



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Tommi Saxman

Päästöttömät työmaat infratyömaan näkökulmasta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinööriytyö

1.3.2020

Tekijä Otsikko	Tommi Saxman Päästöttömät työmaat infratyömaan näkökulmasta
Sivumäärä Aika	54 sivua 1.3.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine	Infrarakentaminen
Ohjaajat	Projekti-insinööri Niko Lehikoinen, Metropolia AMK Tulevaisuusjohtaja Riina Rantsi, GRK Kalustopäällikkö Mikko Härkin, GRK
<p>Tämä insinööriytyö tehtiin GRK:n toimeksiannosta, jossa tutkittiin, miten päästöttömät työmaat -sopimus tulee vaikuttamaan infratyömaihin ja millaiset vaikutukset sillä tulee olemaan kustannuksiin. Insinööriytyön tavoitteena on selvittää, millä menetelmillä infratyömaille voidaan vähentää päästöjä sekä millaiset vaikutuksen niillä on itse infratyömaihin.</p> <p>Tutkimuksessa tarkastellaan uusiutuvien polttoainevaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia sekä selvitetään, kuinka paljon päästöt vähenevät siirryttäessä fossiilisesta polttoaineesta uusiutuvaan polttoaineeseen infratyömaille. Tavoitteena oli tutkia, kuinka paljon vähäpäästöisen työmaan rajoitukset kasvattivat kustannuksia.</p> <p>Tutkittavina kohteina olivat erilaiset päästövähennystekniikat, kuten sähkö ja maakaasulla toimivat työkoneet, erilaiset polttoainevaihtoehdot, työkoneiden käytön tehostaminen, vihreän sähkön hyödyntäminen, vihreän betonin hyödyntäminen ja päästöjen kompensointi hiilinielujen avulla.</p> <p>Vähäpäästöinen työmaa Case-hankkeessa: Sompasaaren urakka osa 4, selvitettiin, kuinka paljon lähi- ja hiilidioksidipäästöjä työmaalla pystyttiin vähentämään käyttämällä uusiutuvaa dieseliä fossiilisen dieselin sijasta. Samalla selvitettiin, kuinka paljon vähäpäästöisen työmaan rajoitukset tulisivat nostamaan kustannuksia koko hankkeen ajalta. Case-hankkeesta selvitettiin myös, kuinka paljon työmaa tulee aiheuttamaan hiilidioksidipäästöjä koko hankkeen ajalta, sekä kuinka paljon hankkeen hiilidioksidipäästöjen kompensoiminen tulisi kustantamaan.</p> <p>Insinööriytyön lopputuloksena voidaan todeta, että päästöttömät työmaat -konseptin rajoitukset koskien fossiilisen dieselin korvaamista uusiutuvalla dieselillä sekä työkoneiden ja kuljetuskaluston päästörajoitusten tiukentamista ovat loistava asia työmaan työntekijöiden sekä mahdollisten lähiasukkaiden kannalta, sillä rajoitusten takia hengitysilmä paranee koneiden läheisyydessä. Rajoituksilla on myös merkittävä positiivinen vaikutus ympäristöön, koska hiilidioksidipäästöt vähenevät merkittävästi. Päästöttömät työmaat -konsepti tulee vaikuttamaan kustannuksiin huomattavasti, mutta ei kohtuuttomasti, suhteutettuna rajoitusten tuomaan hyötyyn nähden.</p>	
Avainsanat	Päästötön työmaa, vähäpäästöinen työmaa, uusiutuva diesel

