

Georakentamisen maisteriohjelma

# Infrarakentamisen hiilidioksidiekvivalentti- päästöt Suomessa

---

Tommi Lehtovirta

Diplomityö  
2023

Copyright ©2023 Tommi Lehtovirta

---

**Tekijä** Tommi Lehtovirta

---

**Työn nimi** Infrarakentamisen hiilidioksidiekvivalenttipäästöt Suomessa

---

**Koulutusohjelma** Georakentamisen maisteriohjelma

---

**Pääaine** Geotekniikka

---

**Vastuupettaja/valvoja** Professori Jussi Leveinen

---

**Työn ohjaaja(t)** DI Taavi Dettenborn ja DI Tuuli Teittinen

---

**Yhteistyötaho** Ramboll Finland Oy

---

**Päivämäärä** 21.04.2023      **Sivumäärä** 70 / 3      **Kieli** Suomi.

---

### **Tiivistelmä**

Tämän työn tarkoituksena oli saada arvio Suomen infrarakentamisen vuotuisten hiilidioksidiekvivalenttipäästöjen (CO<sub>2</sub>e) suuruudesta. Työtä varten määriteltiin infrarakentamiseen kuuluvat osa-alueet sekä tutkittiin millaista tietoa vuotuisesta rakentamisesta ja kunnossapidosta oli saatavilla. Tutkimusmenetelmää valittaessa eri päästölaskentamenetelmiä kartoitettiin sekä arvioitiin niiden toteuttamisen mahdollisuuksia. Työn aikaisten havaintojen sekä lopputulosten pohjalta tehtiin myös pohdintaa millä tavoin päästölaskentaa tulisi toteuttaa jatkossa.

Eri päästölaskentatavoiksi valikoitui kolme menetelmää, jotka olivat rakentamis- ja kunnossapitomääriin perustuva, materiaalimenekkiin perustuva sekä investointimääriin perustuva päästölaskenta. Työn aikaisen tutkimuksen sekä saadun aineiston perusteella päästölaskenta oli mahdollista toteuttaa tarkimmin keskeisten rakentamismateriaalien menekkiin perustuen. Tällä tavoin saatiin laskettua arvio, että Suomen infrarakentamisen päästöt ovat 2210 kt CO<sub>2</sub>e vuodessa. Saatua lopputulosta voidaan pitää suuntaa antavana arviona, johtuen lähtöaineiston laadusta sekä laskennan aikana tehdyistä oletuksista. Tämän lisäksi investointimääriin perustuvasta päästölaskennasta saatiin saman suuruusluokan tuloksia, minkä johdosta tapaa voidaan pitää potentiaalisena. Investointimääriin perustuva laskenta tarvitsisi kuitenkin enemmän ja parempaa aineistoa pohjaksi, jotta tuloksia voitaisiin pitää luotettavina. Rakentamis- ja kunnossapitomääriin perustuen ei pystytty laskemaan koko Suomen infrarakentamisen päästöjä, johtuen rakentamismäärätiedon puutteista.

Työn perusteella etenkin infrarakentamisen rakentamis- ja kunnossapitomäärien tilastointia tulisi parantaa sekä yhtenäistää, jotta laskentaa olisi helpompi toteuttaa. Työn tulosten perusteella olisi myös suositeltavaa, että infrarakentamisen päästölaskenta perustuisi tulevaisuudessa materiaalimenekkiin, jotta saadaan huomioitua parhaiten kaikki erikoisrakenteet.

---

**Avainsanat** Infrarakentaminen, CO<sub>2</sub>e, hiilijalanjälki, kasvihuonekaasupäästöt

---

---

**Author** Tommi Lehtovirta

---

**Title of thesis** Carbon dioxide equivalent emissions of infrastructure construction in Finland

---

**Programme** Master's programme in Geoengineering

---

**Major** Geotechnical engineering

---

**Thesis supervisor** Professor Jussi Leveinen

---

**Thesis advisor(s)** M.Sc.Tech. Taavi Dettenborn, M.Sc.Tech. Tuuli Teittinen

---

**Collaborative partner** Ramboll Finland Oy

---

**Date** 21.04.2023      **Number of pages** 70 / 3      **Language** Finnish

---

**Abstract**

The purpose of this master's thesis was to get an estimate of the annual carbon dioxide equivalent emissions (CO<sub>2</sub>e) of Finnish infrastructure construction. For the study, the sub-areas belonging to infrastructure construction were defined and available information on annual construction and maintenance was investigated. When choosing the research method, different emission calculation methods were mapped, and the possibilities of their implementation were evaluated. Based on the observations during the work and the results, consideration was also given as to how the emissions calculation should be carried out in the future.

Three methods were selected as different emission calculation methods, which were emission calculation based on construction and maintenance quantities, emission calculation based on material flow, and investment quantities. Based on the research during the work and the data obtained, it was possible to calculate the emissions most accurately based on the usage of the key construction materials. In this way an estimate was calculated that the emissions of Finnish infrastructure are 2210 kt CO<sub>2</sub>e per year. The obtained result can be regarded as an estimate, due to the quality of the source material and the assumptions made during the calculation. In addition to this, the emission calculation based on the investment quantities yielded results of the same order of magnitude, which is why the method can be considered as potential. However, a calculation based on investment quantities would need more and better data as a basis, so that the results could be considered reliable. Based on the construction and maintenance quantities, it was not possible to calculate the emissions of infrastructure construction in Finland as a whole, due to the lack of information on construction quantities.

Based on the findings in this study, the statistics of construction and maintenance figures for infrastructure construction should be improved and unified to make the calculation easier to implement. Based on the results of the work, it would also be recommended that the emission calculation of infrastructure construction should be based on material flow in the future to consider all special structures.

---

**Keywords** Infrastructure construction, CO<sub>2</sub>e, carbon footprint, greenhouse gas emissions

---

# Sisällys

Esipuhe .....	7
Sanasto .....	8
1 Johdanto.....	9
1.1 Työn taustaa .....	9
1.2 Työn tavoitteet.....	9
1.3 Työn rajaus .....	10
1.4 Tutkimusmenetelmät.....	10
1.5 Työn rakenne.....	10
2 Teoria.....	11
2.1 Infrarakentamisen osa-alueet .....	11
2.2 Infrarakentamisen elinkaari .....	12
2.3 Infran CO <sub>2</sub> e päästöt .....	14
2.3.1 Elinkaaren aikaiset päästöt .....	14
2.3.2 Maankäytön muutoksista aiheutuvat päästöt.....	15
2.4 Aiempi tutkimus infrarakentamisen CO <sub>2</sub> -päästöistä.....	15
2.4.1 Aikaisempi tutkimus Suomessa.....	16
2.4.2 Infrarakentamisen päästöselvitykset pohjoismaissa.....	18
3 Tutkimusmenetelmät.....	21
3.1 Materiaalimenekkiin perustuvan päästölaskennan menetelmät ...	21
3.2 Investointimääriin perustuvan päästölaskennan menetelmät .....	23
3.3 Rakentamis- ja kunnossapitomääriin perustuvan päästölaskennan menetelmät .....	24
4 Materiaalimenekkiin perustuva päästölaskenta.....	25
4.1 Materiaalien päästöt .....	25
4.1.1 Asfaltti.....	25
4.1.2 Betoni.....	26
4.1.3 Keventeet .....	29
4.1.4 Kiviainekset.....	30
4.1.5 Muovi.....	33
4.1.6 Stabiloidin sideaineet.....	35
4.1.7 Teräs .....	38

4.1.8	Polttoaineet (kuljetus ja työkoneet).....	41
4.1.9	Muut materiaalit .....	45
4.2	Materiaalimenekin perusteella lasketut kokonaispäästöt.....	47
4.3	Materiaalimenekkipohjaisen päästölaskennan tarkkuus .....	48
5	Investointimääriin perustuvat päästöt.....	50
5.1	Infrarakentamisen vuosittaiset investoinnit .....	50
5.2	Investointien aiheuttamat päästöt .....	51
5.3	Kokonaispäästöjen suuruus investointien perusteella .....	51
6	Rakentamis- ja kunnossapitomääriin perustuva päästölaskenta .....	53
6.1	Päästölaskentaa varten tarvittava tieto .....	53
6.2	Tilastoinnin tila.....	53
6.2.1	Valtion omaisuus.....	53
6.2.2	Kuntien omaisuus .....	54
6.2.3	Yksityinen omaisuus.....	54
6.3	Nykyisen tilastoinnin aiheuttamat ongelmat päästölaskennalle ...	55
7	Suomen infrarakentamisen päästöt .....	57
7.1	Kokonaispäästöt .....	57
7.2	Pohdintaa päästölaskennasta.....	60
7.3	Jatkotutkimusaiheita .....	62
8	Yhteenveto .....	63
	Lähteet.....	65
	A Päästökerroinluettelo.....	71

## Esipuhe

Tätä diplomityötä oli rahoittamassa Ramboll Finland, Green Building Council Finland, Rakennusteollisuus, Väylävirasto sekä Espoon-, Helsingin ja Vantaan kaupungit. Työn ohjausryhmän jäseniä olivat:

- Elina Samila (Green Building Council Finland)
- Heikki Kangas (Vantaan kaupunki)
- Iina Kallio (Espoon kaupunki)
- Juha Forsman (Ramboll Finland Oy)
- Juha Laurila (Rakennusteollisuus)
- Jussi Leveinen (Aalto yliopisto)
- Mikko Suominen (Helsingin kaupunki)
- Riina Känkänen (Ramboll Finland Oy)
- Taavi Dettenborn (Ramboll Finland Oy)
- Timo Tirkkonen (Väylävirasto)
- Tuuli Teittinen (Ramboll Finland Oy)
- Virpi Nikulainen (Helsingin kaupunki)

Haluan kiittää ohjausryhmäni jäseniä ja jäsenyrityksiä heidän asiantuntevista kommentteista ja näkemyksistä sekä työn mahdollistamisesta. Erityiskiitokset myös työn ohjaajille, Taavi Dettenbornille sekä Tuuli Teittiselle Ramboll Finland Oy:sta, kaikesta avusta ja ohjaamisesta, joita annoitte kirjoitusprosessin aikana. Kiitoksia myös työn valvojalle, professori Jussi Leveiselle Aalto yliopistosta.

Tämän työn myötä on aika saattaa ikimuistoiset opiskelut päätökseen ja nauttia vielä viimeisen kerran opiskelijavapusta ennen työelämään hyppäämistä. Diplomityöprosessissa auttoi oivallus, että kirjoittamista voi hoitaa muualla kuin työpöydän äärellä ja vain maailma oli rajana. Kiitokset kaikille ystävilleni, jotka olitte mukana luomassa opiskeluajan muistoja. Kiitokset myös tyttöystävälleni ja perheelleni kaikesta tuesta mitä olette tarjonneet vuosien aikana!

Erään selostajan sanontaa lainaten; Se on siinä!

Helsingissä 21.4.2023  
Tommi Lehtovirta

## Sanasto

<b>CO<sub>2</sub></b>	Hiilidioksidi
<b>CO<sub>2</sub>e</b>	Hiilidioksidiekvivalentti, sisältää hiilidioksidipäästöjen lisäksi esimerkiksi metaanin, CH <sub>4</sub> , ja dityppioksidin, N <sub>2</sub> O, päästöt
<b>Infrarakentaminen</b>	Rakennetun ympäristön tuottamiseen ja kunnossapitoon tarvittavaa rakentamista, pois lukien talojen maanpäällisten osien rakentaminen ja kunnossapito. Laajempi kokonaisuus kuin maa- ja vesirakenteiden, MVR, rakentaminen
<b>Päästökerroin</b>	Valitun päästön määrä, suhteessa tuotetun tuotteen tai palvelun määrään. Esimerkiksi kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia per käytetty tuote
<b>Päästölaskenta</b>	Jonkun tuotteen tai toiminnon aiheuttaman päästöjen laskenta, tässä työssä CO <sub>2</sub> e-päästöjen laskentaa
<b>Infrarakentamisen päästötietokanta</b>	CO2data.fi/infra, SYKE:n ja Väyläviraston yhteinen tietokanta, jossa on infrarakentamisen keskeisiä päästökertoimia
<b>Tiekartta-selvitys</b>	Koko nimeltään Vähähiilinen Rakennusteollisuus 2035-tiekartta, Rakennusteollisuuden GAIA Consultingilta tilaama selvitys rakentamisen päästövähennyspotentiaaleista sekä päästöjen nykytilasta



# 1 Johdanto

## 1.1 Työn taustaa

Suomi on linjannut pääministeri Sanna Marinin hallitusohjelmassa vähentävänsä päästöjänsä ja olevansa hiilineutraali 2035. Suomea ohjaavat hallituksen tavoitteiden lisäksi myös EU:n ilmastotavoitteet, jotka tosin ovat Suomen omia tavoitteita löyhemmät. Päästäkseen hallituksen tavoitteeseen, vaaditaan 60 % päästövähennyksiä vuoteen 2030 mennessä aina tiukentuen 95 % vähennyksiin vuoteen 2050 mennessä, verrattuna vuoden 1990 tasoon. (Ympäristöministeriö, 2022a) Päästövähennyksiä on siis tehtävä kaikilla sektoreilla, jotta tavoitteet olisivat saavutettavissa.

Rakentamisen päästöt muodostavat merkittävän osan Suomen kokonaispäästöistä. Vuonna 2020 toimialojen ja kotitalouksien vuotuiset kasvihuonekaasupäästöt olivat noin 49 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub> ja tästä rakentamisen osuus oli noin 1,6 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>. (Tilastokeskus, 2022a) Päästöt eivät tulevaisuudessa tuskin pienene ilman toimia, sillä infran rakentaminen- ja kunnossapito voivat tulevaisuudessa lisääntyä entisestään. Infrarakentamisen osalta etenkin raideliikenteen suosion kasvu tulee tulevaisuudessa lisäämään raideliikenneinvestointeja. Myös muutokset kohti kestävämpää yhteiskuntaa, tulevat vaatimaan muita infran investointeja. Tämän lisäksi etenkin tiestön ja vesihuollon korjausvelat jatkavat kasvuaan, mikä pitää kunnossapitotarpeen korkealla. Jotta saamme päästöjä vähennettyä, tulee meillä olla käsitys, mihin asioihin puuttuminen auttaisi eniten. Tässä hyvänä työkaluna toimisi kattava päästöselvitys infrarakentamisesta.

Infrarakentamiseen liittyviä päästöselvityksiä ei ole tehty Suomessa kuin yksi. Gaia Consulting tekemä Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035-tiekartta selvitys, on ainoa laaja selvitys, joka antaa arvion Suomen infrarakentamisen hiilidioksidiekvivalenttipäästöistä. (Gaia Consulting Oy, 2020b) Sen on arvosteltu kuitenkin olevan kattavuudeltaan puutteellinen, minkä takia lopputuloksista on vaikea tehdä johtopäätöksiä kattaen koko infrarakentamisen. Laajemmalle tutkimukselle infrarakentamisen päästöistä on siis tarvetta alalla.

## 1.2 Työn tavoitteet

Diplomityön tavoitteena on arvioida Suomen infran rakentamisen ja kunnossapidon aiheuttamien vuotuisten CO<sub>2</sub>e-päästöjen määrä. Työssä määritellään laskennassa huomioitavat infran osa-alueet, minkä lisäksi arvioidaan mielekästä tapaa suorittaa päästölaskenta.

Työn tutkimuskysymykset ovat:

- Mitä kuuluu infrarakentamiseen ja minkälaista tietoa on saatavilla infran rakentamisen ja kunnossapidon määristä?
- Millä tavoin koko Suomen infrarakentamisen päästölaskentaa tulisi toteuttaa ja mitä haasteita tapoihin liittyy?
- Kuinka suuret vuotuiset CO<sub>2</sub>e-päästöt aiheutuvat Suomen infrarakentamisesta?

### **1.3 Työn rajaus**

Työssä tarkastellaan infran rakentamisesta sekä kunnossapidosta aiheutuvaan hiilijalanjälkeä. Päästölaskennassa huomioidaan vain hiilidioksidiekvivalenttipäästöt. Arvio hiilijalanjäljen suuruudesta lasketaan perustuen keskeisten rakennusmateriaalien vuotuisen menekkiin infrarakentamisessa. Infrarakentamiseen kuuluvat kategoriat on määritelty tarkemmin työssä. Työn päästölaskenta huomioi valtion, kuntien sekä yksityisen sektorin rakentamisen.

### **1.4 Tutkimusmenetelmät**

Tutkimuksessa käytetään avuksi kirjallisuusselvityksiä sekä asiantuntija-haastatteluita. Näiden tietojen pohjalta lasketaan päästöarviot.

Suomen infrarakentamisen päästöarvion esittämiseksi työssä lasketaan keskeisimmistä infrarakentamisen materiaaleista syntyvät päästöt. Päästölaskenta toteutetaan panospohjaisena laskentana, jossa tuote tai materiaali kerrotaan sen päästökertoimella. Lopputuloksena saadaan päästö.

### **1.5 Työn rakenne**

Diplomityön toisessa luvussa käsitellään yleisesti infrarakentamista sekä avataan elinkaarimallia ja hiilijalanjäljen käsitteistöä. Kolmannessa luvussa käydään läpi työn laskentatapoja. Työn luvuissa neljä, viisi ja kuusi lasketaan Suomen infrarakentamisen päästöjä perustuen materiaalimenekkiin ja investointimääriin sekä arvioidaan rakentamis- ja kunnossapitomääriin perustuvan laskennan mahdollisuuksia. Lopuksi työn havainnot ja tulokset tuodaan esille yhteenvedossa.

## 2 Teoria

### 2.1 Infrarakentamisen osa-alueet

Rakennetulla ympäristöllä tarkoitetaan kaikkea ihmisen rakentamaa ja sen voidaan nähdä koostuvan rakennuksista, liikenneverkoista ja yhdyskuntatekniikasta (Gaia Consulting Oy, 2020a). Liikenneverkoista ja yhdyskuntatekniikasta voidaan myös käyttää yleisnimitystä infra. Infraan liittyvästä rakentamisesta puhuttaessa käytössä on kaksi eri käsitettä, maa- ja vesirakentaminen, MVR, sekä infrarakentaminen. Vaikka molemmat termit liittyvät infraan, niihin kuuluvat rakentamisen osa-alueet poikkeavat toisistaan. Kuvassa 1 on esitelty jaottelua, joka perustuu Eero Nippalan tekemään vertailuun MVR:n ja infrarakentamisen välillä. (Nippala, 2023) Käytännössä infrarakentaminen on laajempi termi ja kaikki mikä kuuluu maa- ja vesirakentamiseen, kuuluu myös infrarakentamiseen, mutta ei toisinpäin. Vainio ja Nippala määrittelee, että infrarakentaminen sisältää rakennetun ympäristön tuottamiseen ja kunnossapitoon tarvittavan rakentamisen, pois lukien talojen maanpäällisten osien rakentaminen ja kunnossapito (Vainio & Nippala, 2013). Tässä työssä infrasta puhuttaessa viitataan infrarakentamisen määritelmään eikä MVR:ään, koska infrarakentaminen kattaa laajemmin kokonaisuuden.

<b>Alkutuotannon rakenteet</b> -metsäautotiet -yksityistiet -salaojat, metsäojat	<b>Maantieverkko</b> -tiet -sillat -kevyen liikenteen väylät -alikulut, maantietunnelit	<b>Raideliikenneverkko</b> -radat, ratasillat -metro -ratatunnelit
<b>Lentoliikenne</b> -kiitoradat -rullaustiet terminaalipihat	<b>Katuverkot</b> -kadut, katusillat, raitiotiet -kevyen liikenteen väylät -alikulut	<b>Tietoliikenneverkot</b> -maa- ja ilmaaapelit -linkkimastot
<b>Vesihuoltoverkot</b> -vesijohdot, vedenottamot, puhdistamot -viemärit, jätevedenpuhdistamot -vesitornit	<b>Energiahuoltoverkot</b> -kaukolämpöverkot -sähköverkot -maakaasuverkko	<b>Vesiliikenne</b> -merisatamat-, väylät -sisävesisatamat, -väylät -kanavat, padot
<b>Ympäristörakenteet</b> -meluvallit, läjitys/maise- mointialueet -kaatopaikat -hautausmaat	<b>Vapaa-ajan rakenteet</b> -urheilukentät, puistot, leik- kikentät -laskettelurinteet, tennis, golf -pururadat, ampumaradat, raviradat	<b>Kaivosrakenteet</b> -kaivosten aluerakenteet -kaivosten ajotunnelit

<b>Talojen aluetyöt</b>	<b>Teollinen tuulivoima</b>	<b>Maanalaiset tilat</b>
-paalutus ja muut pohjan- vahvistukset -pihat, pysäköintialueet -istutukset, viheralueet	-perustukset, harukset, -kulkuväylä	-pysäköintiluolat, väes- tösuojat -uimahallit, jääkiekkokentät, urheiluhallit -vedenpuhdistamot, vesi- johtotunnelit -ydinjätevarasto

**Kuva 1** Infrarakentamisen ja MVR:n sektorit. (MVR harmaalla, infrarakentaminen harmaa+valkoinen) (Nippala, 2023)

Eri organisaatiot käyttävät eri jaotteluita tilastoissa ja tutkimuksissaan. Muun muassa Tilastokeskuksen tilastoinneissa käytetään MVR:ään perustuvaa jaottelua (Tilastokeskus, 2023a). Rakennusteollisuus on käyttänyt puolestaan infrarakentamisen määritelmää omissa infraan liittyvissä tilastoinneissa (Vainio & Nippala, 2021).

Infrarakentamisen ja MVR:n määritelmää tukee eurooppalaisessa standardissa EN 17472 määritelty termi ”civil engineering works”. Standardin mukaan ”civil engineering works” tarkoittaa rakennustöitä, jotka käsittävät patojen, siltojen, teiden, rautateiden, kiitoteiden, laitosten, putkilinjojen tai viemäreiden rakentamista tai ruoppausta, maanrakennustöitä, geoteknisiä prosesseja. Rakennuksia ja niihin liittyviä töitä ei kuitenkaan lasketa mukaan. (SFS-EN 17472, 2021)

Infran rakentaminen ja kunnossapito jakautuu Suomessa pääosin kolmelle eri toimijalle, valtiolle, kunnille ja yksityiselle. Infran sektorit voivat olla joko kaiken kolmen kesken jakautuneita tai pelkästään yhden toimijan hallinnoimia. (Vainio & Nippala, 2021)

## 2.2 Infrarakentamisen elinkaari

Elinkaarella tarkoitetaan jonkin tuotteen tai tavaran ajanjaksoa, joka alkaa sen sisältämien materiaalien valmistuksesta aina päättyen tuotteen purkamiseen. Elinkaari sisältää itsessään useita eri vaiheita.

