
Autohalli- paikka	19,38	232,56	25000	0,08 %	0,9 %
Autohalli- paikka	28	336	16000	0,18 %	2,1 %
Autohalli- paikka	25	300	16000	0,16 %	1,9 %
Autohalli- paikka	37	444	14000	0,26 %	3,2 %