Author Title Number of Pages Date	Tommi Saxman Emission-Free Worksites from the Perspective of Infrastructure Construction Site 54 pages 1.3.2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Environmental Construction
Instructors	Niko Lehikoinen, Project Engineer, Metropolia UAS Riina Rantsi, Chief Future Development Officer, GRK Mikko Härkin, Equipment Manager, GRK
<p>This thesis was assigned by GRK and it examines how emission-free worksites agreement will affect to infrastructure construction sites and how it will affect to expenses. The objective of this thesis is to resolve how to reduce emissions with different methods and how these methods will affect the worksites.</p> <p>The study examines the advantages and disadvantages of renewable fuel alternatives and examines how much emissions are reduced when switching from fossil fuels to renewable fuels at infrastructure construction sites. The aim of the study was to find how much the constraints on the low-emission site increased costs.</p> <p>The methods studied included various emission reduction technologies, such as electric and natural gas-powered work machines, different fuel options, more efficient use of work machines, utilization of green electricity, utilization of green concrete and compensation of emissions with carbon sinks.</p> <p>At the low-emission site Case project: Sompasaari contract part 4, it was investigated how much local and carbon dioxide emissions could be reduced at the site by using renewable diesel instead of fossil diesel. In addition, it was determined how much the restrictions of the low-emission site would raise costs for the entire duration of the project. It was also determined from the case project how much carbon dioxide will be emitted by the site for the entire duration of the project, as well as how much it would cost to offset the project's carbon dioxide emissions.</p> <p>As a result of this thesis, it can be said that the limitations of the emission-free worksite concept regarding the replacement of fossil diesel with renewable diesel and the tightening of emission limits for work machines and transport equipment are a great measure from the employee's as well as any nearby residents' point of view. Due to limitations, the breathing air improves in the vicinity of the machines. Restrictions also have a significant positive impact on the environment, as carbon dioxide emissions are significantly reduced. The emission-free sites concept will have a significant, but not unreasonable, impact on costs in relation to the benefits of the constraints.</p>	
Keywords	Emission-free sitework, low-emission sitework

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tavoitteet	1
2	Green deal	3
2.1	Mikä on Green deal?	3
2.2	Mitä ovat Green deal -sopimukset	3
2.3	Päästöttömät työmaat sopimus	4
3	Infratyömaiden tavat vähentää päästöjä	8
3.1	Pakokaasupäästöjen vakavuus	9
3.2	Työkoneet ja kuljetuskalusto	11
3.2.1	Uudet polttomoottorit	11
3.2.2	Vety, biokaasu ja täyssähköiset moottorit	13
3.2.3	Työkoneiden käytön tehostaminen	16
3.2.4	Pienemmät akkukäyttöiset työkoneet	16
3.3	Uusiutuvat polttoaineet	17
3.3.1	Biodiesel	18
3.3.2	Uusiutuva diesel	18
3.3.3	Biokaasu	20
3.3.4	Vety	21
3.4	Vihreä sähkö	22
3.5	Hiilinielut ja päästökompensaatio	24
3.5.1	Metsien merkitys hiilinieluna	24
3.5.2	Työmaan mahdollisuudet vaikuttaa	26
3.6	Vihreä betoni	27
4	Päästövähennykset ja niiden vaikutukset kustannuksiin	31
4.1	Sompasaaren vähäpäästöinen työmaa	31
4.2	Päästölaskelmat	33
4.2.1	Euro ja Stage -päästöluokkien vertailua	34
4.2.2	Polttoaineiden vertailua	37
4.2.3	Teräsbetonoinnin päästöt	41
4.3	Kustannukset	43

4.3.1	Hiilinielu	44
5	Johtopäätökset	46
6	Yhteenveto	48
	Lähteet	49

Lyhenteet ja termit

Case-tutkimus	Tapaustutkimus, jossa tutkitaan yksittäistä tapahtumaa tai rajattua kokonaisuutta
Euro-päästöluokitus	Euro-luokituksella säädellään ajoneuvojen terveydelle haitallisten päästöjen enimmäismäärää
Hankintayksikön työmaat	Hankintayksikön kilpailuttamia urakoita ja palveluita tai työmaita, joissa hankintayksikkö on itse päätoteuttajana
Kasvihuonekaasupäästöt	Kaasu, joka estää ilmakehässä maanpinnasta heijastuvan auringon pääsyn takaisin avaruuteen, jonka seurauksena maapallon lämpötila kohoaa maan pinnalla. Ilmakehässä esiintyy luonnostaan kasvihuonekaasuja, mutta ihmisten toiminta on lisännyt niiden pitoisuutta, jonka seurauksena ilmasto lämpenee.
Lähipäästöt	Polttomoottorissa syntyvät, paikallisesti ympäristöön ja terveyteen vaikuttavat pakokaasupäästöt, kuten hiilivedyt, pienhiukkaset, typen oksidit ja hiilimonoksidi
Pilotti-hanke	Tarkoittaa kokeilua, testiä ja harjoitusta, jonka avulla voi oppia uutta.
Regenerointi	Hiukkassuodattimen puhdistus
Stage-päästöluokitus	Liikkuvien työkoneiden pakokaasupäästöjä säädellään Stage-luokituksella.