Infrarakenteen elinkaari on jaettu eri vaiheisiin standardissa 15643, jotka on edelleen jaettu informaatiomoduuleihin. Informaatiomoduuleiden rakenne on esitelty tarkemmin kuvassa 2. Käyttöä edeltävät elinkaarivaiheet koostuvat A-moduuleista, jotka on jaoteltu esivalmisteluun, tuotteiden valmistukseen ja rakennusvaiheeseen. Itse käyttövaihetta varten on B-moduulit, jotka on jaoteltu vielä tarkemmin kuvaamaan eri käytön aikana tapahtuvia vaiheita. C-moduuli on taas elinkaaren loppuvaihe, joka tarkoittaa purkamista ja siihen liittyviä toimintoja. D-moduuli ei liity suoraan systeemiin

elinkaareen, vaan kuvaa ulkopuolisia hyöty- ja haittavaikutuksia. (SFS-EN 15643, 2021)

Elinkaaritiedot														
Esivalmistelu vaihe	A1-A3 Tuotevaihe			A4-A5 Rakennusvaihe		B1-B8 Käyttövaihe					C1-C4 Elinkaaren loppu			
	A0	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3
Alustavat selvitykset, neuvottelut ja kustannukset	Raaka-aineiden hankinta	Kuljetus valmistukseen	Tuotteen valmistus	Kuljetus	Työmaatoiminnot	Käyttö	Kunnossapito	Korjaukset	Osien vaihto	Laajamittaiset korjaukset	Purkaminen	Kuljetus jatkokäsittelyyn	Purkujätteen käsittely uudelleenkäyttöä, hyödyntämistä ja kierrätystä varten	Purkujätteen loppusijoitus
						B6	Käytönaikainen energiankulutus							
						B7	Muut käytönaikaiset prosessit							
						B8	Käyttäjän hyödyntäminen							
Elinkaaren ulkopuoliset lisätiedot														
D Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset														
Uudelleenkäyttö-, hyötykäyttö- ja kierrätyspotentiaali							Muiden toimintojen avulla vältetyt vaikutukset							

**Kuva 2** Infrahankkeiden elinkaaren vaiheet puitestandardi EN 15643-5 mukaisesti (SFS-EN 15643, 2021)

## 2.3 Infran CO<sub>2</sub>e päästöt

Hiilijalanjälki on usein käytetty kasvihuonekaasupäästöjen indikaattori. Hiilijalanjälki tarkoittaa hiilidioksidipäästöjä, jotka aiheutuvat ihmisen toiminnasta. Tämä voidaan määrittää yritykselle, organisaatiolle, toiminnalle tai tuotteelle. (Sitra, 2018) Hiilidioksidiekvivalenttipäästöt, CO<sub>2</sub>e, eivät ole sama asia kuin hiilidioksidipäästöt, CO<sub>2</sub>. Hiilidioksidiekvivalenttipäästöissä otetaan huomioon myös muiden keskeisimpien kasvihuonekaasujen päästöt. Näitä ovat muun muassa metaani, CH<sub>4</sub> ja dityppioksidi, N<sub>2</sub>O. Metaanin ja dityppioksidin päästöt muunnetaan kertoimien avulla hiilidioksidiekvivalenttipäästöiksi. (VTT, 2021)

Infran rakentamisesta aiheutuu hiilidioksidipäästöjä niin rakentamisesta ja korjaamisesta kuin myös verkoston ylläpidosta (Tähkänen & Tähtinen, 2021). Infran rakentamisesta aiheutuvat päästöt voidaan jaotella kahdella tavalla, suoraan rakentamisesta aiheutuvat päästöt sekä hiilinielun vähenemisestä aiheutuvat päästöt.

Infrarakentamisen hiilijalanjäljen arviointi ei ole vielä lakisääteistä. Suomessa tällä hetkellä toteutettavat päästölaskennat eivät perustu tiettyyn säätelyyn, vaan ne riippuvat toteuttajatahosta. Tästä johtuen päästölaskentojen keskinäinen vertailu on haastavaa. Infran päästölaskennasta on kuitenkin käynnissä Väyläviraston laskentamenetelmätyö, jonka tavoitteena on yhdenmukaistaa koko infra-alan kasvihuonekaasupäästöjen laskentaa suunnitellusta rakentamiseen. (Väylävirasto, 2022b)

### 2.3.1 Elinkaaren aikaiset päästöt

Infrastruktuurin päästöt syntyvät sekä rakentamisesta että kunnossapidosta. Näiden päästöt ovat vielä jaoteltavissa materiaalien valmistuksesta, kuljetuksesta sekä työsuoritteista aiheutuviin päästöihin.

Infrarakentamisessa käytettävät materiaalit ovat usein päästöintensiivisiä (SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022). Esimerkiksi infran rakentamisessa suuresti käytettävät asfaltti ja bitumi, betoni, etenkin sen sisältämä sementti, ja teräs muodostavat valmistuksen aikana paljon hiilidioksidipäästöjä (Gaia Consulting Oy, 2020a). Myös jotkut vähemmän käytettävät materiaalit nousevat merkittäviksi suurten päästökertoimien takia. Esimerkiksi muovilla ja alumiinilla on suuret päästökertoimet, minkä johdosta vesihuolto ja sähköverkko nousevat myös merkittäviksi päästölähteiksi. (SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)

Volyymit voivat nostaa vähäpäästöisen materiaalin merkittävään osaan. Vaikka kiviaineksella on verrattain alhainen päästökerroin, sen menekki

useimmissa infran rakennuskohteissa on merkittävää. Tämä usein nostaa sen lopputarkastelussa merkittäväksi päästölähteeksi. (Rupal Oy, 2019)

Riippuen hankkeesta, kuljetus ja työmaakoneet voivat vastata merkittävästä osasta päästöjä infrahankkeen rakentamisen aikana. Polttoaineena käytettävästä dieselistä aiheutuu hiilidioksidia sekä muita pakokaasuja (Fan, 2017). Infratyömailla rakentamisessa joudutaan kuljettamaan suuria maamassoja sekä tuomaan paljon uutta materiaalia työmaalle, minkä takia työmaa-ajoa tulee paljon. (Gaia Consulting Oy, 2020a)

Infran kunnossapidosta aiheutuvat päästöt syntyvät myös materiaaleista ja kuljetuksesta, mutta myös kunnossapidon ajamisesta. Infran korjaukset ja parannukset lasketaan osaksi kunnossapitoa. Näiden osalta päästöjen muodostuminen voidaan rinnastaa hyvin samankaltaiseksi kuin rakentamisessa. Teiden, satamien ja lentokenttien kohdalla talviaikainen kunnossapito on merkittävä päästöjen lähde. Etenkin tienhoidossa, muun muassa auraus ja hiekoitus, vaatii paljon ajokilometrejä, mikä kuluttaa polttoainetta. (Hagström, et al., 2011) Tämän lisäksi mahdollinen käytön aikainen energian ja veden kulutus aiheuttavat päästöjä.

### **2.3.2 Maankäytön muutoksista aiheutuvat päästöt**

Rakennettaessa ennestään luonnonmukaiselle alueelle, aiheutetaan sillä hiilinielun pienenemistä (Tähkänen & Tähtinen, 2021). Tässä tapauksessa hiilinielulla tarkoitetaan luonnollista toimintoa, joka poistaa ilmakehästä hiilidioksidia (Green Building Council Finland, 2020). Infrarakentamisen kohdalla etenkin uudet tie-, rata- tai sähköverkkohankkeet voivat vaatia olemassa olevan kasvuston poistamista, josta aiheutuu hiilinielun pienenemistä. Hiilinielun pienenemisen lisäksi olemassa olevan kasvillisuuden ja mahdollisen maaperän poisto aiheuttaa hiilivaraston poistumaa. (Tähkänen & Tähtinen, 2021)

Maankäytön muutoksesta aiheutuvat päästöt ilmoitetaan erillään elinkaari-päästöistä. EN-standardin mukaan hiilinielun katoamista ei lasketa elinkaari-päästöihin. (Tähkänen & Tähtinen, 2021) Maankäytön muutoksista aiheutuvia vuotuisia päästöjä on tilastoitu vuosittain julkaistavassa Tilastokeskuksen raportissa (Tilastokeskus, 2021a).

## **2.4 Aiempi tutkimus infrarakentamisen CO<sub>2</sub>-päästöistä**

Infrarakentamisen osa-alueiden hiilijalanjäljen suuruutta on arvioitu tutkimusten ja selvitysten avulla vähän. Tässä kappaleessa avataan tarkemmin tämän työn kannalta oleellisimpia selvityksiä ja tutkimuksia, joita on toteutettu Suomessa sekä pohjoismaissa. Kappaleissa tutkitaan, millä tavoin aiemmissa

päästöselvityksissä on toteutettu päästöjen laskenta. Myös tutkimusten tuloksia käydään läpi sekä pohditaan mahdollisia päästölaskennan puutteita, mitä selvityksissä on esiintynyt.

#### **2.4.1 Aikaisempi tutkimus Suomessa**

Infrarakentamisen päästöihin liittyen on tehty aikaisempia selvityksiä, joiden kattavuus on vaihdellut. Päästöselvityksissä on ollut tyypillistä, että ne ovat kattaneet vain jonkun tietyn osa-alueen päästöt, eikä niinkään tuoneet laajaa näkemystä koko infrarakentamisesta. Myös yksittäisiä laajempia selvityksiä on tehty.

Yksittäisiä päästöselvityksiä on olemassa niin hankekohtaisesti kuin kattaen samaan sektoriin kuuluvat työt. Nykyisin hiilijalanjälkilaskentaa tehdään yhä useammin erityisesti suurissa infrahankkeissa. (Häkkinen, et al., 2022) Näiden laskentojen pohjalta voidaan hahmottaa eri hankkeiden hiilijalanjälkiä ja saada esimakua koko infrarakentamisen aiheuttamista päästöistä. Yksittäisten hankkeiden laskelmat ovat toimineet usein pohjana laajemmalle selvitykselle, kuten esimerkiksi Liikenneviraston tien- ja radanpidon selvityksessä. (Hagström, et al., 2011)

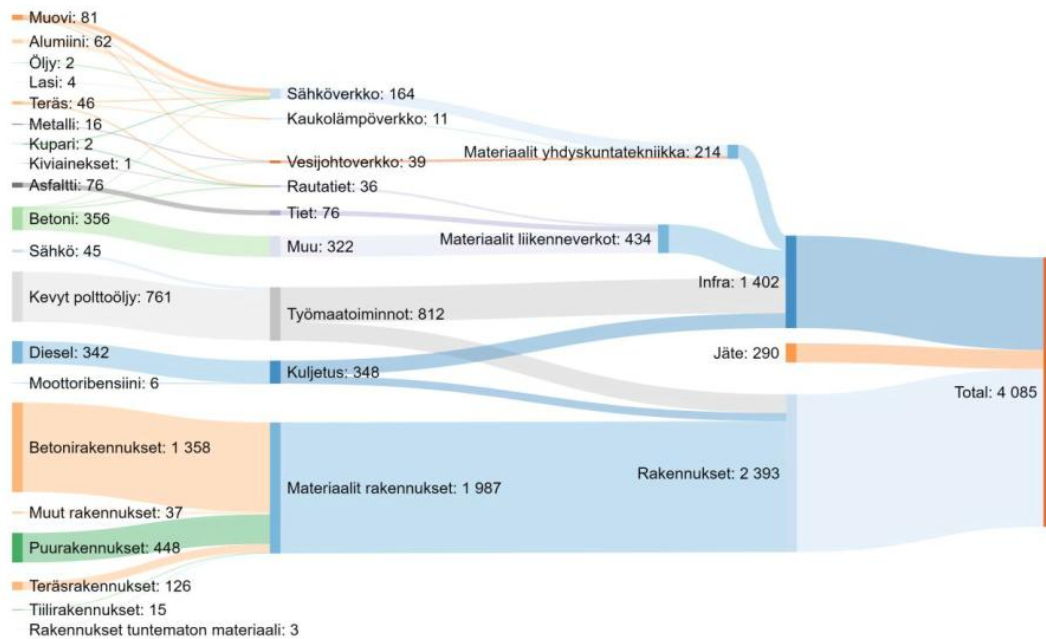
Hiilijalanjälkilaskentaa on myös toteutettu rakentamisen osa-aluekohtaisesti. Liikennevirasto laski vuoden 2011 selvityksessään tien- ja radanpidon hiilijalanjälkeä sekä loi laskentapohjan niiden selvittämistä varten (Hagström, et al., 2011). Jatkona tälle selvitykselle, Liikennevirasto toteutti myös Merenkulun ja liikenteen hiilijalanjälki -raportin vuotta myöhemmin (Illman, et al., 2012). Molempien raporttien tutkimukset pohjautuivat case-laskelmiin, joita toteutettiin useasta todellisesta rakentamis- tai kunnossapitohankkeesta. Koko Suomen kattavat tulokset saatiin skaalaamalla case-laskentojen lopputuloksia. Ominaista tutkimuksille oli myös, että laskennat tehtiin niin sanotusti koko elinkaaren ajalle, joka selvityksissä oli 100 vuotta. Elinkaaren osalta purkaminen jätettiin kuitenkin huomioimatta, sillä infrarakenteet miellettiin kunnostettaviksi. Vuosittainen päästöarvo saatiin selvityksissä jakamalla saatu kokonaispäästö elinkaaren pituudella. Tutkimusten epävarmuuksiksi nostettiin lähtötietojen saatavuus sekä valittujen case-tapausten edustavuus koko Suomen mittakaavassa. Etenkin tien- ja radanpidon selvitys on toiminut pohjana monessa muussa selvityksessä, kuten Vähäpäästöinen rakennusteollisuus 2035. (Hagström, et al., 2011)

Laajoja selvityksiä maa- ja vesirakentamisen tai infrarakentamisen päästöistä Suomessa ei ole kuin yksi. Ensimmäinen ja kattavin selvitys on tehty osana Rakennusteollisuuden tilaamaa ja Gaia Consultingin toteuttamaa Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035-tiekarttaa, joka valmistui vuonna 2020. Tiekartta-selvityksen tarkoituksena oli selvittää, millä tavoin rakennetussa



ympäristössä voidaan vähentää tehokkaasti päästöjä. Osana Tiekartta-selvitystä laskettiin infra- ja talorakentamisen aiheuttamat hiilidioksidiekvivalenttipäästöt vuonna 2017. Selvityksen päästölaskenta poikkeaa aikaisemmista Liikenneviraston laskelmista, sillä tutkimuksessa ei laskettu elinkaari-aikaisia keskiarvopäästöjä, vaan yhden kalenterivuoden aikaiset päästöt. Tiekartta-selvityksessä CO<sub>2</sub>e-päästöt laskettiin perustuen vuosittaisiin rakentamis- ja kunnossapitomääriin, kuitenkin hyödyntäen joissain tapauksissa todellisia tilastoituja materiaalimenekkejä. Infrarakentamisen osalta mukana oli yhdyskuntatekniikka sekä liikenneverkot. Lopputuloksena hiilidioksidiekvivalenttipäästöt jaettiin rakentamis- ja edelleen materiaalikoh- taiseihin päästöihin. Tiekartta-selvitys on tämän työn kannalta samankaltainen ja kattavin, mikä on toteutettu Suomessa. Vaikka selvitys kattaakin laajasti infrarakentamista, keskeisiä osa-alueita on myös jätetty ulkopuolelle. (Gaia Consulting Oy, 2020a)

Tiekartta selvityksestä puuttuu osa sektoreista täysin. Vaikka aineistossa pu- hutaan infrarakentamisesta, esimerkiksi sillat, tunnelit, raitiotiet, satamat ja lentokentät puuttuvat, mitkä ovat kuitenkin merkittäviä rakentamisen kan- nalta. Tämän lisäksi selvityksessä tehdyn laskennan tarkempi tarkastelu he- rättää epäilyksiä laskennan puutteista. Tiekartan lopputuloksia, kuva 3, tar- kastellessa herää kysymyksiä etenkin tutkimalla materiaalien jakautumista eri rakentamisen osa-alueiden välille. Esimerkiksi teiden koostuminen pel- kästä asfaltista sekä vesijohtoverkon koostuminen lähinnä eri vesiputkien materiaaleista, herättää ajatuksen onko pohjanvahvistuksia tai rakenneker- roksia otettu huomioon lainkaan laskennassa. Kiviaineksilla on myös oudon pieni päästöarvo, siitä huolimatta, että se on yksiä keskeisimpiä rakennus- materiaaleja infrarakentamisessa. (Gaia Consulting Oy, 2020a) Näiden puutteiden ja erikoisuuksien ilmenemisen myötä, selvityksessä esitettyä ko- konaishiilijalanjälkeä infrarakentamiselle ei voida pitää kovin tarkkana. To- dellinen hiilijalanjälki infrarakentamiselle on todennäköisesti raportissa esi- tettyä tulosta suurempi.



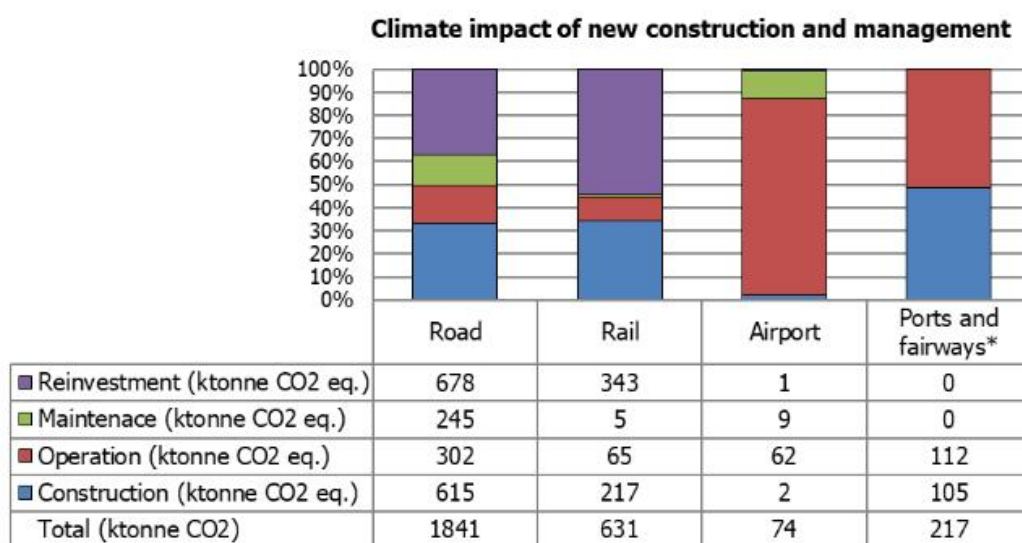
**Kuva 3** Rakennetun ympäristön elinkaaren hiilijalanjälki (ktCO<sub>2</sub>e), laskennan tulos ilman käyttövaiheen energian päästöjä. (Gaia Consulting Oy, 2020b)

Eri raporttien päästölaskelmien lopputulokset ovat vaikeasti verrattavissa toistensa kanssa, koska ne ovat kattaneet eri kategorioita. Tiekartta-raportin lopputulos on nähtävissä kuvassa 3, jossa infran hiilidioksidipäästöiksi saatiin 1402 ktCO<sub>2</sub>e. (Gaia Consulting Oy, 2020a) Liikenneviraston tie- ja radanpidon selvityksessä arvioitiin puolestaan maantieverkon vuosittaiseksi päästökseksi 511 ktCO<sub>2</sub>/v ja rataverkon 142 ktCO<sub>2</sub>/v. (Hagström, et al., 2011) Ottaen huomioon, että Liikenneviraston selvityksessä huomioitiin vain valtion omisteiset tiet ja radat, niin tiekartta-selvityksen lopputulos näyttää liikenneverkkojen osalta pieneltä, vaikka lukemaan lisättäisiin kuljetuksista ja työmaatoiminnoista osuudet. On kuitenkin huomioitava, että raporttien laskennat eivät välttämättä ole täysin vertailukelpoiset toistensa kanssa. Liikenneviraston merenkulun päästöselvitys arvioi puolestaan merenkulusta aiheutuviksi päästöiksi 150 ktCO<sub>2</sub>/v. Muista selvityksistä poiketen, tässä raportissa huomioitiin myös rakennusten energiakulut, minkä johdosta infrarakentamisen osuus ei ilmene suoraan lopputuloksesta. (Illman, et al., 2012)

#### 2.4.2 Infrarakentamisen päästöselytykset pohjoismaissa

Rakentamisolosuhteet ja -tavat vaihtelevat eri maissa, joten tällä on myös vaikutusta rakentamisen päästöihin. Suomen rakentamisolosuhteiden kanssa samankaltaisiksi maiksi voidaan laskea Ruotsi ja osin myös Norja, vaikka Norjan vuoristoisuus tuo omat erityispiirteensä rakentamiseen. Kuten Suomessakin, laajoja päästöselytyksiä on toteutettu vähän muissakin pohjoismaissa.

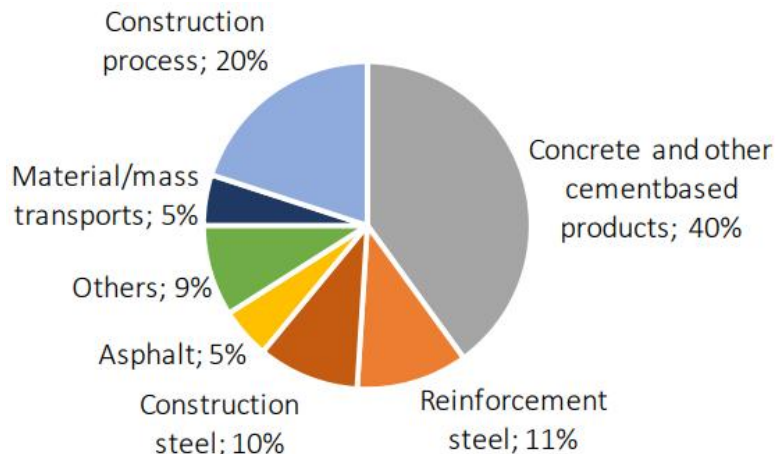
Ruotsissa on toteutettu muutama tutkimus, joissa on laskettu liikennejärjestelmän infrastruktuurin päästöjä. Päästölaskennat ovat sisältäneet myös rakentamisen- ja kunnossapidon päästöjä. Muun muassa Carolina Liljenström et al. on selvittänyt tutkimuksessaan (2019) Ruotsin liikennejärjestelmän, tiet, radat, lentokentät ja satamat, vuotuisia päästöjä niin rakentamisen, ope-roinnin, kunnossapidon ja uudelleeninvestointien osalta. Liljenströmin et al. tutkimuksessa päästöjen laskentaa on tehty perustuen vuosittaisiin rakenta-mis- ja kunnossapitomääriin elinkaariarvioinnin avulla. Määrätiedot olivat peräisin tietokannoista. Rakentamisen materiaalimenekki pohjautui tutki-muksessa tehtyihin olettamuksiin ja arvioihin, eikä todelliseen materiaalien kulutukseen. Tutkimuksen lopputuloksena Ruotsin liikennejärjestelmän vuotuisiksi päästöiksi saatiin noin 2800 kt CO<sub>2</sub>e vuodessa. Kuvan 4 taulu-kosta nähdään, miten tie- ja rataverkko vastaa hyvin suuresta osasta koko-naispäästöjä. Tutkimuksessa tuotiin myös esille, miten noin puolet pääs-töistä syntyivät materiaalien tuotannosta ja loput työmaalla tapahtuvista toi-minnoista. (Liljenström, et al., 2019).



**Kuva 4** Liikennejärjestelmien infrastruktuurin vuotuiset hiilidioksidiekvivalenttipäästöt (Liljenström, et al., 2019)

Liljenströmin et al. (2019) tutkimuksen lisäksi Karlsson et al. (2020) tekivät tutkimuksen osana Mistra Carbon exit selvitystä, jossa käsiteltiin Ruotsin liikenneinfrastruktuurin rakentamisen ja kunnossapidon aiheuttamia päästöjä. Selvityksessä on arvioitu hiilidioksidipäästöjen suuruudeksi 1900 ktCO<sub>2</sub>/vuosi perustuen aiempiin tutkimuksiin ja arvioihin. Toisinkuin Liljenströmin et al. (2019) tutkimuksessa, Karlsson et al. (2020) selvityksessä on vain rakentamisesta aiheutuvat päästöt laskettu mukaan. Esitetty tulos on vain arvio ja selvityksessä tuodaan myös ilmi aihepiirin tarkan tutkimisen vaikeus koontitaulukon kautta, jossa on tutkittu aikaisempien vastaavien

selvitysten tuloksia. Siinä vuosittaisten hiilidioksidipäästöjen suuruus on vaihdellut 1,5 ja 3 Mt CO<sub>2</sub> välillä. Karlsson et al. (2020) selvityksessä päästöjen jakautumista avattiin lisää. Kuvassa 5 on nähtävissä hiilidioksidipäästöjen jakautuminen sekä huomattavissa, miten rakentamisen työvaiheet, betoni, sementti ja teräs vastasivat suurimmasta osasta päästöjä. Tämän lisäksi kuljetuksesta ja työkoneista aiheutuvat päästöt ovat olleet merkittävät. (Karlsson, et al., 2020)



**Kuva 5** Liikenneinfrastruktuurin päästöjen, 1,9 MtCO<sub>2</sub>, jakautuminen Ruotsissa. (Karlsson, et al., 2020)

Karlssonin et al. sekä Liljentsrömin et al. tutkimukset olivat keskenään linjassa. Liljenströmin et al. tutkimuksessa otettiin laajemmin huomioon myös operointi, kun taas Karlsson et al. tutkimuksessa keskityttiin pelkästään rakentamiseen ja kunnossapitoon. Tästä johtuu töiden päästöerot.