1 Johdanto

1.1 Tausta

Opinnäytetyö tehdään GRK Infra Oy:lle. GRK konserni on Suomen kolmanneksi suurin infrarakentaja, joka taitaa vaativimmatkin infrarakennushankkeet, joihin kuuluu mm; Vekarasalmen silta, Länsimetro 2 sekä Luulajan silta. GRK konserni on levittäytynyt Suomen ulkopuolelle Ruotsiin sekä Viroon ja työllistää lähes 800 henkilöä.⁵

Kiristyvät päästömääräykset ympäri maata ovat asettaneet rakennustyömaat tarkkailun kohteeksi. Infratyömaalla suurimpia päästölähteitä ovat työkoneet, kuljetukset työmaille, työmailta ja työmaalle sekä sähköön käyttö. Näiden toimien ongelmana on, että ne tuottavat ympäristölle haitallisia kasvihuonekaasuja, terveydelle ja ympäristölle haitallisia paikallispäästöjä sekä pölyä ja melua. Infratyömaiden sijainti on myös usein erittäin ongelmallinen, sillä ne sijoittuvat monesti vilkkaiden kävelykatujen sekä asetusten läheisyyteen, missä työkoneiden tuottamat pienhiukkaset ja typenoksidit sekä koneiden tuottama pöly huonontavat ilmanlaatua.¹

Pääkaupunkiseudulla sekä Turussa on otettu rakennustyömaat tiukemman tarkkailun kohteeksi päästöttömät työmaat -sopimuksella. Sopimuksen tarkoituksena on lähteä leikkaamaan työmaiden tuottamia päästöjä, ja tavoitteena on työmaiden fossiilittomuus vuoden 2025 loppuun mennessä. Päästöjä voidaan vähentää monilla eri tavoilla ja tarkoituksena on löytää järkeviä sekä taloudellisia ratkaisuja infratyömaan näkökulmasta.²

Suurimpia tarkkailun kohteita infratyömailla ovat uusiutuvat polttoaineet, koneiden ikä ja niiden päästoluokitukset, työkoneiden ja kuljetuskaluston päivittäminen sähkö, vety tai biokaasukäyttöisiksi sekä korvaamalla työmailla fossiilisilla polttoaineilla tuotettu sähkö ja lämmitys esimerkiksi uusiutuvista energialähteistä peräisin olevalla sähköllä tai kaukolämmöllä.¹

1.2 Tavoitteet

Opinnäytetyön lähtökohtana on päästöttömät työmaat – Kestävien hankintojen Green deal -sopimus. Sopimuksen vaatimat ilmastotavoitteet ovat tämän tutkimuksen keskei-

sintä ydintä, ja tämän takia tutkimuksen tavoitteena on selvittää, millä tavoin infratyömailla voidaan vähentää päästöjä sekä millaiset vaikutuksen niillä on itse infratyömaihin.

Tutkimuksessa tarkastellaan pakokaasupäästöjen vakavuutta ihmisten terveydelle, sekä selvitetään, millä erilaisilla keinoilla vakavien lähipäästöjen määrää voidaan infratyömaiden toimesta vähentää. Uusiutuvat polttoaineet ovat tuore innovaatio päästöjen alentamiseksi, jonka takia työssä tarkastellaan uusiutuvien polttoainevaihtoehtojen hyviä sekä huonoja puolia ja selvitetään, kuinka paljon päästöt vähenevät siirryttäessä fossiilisesta polttoaineesta uusiutuvaan polttoaineeseen infratyömailla.

Päästöjen supistaminen ei tule ilmaisena ja tutkimuksessa on tarkoitus tarkastella, mikä on tämän kaiken päästöttömyyden hinta infratyömaalle. Täysin tarkkaa hintatietoa päästöttömyydestä infratyömaalle on kuitenkin erittäin hankala laskea, koska jokainen infratyömaa on hyvin erilainen verrattuna toisiinsa, kuten käytettävät työkoneet, työkoneiden määrä, hankkeilla käytettävät materiaalit ja työn tehokkuus, joten tarkastelun kohteeksi rajataan uusiutuvien polttoaineiden vertailu fossiilisiin polttoaineisiin sekä tavat, kuten hiilinielut, vihreä sähkö ja vihreä betoni. Työkoneiden ja kuljetuskaluston kustannuksia arvioidaan karkeassa suuruusluokassa.

Tarkastelun kohteeksi on valittu Sompasaaren urakka osa 4, jossa on käytössä vähäpäästöinen työmaapilotointi. Työmaalla käytetään uusiutuvaa dieseliä sekä uusiutuvaa sähköä. Työkoneiden tulee täyttää normaalia tiukemmat päästökriteerit, jonka takia lähipäästöt vähenevät merkittävästi työmaan läheisyydessä. Tavoitteena on selvittää työkoneista sekä kuljetuskalustosta aiheutuvien lähi- ja hiilidioksidipäästöjen määrä hankkeena aikana ja arvioida, kuinka paljon vähäpäästöisen työmaan rajoitukset kasvattavat kustannuksia.

2 Green deal

2.1 Mikä on Green deal?

Green deal on Euroopan komission käynnistämä vihreän kehityksen ohjelma. Se on laaja ja kunnianhimoinen toimenpidepaketti, jolla tähdätään, että Eurooppa olisi ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä. Tavoitteena on siis vähentää merkittävästi päästöjä, rahoittaa huippututkimusta ja innovaatioita sekä säilyttää Euroopan luonnonympäristö.⁴

EU:n tavoitteet ja toimet:

- Irtautua hiilestä energia-alalla (75 % EU:n kasvihuonepäästöistä peräisin energian tuotannosta ja käytöstä).
- Tukea teollisuuden innovointia, jotta se saavuttaa kansainvälisen johtoaseman vihreässä taloudessa (vain 12 % Euroopan teollisuuden käyttämistä materiaaleista on kierrätettyjä).
- Parantaa rakennusten energiatehokkuutta (40 % energiankulutuksestamme on peräisin rakennuksista)
- Otetaan käyttöön halvempia, puhtaampia ja terveyden kannalta parempia yksityis- ja joukkoliikennemuotoja (25 % EU:n päästöistä aiheuttaa liikenne).⁴

Green deal vaikuttaa monin tavoin Suomeen ohjelmaan kuuluvilla lainsäädäntöehdoituksilla. Suomi on luonut oman kunnianhimoisen tavoitteen olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä, ja täten on luotu Green deal -sopimuksia, joilla tätä tavoitetta lähdetään saavuttamaan.⁴

2.2 Mitä ovat Green deal -sopimukset

Green deal on vapaaehtoinen sopimus valtion ja elinkeinoelämän tai kuntasektorin välillä. Sopimuksen tarkoituksena on edistää kiertotaloutta ja ilmastonmuutoksen hillintää sekä sen avulla on tarkoitus etsiä ratkaisuja ilmastohaasteiden selvittämiseksi että

kiertotalouden edistämiseksi Suomessa. Yhdessä kirjoitettujen sopimusten avulla tehostetaan lainsäädännön toimeenpanoa tai tarvittaessa täydennetään lainsäädäntöä.³

Green deal -sopimuksilla saavutetaan melko nopeasti näkyviä tuloksia ja sopimuksiin voidaan asettaa lainsäädäntöä ankarampia tavoitteita sekä toteuttaa tiettyjen tavoitteiden saavuttaminen ilman lisäsääntelyä. Sopimuksen allekirjoittaneet sitoutuvat kunnianhimoisiin ja seurattavissa oleviin tavoitteisiin, joilla tähdätään ympäristön ja yhteiskunnan kannalta merkittäviin vaikutuksiin. Sopimusten etuna on niiden nopea valmistelu verrattuna lainsäädännön valmisteluun ja toimenpiteisiin voidaan ryhtyä näin ollen nopeammalla aikataululla heti sopimusneuvotteluiden päätyttyä ja sopimuksen allekirjoittamisen jälkeen.³

Erilaisia Green deal -sopimuksia laaditaan erilaisten tarpeiden mukaan. Sopimuksia on laadittu muovikassien vähentämisestä, purkujätteen parempaan kierrättämiseen sekä tämän tutkimuksen ydinalueeseen, eli päästöttömät työmaat – Kestävien hankintojen Green deal -sopimus. Jokainen sopimuksen aihealue on tarkoitettu rajata suppeasti, jotta sopimuksen hyöty on mahdollisimman suuri ja tavoitteet tulevat selkeästi esille.³

2.3 Päästöttömät työmaat sopimus

Syyskuussa 2020 kirjoitettiin vapaaehtoinen Green deal -sopimus työmailla syntyvien päästöjen vähentämiseksi. Sopimusta olivat allekirjoittamassa ympäristöministeriö, Senaatti-kiinteistöt sekä Turun, Espoon, Helsingin ja Vantaan kaupungit. Sopimuksen tavoitteena on saada hankintayksikön työmaat fossiilittomiksi vuoteen 2025 mennessä, sekä vuoteen 2030 mennessä puolet työkoneista ja työmaan kuljetuksista toimisi sähköllä, vedyllä tai biokaasulla.¹



Kuva 1. Vuoteen 2025 mennessä työkoneiden tulee käyttää työmailla uusiutuvia polttoaineita.