### **3 Tutkimusmenetelmät**

Infrarakentamisen kokonaispäästöjen suuruutta voidaan arvioida monella eri tavalla. Tämän työn päästölaskennassa otettiin huomioon aikaisempien tutkimusten esille tuomat haasteet ja arvioitiin kokonaisuutta eri näkökulmista. Tässä työssä infrarakentamisen kokonaispäästöjen suuruutta arvioitiin materiaalimenekin ja investointimäärien perusteella. Tämän lisäksi arvioitiin nykyisen rakentamis- ja kunnossapitomäärä tilaston käytettävyyttä päästölaskentaan.

Työn rajaukseksi valittiin infrarakentaminen MVR:n sijaan, koska infrarakentamisen voidaan nähdä kattavan laajemmin koko infraan liittyvä rakentaminen. Tämän työn päästölaskennan rajauksia ja erityispiirteitä on avattu tarkemmin seuraavissa kappaleissa. Niissä tuodaan esille laskennassa käytetty rajausta, aineiston keruun menetelmät sekä päästölaskennan erityispiirteet.

#### **3.1 Materiaalimenekkiin perustuvan päästölaskennan menetelmät**

Materiaalimenekkiin perustuvassa laskennassa infrarakentamisen kokonaispäästöjen suuruutta arvioitiin infrarakentamisessa käytettyjen materiaalien menekin sekä työkoneiden ja kuljetusajoneuvojen polttoaineen kulutuksen avulla. Laskennassa huomioitiin sekä rakentamisesta että kunnossapidosta aiheutuvat päästöt. Päästölaskenta toteutettiin pääosin panospohjaisena laskentana. Panospohjaisessa laskennassa päästötieto saadaan kertomalla materiaalikohtainen määrätieto päästökertoimella. (Liikennevirasto, 2014)

Aikaisempien selvitysten perusteella pieni osa rakentamisen materiaaleista aiheuttaa usein suurimman osan päästöistä. Tämän takia työssä laskettiin päästöt vain keskeisimmille materiaaleille ja muiden materiaalien osuutta arvioitiin sanallisen pohdinnan kautta. Keskeisimmät materiaalit päästöjen kannalta määriteltiin olemassa olevien päästölaskentatutkimusten avulla. Asfaltti, betoni, sementti ja teräs nousevat useammassa selvityksessä esille suurimpina hiilidioksidipäästöjen lähteinä. Näiden materiaalien jälkeen tulee usein erilaiset metallit, muovit sekä kiviainekset. Näiden materiaalien lisäksi joissain tapauksissa kevennysmateriaalit sekä stabiloinnin sideaineet ovat olleet suurimpien hiilidioksidipäästöjen aiheuttajien joukossa. Stabilointi ja keventeet ovat kiinnostava lisä tähän työhön, sillä näistä aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä ei ollut huomioitu Tiekartta-selvityksen päästölaskennassa. (Gaia Consulting Oy, 2020a) Materiaalien lisäksi kuljetuksista ja työkoneista aiheutuvat hiilidioksidipäästöt on arvioitu tehdyissä päästölaskennoissa lähes aina merkittäviksi. Kestävän rakentamisen standardien mukaan

kuljetuksen ja työkoneiden päästöt tulee myös huomioida päästölaskennassa, minkä takia ne otettiin huomioon tämän työn päästölaskennassa. Koostamalla yhteen yllä mainitut materiaalit, saatiin tässä työssä päästölaskennassa tarkasteltaviksi materiaaleiksi seuraava lista. Lopulliseen laskettavien materiaali-päästöjen listaan vaikutti myös materiaaleista löytyneet menekki-tiedot.

- Asfaltti
- Betoni
- Kevenneet
- Kiviainekset
- Muovi
- Stabiloinnin sideaineet
- Teräs
- Polttoaineet (kuljetus, työkoneet)

Koska tässä työssä arvioitiin koko Suomen infrarakentamisesta aiheutuvia päästöjä, listan ulkopuolisista, niin sanotuista muista materiaaleista, aiheutuvien päästöjen suuruutta arvioitiin myös. Näiden materiaalien osuutta arvioitiin kuitenkin vain sanallisen pohdinnan kautta, eikä vuotuisia menekkejä pyritty selvittämään.

Tietoa eri materiaalien vuosittaisesta menekistä infrarakentamisessa kerättiin julkisesti saatavilla olevista kirjallisista lähteistä, olemassa olevista tilastoista sekä haastatteleamalla asiantuntijoita. Kirjallisuusselvitystä toteutettiin tutustumalla laajasti alasta löytyvään tilastotietoon sekä tehtyihin tutkimuksiin ja selvityksiin.

Haastateltavat valikoituivat tapauskohtaisesti perustuen löytyneisiin lähteisiin tai ohjausryhmän antamiin henkilösuosituksiin. Materiaalimenekkejä varten haastateltiin kuntien ja kaupunkien sekä eri teollisuuden etujärjestöjen asiantuntijoita. Haastattelut suoritettiin niin sähköpostikyselyin kuin haastatteluin. Esitetyt haastattelukysymykset vaihtelivat pääosin haastateltavien kesken, riippuen heidän tietämyksestään. Kaupunkien ja kuntien edustajia lähestyttäessä haastattelukysymykset olivat kaikille samat. Tämän lisäksi työn ohjausryhmä jakoi asiantuntemustaan.

Koska materiaalimenekki vaihtelee vuosittain, se saattaa aiheuttaa suurta vaihtelua hiilidioksidipäästöihin. Koska tässä työssä ei kartoitettu yksittäisen vuoden hiilidioksidipäästöjä, laskennassa käytettiin pääosin viimeisen viiden tilastovuoden aikaisesta menekistä laskettua keskiarvomenekkiä. Tällä tavoin saatiin vähennettyä vuosittaisten vaihtelujen tuomaa heittoa. Mikäli tarkkaa tilastotietoa materiaalien menekistä infrarakentamisessa ei ollut

saatavilla, laskennassa käytettiin asiantuntijan arviota, jonka voidaan myös olettaa edustavan keskiarvoa.

Laskennassa käytettyjen materiaalien päästökertoimet olivat peräisin pääosin infrarakentamisen päästötietokannasta sekä osin myös materiaalien tuottajien omista tiedoista. Infrarakentamisen päästötietokanta, CO2data.fi/infra, on Väyläviraston sekä Suomen ympäristökeskuksen, SYKE, tuottama tietokanta, jonka ylläpidosta ja kehittämisestä vastaa SYKE. Palvelu valikoitui työn pääasialliseksi lähteeksi, koska se on kaikille avoin ja maksuton sekä sisältää laajasti yhdenmukaista tietoa infrarakentamisen tuotteiden päästöistä. Koska päästötietokanta on julkisen laitoksen, SYKE, hallinnoima, tietokannan sisältämiä päästökertoimia voidaan pitää myös puolueettomina. Päästötietokannan päästökertoimissa on huomioitu elinkaaren moduulien A1-A3 aikana aiheutuvat hiilidioksidiekvivalenttipäästöt. Tietokannassa on myös tarjolla selventäviä taustaraportteja tuotteista, joissa on tuotu ilmi päästökertoimien laadinnassa huomioitua lähtötiedot ja periaatteet. (SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022) Mikäli materiaalille ei löytynyt sopivaa päästökerrointa päästötietokannasta, päästökertoimen lähteenä käytettiin valmistajan omia tietoja. Materiaalikohtainen luettelo kaikille työssä käytetyille päästökertoimille on tämän työn liitteenä A.

### **3.2 Investointimääriin perustuvan päästölaskennan menetelmät**

Investointimääriin perustuva päästölaskenta perustuu arvioihin kuinka paljon investoitu rahamäärä tuottaa päästöjä. Infrarakentamisen kokonaispäästöjen määrää arvioitiin perustuen olemassa oleviin tutkimuksiin ja päästölaskentoihin. (Liikennevirasto, 2014) Tämän laskennan tulosten avulla on tarkoitus arvioida vastaako investointien perusteella lasketut infrarakentamisen kokonaispäästöt materiaalimenekin avulla laskettuja kokonaispäästöjä. Investointipohjaisella päästölaskennalla on siis tarkoitus vain saada karkeaa arviota päästöistä sekä kartoittaa laskentatavan mielekkyyttä.

Investoinneissa on mukana infrarakentamisen osa-alueet, kuten materiaalimenekkipohjaisessa päästölaskennassa. Saatavilla olleen päästötiedon johdosta, tässä otetaan kuitenkin huomioon pelkästään infrarakentamisen investoinnit. Kunnossapidolle ei pystytty laskemaan päästöarviota nykyisten tietojen perusteella. Laskentaa varten kerättiin aineistoa kirjallisuuskatsauksen ja haastattelujen avulla.

Päästökertoimina käytettiin aikaisemmista selvityksistä saatuja tuloksia. Varsinaisia virallisia päästökertoimia ei ole olemassa, vaan päästökertoimet muodostetaan aikaisempien selvitysten investointi- ja päästömäärien avulla.

Näiden kahden luvun avulla saadaan muodostettua päästökerroin, kg CO<sub>2</sub>e/€. (Rapal Oy, 2019)

### **3.3 Rakentamis- ja kunnossapitomääriin perustuvan päästölaskennan menetelmät**

Kokonaispäästöt oli tarkoitus laskea alun perin perustuen rakentamis- ja kunnossapitomääriin, mutta työn aikana nousseiden haasteiden johdosta laskentaa ei toteutettu. Rakentamis- ja kunnossapitomääriin perustuvaa päästölaskentatapaa on käytetty muun muassa Liikenneviraston tien- ja radanpidon selvityksissä sekä Liljenströmin et al. tutkimuksessa (Liljenström, et al., 2019). Tässä työssä tuodaan kuitenkin esille syitä, miksi laskentaa ei tehty tällä tavoin Suomen infrarakentamisen päästöistä sekä olemassa olevan rakentamis- ja kunnossapitomäärien tilastoinnin tilaa. Seuraavissa kappaleissa esitellään rakentamis- ja kunnossapitomääriin perustuvan laskennan rajaukset, joiden perusteella tietoa lähdettiin keräämään.

Rakentaminen ja kunnossapito rajattiin koskemaan infrarakentamisen osaluokkia. Rakentamisen osalta tutkimus ottaa huomioon elinkaaren informaatiomodulit A1-A5, jotka siis kattavat niin tuotevaiheen kuin rakentamisen. Käyttövaiheen osalta tutkimus keskittyy vain kunnossapitoon, ottaen huomioon modulit B3-B5. Käyttövaiheen energian ja veden kulutus jää siis tutkimuksen ulkopuolelle. C-moduuli jätettiin tutkimuksessa huomioimatta. Infrarakentamisen keskeisimpiä ajatuksia on rakentaa rakenteet ylläpidettäviksi, minkä johdosta purkaminen, C-moduuli, voitiin jättää elinkaarilaskennan ulkopuolelle. (Väylävirasto, 2022b) Tutkimus ei myöskään huomioi elinkaaren ulkopuolelle jääviä hyötyjä tai haittoja eli D-moduulia.

Aineistoa kerättiin julkisesti saatavilla olevista tilastoista ja aineistoista sekä haastatteluista. Työtä varten haastateltiin suurimpien kuntien ja kaupunkien edustajia sähköpostitse. Tämän lisäksi haastateltiin Kaupunkiliikenteen, Väyläviraston ja SYKE:n asiantuntijoita. Tilastotietoa saatiin myös Tilastokeskukselta sekä Energiavirastolta.



## 4 Materiaalimenekkiin perustuva päästölaskenta

Infrarakentamisen kokonaispäästömääriä kartoitetaan tässä kappaleessa laskemalla keskeisimpien infrarakentamisessa käytettävien materiaalien vuosittaiset päästöt. Laskennan ulkopuolisten materiaalien päästömäärää arvioitiin puolestaan sanallisesti. Lopussa laskennan tulokset koottiin yhteen ja pohdittiin laskentaan liittyviä epätarkkuuksia.

### 4.1 Materiaalien päästöt

Seuraavissa kappaleissa lasketaan materiaalikohtaiset hiilidioksidipäästöt. Kappaleissa avataan tarkemmin laskennassa käytettyjä lähtöarvoja sekä tehtyjä oletuksia.

#### 4.1.1 Asfaltti

Asfalttia käytetään pääosin teiden, pysäköintialueiden ja lentokenttien päällysteissä. Asfaltti koostuu kiviaineksesta ja bitumista. Koska asfaltti kuluu käytössä huomattavasti, se vaatii uusimista, minkä takia kunnossapidon osuus vuotuisista menekeistä nousee merkittäväksi. (Infra ry, 2023)

Rakennusteollisuus on tilastoinut asfaltin tuotantomääriä Suomessa. Tilastojen mukaan vuosien 2017–2021 välillä on tuotettu 5,5–7,55 miljoonaa tonnia asfalttia vuodessa. Koska asfaltin vienti- ja tuontimäärät ovat hyvin vähäiset, tuotantomäärien voidaan todeta vastaavan vuosittaista käyttömäärää. (Infra ry, 2023) Asfalttia käytetään lähinnä vain infrarakentamisessa, joten koko tuotantomäärän voidaan nähdä olevan infrarakentamisen käyttöä. Rakennusteollisuuden lisäksi Väylävirasto on tehnyt selvityksiä omien hankkeidensa asfaltin käytöstä. Väyläviraston tilastoja ei kuitenkaan saatu, joten tämän työn menekkitiedot perustuvat Rakennusteollisuuden arvioon.

Koska asfaltti sisältää myös kiviainesta, riski päällekkäiselle päästölaskennalle kiviainesten kanssa on olemassa. Jotta vältetään päällekkäiseltä laskennalta, asfaltin valmistuksessa käytetyn kiviaineksen päästöt huomioidaan tässä työssä asfaltin eikä kiviaineksen päästölaskennassa, koska kiviainesten käyttö on huomioituna asfaltin päästökertoimessa valmiiksi. (SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)

Asfaltille saadaan päästökertoimet infrarakentamisen päästötietokannasta. Asfalttilaatujen osuudet kokonaistuotannosta saatiin Rakennusteollisuuden tilastoista ja ne näkyvät taulukossa 1. (Infra ry, 2023) Rakennusteollisuuden tilaston mukaan menekki jakautuu viiteen eri kategoriaan, jotka olivat AA+AB (avoin asfaltti, asfalttibetoni), SMA (kivimastiksiasfaltti),

ABS/ABK/ABT (sidekerroksen asfalttibetoni/kantavan kerroksen asfalttibetoni/tiivis asfalttibetoni), VA (valuasfaltti) ja PAB (pehmeät asfalttibetonit). Koska päästökertoimet olivat hyvin lähellä toisiaan, useamman laadun kategoriassa valittiin vain yksi päästökerroin edustamaan kokonaisuutta. AA:n ja AB:n kategoriassa käytettiin AA:n päästökerrointa. ABS/ABK/ABT kategoriassa valittiin ABK:n kerroin, koska muille laaduille ei ollut infrarakentamisen päästötietokannassa päästökertoimia saatavilla. (SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)

**Taulukko 1** Asfaltin vuotuinen menekki Suomen infrarakentamisessa ja CO<sub>2</sub>e-päästöt

	Menekki [kg]	Osuus kokonaismenekistä [%]	Laatukohtainen menekki [kg]	Päästökerroin [kgCO <sub>2</sub> e/kg]	Päästö määrä [kgCO <sub>2</sub> e]
Asfalttituotanto	6 330 000 000				
Asfaltti, AA+AB		72 %	4 557 600 000	0,050	227 880 000
Asfaltti, SMA		13 %	822 900 000	0,052	42 790 800
Asfaltti, ABS, ABK, ABT		9 %	569 700 000	0,045	25 636 500
Asfaltti, VA		1 %	63 300 000	0,053	3 354 900
Asfaltti, PAB		5 %	316 500 000	0,045	14 242 500
			<b>Yhteensä [kg CO<sub>2</sub>e]</b>		<b>313 904 700</b>
			<b>Yhteensä [kt CO<sub>2</sub>e]</b>		<b>314</b>

Taulukon 1 päästölaskentojen perusteella asfaltin vuosittaiset päästöt ovat 314 ktCO<sub>2</sub>e/vuosi. Laskennan perusteella huomataan, että asfaltin vuotuiset päästöt ovat hyvin merkittävät.

#### 4.1.2 Betoni

Betonia kuuluu infrarakentamisessa sekä valmisbetonina että elementteinä. Se on yksi keskeisimmistä rakentamisen materiaaleista ja infrarakentamisessa sitä käytetään muun muassa taitorakenteissa, putkissa ja ratapölkyissä.

Betonin menekkimääriä arvioitiin tuotantomäärien perusteella. Betoniteollisuus ry on tilastoinut jäsenyritystensä tuotantomääriä Suomessa. Yhdistys on alaa edustava järjestö, johon kuuluvat jäsenliikkeet edustavat noin 90 % betonialan tuotantokapasiteetista Suomessa, joten heidän tilastojaan

voidaan pitää riittävän kattavina tämän työn kannalta. (Betoniteollisuus ry, 2023a) Yhdistyksen toimitusjohtaja Jussi Mattila arvioi betonin vuotuisiksi käyttömääriksi infrarakentamisessa 200 000 m<sup>3</sup> elementteinä ja 680 000–900 000 m<sup>3</sup> valmisbetonina (Mattila, 2022). Tämän lisäksi Betoniteollisuuden teettämiin vuotuisiin yhteenvetotaulukkoihin on listattuna tarkempaa tietoa betonielementtien menekistä. Betoniteollisuuden taulukkojen mukaan merkittäviä infrarakentamisessa käytettäviä elementtejä ovat vuosittain ratapölkkyt, siltaelementit, betonipaalut, putket sekä kaivot, betonikivet ja betonilaatat. (Betoniteollisuus ry, 2022) Betonielementeille käytettiin laskennassa viimeisen viiden vuoden tilastojen keskiarvomenekkiä ja valmisbetonin osalta Jussi Mattilan antaman arvion maksimiarvoa. Tämän työn betonielementtien päästölaskennassa käytettiin Betoniteollisuuden listaamaa tarkempaa tietoa eikä Mattilan esittämää arviota, koska tällöin päästökertoimet olivat helpompi valita. Laskennassa käytetyt menekkiarvot ovat taulukossa 2.

Betonin käyttämä kiviaines otetaan huomioon betonin päästölaskennassa, sillä se sisältyy betonin päästökertoimeen (SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022). Koska kiviaines on yksi betonin raaka-aineista, tämän työn kiviainesten päästölaskennan määrätiedoissa ei oteta mukaan betoniteollisuuden kiviaineksen kulutusta. Tällä tavoin välttyään laskemasta samasta materiaalista syntyviä päästöjä kahteen kertaan.

Hiilidioksidiekvivalenttipäästöt lasketaan käyttämällä hyödyksi infrarakentamisen päästötietokannan päästökertoimia. Valmisbetonille käytettiin laskennassa oletusta, että se olisi C35/45 P30 laatua, perustuen aikaisemmissa päästöselvityksissä käytettyihin päästökertoimiin (Gaia Consulting Oy, 2020a). Paalujen hiilidioksidipäästöt lasketaan, olettaen, että kaikki ovat 300x300 mm paaluja, sillä tämä edustaa paalujen keskikokoa. Ratapölkkyille oli infrarakentamisen päästötietokannassa vain yksi vaihtoehto, tyyppi BP99, jota käytettiin laskennassa. Betoniputkille oli päästötietokannassa monia eri vaihtoehtoja, mutta päästökertoimet eivät vaihdelleet suuresti. Tämän johdosta laskennassa päästökertoimena käytettiin putkelle, betoniputki 1000 mm, Br, l = 2000–2250 mm, pyöreä. Myös betonikaivojen ja kaivonrenkaiden kohdalla päästökertoimet eivät vaihdelleet paljoa, joten laskentaan valittiin betonikaivo, kartiorengas, EK, Ø = 800/600 mm, h = 500 mm. Betonikiville käytettiin oletusta, jossa kivet olisivat h=100 mm ja betonilaatoilla oletus, että päästökerroin olisi betonikivi h=80 mm. (SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)

Betonielementtien päästökertoimet huomioivat betonin lisäksi, myös elementtien vaatiman raudoituksen Päästötietokannan materiaaliakohtaisista taustaraporteista selviää, että muun muassa paalujen ja ratapölkkyjen päästökertoimet ovat lopputuotteelle, jolloin myös niiden sisältämä rauditus ja

mahdolliset pienet lisämetalliosat, kuuluvat päästökertoimeen. Tämä aiheuttaa mahdollisesti päällekkäistä laskentaa tässä työssä, koska teräksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt on huomioitu erikseen. Tämän johdosta teräksen päästölaskennassa ei huomioida betonielementtien teräksen käyttöä. (Vares, 2022a)

**Taulukko 2:** Valmisbetonin ja betonielementtien vuotuinen menekki Suomen infrarakentamisessa ja CO<sub>2</sub>e-päästöt (\*menekki tilastoista, vuosien 2017–2021 keskiarvo; ' menekki perustuu asiantuntija-arvioon)

	<b>Menekki</b>	<b>Yksikkö</b>	<b>Päästökerroin</b>	<b>Päästökertoimen yksikkö</b>	<b>Päästöt [kg CO<sub>2</sub>e]</b>
<b>MVR-elementtiä</b>					
Paalut*	1 331 000	jm	36,5	kg CO <sub>2</sub> e/m	48 581 500
Silta- ja muut elementit*	578	m <sup>3</sup>	330	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	190 872
Ratapölkkyt*	199 600	kpl	58,7	kg CO <sub>2</sub> e/kpl	11 716 520
Muut mvr elementit*	31 947	m <sup>3</sup>	330	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	10 542 378
<b>KT-tuotteet</b>					
Putket*	43 060 000	kg	0,159	kg CO <sub>2</sub> e/kg	6 846 540
Kaivot ja renkaat*	49 800 000	kg	0,146	kg CO <sub>2</sub> e/kg	7 270 800
<b>Ympäristöbetonituotteet</b>					
Betonilaatat*	669 600	m <sup>2</sup>	25,5	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	17 074 800
Betonikivet*	1 115 600	m <sup>2</sup>	30,9	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	34 472 040
Reunakivet*	890 400	jm	4,2	kg CO <sub>2</sub> e/m	3 739 680
Valmisbetonia min'	680 000	m <sup>3</sup>	330	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	224 400 000
Valmisbetonia max'	940 000	m <sup>3</sup>	330	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	310 200 000
				<b>Yhteensä min [kg CO<sub>2</sub>e]</b>	<b>364 835 130</b>
				<b>Yhteensä max [kg CO<sub>2</sub>e]</b>	<b>450 635 130</b>
				<b>Yhteensä min [kt CO<sub>2</sub>e]</b>	<b>365</b>
				<b>Yhteensä max [kt CO<sub>2</sub>e]</b>	<b>451</b>
* menekki tilastoista, vuosien 2017–2021 keskiarvo					
' menekki perustuu asiantuntija-arvioon					

Betonin päästöiksi saatiin taulukon 2 laskennan perusteella 365–451 kt CO<sub>2</sub>e/vuosi. Suuri vaihteluväli johtuu epätarkasta valmisbetonin kulutusmääräarviosta. Suurempaa arviota betonin päästöistä voidaan tässä tapauksessa pitää todenmukaisempana, koska heitto syntyy asiantuntijan arvion epätarkkuudesta. Tuloksista nähdään, että valmisbetonin suuri käyttömäärä näkyy myös muita suurempana päästönä.