Sopimuksen avulla aiotaan uusia kalustoa työmailla, jotta käytössä olisi koko ajan puhtaampia ja energiatehokkaampia työkoneita sekä kuljetuskalustoa. Sopimuksessa otetaan vahvasti kantaa myös siihen, millä polttoaineella työkoneet toimivat. Vanhat fossiililla polttoaineella toimivat työkoneet ovat erittäin pitkäikäisiä ja siksi työkoneiden elinikää halutaan jatkaa käyttämällä uusiutuvia polttoaineita ja tätä kautta saadaan pudotettua kasvihuonekaasupäästöjä merkittävästi.¹

Tärkeimpänä asiana on saada sopimuksen pohja kuntoon, jotta virallisten hankkeiden alkaessa asiakirjat on testattu toimiviksi ja niistä ei löydy virheitä, ja tämän takia pääkaupunkiseudulla on useita vähäpäästöisen työmaan pilottihankkeita käynnissä. Pilottihankkeista kerätään mahdollisimman paljon tietoa, kuten polttoaineen kulutusta, sähkönkulutusta, toteutuneita materiaalivirtoja sekä tyhjäkäyntirajoituksia. Pilottihankkeiden kokemukset tukevat sopimuksen tavoitteisiin pääsemistä jakamalla tietoa hankkeiden seurannasta, kalustoluettelosta sekä hankintakriteereistä.^{7,8}

Sopimuksen tavoite on pitkäjänteisesti vähentää päästöjä työmailla julkisten hankintojen avulla ja koska tavoitteet ovat noin 10 vuoden päässä, sopimukseen on kirjoitettu välitavoitteita. Välitavoitteita voidaan päivittää ja lisätä johtoryhmän yhteisellä päätöksellä. Päivityksen tarve voi olla esimerkiksi tiedon lisääntyminen tai päästöjen vähentämistä koskevat muutokset, uusien konetyyppien täydentäminen tai teknisien ja uusien käytäntöjen kehitys.¹

Välitavoitteita ovat:

Vuoden 2021 kesäkuun loppuun mennessä:

- Päästötön työmaa -konsepti, seurantajärjestelmä ja ensimmäiset yhteiset hankintakriteerit on luotu.
- Viimeistään tavoiteajankohdan jälkeen solmituissa hankintasopimuksissa on määritettävä, että hankintayksikköjen työmailla käytettävät työkoneet ovat päästöiltään vähintään Stage IIIB ja kuorma-autot Euro V tasoa tai puhtaampia.

Vuoden 2022 loppuun mennessä:

- Viimeistään tavoiteajankohdan jälkeen solmituissa hankintasopimuksissa päästötön työmaa -konsepti on otettu käyttöön sopimuksen määritelmän mukaisilla hankintayksikköjen työmailla.
- Hankintayksiköt ovat ottaneet käyttöön sopimuksen määritelmän mukaisen seurantajärjestelmän.
- Työmaat, joissa hankintayksikkö on itse päätoteuttajana ovat fossiilivapaita.
- Viimeistään tavoiteajankohdan jälkeen solmituissa hankintasopimuksissa on määritettävä, että hankintayksikköjen työmailla käytettävät työkoneet ovat päästöiltään vähintään Stage IV ja kuorma-autot Euro VI tasoa tai puhtaampia.

Vuoden 2025 loppuun mennessä:

- Hankintayksikön työmailla käytettävistä työkoneista, sekä työmaiden sisäisissä kuljetuksissa käytettävistä ajoneuvoista 100 prosenttia toimii fossiilivapilla polttoaineilla, joista vähintään 20 prosenttia toimii sähköllä, biokaasulla tai vedyllä.

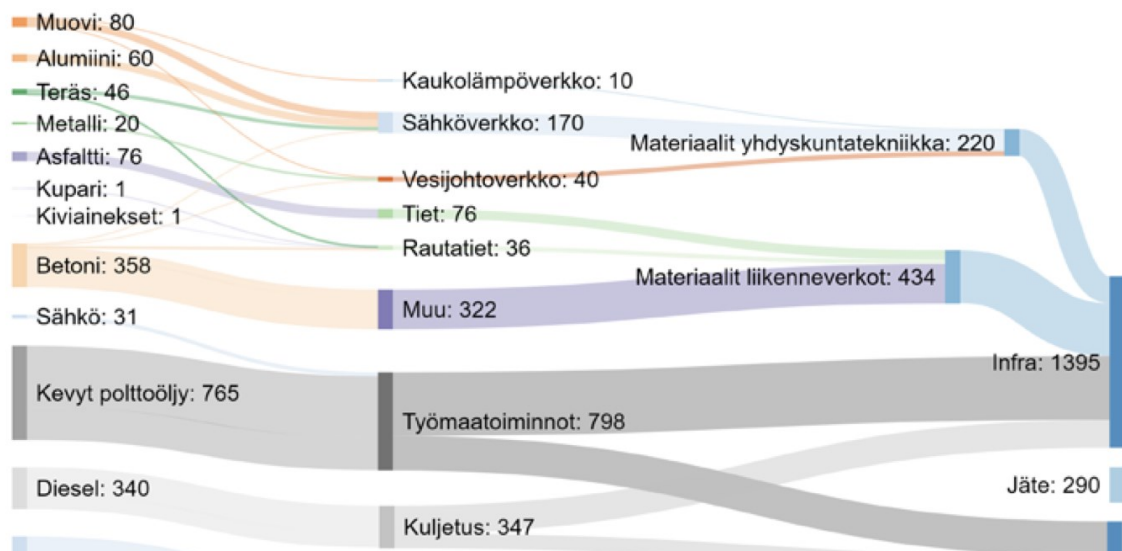
- Hankintayksikön työmaat ovat fossiilivapaita.

Vuoden 2030 loppuun mennessä:

- Hankintayksikön työmailla käytettävistä työkoneista, sekä työmaiden sisäisissä kuljetuksissa ja kuljetuksissa työmaille ja työmailta käytettävistä ajoneuvoista 100 prosenttia toimii fossiilivapailla polttoaineilla, joista lisäksi vähintään 50 prosenttia toimii sähköllä, vedyllä tai biokaasulla.
- Kaikissa kuljetuksissa työmaille ja työmailta käytettävät kuorma-autot ovat Euro VI tasoa tai puhtaampia.

3 Infratyömaiden tavat vähentää päästöjä

Green deal päästöttömät työmaat -sopimus on ottanut työmailla rakentamisen aikaiset päästöt tarkkailuun. Tässä tutkimuksessa päästöillä tarkoitetaan kasvihuonekaasupäästöjä, hiilidioksidipäästöjä, lähipäästöjä sekä moottorimelua. Kasvihuonekaasut pidättävät osan auringon lämmöstä ilmakehässä ja näin edistävät ilmaston lämpenemistä. Näihin kaasuihin kuuluvat luonnollisesti syntyvä vesihöyry, ja ihmisten aiheuttamat hiilidioksidi, metaani, otsoni ja dityppioksidi.⁵⁹ Lähipäästö on polttomoottorista pakokaasuina tulevaa ihmiselle sekä ilmastolle haitallista typen oksideita sekä pienhiukkasia.⁶⁰ Tässä tutkimuksessa ei oteta kantaa muihin infratyömaan tuottamiin päästöihin, kuten pölyyn. Päästöttömät työmaat -sopimuksella halutaan edistää vähäpäästöisempiä työmaita, ja sitä kautta tuottaa työntekijöille sekä lähiasukkaille puhtaampi ympäristö. Sopimuksen tavoitteet ovat erityisen kunnianhimoiset, joten tarvitaan jokaisen rakennusalan ammattilaisen täysi panostus, jotta omilla valinnoilla saadaan muutos aikaan.



Kuva 2. Infrarakentamisen elinkaaren hiilijalanjälki vuonna 2017 (ktCO₂).