### 4.1.3 Keventeet

Keventeitä käytetään infrarakentamisessa pääosin painumien vähentämisessä ja lisäämään maaperän vakavuutta. Yleisiä käyttökohteita ovat muun muassa teiden penkereet, piha-alueet sekä siltojen alustäytöt. (Kivi, 2021) Keventeet otettiin huomioon tässä työssä, koska niiden käyttö infrarakentamisessa on merkittävää ja aikaisemmassa selvityksessä ne on jätetty huomioida.

Keventeitä on olemassa useita eri materiaaleja, mutta tässä työssä huomioidaan vain kevytsora ja vaahtolasi, jotka usein ovat myös käytetyimmät kevennysmateriaalit (Kivi, 2021). Kevytsoraa valmistaa Suomessa ainoastaan Weber Saint-Gobain Leca-tuotemerkillä (Pöysti, 2022) ja vaahtolasia puolestaan Uusioaines Oy tuotemerkillä Foamit (Paavola, 2022). Keventeiden käytöstä ei ole saatavilla julkista tilastoitua tietoa, minkä vuoksi käyttömääriä kysyttiin suoraan valmistajilta.

Mikko Pöysti Lecalta arvioi Leca-soran käytön olevan infrarakentamisessa noin 60 000–100 000 m<sup>3</sup> vuodessa. Pienimmässä arvioissa on huomioituna lähinnä tie- sekä ratarakenteisiin menevät kevytsorat ja muut infrarakentamisen käyttökohteet kasvattavat käyttöä sataan tuhanteen. (Pöysti, 2022) Koska tässä työssä lasketaan koko infrarakentamisen päästöt, käytettiin laskennassa arvion ylärajaa. Koska tiedetään, että kyseessä on tietyn valmistajan tuote, päästölaskennassa käytettiin valmistajan ilmoittamaa päästökerrointa. Leca-soran ympäristöselosteessa (environmental product declaration, EPD) ilmoittama GWP (global warming potential) on infrarakentamisessa käytettävälle 0–32 mm Leca-soralle 103 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>. (The Norwegian EPD Foundation, 2021)

Vaahtolasin käytöstä saatiin vain epävarmoja arvioita. Käyttömäärien selvittämiseksi lähestyttiin Uusioaineuksen edustajaa, mutta liikesalaisuuteen vedoten he eivät kertoneet vuotuista menekkiään. (Paavola, 2022) Tästä johtuen tässä työssä vuotuista käyttöä arvioitiin tarkastelemalla yhtiön ainoan Suomessa olevan tuotantolaitoksen ympäristöluvan tuotantolupamääriä ja aikaisempia julkaisuja tuotantomääristä. Oletettiin myös, että kaikki Suomessa käytettävä vaahtolasi on kotimaista. Vuoden 2012 vaahtolasin käyttökäsi yhtiö ilmoitti julkaisemassaan lehdessä noin 65 000 m<sup>3</sup> (Uusioaines Oy, 2013). Vaahtolasin suosion voidaan kuitenkin katsoa lisääntyneen tämän jälkeen, mistä kertoo myös Uusioaineuksen tuotannon kasvattaminen. Ympäristöluvan mukaan, laitos saa tuottaa enintään 60 000 tonnia vaahtolasia vuodessa (Ympäristölupalautakunta, 2019). Infrarakentamisessa käytettävän Foamit 60:n tiheys on tuotekortin mukaan 210 kg/m<sup>3</sup>, mikä tarkoittaa tuotannon maksimikapasiteetin olevan noin 286 000 m<sup>3</sup> (Foamit, 2023). Tässä työssä oletettiin, ettei maksimikapasiteetti ole käytössä, vaan arvioitiin

tehtaan toimivan noin 2/3 ympäristöluvan kapasiteetilla. Vaahtolasia käytetään infrarakentamisen lisäksi myös talonrakentamisessa. Mikäli oletetaan, että talo- ja infrarakentamiseen menee saman verran vaahtolasia, infrarakentamisen vuosittaiseksi vaahtolasin kulutusmääräksi saadaan noin 100 000 m<sup>3</sup> eli noin 21 000 tonnia, mikä vastaa noin 1/3 ympäristöluvan kapasiteetista. (Ympäristölupalautakunta, 2019) Kevytsoran tavoin, vaahtolasi on Suomessa vain yhden yrityksen valmistamaa, jolloin päästökertoimena käytettiin suoraan valmistajan ilmoittamaa. Infrarakentamisessa käytettävän Foamit 60 hiilijalanjälki on tuotekortin mukaan vaahtolasille 58,93 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>. (Foamit, 2023)

**Taulukko 3:** Kevenneiden vuotuinen menekkiarvio Suomen infrarakentamisessa ja CO<sub>2</sub>e-päästöt

Kevenne		Käyttömäärä	Yksikkö	Päästökerroin	Yksikkö	Päästö määrä [kg CO <sub>2</sub> e]
Leca sora	max	100 000	m <sup>3</sup>	103	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	10 309 400
Vaahtolasi		100 000	m <sup>3</sup>	58,93	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	5 893 000
					<b>Yhteensä max [kg CO<sub>2</sub>e]</b>	<b>16 202 400</b>
					<b>Yhteensä max [kt CO<sub>2</sub>e]</b>	<b>16</b>

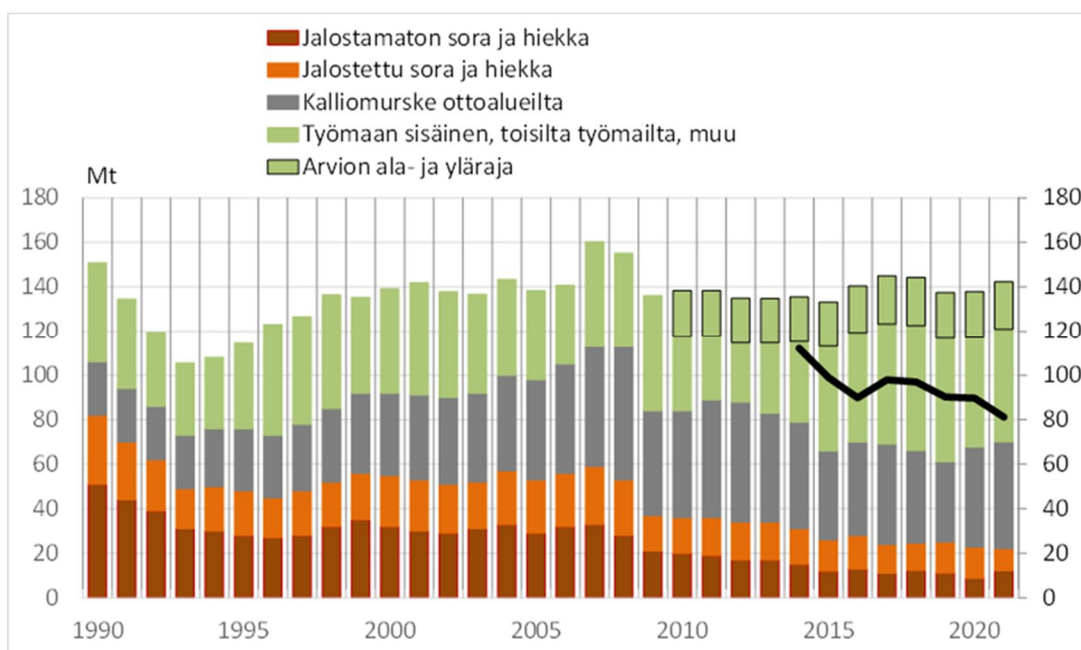
Kevenneiden hiilidioksidipäästöt laskettiin taulukossa 3. Vuosittaiseksi päästökseksi saatiin noin 16 ktCO<sub>2</sub>e/vuosi. Kokonaispäästöt ovat siis pienet verrattuna muihin materiaaleihin. Tämän lisäksi kevenneiden päästöt tulevat merkittävästi laskemaan tulevina vuosina, koska Leca-soran päästökerroin tulee noin puolittumaan nykyisestä yrityksen tekemien investoinneista johtuen. (Pöysti, 2022) Tämän lisäksi myös Foamitin päästökerroin on pienentynyt 2022 päivitetystä EPD:ssä. Näitä päästökertoimien alenemia ei kuitenkaan huomioitu vielä tämän työn laskennassa, koska muutokset ovat tapahtuneet vasta vuoden 2022 lopussa.

#### 4.1.4 Kiviainekset

Kiviaineksia käytetään melkein kaikessa infrarakentamisessa. Kiviaineskäytökseksi lasketaan niin neutseellisten kiviainesten jalostaminen murskeeksi tai muuksi rakennusmateriaaliksi, kuin työmaalta toiselle siirrettävän, niin sanotun kierrätyskiviaineksen, käyttö.

Kiviainesten käyttöä Suomessa on arvioitu usealla eri tavalla. Väylävirasto on tilastoinut maantiehankkeidensa materiaalien kulutusta, mistä selviää

kiviaineskäyttö, vuosien aikana, mutta tilasto ei kata kaikkea rakentamista Suomessa (Säämänen, 2022). Väyläviraston lisäksi Eero Nippala on koonnut selvityksen kiviainesten käytöstä Suomessa. Nippalan selvityksessä on arviotuna vuosien 1990–2021 kiviaineskäyttö ja se kattaa laajemmin koko kiviaineskäyttöä Suomessa. Selvityksen mukaan kokonaiskäyttö on ollut noin 120–140 Mt viimeisen viiden vuoden aikana. Tarkempi jaottelu eri kiviainesten kulutuksesta on nähtävissä kuvasta 6. Koska kiviaineskäyttöä ei ole jaoteltu raportissa sektoreittain, täytyy infrarakentamisen osuutta arvioida erikseen. (Nippala, 2022)



**Kuva 6:** Kiviaineskäyttö Suomessa. Musta viiva on maa-ainesten kuljetusten tilastotieto Tilastokeskuksesta. (Nippala, 2022)

Kiviainesta käytetään monella rakentamisen osa-alueella. Betoniteollisuus ry on arvioinut kiviainesten kulutusta sektoreittain. Yhdistyksen mukaan maa-rakentamisen osuus on 45 %, betonin 8 %, kaivosteollisuuden 36 % ja ylijäämämaiden 13 % kiviaineskäytöstä. (Betoniteollisuus ry, 2023b). Maarakentamisen osuuden voidaan katsoa sisältävän myös asfalttiteollisuuden materiaalikäytön, jonka on arvioitu olevan n. 10 % kiviaineskäytöstä. Tämän myötä infrarakentamisen kiviaineskäytön osuus pieneni ollen 35 % pelkästään kiviainesten osuus huomioiden. Tässä työssä arvioitiin, että infrarakentamisessa käytetään kaikkia kuvan 6 kiviaineeksiä saman, 35 %, verran. Näiden olettamusten pohjalta lasketut menekkimäärät listattiin päästölaskennan taulukossa 4.

Infrarakentamisen päästötietokannasta saatiin selkeät päästökertoimet eri kiviaineiksille. Koska päästökertoimet eivät poikkea suuresti toisistaan,

päästökertoimen valinta ei vaikuta suuresti lopputulokseen. Soralle ja hiekalle käytettiin laskennassa luonnonsoran 0/150 päästökerrointa. Kalliomurskeelle käytettiin murske, kalliomurske, KaM 0/32 päästökerrointa, sillä päästötietokannassa kerroin oli sama kalliomurskeen laadusta riippumatta. (SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)

Kierrätyksen osuus kiviaineskäytössä on merkittävä. Kierrätyskiven tapauksessa päästöt muodostuvat kierrätyskiviaineksen kuljetuksesta ja työmaalla siirtelystä, joten siitä aiheutuvat päästöt tulevat huomioiduksi tässä työssä kuljetusten ja työkonoiden päästöissä. Kierrätyskiviaines jätettiin siis päästölaskennan osalta huomioimatta kiviainesten kohdalla.

Kiviaineksen lisäksi infrarakentamisessa käytetään luonnonkivistä tehtyjä tuotteita, kuten reunakiviä, katukiviä ja käytävänpäällyskiviä. KIVI ry on luonnonkiviteollisuutta edustava liitto, joka on tehnyt tilastointia luonnonkivien käytöstä Suomessa. Kotimaisesta kiviaineskäytöstä ei ollut tarkkoja tilastoja saatavilla. Kotimaisen luonnonkiven lisäksi Suomessa käytetään paljon ulkomailta tuotua kiveä. Infrarakentamisessa ulkomaisen kivituonnin osuuden on arvioitu olevan jopa yli puolet käytetystä kivistä. (Vares, 2022b) Koska suurin osa, noin 85 %, ulkomaisesta infrarakentamiseen käytettävästä kivistä on peräisin Kiinasta, kuljetuksen osuus tuotteen päästökertoimesta on merkittävä. Vaikka kiveä tuodaan muistakin maista, tässä työssä ulkomaiselle kiviainekselle on käytetty kiinalaisen kiven päästökerrointa sen suuren osuuden johdosta. (Laine, 2023) Päästötietokannassa olleiden Kiinan kivi- tuotteiden päästökertoimet olivat samat, joten tämän työn päästölaskentaan valittiin; reunakivi, graniitti 220 x 270 mm, S220, Kiina (SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022). Verrattuna kotimaisen vastaavan tuotteen kanssa, Kiinasta tuodulla tuotteella päästökerroin voi olla melkein nelinkertainen.



**Taulukko 4:** Kiviainesten vuotuinen menekki Suomen infrarakentamisessa ja CO<sub>2</sub>e-päästöt

	Kiviainemenekki, vuosien 2017–2021 keskiarvo [Mt]	Kiviainemenekki [kg]	Infrarakentamisen osuus menekistä [%]	Päästökerroin [kg CO <sub>2</sub> e/kg]	Päästö määrä [kg CO <sub>2</sub> e]
<b>Kotimainen tuotanto</b>					
Jalostamaton sora ja hiekka	10,6	10 600 000 000	35 %	0,004	14 840 000
Jalostettu sora ja hiekka	10,8	10 800 000 000	35 %	0,004	15 120 000
Kalliomurske ottoalueilta	42,8	42 800 000 000	35 %	0,006	89 880 000
Työmaan sisäinen, Toisilta työmailta, muu	53,6	53 600 000 000	35 %	0*	-
<b>Ulkomaiden kivituntu</b>					
Katukivi, reuna-kivi ja käytävän-päällyskivi, luonnonkiveä	0,047	47 412 600	100 %	0,43	20 387 418
				<b>Yhteensä [kg CO<sub>2</sub>e]</b>	<b>140 227 418</b>
*syntyviä päästöjä ei huomioida kiviaineksen päästökertoimessa				<b>Yhteensä [kt CO<sub>2</sub>e]</b>	<b>140</b>

Kiviainesten aiheuttamat hiilidioksidipäästöt laskettiin taulukossa 4. Lopputuloksena viiden vuoden kiviaineksen keskiarvokäytön hiilidioksidipäästöksi saadaan 140 kt CO<sub>2</sub>e/vuosi. Tuloksista yllättävää on ulkomaisen kivitunnon suuri osuus kaikista päästöistä. Vaikka menekki on pientä, päästöt nousevat suuriksi.

#### 4.1.5 Muovi

Muoveja käytetään rakentamisessa monissa eri muodoissa, niin sellaisenaan kuin osana jotain toista materiaalia. Infrarakentamisessa keskeisimpiä muovin käyttökohteita ovat esimerkiksi erilaiset putket, kaapeleiden pinnoitteet, suodatinkankaat, lujitekankaat sekä nestemäiset muovipinnoitteet.

Infrarakentamisen muovin käyttömääriä arvioitiin lähestymällä keskeisiä muoviteollisuuden edustajia Suomessa, julkisista aineistoista etsimisen

lisäksi. Muovien käytöstä on olemassa huonosti laajaa tilastotietoa, mutta joitain yksittäisiä hankekohtaisia tarkasteluja on kuitenkin tehty. Suomessa toimii Muoviteollisuus ry, joka toimii muovituotteita valmistavien yritysten omana elinkeino- ja työmarkkinapoliittisena etujärjestönä (Muoviteollisuus ry, 2023). Yhdistyksen toimitusjohtaja Vesa Kärhä arvioi haastattelussa rakentamiseen kuluvan muovin osuudeksi 20 % koko Suomen muovintuotannosta eli noin 100 000–120 000 t (Kärhä, 2023). Esitetty arvio sisältää koko rakentamisen, joten infrarakentamisen osuus on tästä paljon pienempi. Muoviteollisuuden lisäksi SYKE:ltä kysyttiin muovin käytöstä, mutta vastauksia ei saatu.

Muoveja käytetään monissa paikoissa. Infrarakentamisen muovinkäyttökohteita on tutkittu yksittäisissä hankkeissa osana päästövähennystavoitteita. Esimerkiksi Helsingin kaupungille tehdyssä opinnäytetyössä tutkittiin infrastruktuurirakentamisessa käytettyjen muovilaatujen korvaamista vaihtoehtoisilla ympäristön kannalta kestävimmillä materiaaleilla. Osana työtä tutkittiin ja listattiin valikoiduilta työmailta löytyneitä muovilaatuja. Muoveja löytyi muun muassa putkista, kaapeleista, routaeristyksistä ja suodatinkankaista. Putket edustivat enemmistöä löytyneissä muovilaaduissa. (Jaakola, 2020) Laajasta käytöstä johtuen muovinkäyttö arvioitiin infrarakentamisessa merkittäväksi ja siksi jakautuvan tässä työssä tasan infran- ja talonrakentamisen kesken.

Infrarakentamisen päästötietokannasta löytyviä muovituotteiden päästökerroimia vertailemalla voidaan muodostaa keskiarvo muovien päästöille. Eri muovituotteiden valmistuksesta aiheutuvat päästöt riippuvat suuresti raaka-aineiden käytöstä ja laadusta. Päästötietokannan päästökertoimissa on otettu huomioon kierrätysmateriaalien osuuksia sekä arvioitu keskimääräisen muovituotteen laatua. Tämän perusteella päästötietokannan päästökerroimia voidaan pitää tässä työssä tarpeeksi hyvinä arvioina muovien tämänhetkisistä päästöistä. (Vares, 2022c) Koska muovintuotantomäärät eivät sisältäneet tietoa tuotetun muovin laaduista tai tuotteista, työn päästölaskennassa ei käytetty suoraan infrarakentamisen päästötietokannan päästökerroimia. Päästötietokannasta löytyvät eri muovien päästökertoimet taulukoiittiin ja niiden perusteella laskettiin keskiarvokerroin, jota käytettiin päästölaskennassa. Taulukosta 5 nähdään päästötietokannasta löytyvät eri päästökertoimet ja niiden esimerkkituotteet. Kertoimet vaihtelevat 1,99–2,9 kg CO<sub>2</sub>e/kg välillä. (SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)

**Taulukko 5** Eri muovituotteiden päästökertoimia infrarakentamisen päästötietokannasta

Muovituote	Päästökerroin	Päästökertoimen yksikkö
Kuitu, muovikuitu, PP	2,49	kg CO <sub>2</sub> e/kg
Putki, maaviemäri 110 mm, PVC, 6M, SN8	2,12	kg CO <sub>2</sub> e/kg
Putki, vesijohtoputki 160 mm, PVC, PN10	2,31	kg CO <sub>2</sub> e/kg
Routalevy, EPS	2,9	kg CO <sub>2</sub> e/kg
Routalevy, XPS	2,6	kg CO <sub>2</sub> e/kg
Rumpuputki 160/140 mm x 6 m, PE, SN4, sis. jatkokoholki	2,41	kg CO <sub>2</sub> e/kg
Suodatinkangas, käyttöluokka N1	1,99	kg CO <sub>2</sub> e/kg

Taulukon 5 päästökertoimien keskiarvoksi saadaan 2,4 kg CO<sub>2</sub>e/kg, jota käytettiin taulukon 6 päästölaskennassa. Taulukon 5 kertoimia katsoessa voidaan myös huomata, että moni päästökerroin on lähellä keskiarvotulosta. Tämä lisää keskiarvokertoimen edustavuutta.

**Taulukko 6** Muovin arvioitu vuotuinen käyttömäärä Suomen infrarakentamisessa ja CO<sub>2</sub>e-päästöt

	Menekki [t]	Menekki [kg]	Infrarakentamisen osuus menekistä [%]	Päästökerroin	Päästökertoimen yksikkö	Päästö määrä [kg CO <sub>2</sub> e]
Muovi	100 000	100 000 000	50 %	2,40	kg CO <sub>2</sub> e/kg	120 142 857
					<b>Yhteensä [kg CO<sub>2</sub>e]</b>	<b>120 142 857</b>
					<b>Yhteensä [kt CO<sub>2</sub>e]</b>	<b>120</b>

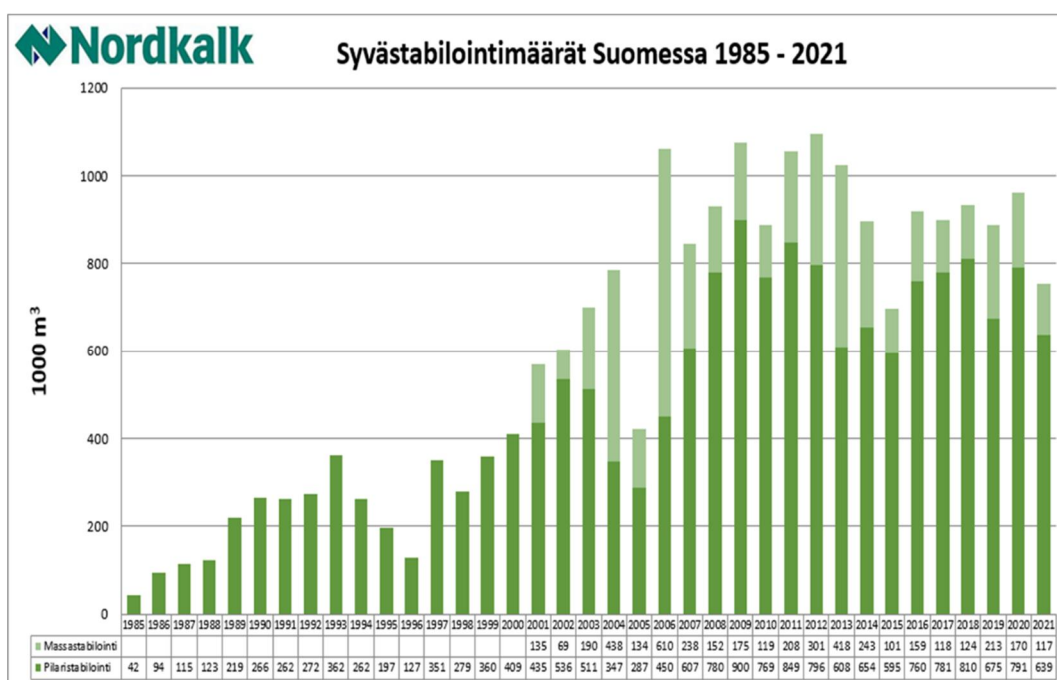
Muovien kokonaispäästöt on laskettu taulukossa 6. Vuosittaiseksi päästökäsi saatiin 120 ktCO<sub>2</sub>e/vuosi. Tulosta voidaan pitää hyvin karkeana arviona, koska saatu vuosittaisen käytön arvio oli hyvin epämääräinen. Myöskään arvioita infran osuudesta ei löytynyt, mikä lisää tuloksen epätarkkuutta.