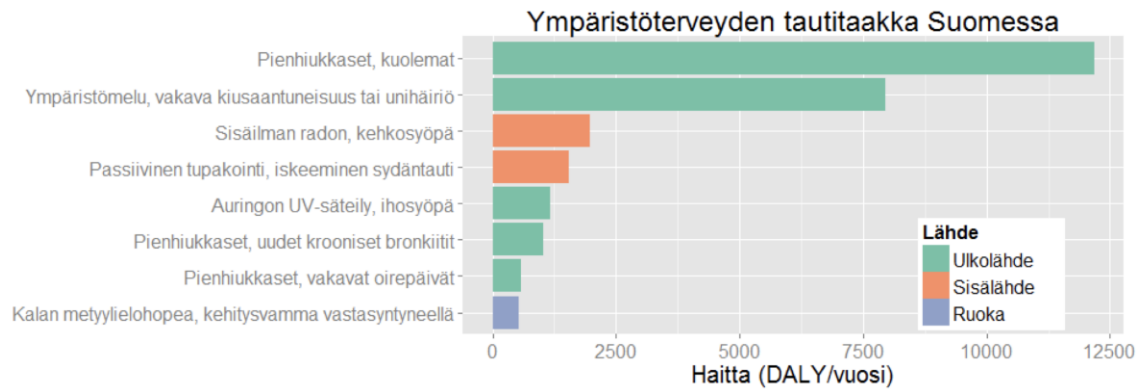
Infratyömailla päästöjä syntyy monista eri lähteistä, koska työmaat voivat olla hyvinkin erilaisia verrattuna toisiinsa. Työmaana voi olla esimerkiksi teiden asfaltointi, vesitorien rakentaminen, vesijohtoverkoston uusiminen tai sähköverkon lisääminen. Infra-hankkeilla onkin yhteistä niiden tarve raskaalle kalustolle ja monille erilaisille materiaaleille. Kuvassa 2 nähdään rakennusteollisuuden tekemä yksinkertaistettu laskelma infrarakentamisen elinkaaren tuottamista hiilidioksidipäästöistä vuonna 2017. Kuvasta 2

voidaan todeta infrarakentamisen moninaisuus, joka näkyy lukuisina eri päästöjen lähteinä. Laskelmista on kuitenkin jätetty huomioimatta monia infra-alan betonirakennelmia, kuten sillat. Rakennusteollisuuden laskelmien mukaan infrarakentaminen tuotti vuonna 2017 Suomessa noin 1,4 miljoonaa tonnia kasvihuonekaasupäästöjä.⁷¹ Määrää voi verrata koko Suomen kasvihuonekaasupäästöihin vuonna 2017, joka oli noin 56,1 miljoonaa hiilidioksiditonnia.⁷²

Urakoitsijat voivat kuitenkin vaikuttaa infratyömaidensa kasvihuonekaasu ja lähipäästöjen määrään. Koska fossiilinen polttoaine tuottaa yli puolet hiilidioksidipäästöistä infratyömailla,⁷¹ suurin tavoite on vähentää sen käyttöä investoimalla energiatehokkaampaan kalustoon, siirtymällä uusiutuvien polttoaineiden käyttöön ja tehostaa työkoneiden käyttöä.¹ Sähkön tarve tulee tulevaisuudessa kasvamaan työmailla, joten vihreän sähkön hyödyntäminen on oiva tapa vähentää urakoitsijan hiilijalanjälkeä. Päästöjen vähentäminen ei tule olemaan helppoa eikä halpaa, ja seuraavissa luvuissa käydäänkin tarkemmin läpi, ilmansaasteiden vakavuus sekä mitä mahdollisia keinoja päästöjen vähentämiseen ja kompensoimiseen on.

3.1 Pakokaasupäästöjen vakavuus

WHO:n tutkimusten mukaan merkittävin ympäristöperäinen ihmisten terveyteen vaikuttava tekijä ovat ilmansaasteet, jotka aiheuttavat ennenaikaisia kuolemantapauksia, olemassa olevien sairauksien pahenemista sekä lukuisia muita haitallisia vaikutuksia terveyden kuin talouden kannalta tarkasteltuna. Ilmansaasteet voivat olla peräisin luonnollisista lähteistä, kuten maaperän eroosiosta ja metsäpaloista, mutta ihmisten toiminnot, kuten pienpoltto, voimalaitosten tuottamat päästöt sekä liikenteestä ja teollisuudesta syntyvät päästöt lisäävät ilmansaasteita merkittävästi. ETC/ACC:n (European Topic Centre on Air and Climate Change) tutkimuksen mukaan hiukkasmaisille ilmansaasteille altistuminen aiheutti 2010-luvun alussa 455 000 ennen aikaista kuolemantapausta vuosittain EU:n alueella.⁸⁰



Kuva 3. Ympäristötekijöiden aiheuttama tautitaakka (DALY-arviot) Suomessa.