#### 4.1.6 Stabiloinnin sideaineet

Stabiloinnin sideaineita käytetään pilari- ja massastabiloinnissa. Nämä ovat pohjanvahvistusmenetelmiä, joiden avulla saadaan parannettua heikon maaperän kanto-ominaisuuksia. (Liikennevirasto, 2018) Stabiloinnit otettiin mukaan tämän työn laskentaan, koska sideaineet koostuvat pääosin sementistä, jonka valmistaminen on päästöintensiivistä (SYKE, Suomen

ympäristökeskus, 2022). Pilari- ja massastabiloinneista aiheutuvat päästöt ovat mahdollisesti hyvinkin merkittäviä.

Vuosittaisista stabilointimääristä on tehty tilastotietoa. Tilasto perustuu Nordkalkin tekemään kyselytutkimukseen Suomessa, johon vastaavat stabilointeja tekevät yritykset. Nordkalkin Kuusipuro on arvioinut vastausprosentin korkeaksi, minkä johdosta tuloksia voidaan pitää luotettavina ja kattavina. (Kivi, 2021) Tilaston mukaan vuosien 2017–2021 välillä on keskimäärin pilaristabiloitu 740 000 m<sup>3</sup> ja massastabiloitu 150 000 m<sup>3</sup> maaperää vuosittain. Stabilointimäärien vuosittainen vaihtelu on suurta, mikä on nähtävissä kuvasta 7. (Kuusipuro, 2023) Stabiloinnissa käytetyn sideaineen määrä riippuu käytetystä sideaineesta, maaperästä sekä halutusta lopputuloksesta. Tässä työssä oletettiin, että kaikki stabilointi liittyy infrarakentamiseen.



Kuva 7 Syvästabilointimäärät Suomessa. (Kuusipuro, 2023)

Stabiloinnissa käytetään useita eri sideaineita. Sideainekohtaisia käyttömääriä arvioitiin Nordkalkin vuosien 2017–2021 myyntitilastojen (Kuusipuro, 2023) sekä Juha Forsmanin asiantuntija-arvioiden perusteella (Forsman, 2023). Massastabiloinnissa käytetään lähinnä vain sementtiä sideaineena (Forsman, 2023). Perustuen myyntitilastoihin ja vuosittaisiin käyttömääriin, kuutiossa massastabiloitua maaperää on keskimäärin 100 kg sideainetta. Pilaristabiloinnissa käytetään puolestaan useita eri sideaineita. Eniten käytetty on kalkki-sementti KC30 tai KC50, jotka edustavat noin 65 % vuosittaisesta pilaristabiloinnista. Myyntitilastojen ja Forsmanin arvioiden perusteella tässä työssä oletettiin, että kaikki kalkki-sementin käyttö on ollut KC50 sideainetta. Työssä huomioitiin myös, että osa KC50 sideaineesta on peräisin

EU:n ulkopuolelta, mikä vaikuttaa päästökertoimeen. Toiseksi yleisin, ovat eri uusiosideaineet, GTC, POZ, GREEN, jotka edustavat 35 % vuosittaisesta pilaristabiloinnista. (Kuusipuro, 2023) Tämän lisäksi pilaristabiloinnissa käytetään myös hyvin pienissä määrin muun muassa lentotuhkaperäisiä sideaineita. Näitä ei kuitenkaan huomioida tässä työssä päästökertoimia miettiessä, niiden vähäisen käytön vuoksi. Forsmanin ja Kuusipuron aineistojen mukaan pilaristabiloinnissa keskimääräiseksi sideainemääräksi per stabiloitu maaperä voidaan olettaa 110 kg/m<sup>3</sup>. (Forsman, 2023) Näiden käyttömäärien ja sideainemääräolettamien perusteella lasketut vuosittaiset stabilointimäärät ovat luettavissa taulukosta 7.

Stabiloinnin sideaineiden kertoimet vaihtelevat. Massastabiloinnissa käytettävälle sementille saatiin päästökerroin, 0,3 kg CO<sub>2</sub>e/kg, suoraan infrarakentamisen päästötietokannasta. Pilaristabiloinnin sideaineista suomalaiselle kalkki-sementti KC50:lle saatiin infrarakentamisen päästötietokannasta päästökertoimeksi 0,844 kg CO<sub>2</sub>e/kg. Laskennassa huomioitiin, että osa Suomessa käytetystä kalkki-sementistä on EU:n ulkopuolelta, mikä vaikuttaa päästökertoimeen. EU:n ulkopuoliselle kalkki-sementille ei löydy päästökeroa, mutta se voidaan muodostaa. Koska EU:n ulkopuolinen kalkki-sementti KC50 on puoliksi Portlandsementtiä ja puoliksi poltettua kalkkia, päästökerroin saadaan näiden keskiarvosta. Portlandin sementille (CEM I) löytyy päästökerroin infrarakentamisen päästötietokannasta, 0,739 kg CO<sub>2</sub>e/kg (SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022), ja poltetulle kalkille 1,1 kg CO<sub>2</sub>e/kg (Kivi, 2021). Näiden kertoimien keskiarvona saadaan päästökertoimeksi 0,920 kg CO<sub>2</sub>e/kg. Kerrointa voidaan pitää kuitenkin pienenä EU:n ulkopuoliselle KC50:lle, koska päästöasiat eivät ole yhtä tärkeässä roolissa siellä. Uusiosideaineista POZ:lle ja GREEN:lle löytyy päästötietokannasta arvot, mutta GTC:lle ei. GTC arvioitiin kuitenkin eniten käytetyksi, joten sille selvitettiin päästökerroin päästötietokannan ulkopuolelta. GTC:n päästökerroin oli 0,232 kg CO<sub>2</sub>e/kg (Nordkalk, 2021).

**Taulukko 7** Stabiloinnin sideaineiden arvioitu vuotuinen käyttömäärä Suomen infrarakentamisessa ja CO<sub>2</sub>e-päästöt

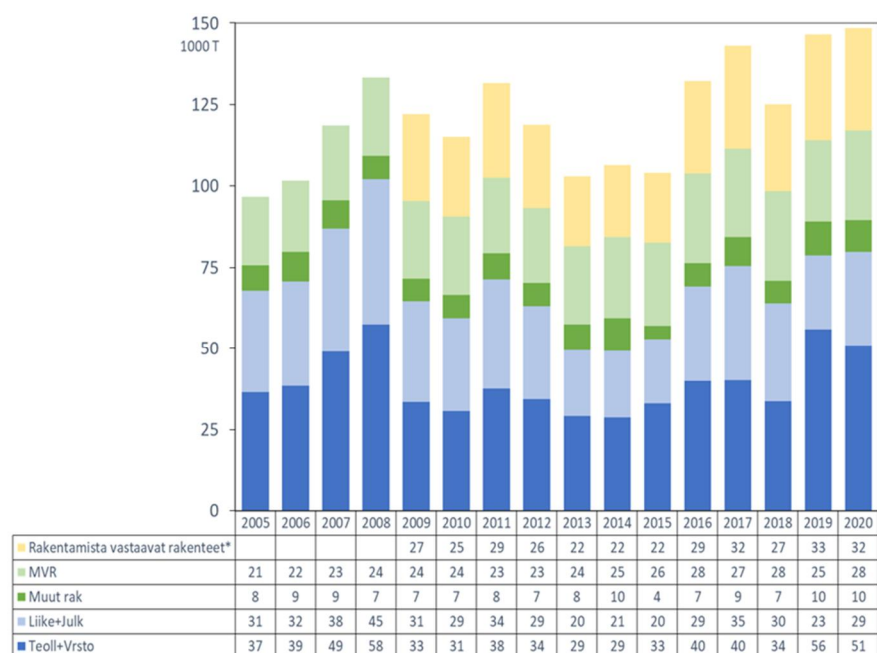
Stabilointitapa	Sideaineet	Stabiloidun maaperän määrä, keskiarvo 2017–2021 [m <sup>3</sup> ]	Sideainemäärä maaperässä [kg/m <sup>3</sup> ]	Sideaineen menekki [kg]	Osuus sideainemenekistä [%]	Päästökertoin [kg CO <sub>2</sub> e/kg]	Päästö määrä [kg CO <sub>2</sub> e]
Massas- tabi- lointi		148 240	100	14 824 000			
	Sementti				100 %	0,3	4 447 200
Pilaris- tabi- lointi		738 936	110	81 283 004			
	Kalkki-se- mentti KC50 (Suomi)				43 %	0,844	29 499 228
	Kalkki-se- mentti KC50 (EU:n ulko- puolinen)				22 %	0,920	16 442 739
	Uusioaines, GTC				35 %	0,232	6 600 180
				<b>Yhteensä [kg CO<sub>2</sub>e]</b>			<b>56 989 347</b>
				<b>Yhteensä [kt CO<sub>2</sub>e]</b>			<b>57</b>

Sideaineiden aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen laskenta on taulukossa 7. Viiden vuoden aikaisen keskiarvokäytön perusteella sideaineiden hiilidioksidipäästöiksi saatiin 57 ktCO<sub>2</sub>e/vuosi. Saadun päästö määrän perusteella stabiloinnin sideaineiden voidaan nähdä olevan merkittävä päästölähde infrarakentamisessa.

#### 4.1.7 Teräs

Teräs on keskeisimpiä rakennusmateriaaleja, jota sekä käytetään paljon että se omaa korkean päästökertoimen. Terästä käytetään betonin raudoitteen lisäksi muun muassa silloissa, kaiteissa, torneissa sekä putkissa.

Teräksen vuosittaisesta käytöstä on tehty tutkimusta. Forecon on arvioinut teräsrunkojen ja täydentävien teräsrakenteiden käyttökohteita Suomessa. Foreconin selvityksen perusteella, maa- ja vesirakentamisen sektori on käyttänyt vuosien 2015–2020 välillä 25 000–28 000 tonnia teräsrakenteita vuosittain. Tähän kategoriaan kuuluvia teräsrakenteita ovat muun muassa, infrarakenteen kaiteet ja aidat, valaisinpylväät, paalut, tornit, mastot, siltarakenteet sekä kaukolämpöputket. (Riihimäki, 2022). MVR:n teräksen käytön voidaan katsoa olevan tässä tapauksessa sama kuin infrarakentaminen, sillä muut osiot ovat talonrakentamiseen liittyviä.



**Kuva 8** Teräsrunkojen ja täydentävien teräsrakenteiden käyttökohteet Suomessa. (Riihimäki, 2022)

Foreconin tutkimukseen eivät sisällyneet raudoitusteräksiset (Riihimäki, 2022). Raudoitteiden vuosittaista menettä pystyttäisiin laskemaan rakenteiden vaatimien raudoitemäärien avulla. Tämä vaatisi kuitenkin tarkempaa tilastointia betonin käytöstä, koska raudoitteiden määrä eri betonirakenteissa vaihtelee huomattavasti. Raudoitusteräksen menekistä löytyi Betoniteollisuuden tekemää tilastointiarvioita. Koska tilastointi kattaa vain yleisesti teräksen ja jänneteräksen käytön betonirakentamisessa, infrarakentamisen osuus arvioitiin tästä kokonaisuudesta. (Betoniteollisuus ry, 2022) Koska betonielementeissä käytetyt raudoitteet sisältyivät tässä työssä tehtyyn betonin päästölaskentaan, teräksen kohdalla huomioitiin vain valmisbetonin vaatiman raudoituksen määrää. Tilastoissa ei ollut myöskään listattuna betonin kulutusta riittävällä tarkkuudella, joten osuuksia jouduttiin laskemaan perustuen sementin kulutukseen. Taulukossa 8 Betoniteollisuuden tilastoiman

sementin kulutuksen perusteella saatiin arvioitua, että valmisbetonin tuotanto vastaa 66 prosenttia kaikesta betonin tuotannosta. Tästä osuudesta infrarakentamisen osuus on 35 prosenttia.

**Taulukko 8** Infrarakentamisen valmisbetoninkäytön osuus kaikesta betoninkäytöstä

Sementin kokonaiskulutus keskiarvo 2016–2020 [t]	Sementtiä valmisbetoniin keskiarvo 2016–2020 [t]	Valmisbetonin osuus sementin kulutuksesta
1 421 600	939 800	66 %

Valmisbetonin kulutus keskiarvo 2016–2020 [m3]	Infrarakentamisen valmisbetonin kulutus [m3]	Infrarakentamisen osuus valmisbetonin kulutuksesta
2 656 200	940 000	35 %

Taulukon 8 tulosten avulla saadaan laskettua, että infrarakentamisen valmisbetonin osuus kaikesta betonin tuotannosta on noin  $66 \% * 35 \% = 23 \%$ . Mikäli oletetaan, että betoni- ja jänneterästä kulutetaan samassa suhteessa, saadaan laskettua arviot vuosikulutuksesta. Näitä taulukossa 9 laskettuja lopputuloksia käytetään hyödyksi taulukon 10 päästölaskennassa.

**Taulukko 9** Betoni- ja jänneteräksen kulutus infrarakentamisessa

	Keskiarvokulutus 2016–2020 välillä [t]	Infrarakentamisen laskettu osuus	Laskettu teräksen kulutus infrarakentamisessa [t]
Betoniteräs	47840	23 %	11 192
Jänneteräs	15280	23 %	3 575

Infrarakentamisen päästötietokannassa on laajasti päästökertoimia teräkselle. Koska ei ole tarkemmin tiedossa, mitä tuotteita MVR:n teräksenkäyttö on sisältänyt ja kuinka paljon, täytyy päästökerrointa valitessa yrittää löytää keskiarvoa edustava lukema. Teräksen päästökerroin pysyy melkein samana,  $2,5 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ , huolimatta terästuotteesta, joten laskennassa voidaan käyttää MVR-teräkselle tuota arvoa. Betoni- ja jänneteräkselle saatiin suoraan päästökertoimet päästötietokannasta. Koska päästökertoimien  $\text{kg CO}_2\text{e/kg}$ -arvot eivät vaihdelleet eri raudoite- tai jänneterästyyppeiden välillä, laskentaan valittiin harjateräs, A 500 HW ja jänneteräs, punos 10 kpl 9,3 mm tuotteiden päästökertoimet. (SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)



**Taulukko 10** Teräksen vuotuinen menekki Suomen infrarakentamisessa ja CO<sub>2</sub>e-päästöt

	Käyttömäärä keskiarvo 2016–2020 t <sup>1</sup>	Käyttömäärä [kg]	Päästökerroin [kg CO <sub>2</sub> e/kg]	Päästömäärä [kg CO <sub>2</sub> e]
<b>MVR-teräs</b>	27 200	27 200 000	2,50	68 000 000
<b>Betoniteräs</b>	11 192*	11 192 221	0,56	6 267 644
<b>Jänneteräs</b>	3 575*	3 574 773	1,00	3 574 773
		<b>Yhteensä [kg CO<sub>2</sub>e]</b>		<b>77 842 417</b>
*laskettu arvio		Yhteensä [kt CO <sub>2</sub> e]		78

Teräksen osalta kokonaispäästöiksi saatiin taulukon 10 päästölaskennan perusteella 78 kt CO<sub>2</sub>e/vuosi. Raudoiteterästen pieni päästöosuus kaikesta teräksen päästöistä on huomioitavaa. Osasyynä tähän on alhaisemmat käyttömäärät, mutta myös merkittävästi pienempi päästökerroin, joka johtuu romuraudan käytöstä teräksen valmistuksessa.

#### 4.1.8 Polttoaineet (kuljetus ja työkonet)

Infrarakentamiseen liittyy paljon työmaatoimintoja sekä kuljetusta, joka kuluttaa energiaa. Koska päästöttömien ajoneuvojen käyttö ei ole vielä yleistä työmailla, ajoneuvojen käytöstä syntyy hiilidioksidipäästöjä. Tässä työssä polttoaineesta syntyviä hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä huomioidaan työkonien ja materiaalien kuljetuksen osalta.

Työmaatoiminnoilla tarkoitetaan tässä työssä lähinnä työkonien toimintaa. Työkonien päästöjä ja energiankulutusta on tilastoitu Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n ylläpitämässä ja toteuttamassa Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmässä, LI-PASTO:ssa (VTT, 2021). Tilastossa ei ole eriteltyä työkonien käyttökohteita, eikä päästöjen jakautumista eri sektoreiden välille näin ollen voidaan suoraan tulkita. Tässä työssä huomioitavien työkonien selvittämisessä käytetään hyödyksi Gaia Consulting:in tekemää Tiekartta-selvitystä. Siinä on valittu kaikkien työkonien joukosta ne, joita käytetään rakentamisessa, sekä arvioitu talo- ja infrarakentamisen osuuksia työkonien päästöistä. (Gaia Consulting Oy, 2020a) Tiekartta-selvityksen jaottelun lisäksi tässä työssä otettiin mukaan tiehöylät, kunnossapitotraktorit ja ajoruohonleikkurit, sillä nämä edustavat infrarakentamisen kunnossapitoa. Kaikki tämän työn päästölaskennassa mukana olevat työkonet ja niiden arvioidut käyttömäärät infrarakentamisessa ovat listattuna taulukossa 11.

Työkoneiden päästöjä ei olla tilastoitu LIPASTO:ssa suoraan hiilidioksidiekvivalentteina. Jotta työkoneiden päästöt olisivat linjassa muiden tässä työssä laskettujen päästöjen kanssa, täytyy laskea CO<sub>2</sub>e päästöt. CO<sub>2</sub>e päästöt saadaan laskettua, kun otetaan Lipaston tietokannasta CO<sub>2</sub> päästöjen lisäksi CH<sub>4</sub> ja N<sub>2</sub>O päästöt ja kerrotaan CH<sub>4</sub> päästöt 25:llä ja N<sub>2</sub>O 298:lla. (VTT, 2021) Taulukossa 11 on nähtävissä sekä osapäästöt että CO<sub>2</sub>e kokonaispäästö.

**Taulukko 11** Työkoneiden käytön osuudet Suomen infrarakentamisessa ja CO<sub>2</sub>e-päästöt (VTT, 2021)

TYKO-konetyyppi	CO <sub>2</sub> , Keskiarvopäästöt 2016–2020 [t]	CH <sub>4</sub> , Keskiarvopäästö 2016–2020 [t]	N <sub>2</sub> O, Keskiarvopäästö 2016–2020 [t]	CO <sub>2</sub> e päästöt, [CO <sub>2</sub> +25*CH <sub>4</sub> +298*N <sub>2</sub> O]	Arvioitu osuus, infrarakentaminen [%]	Infrarakentamisen päästöt [t CO <sub>2</sub> e]
Minikaivukone	16 901	1	0	17 001	0 %	-
Kaivukone pyörä	77 543	5	1	78 023	50 %	39 011
Traktorikaivuri	25 745	2	0	25 908	50 %	12 954
Nosturit	15 168	1	0	15 270	0 %	-
Jyrät	8 599	1	0	8 652	100 %	8 652
Teleskooppikurot- tajat	27 357	2	0	27 528	0 %	-
Dieselgeneraatto- rit	107 071	6	2	107 733	30 %	32 320
Kompressorit	28 594	2	0	28 773	50 %	14 387
Täryttimet	2 388	0	0	2 403	50 %	1 201
Kaivukone tela (60 %)	209 838	13	3	211 146	80 %	168 917
Pyöräkuormaajat (60 %)	222 252	13	4	223 699	90 %	201 329
Dumpperit (60 %)	12 107	1	0	12 185	90 %	10 967
Telapuskutraktori (60 %)	3 582	0	0	3 607	100 %	3 607
Muut siirrettävät (60 %)	4 262	0	0	4 288	50 %	2 144
Tiehöylät	25 133	1	0	25 309	100 %	25 309
Kunnossapitotrak- torit	1 822	0	0	1 833	100 %	1 833
Ajoruohonleikkurit	2 772	0	0	2 789	100 %	2 789
				<b>Yhteensä [t CO<sub>2</sub>e]</b>		<b>525 420</b>
				<b>Yhteensä [kt CO<sub>2</sub>e]</b>		<b>525</b>

Infrarakentamisessa käytettävien työkoneiden kokonaispäästöiksi saatiin noin 525 kt CO<sub>2</sub>e/vuodessa. Tulosten perusteella työkoneet vastaavat hyvin suuresta osasta infrarakentamisen päästöjä.

Infrarakentamisen hankkeisiin sisältyy paljon kuljetuksia. Infrarakentamiseen liittyvien kuljetusten päästöjä voidaan kartoittaa käyttämällä hyödyksi tilastokeskuksen aineistoa kotimaan kuorma-autoliikenteen suoritteista tavaralajeittain sekä energiatilinpidon kohdan F, rakentaminen, dieselin ja moottoribensiinin käyttöä (Tilastokeskus, 2022b). Näiden kahden eri tavan tulosten perusteella saatiin arvioitua kuljetuksen päästöjä.

Tavaralajisuoritteista otettiin huomioon infrarakentamiseen liittyvät kategoriat, jotka toimivat myös taulukon 12 kategorioina. Kuljetussuoritteiden päästöt laskettiin kuljetussuoritteisiin perustuen ja päästöarvot saatiin infrarakentamisen päästötietokannasta. Infrarakentamisen osuus koko suoritteista arvioitiin ohjausryhmän kesken miettien tavaralajien käyttökohteita. Taulukossa 12 on merkittynä käytetyt prosenttiosuudet. Päästökertoimet valittiin kullekin tavaralajille yksilöllisesti, huomioiden kyseisen tavaralajin kuljetustavan ja huomioimalla keskimääräisen kuljetusmatkan sekä kuormausasteen. (SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022) Taulukossa 12 on nähtävillä oletetut kuljetustavat eri tavaralajeille päästöluokka-kohdassa.

**Taulukko 12** Suomen infrarakentamiseen liittyvä vuotuinen kuljetussuoritearvio ja CO<sub>2</sub>e-päästöt

	Kuljetussuoritekeskiarvo 2017–2021 [tkm]	Infrarakentamisen osuus kuljetuksista [%]	Päästöluokka [Päästötietokanta]	Päästökerroin [kg CO <sub>2</sub> e/tkm]	Päästöt [kg CO <sub>2</sub> e]
Asfaltti, öljysora, bitumi	286 000 000	80 %	Maansiirtoautot 32 t, 80 %, maantieajo	0,061	13 956 800
Raakateräs, rautaharkot, metallilevyt, -tangot ja -putket yms. puolivalmisteet	786 600 000	20 %	Puoliperäväunuyhdistelmä 40 t, 50 %, maantieajo	0,082	12 900 240
Sora, hiekka, kivet ja muut maa-ainekset, suola, lannoite- mineraalit, kuona, tuhka, kasvuturve	2 537 200 000	70 %	Maansiirtoautot 32 t, 80 %, maantieajo	0,061	108 338 440
Betoni, tiilet, elementit, sementti, kalkki yms. rakennusmateriaalit	1 449 600 000	50 %	Maansiirtoautot 32 t, 80 %, maantieajo	0,061	44 212 800
Metallirakenteet, metallisäiliöt, -työkalut, aseet, muut metallituotteet	525 200 000	15 %	Puoliperäväunuyhdistelmä 40 t, 50 %, maantieajo	0,082	6 459 960
			<b>Yhteensä [kg CO<sub>2</sub>e]</b>		<b>185 868 240</b>
			<b>Yhteensä [kt CO<sub>2</sub>e]</b>		<b>186</b>

Tilastokeskuksen energiatilinpidon luokkaan F, rakentaminen, kuuluu kaikki rakentaminen. Infrarakentamisen osuus arvioitiin perustuen aiempiin selvityksiin. Tiekartta-selvityksessä kuljetuspäästöt perustuivat energiatilinpitoon ja siinä arvioitiin infrarakentamisen osuudeksi 65 % ja loput talonrakentamiseen liittyväksi. Energiatilinpidon tilastoista eivät selviä suoraan päästöt. Päästöjen laskemiseksi käytettiin avuksi Tilastokeskuksen antamaa

vuoden 2022 muuntotaulukkoa, jonka perusteella saatiin tietää, kuinka paljon CO<sub>2</sub>-päästöjä syntyy per terajoule. (Tilastokeskus, 2023b) Energiatilinpitoon perustuvat päästölaskennan tulokset ovat koottuna taulukkoon 13.

**Taulukko 13** Suomen infrarakentamisen kuljetuksen päästöt perustuen Tilastokeskuksen energiatileinpitoon

Energiatileinpito	Menekki, 2016–2020 ka. [TJ]	Infrarakentamisen osuus [%]	CO <sub>2</sub> , oletuspäästökerroin, 2022 [t CO <sub>2</sub> e/TJ]	Päästö [t CO <sub>2</sub> e]
<b>Moottoribensiini</b>	205,8	65 %	65,5	8 762
<b>Dieselöljy</b>	8185	65 %	54,6	290 486
		Yhteensä [t CO <sub>2</sub> ]		299 248
		Yhteensä [kt CO <sub>2</sub> ]		299

Kuljetuksen päästöjen laskennat ovat taulukoissa 12 ja 13. Viiden vuoden tilastokeskiarvojen perusteella kuljetuksen päästöiksi saatiin 186–299 kt CO<sub>2</sub>/vuosi. Tuloksissa on paljon eroavaisuutta. Molempia tuloksia voidaan pitää arvioina, koska ei ole täyttä varmuutta, kuinka hyvin Tilastokeskuksen aineistot edustavat todellista käyttöä. Kuljetussuoritteisiin perustuvan tuloksen pienuus voi johtua tyhjäajojen puutteesta sekä tehtyjen oletuksien epätarkkuudesta. Koska kuljetussuoritteisiin perustuva arvio olisi myös pienempi kuin Tiekartta-selvityksessä esitetyt kuljetuksen päästöt, energiatileinpitoon perustuvaa tulosta voidaan näin ollen pitää luotettavampana. Tämän työn perusteella infrarakentamisen kuljetuksen päästöt olisivat siis taulukon 13 mukaisesti noin 299 kt CO<sub>2</sub>.

#### 4.1.9 Muut materiaalit

Työssä tehty materiaalipohjainen laskenta ei sisällä kaikkia rakentamisessa ja kunnossapidossa käytettäviä materiaaleja. Koska rakentamisessa käytetään monia eri materiaaleja, on vaikea ottaa huomioon aivan kaikki. Jotta pystytään arvioimaan muiden materiaalien aiheuttamien päästöjen määrää, listattiin merkittävimpiä muita materiaaleja. Näitä ovat muun muassa erilaiset metallit, muut kuin teräs, puu, lasi sekä viherrakentamisen mullat ja kuorikatteet (Gaia Consulting Oy, 2020a). Näiden lisäksi on myös olemassa erilaisia uusiomateriaaleja, esimerkiksi tuhkat, kuonat ja betonimurske.

Uusiomateriaalien voidaan kuitenkin nähdä edustavan hyvin pientä osuutta infrarakentamisen kokonaispäästöissä vähäisen käytön sekä pienten päästö-kertoimien takia.

Teräksen lisäksi infrarakentamisessa käytetään muitakin metalleja, erityisesti sähkön- ja datansiirtokaapeleissa sekä erilaisissa tolmissa. Esimerkiksi Tiekartta-selvityksessä oli huomioitu alumiini, metalli ja kupari, jotka muodostivat yhteensä 80 kt CO<sub>2</sub>e vuosittaiset päästöt. Näistä päästöistä suurin osa oli peräisin alumiinista, 62 kt CO<sub>2</sub>e. (Gaia Consulting Oy, 2020a) Alumiinista olisi voinut myös tehdä tässä työssä tarkemman päästölaskennan, mutta sen vuotuisista menekeistä ei löytynyt tilastoja. Tässä työssä tehtyjen päästölaskentojen perusteella huomattiin, että monet materiaalipäästöt olivat suuremmat tässä työssä kuin Tiekartta-selvityksessä. Oletettiin siis, että sama päti myös metalleilla. Näiden tietojen perusteella arvioitiin, että eri metallit ovat infrarakentamisessa merkittävässä osassa kokonaispäästöjä ja aiheuttaisivat reilusti yli 100 kt CO<sub>2</sub>e vuotuiset päästöt.

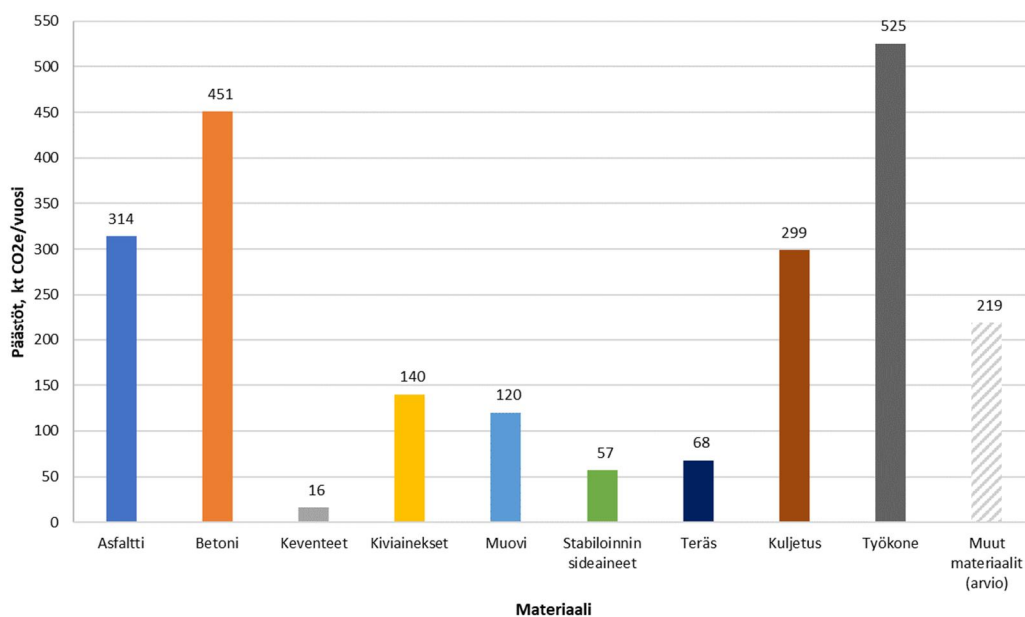
Puutuotteet ja viherrakentamisessa käytettävät kuorikatteet muodostavat myös päästöjä (SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022). Infrarakentamisessa käytetään puutuotteita niin lopullisissa rakenteissa, mutta myös esimerkiksi siltojen ja tukimuurien muotteina. Tästä johtuen puun käytön voidaan arvioida olevan merkittävää vuosittaisella tasolla.

Joissain tie- ja ratahankkeissa CO<sub>2</sub>-päästöt ovat aiheutuneet 95–98 prosenttisesti keskeisimmistä materiaaleista. Pöyryn toteuttamassa Lahden eteläisen kehätien LCA-raportissa laskettiin hiilidioksidipäästöjen suuruus hankkeelle, joka koostui väylistä, silloista ja tunneleista. Laskentaa ei ollut toteutettu täysin samalla tavalla kuin tässä työssä, joten tuloksia voidaan käyttää viitteellisinä arvoina. Kyseisen hankkeen päästöistä vaahtolasi, betoni, teräs, asfaltti ja kivimateriaalit vastasivat 91 prosenttia hankkeen kokonaispäästöistä ja loput materiaalit vain 1 prosenttia. Raportissa mainituissa vastaavissa hankkeissa muiden materiaalien osuus oli ollut alle 5 % kokonaispäästöistä. (Pöyry, 2019)

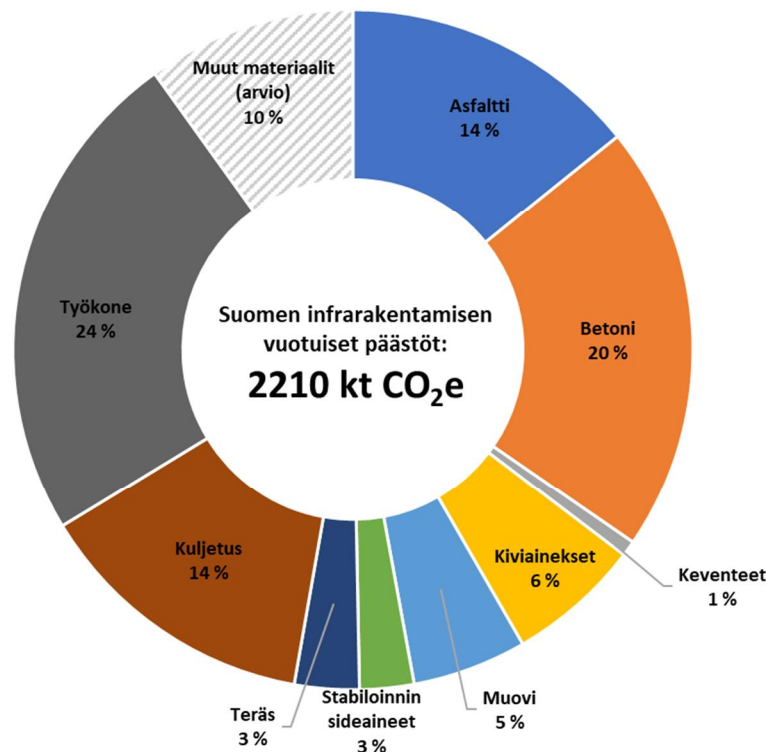
Ottaen huomioon, että tässä työssä huomioitiin koko infrarakentaminen, muiden materiaalien osuuden voidaan arvioida olevan suurempaa kuin pelkissä tiehankkeissa. Tässä kappaleessa listattujen materiaalien lisäksi infrarakentamisessa käytetään myös paljon muita materiaaleja, voidaan nähdä muodostavan myös pienen osan päästöistä. Ottaen huomioon laskennan ulkopuolisten materiaalien määrä sekä osan materiaalien aikaisemmat päästöarviot, muiden materiaalien aiheuttamien CO<sub>2</sub>e-päästöjen voidaan arvioida olevan noin 10 prosenttia Suomen infrarakentamisen kokonaispäästöistä.

## 4.2 Materiaalimenekin perusteella lasketut kokonaispäästöt

Kokoamalla yhteen laskettujen materiaalien sekä muiden materiaalien päästöt saadaan aikaan kokonaiskuva infrarakentamisen päästöistä. Materiaalikohtaiset päästöt infrarakentamisen osalta on koottu yhteen kuvaan 9. Laskennassa mukana olleiden materiaalien osalta kokonaispäästöt olivat 1991 ktCO<sub>2</sub>e/vuosi. Lisäämällä tähän lukuun arvio, että muut materiaalit vastaisivat 10 prosenttia kokonaispäästöjä, infrarakentamisen kokonaispäästöiksi saatiin 2210 ktCO<sub>2</sub>e/vuosi. Eri materiaalien osuuksien jakautuminen esitettiin kuvassa 10.



**Kuva 9** Tässä työssä laskettu arvio Suomen infrarakentamisen kokonaispäästöistä materiaalikohtaisesti



**Kuva 10** Tässä työssä laskettu arvio Suomen infrarakentamisen kokonaispäästöistä ja sen jakautumisesta keskeisimpien rakennusmateriaalien kesken

Kuvan 10 perusteella nähtiin, että kokonaispäästöt jakautuvat kolmeen melkein yhtä suureen kategoriaan. Yksi näistä on polttoaineista, kuljetus ja työkoneet, syntyvät päästöt. Toinen asfaltin ja betonin päästöt ja viimeisenä kaikki loput. Yllättävää on erityisesti päästöjen voimakas jakautuminen muutaman materiaalin kesken.

### 4.3 Materiaalimenekkipohjaisen päästölaskennan tarkkuus

Materiaalimenekkipohjainen päästölaskenta antaa vain arvion todellisten päästöjen suuruudesta. Epätarkkuuksia tämän työn laskentaan aiheutti muun muassa lähtöaineiston laatu ja saatavuus sekä laskennan aikana tehdyt oletukset.

Lähtöaineiston luotettavuus oli vaihtelevaa. Paikoin laskennassa käytetyt menekkiarvot, kuten muovin, olivat hyvin karkeita, minkä takia kaikkia lopputuloksia ei voida pitää tarkkana. Lähtöaineistot saattoivat myös välillä olla asiantuntijoiden kokoamia arvioita, eikä todelliseen käyttöön perustuvia tilastotietoja.



Käytettyjen päästökertoimien valinta vaikuttaa päästölaskentaan. Työssä käytetyt päästökertoimet olivat pääosin infrarakentamisen päästötietokannasta, minkä ansiosta päästökertoimia voitiin pitää keskenään yhtä tarkkoina ja perustuen samoihin arvoihin. Koska päästötietokannan kertoimet perustuvat moniin oletuksiin ja voivat tarkentua tulevaisuudessa, sillä voi olla vaikutusta myös tässä työssä laskettujen tulosten kannalta. Tämän lisäksi menekkitiedon ja päästötietokannan materiaalit eivät aina vastanneet täysin toisiaan, mikä oli ongelmana erityisesti muovin ja teräksen kohdalla. Tästä johtuen, työssä jouduttiin usein valitsemaan, mikä päästökerroin vastaisi parhaiten kutakin materiaalia.

Laskennan aikana jouduttiin tekemään oletuksia, jotka heikensivät laskennan tarkkuutta. Koska tilastot eivät kattaneet aina tarkasti infrarakentamisen osuuksia materiaalimenekistä, jouduttiin näitä arvioimaan laskennan aikana. Vaikka arvioissa käytettiin asiantuntijoiden arvioita tai pohjattiin arvio johonkin todelliseen, ei tämä siltikään takaa tarkkaa lopputulosta. Koska laskettavat arvot olivat myös usein suuria, pieni heitto prosenttiarviossa aiheuttaa suurta heittoa lopullisessa tuloksessa.

Ulkomaisten materiaalien tuontia ei huomioitu laskennassa kaikkien materiaalien kohdalla, johtuen saatavilla olleista tilastoista. Vain kiviaineksista ja stabiloinnin sideaineista löytyi riittävän tarkkaa tuontitietoa. Tuontitiedon puute ei välttämättä ole suuri ongelma menekkimäärien kannalta, sillä Juha Luhanka Rakennusteollisuudelta arvioi materiaalien tuonnin olevan hyvin vähäistä infrarakentamisessa (Luhanka, 2023). On kuitenkin huomioitava, vaikka tuontimäärät olisivat pieniä, niiden pitkistä kuljetusmatkoista aiheutuvat päästöt voivat tehdä niiden päästöistä moninkertaisia verrattuna kotimaisiin kertoimiin. Tällöin pienetkin tuontimäärät kasvattaisivat päästöjä suhteessa enemmän. Tuontimateriaalien puute aiheuttaa siis myös puutteita kokonaistulokseen.

Keskiarvomenekkien käyttäminen parantaa materiaalimenekkien edustavuutta. Etenkin muutaman materiaalin kohdalla vuosittainen vaihtelu oli hyvinkin suurta, joten viiden vuoden aikaisten käyttömäärien keskiarvon käyttäminen laskennoissa parantaa lopputulosta.

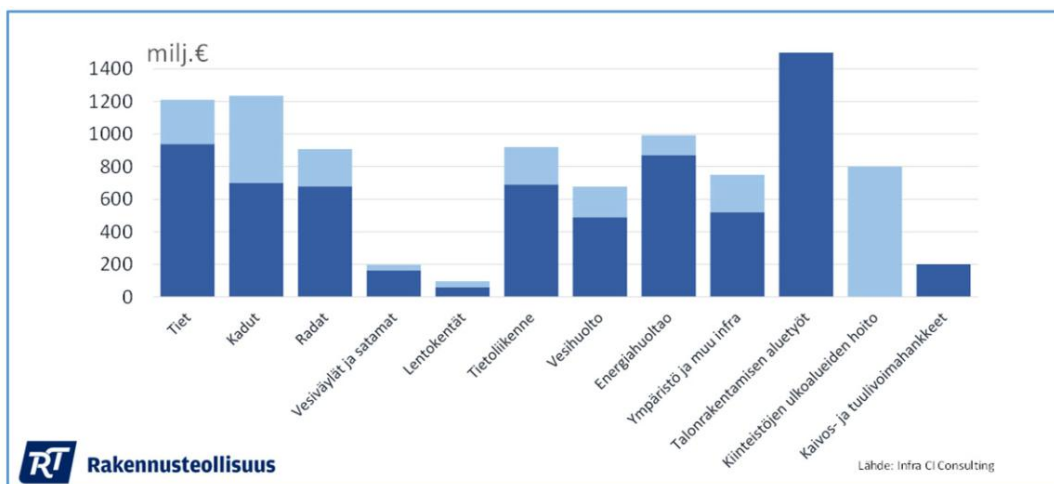
Kaiken kaikkiaan laskennan tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina. Koska laskettiin koko Suomen infrarakentamisen päästöjä, tarkan arvon sijaan tärkeää on myös saada oikea suuruusluokka.

## 5 Investointimääriin perustuvat päästöt

Tässä kappaleessa lasketaan investointimäärien avulla arvio Suomen infrarakentamisen päästöistä. Laskennan oletuksia ja menetelmiä on avattu tarkemmin kappaleissa. Lopussa pohditaan laskennan mahdollisuuksia ja saatuja tuloksia.

### 5.1 Infrarakentamisen vuosittaiset investoinnit

Rakennusteollisuus on koonnut selvityksiä infrarakentamisen vuotuisista investointimääristä useamman vuoden ajalta. Infrarakentamisen lopputuotteiden arvo on laskettu rakentamisen osa-alueittain, ja määrät ovat nähtävissä kuvasta 11. Riippuen osa-alueesta, investointien arvot voivat olla peräisin eri tahojen tilastoista, haastatteluista tai tilastoista muodostetuista arvioista. Lopputuloksen lukuarvot edustavat pääosin tarkasti vuosittaisten investointien suuruutta. (Nippala, 2023)



**Kuva 11:** Infrarakentamisen markkinat, lopputuotteiden arvo vuonna 2020, yhteensä 9,5 mrd. €. Investoinnit tummalla ja huolto sekä korjaukset vaalealla. (Vainio & Nippala, 2021)

Lopputuotteiden kokonaisarvo vuonna 2020 oli noin 9,5 miljardia euroa. Tästä osuudesta noin 7 miljardia oli investointeja ja 2,5 miljardia huoltoa ja korjaamista. (Vainio & Nippala, 2021) Kuvaa 11 katsoessa voidaan huomata osa-alueiden välisiä suuruuseroja. Esimerkiksi tie- ja katurakentaminen on vuosittain yhdessä ylivoimaisesti suurin sektori, jonka perässä tulee talorakentamisen aluetyöt. Yhdyskuntateknikka, tietoliikenne, vesi- ja energiahuolto, muodostaa myös suuren alan yhdessä.

## 5.2 Investointien aiheuttamat päästöt

Eri hankkeiden aiheuttamia laskennallisia kokonaispäästöjä on vertailtu budjetteihin, minkä perusteella on saatu muodostettua arvioita päästöistä per euro.

Investointien aiheuttamien päästöjen suuruuksia on arvioitu osana Rapal Oy:n toteuttamaa tutkimusta, CO<sub>2</sub>-päästölaskennan pilotointi VT5 Nuutilanmäki-Vehmaa -hankkeessa. Tutkimuksessa tehtiin vertailua aikaisempien hankkeiden päästölaskentoihin ja samalla listattu tunnusluvut, kgCO<sub>2</sub>/€. Tutkimuksen vertailuhankkeet koostuivat pääosin tiehankkeista ja yhdestä ratahankkeesta, joiden päästöjen pohjalta laskettu keskiarvotunnusluku oli 0,37 kgCO<sub>2</sub>/€. Hankkeiden laskennat oli toteutettu vuosien 2013–2019 välillä. (Rapal Oy, 2019)

Julkisesti saatavilla olevia tilastoja hankkeista, joista on toteutettu sekä päästö- että kustannuslaskenta, on vielä vähän. Myös aineistot edustavat vain kapeaa osaa infra-rakentamisen osa-alueista. Etenkin tie- ja katuhankkeet korostuvat, myös ratahankkeita on muutamia. (Rapal Oy, 2019)

## 5.3 Kokonaispäästöjen suuruus investointien perusteella

Päästölaskentaa saatiin tehtyä, mutta vain hyvin karkealla tavalla. Koska päästökertoimien pohjana toimineet hankkeet rajautuivat tie- ja ratahankkeisiin, päästökertoimen paikkansapitävyydestä muiden hankkeiden suhteen ei ole näyttöä. Tämän lisäksi tarjolla oli vain pieni määrä hankkeita päästökertoimen muodostamista varten, minkä takia kertoimen luotettavuus ei ole välttämättä hyvä.

Koska kunnossapidosta aiheutuvat päästöt poikkeavat investoinneista aiheutuvista ja päästökertoimien pohjana toimineet hankkeet eivät sisältäneet korjaushankkeita, laskettiin päästöjen suuruus pelkille investoinneille. Investoidulle eurolle käytettiin päästökertoimena keskiarvotulosta 0,37 kg CO<sub>2</sub>/€. Tämän perusteella laskettiin hiilidioksidipäästöjen suuruus taulukossa 14.

**Taulukko 14** Investointimäärien perusteella lasketut arviot Suomen infrarakentamisen päästöistä

	Investoinnit 2020 [milj. €]	Päästökerroin [kg CO <sub>2</sub> e/€]	Päästöt [kg CO <sub>2</sub> e]	Päästöt [kt CO <sub>2</sub> e]
<b>Kaikki osa-alueet</b>	7 030	0,37	2 601 100 000	<b>2 601</b>
<b>Tie-, katu- ja ratarakentaminen</b>	2 325	0,37	860 250 000	<b>860</b>

Taulukon 14 laskennan perusteella koko infrarakentamisen investointien päästöiksi saatiin 2601 kt CO<sub>2</sub>/vuosi. Mikäli päästöt laskettiin pelkille tie- ja ratahankkeiden investoinneille, päästömääräksi saatiin 860 kt CO<sub>2</sub>/vuosi. Koska päästökerroin perustui lähinnä tie- ja ratahankkeisiin, tie-, katu- ja ratarakentamisen investoinneilla saatua tulosta voidaan pitää tarkempänä kuin koko infrarakentamisen investointien pohjalta laskettua päästöä.

Tuloksia tulkitessa täytyy huomioida, ettei lukuja ole suhteutettu indeksiin. Kustannukset ovat alttiita suhdanteiden heilahteluihin, mitä voitaisiin vähentää sitomalla kustannukset johonkin indeksiin. Tätä ei kuitenkaan toteutettu laskennassa, koska ei ollut varmuutta oliko päästökertoimenä toimineissa hankkeissa kustannukset jo sidottu johonkin.

Investointimääristä lasketut päästömäärät ovat vain karkeita arvioita, sillä päästökertoimen määrittelyyn käytettyjen hankkeiden määrä on hyvin pieni. Tämän työn tarkastelun perusteella tuloksia voidaan pitää kuitenkin alustavasti potentiaalisina ja lisätutkimusta tarvitsevinä, sillä suuruusluokaltaan ne ovat lähellä materiaalimenekin pohjalta laskettua päästöarviota 2210 kt CO<sub>2</sub>e/vuosi. Paremmalla ja kattavammalla lähtöaineistolla voi olla mahdollista saavuttaa todenmukaisempia tuloksia.

## **6 Rakentamis- ja kunnossapitomääriin perustuva päästölaskenta**

### **6.1 Päästölaskentaa varten tarvittava tieto**

Rakentamismääriin perustuvassa päästölaskennassa, päästöjen määrä lasketaan perustuen todellisiin rakentamismääriin. Laskenta voidaan toteuttaa joko käyttäen todellisia materiaalimenekkejä tai perustuen arvioihin ja yleistyksiin, mitä materiaaleja jonkin rakenteen, esimerkiksi 1 km maantietä, rakentaminen vaatii. Esimerkiksi Liikenneviraston toteuttamissa tien- ja radanpidon sekä vesiliikenteen päästöselvityksissä, keskimääräiset materiaali- menekit perustuivat todellisten case-esimerkkien tuloksiin (Hagström, et al., 2011). Toinen tapa olisi laskea kokonaispäästöt rakentamisen todellisten materiaalikulutusten avulla. Joka tapauksessa päästölaskentaa varten tarvittaisiin tietoa infrarakentamisen osa-alueiden rakentamis- ja kunnossapitomääristä.

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi tämän työn alussa aloitettua lähtötietoaineiston keräämistä. Kappaleissa myös avataan tarkemmin, miksei Suomen infrarakentamisen päästöjä lähdetty laskemaan tässä työssä rakentamis- ja kunnossapitomääriin perustuen.

### **6.2 Tilastoinnin tila**

Tilastointien taso oli vaihtelevaa ja joiltain osin täysin puutteellista. Rakentamisen ja kunnossapidon tilastoista vastasivat usein sen toteuttava organisaatio eli valtio, kunta tai yksityinen toimija. Tämän takia tietoa oli harvoin kootusti saatavilla, vaan se oli hajautettu. Erityisesti suurten kokonaisuuksien käsittelyssä, kuten koko Suomen rakentaminen, tiedon hajanaisuus tuotti suuria ongelmia. Tiedon hajanaisuuden lisäksi sen tilastointi oli vaihtelevalla tasolla, joskus tilastoitu, toisinaan ei.

#### **6.2.1 Valtion omaisuus**

Valtion omistamien ja hallinnoimien omaisuuden tilasta on keskimäärin hyvin tilastotietoa. Tilastokeskus kerää teiden sekä ratojen, metro, raitiotie ja rautatiet, pituuksista tietoa vuosittain. Vertaamalla eri vuosien pituustietoja, voidaan päätellä vuosittaisia rakentamismääriä. Tilastointitavasta johtuen uusien hankkeiden tiedot tulevat kuitenkin huomioiduksi tilastoissa vasta hankkeen valmistuttua, mikä on syytä huomioida rakentamismääriä arvioi- dessa. Kunnossapidon ja korjausrakentamisen määrät eivät puolestaan ole tilastoissa. (Tilastokeskus, 2021b) Tämän lisäksi Väylävirasto tekee

vuosittaisia selvityksiä siltojen rakentamisesta ja korjauksesta. (Väylävirasto, 2022a)

Yhdyskuntatekniikan osalta valtion energiaverkoista ja kaasuverkoista on riittävää tilastoa saatavilla. Energiaverkkojen osalta Energiavirasto ylläpitää tilastoa, mistä selviää vuotuisten ilma- ja maakaapeleiden pituustiedot. Kaasuverkosta vastaa taas Gasgrid joka osaa arvioida vuotuista rakentamis- ja korjausmäärää. (Energiavirasto, 2022)

Valtion tason tiedoissa ongelmaksi nousee tunnelit. Väylävirastolla oli esittäviä tunnelien rakentamisesta, jotain arvioita. Kunnossapidon osalta ei taas ollut tehty selvityksiä vuotuisista tarpeista. (Tirkkonen, 2022)

### **6.2.2 Kuntien omaisuus**

Kuntien on arvioitu vastaavan noin kolmasosan infrarakentamisen investoinneista ja kunnossapidosta. (Vainio & Nippala, 2021) Kuntien hallinnoiman infraomaisuuden tilastoinnin tilaa selvitettiin työn aikana haastatteluin sekä sähköpostikyselyllä. Kyselyyn valittiin suurimpia kaupunkeja ja kuntia, minkä perusteella se lähetettiin Helsingille, Espoolle, Vantaalle, Turulle, Tampereelle, Oululle ja Kuopiolle. Kyselyssä pyydettiin tietoja katujen, kevyen liikenteen väylien, puistojen, kunnallistekniikan, tonttien, siltojen ja tunnelien vuotuisista rakentamis- ja kunnossapitomääristä. Kyselyyn saatiin pääosin huonosti vastauksia, vain 4:ltä tuli jotain vastausta, joista 2 sisälsi määrätietoja. Kuntien lisäksi yritettiin myös lähestyä kuntaliiton edustajaa sähköpostilla, mutta asiaan ei saatu vastausta.

Tietojen saatavuus vaihtelee. Muutammat kunnat saivat kasaan tietoja joistain rakentamismääristään. Saadut tiedot kuitenkin vaihtelivat, eivätkä olleet kuntien välillä samoja. Osalla taas tietoja ei saatu kasaan, vaikka eri henkilöt yrittivät löytää asiasta tietäviä henkilöitä tai aineistoa.

Tiedot ovat monen eri henkilön hallinnassa. Aineistoa pyydetessä ilmeni, ettei kaupungeilla ollut kaikki tieto kootusti yhdessä paikassa. Usein eri tiedoista vastasi aina joku sen alan henkilö, mikä hidasti tiedonkeräystä.

### **6.2.3 Yksityinen omaisuus**

Yksityisen infraomaisuuden tilasta ei löydy pääosin ajantasaista tilastotietoa. Yksityiset toimijat vastaavat yli kolmasosasta infrarakentamisen investoinneista ja kunnossapidosta. (Vainio & Nippala, 2021) Yksityinen infraomaisuus on jakautunut hyvin monen tekijän kesken, joten mahdollisen tiedon löytäminen vaatisi myös paljon työtä.

Suurimpia yksityisomaisuuksia Suomessa on tiet. Yksityisteiden rakentamisesta ja kunnossapidosta ei kuitenkaan löydy ajantasaisia tilastoja, mikä vaikeuttaa arvioiden tekemistä. Yksityiseen tieomaisuuteen kuuluu myös yleensä tuulivoimapuistoja varten tehtävät tiestöt. Tuulipuistojen määrästä on saatavilla tietoa, mutta tilaston tarkkuus ei riitä puistoja varten tehtyihin teihin.

### **6.3 Nykyisen tilastoinnin aiheuttamat ongelmat päästölaskennalle**

Rakentamis- ja kunnossapitomääriin perustuvan päästölaskennan lähtökohdaksi tulisi olla hyvät lähtötiedot, jotta saataisiin tarkkoja tuloksia. Vaikka tietoa oli joistain osista saatavilla, tämän työn aikana huomatuksi tilastoinnin puutteet sekä taso aiheuttaisivat liian suuria haasteita sekä epätarkkuuksia päästölaskentaan. Tämän takia Suomen infrarakentamisen päästöjä ei laskettu perustuen rakentamis- ja kunnossapitomääriin.

Vaikka tietoa oli joistain osa-alueista hyvin saatavilla, etenkin kuntien ja yksityisen omaisuuden tietojen puutteet aiheuttaisivat suurta epävarmuutta kokonaispäästöihin. Aiemmissa tutkimuksissa tien rakentamista ja kunnossapitoa on pidetty yhtenä merkittävänä päästöjen lähteenä infrarakentamisessa. (Liljenström, et al., 2019) Tästä johtuen päästölaskennassa olisi tärkeää huomioida myös näistä aiheutuvat päästöt mahdollisimman tarkasti. Esimerkiksi Espoon kaupungilta saamien tietojen mukaan vuosien 2019 ja 2021 välillä on valmistunut keskimäärin noin 38 000 m<sup>2</sup> uutta ajorataa ja noin 43 000 m<sup>2</sup> uutta kevyenliikenteen väylää (Toomeoja, 2022). Tämä vastaisi noin 5,4 km kaksikaistaista alueellista kokoojakatua ja noin 10,7 km kevyen liikenteen väylää, kun kaistan leveytenä käytetään 3,5 m ja kevyen liikenteen 4,0 m (Espoo, 2010). Ottaen huomioon, että vain yhden kunnan rakentamismäärät olivat näin suuria, koko Suomen rakentamismäärät muodostuisivat todennäköisesti huomattaviksi. Koska vain muutamalta kunnalta olisi ollut saatavilla näin tarkkaa tietoa, koko Suomen rakentamismääräarvion tekeminen muutaman kuntien tietojen perusteella ei olisi mielekäästä, koska saatava arvio olisi hyvin epätarkka.

Kattavamman aineiston yhteen kokoaminen vaatisi paljon työtä ja aktiivista osallistumista eri osapuolilta, mikä ei ollut mahdollista tämän työn aikataulun puitteissa. Koska saatavilla ollut tieto oli hajautettu moneen eri lähteeseen, aineiston keräämiseen olisi tullut varata huomattavasti aikaa, mikäli haluttaisiin tutkia suuria kokonaisuuksia. Mahdollisimman kattavan aineiston saaminen voisi myös vaatia työn tekijältä aineiston muokkaamista. Mikäli kunnilla olisi tarjota tietoa vain vuoden aikana valmistuneista hankkeista tai kustannus pohjaista tietoa vuotuisista määristä, hankkeissa tehtyjen rakentamismäärien selvitys jäisi työn tekijän vastuulle.

Rakentamis- ja kunnossapitomääriin perustuvassa päästölaskennassa on hyvät puolensa, mutta sen ei tulisi perustua liikaa oletuksiin. Koska rakentamis- ja kunnossapitomääriin perustuva päästölaskenta vaatii usein oletusten tekemistä päästömääristä, myös rakentamis- ja kunnossapitomääristä tehtävät oletukset lisäisivät laskennan epätarkkuutta huomattavasti. Tämän takia Suomen infrarakentamisen kokonaispäästöjen laskentaa ei toteutettu tällä tavalla. On myös syytä pohtia rakentamis- ja kunnossapitomääräisen päästölaskennan soveltuvuutta laajemman aihepiirin päästölaskentoihin. Aineiston saatavuuden vaihtelevuuden takia, rakentamis- ja kunnossapitomääriin perustuva laskenta sopisi tällä hetkellä paremmin pienemmän aiheen päästölaskennalle, esimerkiksi yksittäisen kaupungin tai kunnan päästöjen laskentaan.



## 7 Suomen infrarakentamisen päästöt

### 7.1 Kokonaispäästöt

Tässä työssä arvioitiin Suomen infran rakentamisesta ja kunnossapidosta aiheutuvien vuotuisten hiilidioksidiekvivalenttipäästöjen määrää. Päästöjen suuruutta arvioitiin perustuen viimeisen viiden vuoden aikaisten tilastojen keskiarvojen sekä asiantuntijoiden antamien arvioiden perusteella. Laskennassa käytetyt päästökertoimet ovat työn liitteessä A. Tässä kappaleessa työn tuloksia verrataan aikaisempiin päästöselvityksiin sekä kartoitetaan infrarakentamisen päästöjen suhdetta muihin päästöihin verrattuna.

Tässä työssä kartoitettiin kolmen eri laskentamenetelmän mahdollisuuksia infrarakentamisen päästölaskentaan. Suomen infrarakentamisen päästöille laskettiin arvio perustuen vuotuisen materiaalimenekkiin. Laskennan perusteella kokonaispäästöarvioksi saatiin 2210 kt CO<sub>2</sub>e/vuosi, mikäli mukaan otetaan arvio laskennan ulkopuolisten materiaalien päästöistä. Ottaen huomioon laskennassa tehdyt oletukset sekä lähtötietoaineiston laatu, saatua päästöarviota 2210 kt CO<sub>2</sub>e/vuosi, voidaan pitää suuntaa antavana arviona.

Työssä tutkittu investointimääriin perustuva laskenta näytti puolestaan potentiaalia, sillä siitä saadut tulokset olivat suuruusluokaltaan vastaavia kuin materiaalimenekkiin perustuvassa laskennassa saadut tulokset. Kuitenkin laskennan lähtöaineiston määrästä ja laadusta johtuen, saatuja päästöarvioita ei voida pitää tarkkoina. Rakentamis- ja kunnossapitomääriin perustuen ei puolestaan saatu muodostettua tarkkaa päästölaskentaa.

Infrarakentamisen kokonaispäästöistä puhuttaessa olisi tärkeä huomioida rakentamisesta ja kunnossapidosta aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen lisäksi maankäytön muutoksesta aiheutuvat päästöt. Tässä työssä lasketussa Suomen infrarakentamisen päästöarvioissa ei ole huomioituna maankäytön muutoksista aiheutuvia päästöjä. Maankäytön muutoksista aiheutuvat päästöt ovat kuitenkin merkittäviä, sillä rakennettujen alueiden aiheuttamien päästöjen suuruus oli vuonna 2021 700 kt CO<sub>2</sub>e (Ympäristöministeriö, 2022a). Vaikka luku sisältääkin myös muutakin kuin pelkkää infrarakentamista, edes jo osa luvusta tekisi siitä yksiä suurimpia päästöaiheuttajia verrattuna tämän työn materiaalikohtaisiin päästöihin. (Ympäristöministeriö, 2022a)

Tämän työn ja Tiekartta-selvityksen materiaalipäästöissä on suuria eroja, mutta eroille löytyy syitä. Taulukossa 15 verrattiin tämän työn materiaali-päästöjä Tiekartta-selvityksen päästöjen kanssa. Tulosten perusteella melkein kaikkien materiaalien päästöt olivat merkittävästi suuremmat kuin

Tiekartta-selvityksessä. Suuremmat päästöt selittyvät osin tämän työn laajemmalla rajauksella. Kun tässä työssä katettiin koko infrarakentaminen, Tiekartta-selvityksessä oli mukana vain osa infrarakentamisen kategorioista. Kokonaisuudessaan tämän työn päästöt olivat 58 % suuremmat. Betonin, muovin ja teräksen päästöerot olivat jollain tasolla linjassa kokonaispäästöjen eron kanssa. Sen sijaan muiden materiaalien kohdalla oli havaittavissa todella suuria tai pieniä eroja. Suurin poikkeus on kiviaineskäytön kohdalla. Ero johtuu todennäköisesti siitä, että Tiekartta-selvityksessä kiviaineskäytön päästölaskenta perustui pitkälti Väyläviraston materiaalitilastoon, joka kattaa vain joitain Väyläviraston hankkeita. Kun taas tässä työssä kiviaineskäyttö perustui Kiviainesraporttiin. Myös muiden materiaalien ero oli merkittävä, mikä voisi selittyä Tiekartta-selvityksen suppeammalla materiaalis-  
tauksella. Betonin muita materiaaleja maltillisempi ero johtui todennäköisesti Tiekartta-selvityksen todellista laajemmasta rajauksesta. Vaikka sillat ja tunnelit eivät olleet laskennassa virallisesti mukana, ainakin betonin käytön osalta Tiekartassa olleet kulutusarvot olivat vastaavat, mitä tässä työssä käytetyt, ja ne sisälsivät myös siltojen ja tunneleiden betoninkäytön. Työkone/työmaatoiminnot kategorioita puolestaan laskettiin molemmissa töissä hyvin pitkälti samalla tavalla, mistä johtuu lopputulosten pieni ero. Myös kuljetuksen kohdalla käytettiin samaa lähtötietoaineistoa. (Gaia Consulting Oy, 2020a)

**Taulukko 15** Materiaalipäästöjen vertailu tämän työn ja Tiekartta-selvityksen tulosten välillä (Gaia Consulting Oy, 2020a)

	Päästö määrä		Päästöjen muutos Tiekartta-selvitykseen verrattuna
	Tiekartta-selvitys [kt CO <sub>2</sub> e/vuosi]	Tämä työ [kt CO <sub>2</sub> e/vuosi]	
<b>Asfaltti</b>	76	314	313 %
<b>Betoni</b>	356	451	27 %
<b>Kiviainekset</b>	1	140	13 900 %
<b>Muovi</b>	81	120	48 %
<b>Teräs</b>	46	68	48 %
<b>Kuljetus</b>	264	299	13 %
<b>Työkone/työmaatoiminnot</b>	492	525	7 %
<b>Muut materiaalit yhteensä</b>	86	292	240 %
Alumiini	62	-	
Öljy	2	-	
Lasi	4	-	
Metalli	16	-	
Kupari	2	-	
Keventeet	-	16	
Stabiloinnin sideaineet	-	57	
Muut materiaalit	-	219	
<b>Kokonaispäästöt</b>	1402	2210	58 %

Taulukon 15 tulosten erot olisivat voineet johtua myös rakentamisajankohdasta. Vuotuisia materiaalimenekkejä tarkastellessa huomattiin kuitenkin, että Tiekartta-selvityksessä laskettu vuoden 2017 menekit olivat hyvin lähellä tässä työssä käytettyjä viiden vuoden keskiarvomenekkejä. (Gaia Consulting Oy, 2020a) Näin ollen tutkimusten lopputulosten erot eivät johdu siitä, että vuonna 2017 olisi rakennettu keskimääräistä vähemmän tai enemmän.

Tämän työn tulosten vertaileminen suoraan Liljenströmin et al. (2019) ja Karlsson et al. (2020) tutkimusten kanssa ei onnistu, koska tämän työn päästöarviot olivat esitetty vain materiaalikohtaisesti. Tästä huolimatta, tuloksia voidaan kuitenkin vertailla karkeasti ja pohtia onko suuruusluokissa keskenään samankaltaisuutta. Koska Ruotsissa liikenneinfrastruktuuri on kokonaisuudessa suurempi kuin Suomessa, myös päästöjen voidaan olettaa olevan suuremmat. Osana Väylävisio 2025–2050 selvitystä on listattuna Suomen ja Ruotsin tie- ja rataverkkojen eroja. Selvityksen mukaan Suomen tieverkon pituus on 80 % ja rataverkon 54 % Ruotsin vastaavista. (Destia Oy, 2022) Mikäli Liljenströmin et al. tutkimuksen päästöt suhteutettaisiin näiden prosenttimäärien perusteella, kuvan 4 mukaan lasketut tien ja radan päästöt olisivat yhteensä noin 1814 kt CO<sub>2</sub>e/vuosi Suomen tie- ja ratapituuksille (Liljenström, et al., 2019). Tässä työssä saadut päästöt ovat tähän verrattuna merkittävästi pienemmät. On kuitenkin huomioitava, että Ruotsissa tie- ja ratakilometriä kohden käytetään kaksinkertaisesti rahoja Suomeen verrattuna (Destia Oy, 2022). Tämä tarkoittaa todennäköisesti siis merkittävässä määrin enemmän rakentamista sekä kunnossapitoa, minkä takia Ruotsin päästöjen pohjalta lasketut arviot Suomen päästöistä ovat todennäköisesti yläkanttiin. Nämä asiat huomioiden, tämän työn lopputulos ei näyttäkään enää merkittävästi poikkeavalta verrattuna Liljenströmin et al. (2019) tutkimukseen.

Infrarakentamisen päästöjen suuruudesta saa käsityksen, kun niitä vertaa muiden sektoreiden päästöihin. Taulukkoon 16 koottiin joitain Suomessa olevien sektoreiden päästömääriä ja keskimääräisen henkilön hiilijalanjälkiä, joihin tämän työn tuloksia verrattiin. Suomen infrarakentamisen päästöt vastaisivat siis noin 220 tuhannen suomalaisen henkilön vuosikulutuksen päästöjä. (Ympäristöministeriö, 2022b) Energiateollisuuden tai liikenteen päästöihin verrattuna infrarakentamisen päästöt olisivat noin viidesosan näistä (Ympäristöministeriö, 2022a). Energiateollisuutta sekä liikennettä on pidetty suurina päästölähteinä, joten niihin verratessa infrarakentamisen päästöjä voidaan pitää merkittävinä. Vertailussa on muistettava, että osa infran päästöistä on myös liikenteen päästöjä, mikä aiheuttaa liikenteen päästöjen kanssa vertaillaessa pientä päällekkäisyyttä.

**Taulukko 16** Erilaisia vuotuisia verrokkipäästöjä Suomessa

Kategoria	Päästö	Lähde
Suomalaisen henkilön vuotuisen kulutuksen hiilijalanjälki	0,01 kt CO <sub>2</sub> e	(Ympäristöministeriö, 2022b)
Liikenteen päästöt, 2022	10 300 kt CO <sub>2</sub> e	(Ympäristöministeriö, 2022a)
Energiateollisuuden päästöt, 2022	11 800 kt CO <sub>2</sub> e	(Ympäristöministeriö, 2022a)

## 7.2 Pohdintaa päästölaskennasta

Infrarakentamisen päästöjen laskennan ohella, tässä työssä pystyttiin arvioimaan eri päästölaskentatapojen toteuttamiskelpoisuuksia nykyisillä tiedoilla sekä päästölaskentaan liittyviä haasteita. Eri päästölaskentatavoilla on omat hyvät puolensa, mutta niihin liittyy myös haasteita.

Päästökertoimia on hyvin saatavilla ja se mahdollistaa jo nykyisellään kattavan päästölaskennan toteuttamista. Infrarakentamisen päästötietokanta tarjoaa monipuolisesti eri päästökertoimia, mikä helpottaa menekkitietojen yhteensovittamista päästökertoimien kanssa.

Suurimmaksi ongelmaksi päästölaskennan kannalta työn aikana nousi esille jatkuvasti tiedon saatavuus tai sen laatu. Kuten oli jo ennalta tiedossa, infrarakentamisesta ja -kunnossapidosta oli huonosti tilastotietoja saatavilla. Tämän lisäksi saatavilla ollut tieto oli monen eri toimijan hallinnoimaa (valtio, kunta, yksityinen) sekä usein ei julkisesti löydettävissä, mikä hidasti tutkimustyötä. Huonon julkisen tiedon saatavuuden vuoksi yhteyshenkilöt nousivat työn kannalta merkittäväksi tekijäksi. Oikeiden yhteyshenkilöiden löytäminen tuotti haasteita ja vastausten saaminen ei ollut taattua. Sähköpostitse toteutetut kyselyt eivät aina saaneet vastausta, vaikka yhteyttä yritettiin ottaa muutamaan kertaan. Kuitenkin vastanneet pystyivät usein tarjoamaan tietoja, joita ei ollut internetistä löydettävissä.

Suurten kokonaisuuksien päästölaskennan tuloksien, kuten Suomen infrarakentamisen, olisi syytä olla mahdollisimman monipuolisesti jaoteltavissa. Esimerkiksi rakentamisen osa-alueittain ja materiaaleittain jakautuneet päästötiedot olisivat informatiivisempia lukijalle kuin vain toisen näistä esittäminen. Tällä hetkellä näiden molempien jaotteluiden toteuttaminen samanaikaisesti olisi kuitenkin haastavaa ja työlästä, johtuen nykyisestä tilastoinnista.

Materiaalimenekkiin perustuvalla laskennalla voidaan päästä hyvin lähelle todellista päästömäärää, koska tilastoidut materiaalimenekit olivat usein todellisia menekki- tai tuotantomääriä. Tätä voidaan pitää

materiaalimenekkilaskennan ehdottomana hyvänä puolena. Nykyisellä materiaalimenekkitiedolla ei kuitenkaan saada selville rakentamisen osa-aluekohtaisia päästöjä, koska tilastoissa ei ole tietoa menekin jakautumisesta eri rakentamisen osa-alueiden kesken. Osa-aluekohtainen päästöjaottelu tekisi lopputulosten tulkinnasta helpompaa. Tällöin voidaan laskentojen avulla saada ilmi paremmin eri osa-alueiden osuuksia kokonaispäästöistä.

Rakentamis- ja kunnossapitomääriin perustuvalla päästölaskennalla olisi mahdollista saada eroteltua rakentamisen osa-aluekohtaiset päästöt. Usein kuitenkin tässä päästölaskentamenetelmässä itse päästölaskenta on perustunut olettamuksiin, kuinka paljon materiaalia kuluu minkäkin tekemisiin. Näin ollen tulosten todenmukaisuus riippuisi vahvasti tehdyistä olettamuksista. Laskenta voidaan myös tehdä toteutuneiden hankkeiden määräluetteloiden perusteella, mutta työmäärä voi tällöin kasvaa hyvin suureksi. Tämä tapa vaatii myös kattavaa määrää valmistuneiden hankkeiden tietoa.

Investointimäärien perusteella tehtävä päästölaskenta tarvitsisi vielä tuekseen laajempaa tutkimuspohjaa. Tällä hetkellä hankkeista saatavilla oleva päästöjen ja kustannusten suhde on vielä liian kapeaa ja keskittynyt tiettyyn rakentamisen osa-alueisiin, minkä johdosta laajojen johtopäätelmien teko ei vielä onnistu. Investointimääriin perustuva laskenta voisi toimia mahdollisesti tulevaisuudessa karkeana päästölaskentana, kun halutaan saada nopeasti suuntaa antavaa arviota päästöjen suuruudesta.

Suomen infrarakentamisen päästölaskenta on oikeaan suuntaan menossa, mutta tarkkuuden parantamiseksi on vielä tehtävä töitä. Päästölaskennan olisi hyvä pohjautua mahdollisimman yksityiskohtaiseen materiaalimenekkiin, joka olisi jaoteltavissa rakentamisen osa-aluekohtaisesti, jotta voidaan saavuttaa tarkin mahdollinen lopputulos ja informatiivisin tulos. Päästötietokannan laaja kattavuus antaa jo nyt hyvät eväät päästölaskennan toteuttamiseksi. Tulevaisuudessa, mikäli hyvän päästötietokannan rinnalla saadaan tilastointia parannettua ja yhtenäistettyä sekä luotua yleisiä päästölaskennan periaatteita, päästölaskennan yleinen vertailtavuus ja tekeminen parantuu huomattavasti.

Lyhyellä aikavälillä päästölaskennan tarkkuuden parantuminen voi kasvattaa tai vähentää näennäisesti infrarakentamisen päästöjä. Mikäli lähtöarvojen tarkkuus parantuu sekä laskennan oletukset vähenevät, on mahdollista, että laskennalliset päästöt muuttuvat tämän työn tuloksista. Nämä eivät kuitenkaan välttämättä indikoi itse infrarakentamisessa tapahtuneista todellisista päästömuutoksista.

Infrarakentamisen päästöt tulevat todennäköisesti vähentymään tulevaisuudessa materiaalien ja liikenteen päästövähennystoimien myötä. Lyhyellä aikavälillä mahdollisesti infrarakentamisen lisääntyminen voi näkyä kasvavina

päästöinä, mutta pitkällä aikavälillä päästövähennystoimien voidaan nähdä olevan merkittävämmät kuin rakentamisen lisääntymisen aiheuttamat päästöt. Infrarakentamisen päästöjen vähentämiseksi on jo nyt esillä tapoja, joiden tuloksia on mahdollisesti nähtävissä jo lähitulevaisuudessa. Esimerkiksi liikenteen päästöjen vähentämiseksi on listattu toimia ja kehityskulkua Ympäristöministeriön julkaisussa yleisellä tasolla. Liikenteen päästöjen vähentämisellä on myös suora yhteys infrarakentamisen päästöihin kuljetuksen sekä työmaatoimintojen kautta. (Ympäristöministeriö, 2022b) Liikenteen lisäksi rakennusmateriaalienkin päästöjen vähentämisestä on ilmassa merkkejä. Osana Suomirata-hankkeen ilmastopäästöjen arviointia tehtiin myös tarkasteluja mahdollisten tulevaisuuden vähäpäästöisten vaihtoehtojen vaikutuksista hankkeeseen. Arvioinnissa nousi ilmi, että jo tiedossa olevilla toimilla on oletettavissa sementin ja teräksen päästöjen merkittävää vähentymistä. (Kolis, et al., 2022) Tämän lisäksi myös materiaalien parempi uusiokäyttö ja kierrätys tulevat vähentämään uudismateriaalien tarvetta, ja näin ollen vähentämään päästöjä (Ympäristöministeriö, 2022b).

### **7.3 Jatkotutkimusaiheita**

Infrarakentamisen päästöjen selvitys on vasta alkuvaiheessa, joten jatkotutkimusta aiheesta tarvitaan. Aihepiirin laajuudesta ja tiedon saatavuudesta johtuen, kapeamman rajauksen tutkimukset olisivat tärkeitä.

Infrarakentamisen osa-alueista tarvitaan tarkempaa selvitystä. Mahdollisia tämän työn tuloksia tukevia jatkotutkimusaiheita olisi kartoittaa yksittäisistä rakentamisen osa-alueista aiheutuvat päästöt. Kapeamman rajauksen ansiosta oletuksien tekeminen olisi helpompaa, sillä voitaisiin ottaa huomioon paremmin siihen liittyvät erityispiirteet. Diplomityön aikataulu sopisi myös paremmin kapeamman rajauksen tutkimukselle, koska aineiston keräämiseen voidaan käyttää tällöin suhteessa enemmän aikaa.

Toinen jatkotutkimusta tarvitseva aihe olisi euromääräisen päästölaskennan mahdollisuuksien tarkempi selvitys. Investointeihin perustuva laskenta antoi potentiaalisia tuloksia, joiden voitiin päätellä vastaavan materiaalimekaniikkaan perustuneen laskennan tuloksia. Tämä tapa vaatisi kuitenkin kattavampaa tutkimusta luotettavien johtopäätösten vetämiseksi. Jatkuvasti lisääntyvä toteutuneiden hankkeiden päästötieto antaa myös paremmat eväät toteuttaa tutkimusta investointipohjaisesta päästölaskennasta.

## 8 Yhteenveto

Tämän työn tarkoituksena oli saada arvio Suomen infrarakentamisen vuotuisen hiilidioksidiekvivalenttipäästöjen suuruudesta. Työtä varten määriteltiin infrarakentamiseen kuuluvat osa-alueet sekä tutkittiin, millaista tietoa vuotuisesta rakentamisesta ja kunnossapidosta oli saatavilla. Tutkimusmenetelmää valittaessa eri päästölaskennan menetelmiä kartoitettiin sekä arviointiin niiden toteuttamisen mahdollisuuksia. Työn aikaisten havaintojen sekä lopputulosten pohjalta tehtiin myös pohdintaa, millä tavoin päästölaskentaa tulisi toteuttaa jatkossa.

Infran rakentamisen- ja kunnossapidon määristä löytyi vaihtelevasti tietoa. Kattavaa päästölaskentaa tällä hetkellä oli mahdollista toteuttaa tilastoinnista johtuen vain materiaalimenekkiin perustuen. Materiaalitulastoinnissa oli kuitenkin huomattavia puutteita sekä epätarkkuuksia. Rakentamis- ja kunnossapitomäärien tilastoinnin tarkkuus ei puolestaan nykyisellään riittänyt koko Suomen infrarakentamisen päästöjen laskentaa varten. Investointimäärienkään perusteella ei voitu vielä laskea luotettavasti Suomen infrarakentamisen kokonaispäästöjä. Investointimääriin perustuva laskenta nähtiin kuitenkin potentiaalisena vaihtoehtona, joka tarvitsisi lisää tutkimusta.

Suomen infrarakentamisen hiilidioksidiekvivalenttipäästöjen suuruus saatiin laskettua materiaalimenekkiin pohjautuvan päästölaskennan avulla. Infrarakentamisen vuotuisiksi päästöiksi saatiin 2210 kt CO<sub>2</sub>e/vuosi. Johtuen lähtötietojen tarkkuudesta sekä laskennan aikana tehdyistä oletuksista, saatua lopputulosta voidaan pitää suuntaa antavana arviona. Verrattuna Tiekartta-selvityksen lopputulokseen, tämän työn kokonaispäästöarvio oli 58 % suurempi kuin Tiekartta-selvityksessä. Osasyinä suurempaan lopputulokseen olivat tässä työssä ollut laajempi aihepiirin raja- ja paikoitellen toisistaan poikenneet lähtötietoaineistot.

Tulevaisuuden infrarakentamisen päästölaskennan olisi hyvä pohjautua materiaalimenekkeihin, jotta kaikki rakentamisen ratkaisut tulisivat parhaiten huomioitua. Jatkamalla vähintään nykyisen kaltaisen materiaalitulastoinnin ylläpitoa, voidaan saada laskettua jatkossakin infrarakentamisen vuotuisista päästöistä suuntaa antavia arvioita. Laskennan tarkkuuden parantamisen sekä helpottamisen vuoksi olisi kuitenkin tärkeää edistää tilastoinnin lisäämiseen sekä yhtenäistämiseen tähtääviä toimenpiteitä. Jotta tulosten analysointi sekä johtopäätösten tekeminen olisi helpompaa, tulisi tulevaisuuden infrarakentamisen päästölaskennan tuloksia jaotella materiaalikohtaisen lisäksi myös rakentamisen osa-aluekohtaisesti. Tämä voidaan mahdollistaa paremmin jaoteltujen tilastojen avulla tai parempien oletusten avulla.

Päästölaskenta laajemmin on vasta yleistymässä infrarakentamisessa ja sen huomaa aiheeseen perehtyessä. Kehitys on kuitenkin menossa oikeaan suuntaan, sillä laskennan haasteena ei ole enää luotettavien päästökertoimien saatavuus. Tulevaisuuden päästövähennystoimenpiteiden toimivuuden tarkkaileminen tulee vaatimaan säännöllisesti tehtävää infrarakentamisen päästölaskentaa. Jotta saadaan vähennettyä päästölaskennan oletuksia sekä parannettua tuloksia, tulee alan materiaalimenekkien tilastointia parantaa sekä yhtenäistää johdonmukaisesti.



## Lähteet

Betoniteollisuus ry, 2022. Yhteenvetotaulukot. [verkkoaineisto]. [viitattu 5.1.2023]. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-alasta-2/suhdanteetilastot/yhteenvetoteulukot/>

Betoniteollisuus ry, 2023a. Jäsensyrytykset. [verkkoaineisto]. [viitattu 12.1.2023]. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-alasta-2/tietoa-jarjestosta/jasensyrytykset/>

Betoniteollisuus ry, 2023b. Kiviaines. [verkkoaineisto]. [viitattu 16.1.2023]. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/kiviaines/>

Destia Oy, 2022. Modernit pääväylät-kilpailukykyinen Suomi, Väylävisio 2025-2050, Infra ry, EK, Keskuskauppakamari, SAK, SKAL, Suomen Tieyhdistys.

Energiavirasto, 2022. Verkkotoiminnan julkaisut. [verkkoaineisto]. [viitattu 18.11.2022]. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-julkaisut>

Espoo, 2010. Katupoikkileikkausten suunnitteluohjeet, Espoo: Espoon kaupunki Tekninen keskus.

Fan, H., 2017. A critical review and analysis of construction equipment emission factors. *Procedi Engineering*, 6, Osa/vuosikerta 196, S. 351-358. ISSN 1877-7058.

Foamit, 2023. Foamit F60 tuotekortti. [verkkoaineisto]. [viitattu 20.1.2023]. Saatavissa: [https://foamit.fi/wp-content/uploads/2021/03/foamit\\_tuotekortti\\_infra\\_210x270\\_25022021\\_lowres.pdf](https://foamit.fi/wp-content/uploads/2021/03/foamit_tuotekortti_infra_210x270_25022021_lowres.pdf)

Forsman, J., 2023. Ramboll, haastattelu [Haastattelu] (7.3.2023).

Gaia Consulting Oy, 2020a. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 Osa 1., Helsinki: Rakennusteollisuus.

Gaia Consulting Oy, 2020b. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035. Osa 4., Helsinki: Rakennusteollisuus.

Green Building Council Finland, 2020. Vähähiilisyiden sanakirja - vähähiilisen rakentamisen ja kiinteistöliiketoiminnan terminologia, Green Building Council Finland.

Hagström, M., Illman, J., Pesola, A., Vanhanen, J. & Gilbert, Y., 2011. Tien- ja radanpidon hiilijalanjälki, Helsinki: Liikennevirasto. 90 s. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 38/2011. ISBN 978-952-255-701-8

Häkkinen, T., Pesu, J., Siiskonen, S.-T. & Vares, S., 2022. Infrarakentamisen kansallinen päästötietohanke, Helsinki: Väylävirasto. 59 s. Väyläviraston julkaisuja 11/2022. ISBN 978-952-317-947-9

Illman, J., Kumpulainen, A., Pesola, A. & Vanhanen, J., 2012. Merenkulun ja liikenteen hiilijalanjälki, Helsinki: Liikennevirasto. 77 s. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 21/2012. ISBN 978-952-255-165-8

Infra ry, 2023. Asfaltin massatilastot 2021, Infra ry.

Jaakola, S., 2020. Infrastruktuurirakentamisessa käytettävien muovilaatujen korvaaminen kierrätettävyydeltään ja hiilijalanjäljeltään paremmilla valinnoilla. Helsinki, Helsingin kaupunki. 73 s. Kaupunkiympäristön julkaisuja 27/2020. ISBN 978-952-331-827-4

Karlsson, I., Toktarova, A., Rootzen, J. & Odenberger, M., 2020. Technical roadmap Buildings and transport infrastructure, s.l.: Mistra Carbon exit.

Kivi, E., 2021. Pohjanvahvistusmenetelmät Suomessa: käyttömäärät ja hiilijalanjälki. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Hattula. 100 s.

Kolis, P., Koutonen, H., Hallipelto, M. & Dettenborn, T., 2022. Suomiradan hankevaihtoehtojen rakentamisen aikaisten ilmastopäästöjen arviointi, Vantaa: Suomi-rata Oy. 37 s.

Kuusipuro, K., 2023. Nordkalk, sähköpostitiedonanto [Haastattelu] (19.1.2023).

Kärhä, V., 2023. Muoviteollisuus ry, sähköpostitiedonanto [Haastattelu] (19.1.2023).

Laine, A., 2022. Gaia Consulting, haastattelu [Haastattelu] (26.9.2022).

Laine, S., 2023. KIVI ry, sähköpostihaastattelu [Haastattelu] (7.3.2023).

Liikennevirasto, 2014. Panospohjaisen CO<sub>2</sub>-laskennan pilotointi väylähankkeessa. Helsinki: Liikennevirasto. 37 s. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 18/2013. ISBN 978-952-255-443-7

Liikennevirasto, 2018. Syvästabiloinnin suunnittelu. Helsinki: Liikennevirasto. 128 s. Liikenneviraston ohjeita 17/2018. ISBN 978-952-317-588-4

Liljenström, C., Toller, S., Åkerman, J. & Björklund, A., 2019. Annual climate impact and primary energy use of Swedish transport infrastructure. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 19(2). doi: 10.18757/ejtir.2019.19.2.4378.

Luhanka, J., 2023. Rakennusteollisuus ry [Haastattelu] (24.2.2023).

Mattila, J., 2022. Betoniteollisuus ry, Sähköpostitiedonanto [Haastattelu] (22.12.2022).

Muoviteollisuus ry, 2023. Muoviteollisuus ry - muovituotteita valmistavien yritysten etujärjestö. [verkkoaineisto]. [viitattu 20.1.2023]. Saatavissa: <https://www.plastics.fi/fin/organisaatio/>

Nippala, E., 2022. Inframarkkina ja kiviaineskäyttö Suomessa 2022-2023, Tampere: Eero Nippala.

Nippala, E., 2023. Haastattelu [Haastattelu] (4.1.2023).

Nordkalk, 2021. Stabiloinnin sideaineet ja tilastomäärät 1985-2020, Nordkalk.

Paavola, M., 2022. Uusioaines Oy, sähköpostitiedonanto [Haastattelu] (27.12.2022).

Pöyry, 2019. VALTARI-Allianssi, Elinkaariarviointiraportti (LCA), Pöyry.

Pöysti, M., 2022. Leca Finland Oy, Sähköpostitiedonanto [Haastattelu] (30.12.2022).

Rapal Oy, 2019. CO<sub>2</sub>-päästölaskennan pilotointi VT5 Nuutilanmäki-Vehmaa-hankkeessa, Espoo: Rapal Oy.

Riihimäki, M., 2022. Forecon, Sähköpostitiedonanto [Haastattelu] (29.12.2022).

SFS-EN 15643, 2021. Sustainability of construction works: Framework for assessment of buildings and civil engineering works, Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 39 s.

SFS-EN 17472, 2021. Sustainability of construction works - Sustainability assessment of civil engineering works, Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 87 s.

Sitra, 2018. Mitä nämä käsitteet tarkoittavat?. [verkkoaineisto]. [viitattu 27.10.2022].

Saatavissa: <https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarkoittavat/>

SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022. Infrarakentamisen päästötietokanta. [verkkoaineisto]. [viitattu 3.4.2023].

Saatavissa: <https://co2data.fi/infra/>

Säämänen, T., 2022. Väylävirasto, sähköpostihaastattelu [Haastattelu] (1.12.2022).

The Norwegian EPD Foundation, 2021. Leca-sora 0-32 mm, NEPD-3160-1803-EN, Oslo: The Norwegian EPD Foundation.

Tilastokeskus, 2021a. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2020, Helsinki: Tilastokeskus. 110 s. ISBN 978-952-244-671-8

Tilastokeskus, 2021b. Suomen tilastollinen vuosikirja 2021. Helsinki: Tilastokeskus. 390 s. ISBN 978-952-244-681-7

Tilastokeskus, 2022a. Tilastokeskus, Ilmastopäästöt toimialoittain. [verkkoaineisto]. [viitattu 9.11.2022].

Saatavissa:

[https://pxweb2.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_\\_tilma/statfin\\_tilma\\_pxt\\_11ig.px/table/tableViewLayout1/](https://pxweb2.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__tilma/statfin_tilma_pxt_11ig.px/table/tableViewLayout1/)

Tilastokeskus, 2022b. K119b -- Kotimaan kuorma-autoliikenteen suoritteet tavaralajeittain, 2011-2021. [verkkoaineisto]. [viitattu 2.1.2023]. Saatavissa: [https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_\\_kttav/statfin\\_kttav\\_pxt\\_119b.px/](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__kttav/statfin_kttav_pxt_119b.px/)

Tilastokeskus, 2023a. Toimialaluokitus 2008. [verkkoaineisto]. [viitattu 27.3.2023]. Saatavissa:

[https://www2.stat.fi/fi/luokitukset/toimiala/toimiala\\_1\\_20080101/code/42/](https://www2.stat.fi/fi/luokitukset/toimiala/toimiala_1_20080101/code/42/)

Tilastokeskus, 2023b. Polttoaineluokitus 2022. [verkkoaineisto]. [viitattu 20.3.2023]. Saatavissa: [https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.html](https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html)

Tirkkonen, T., 2022. Väylävirasto, haastattelu [Haastattelu] (18.10.2022).

Toomeoja, V., 2022. Espoon Kaupunki, Sähköpostihaastattelu [Haastattelu] (16.12.2022).

Tähkänen, M. & Tähtinen, L., 2021. Katsaus kiinteistö- ja rakennusalan ilmastokestävyyden nykytilaan, Green Building Council Finland.

Uusioaines Oy, 2013. Foamitista on moneen ja monenkokoiseen. Foamit-lehti, 11, p. 11.

Vainio, T. & Nippala, E., 2013. Infrarakentamisen rakenne ja kehityksen ennakointi, VTT. 40 s.

Vainio, T. & Nippala, E., 2021. Rakentamisen yhteiskunnalliset vaikutukset-kalvosarja, VTT.

Vares, S., 2022a. INFRA betoni R01.01, Suomen Ympäristökeskus, SYKE.

Vares, S., 2022b. Luonnonkivi- ja luonnonkivituotteet, Suomen Ympäristökeskus, SYKE.

Vares, S., 2022c. Muovituotteet ( versio 13.9.2022), Suomen ympäristökeskus, SYKE.

VTT, 2021. LIPASTO, TYKO 2020. [verkkoaineisto]. [viitattu 4.1.2023]. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/tyko/index.htm>

Väylävirasto, 2022a. Väyläviraston sillat 31.12.2021, Helsinki: Väylävirasto. 103 s. Väyläviraston julkaisuja 53/2022. ISBN 978-952-317-991-2

Väylävirasto, 2022b. infrarakentamisen vähähiilisyden arviointimenetelmä (Luonnosversio 1.2 23.11.2022), Helsinki: Väylävirasto.

Ympäristölupalautakunta, 2019. Etelä-Suomen aluehallintovirastolle Uusioaines Oy:n ympäristölupahakemuksesta annettava, Ympäristölautakunta.

Ympäristöministeriö, 2022a. Ilmastovuosikertomus 2022, Helsinki: Ympäristöministeriö. 118 s. Ympäristöministeriön julkaisuja 2022:24. ISBN 978-952-361-068-2

Ympäristöministeriö, 2022b. Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma, Helsinki: Ympäristöministeriö. 202 s. Ympäristöministeriön julkaisuja 2022:12. ISBN 978-952-361-262-4

## A Päästökerroinluettelo

Materiaaliluokka	Tuote/Materiaali	Päästökerroin	Yksikkö	Versio	Lähde
<b>Asfaltti</b>	Asfaltti, AA	0,05	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Asfaltti, ABK	0,045	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Asfaltti, PAB	0,045	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Asfaltti, SMA	0,052	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Asfaltti, VA	0,053	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
<b>Betoni</b>	betonikaivo, kartiorengas, EK, Ø = 800/600 mm, h = 500 mm	0,146	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Betonikivi h=80 mm	25,5	kg CO2e/m2	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Betonikivi h=100 mm	30,9	kg CO2e/m2	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	betoniputki 1000 mm, Br, l = 2000–2250 mm, pyöreä	0,159	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Betoniratapölkky, tyyppi BP99	58,7	kg CO2e/kpl	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Teräsbetoninen lyöntipaalu RTB-300-16	36,5	kg CO2e/m	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	valmisbetoni, C35/45 P30	330	kg CO2e/m3	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)

<b>Keven-teet</b>	Leca-sora	100,3	kg CO2e/m3		(The Norwegian EPD Foundation, 2021)
	Vahtolasi	58,93	kg CO2e/m3		(Foamit, 2023)
<b>Kiviai-nekset</b>	Luonnonsora 0/150	0,004	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Murske, kalliomurske, KaM 0/32	0,006	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	reunakivi, graniitti 220 x 270 mm, S220, Kiina	0,43	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
<b>Muovi</b>	Kuitu, muovikuitu, PP	2,49	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Putki, maaviemäri 110 mm, PVC, 6M, SN8	2,12	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Putki, vesijohtoputki 160 mm, PVC, PN10	2,31	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Routalevy, EPS	2,9	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Routalevy, XPS	2,6	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Rumpuputki 160/140 mm x 6 m, PE, SN4, sis. jatkoalkki	2,41	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Suodatinkangas, käyttöluokka N1	1,99	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
<b>Stabi-loinnin sideai-neet</b>	Kalkki-sementti KC50	0,844	kg CO2e/kg	01.00.001	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	sementti, Pika, CEM I 52,5 R	0,739	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Poltettu kalkki	1,1	kg CO2e/kg		(Kivi, 2021)
	Sementti	0,3	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Uusioaines, GTC	0,232	kg CO2e/kg		(Nordkalk, 2021)



<b>Teräs</b>	teräspalkki, HEB 360 mm, 142 kg/m	2,5	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	harjateräs, A 500 HW	0,56	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	jänneteräs, punos 10 kpl 9,3 mm	1,00	kg CO2e/kg	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
<b>Kuljetus</b>	Maansiirtoautot 32 t, 80 %, maantieajo	0,061	kg CO2e/tkm	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Puoliperävaunuyhdistelmä 40 t, 50 %, maantieajo	0,082	kg CO2e/tkm	01.00.000	(SYKE, Suomen ympäristökeskus, 2022)
	Dieselöljy	54,6	t CO2/TJ		(Tilastokeskus, 2023b)
	Moottoribensiini	65,5	t CO2/TJ		(Tilastokeskus, 2023b)