Kuvassa 3 on esitetty Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) selvitystä vuosilta 2012–2014 TEKAISU-hankkeessa, jossa kuvataan Suomen tautitaakkaa johtuen eri ympäristötekijöistä. DAYL-arvio tarkoittaa (Disability-Adjusted Life Year), haittapainotettua elinvuotta, joka muuntaa ennen aikaisten kuolemantapausten takia menetetyt elinvuodet ja sairauden takia menetetyt terveyden yhteismitalliseksi. Kuvasta 3 voidaan huomata pienhiukkasten sekä ympäristömelun vakavuus ihmisten terveydelle.⁸²

Infratyömailloilla työskentelee isoilla dieselmootoreilla varustettuja työkoneita sekä raskasta kuljetuskalustoa, joista kaikista syntyy palamisprosessissa pakokaasupäästöjä, eli lähipäästöjä sekä kasvihuonekaasupäästöjä. Dieselöljyn palaessa puhtaasti syntyy enimmäkseen vettä ja hiilidioksidia, mutta pakokaasussa on aina myös palamatonta polttoainetta. Dieselmootoreille tyypillisesti syntyy paljon typen oksideja (NO_x), kun ilman typpi reagoi hapen kanssa moottorin korkeassa lämpötilassa. Epätäydellisessä palamisessa dieselmootorissa muodostuu häkää (CO) sekä hiilivetyjä (HC). Polttomoottorin tuottamat pienhiukkaset (PM) syntyvät epätäydellisesti palaneesta tai palamatta jääneestä polttoaineesta.⁸⁰

Terveyshaittojen kannalta merkittävimmät kaasumaiset pakokaasupäästöt ovat typen oksidit, häkä sekä hiilivedyt. Hiilidioksidi ei ole terveydelle haitallinen pakokaasupäästö, mutta ilmastonlämpenemiselle sillä on merkittävä vaikutus. Pitkäkestoinen altistuminen typen oksideille voi vähentää keuhkojen toiminnallisuutta sekä lisätä riskiä saada keuhkoperäisiä oireita. Typen oksidin ikääntymisen ohessa muodostunut otsoni aiheuttaa riskiä sairastua astmaan, alentaa keuhkojen toiminnallisuutta sekä aiheuttaa keuhkosyöpäriksiä.⁸⁰

Häkä on itsessään hengenvaarallinen kaasu, mutta tuulettuvassa ulkoilmassa häkä ei muodosta merkittävää terveyshaittaa. Tunnelirakentamisessa, jossa ilmanvaihto on heikkoa, pakokaasuina syntyvä häkä muodostuu nopeasti terveydelle vaaralliseksi kaasuksi. Pakokaasuina syntyvät hiilivedyt on tunnistettu aiheuttavan syöpää ja niiden tiedetään aiheuttavan perimävaurioita useilla eri tavoilla. Hiilivedyt takertuvat pakokaasuissa pienhiukkasten pinnalle, josta ne kulkeutuvat hengitysilmaan.⁸⁰

Infratyömaiden työkoneiden ja raskaan kuljetuskaluston tuottamat päästöt ovat merkittävä terveyshaitta läheisille työntekijöille sekä työmaiden lähiasukkaille. Pakokaasupäästöjen aiheuttaman terveyshaitan takia onkin erittäin tärkeää suosia työmailla tiukimman päästörajoituksen omaavia työkoneita sekä kuljetuskalustoa, esimerkiksi Stage IV ja Euro V. Euro VI -moottoreiden päästöjen terveyshaittoja selvittäessä tutkimuksessa todettiin, että modernien luokitusten dieselmootoreiden päästömäärät olivat dramaattisesti alhaisempia kuin vanhoissa päästöluokituksen moottoreissa. Modernien dieselmootoreiden tiukentuneet päästömääräykset ovat johtaneet merkittävien terveyshaittojen katoamiseen, koskien etenkin syövän syntyä.⁸⁰

3.2 Työkoneet ja kuljetuskalusto

3.2.1 Uudet polttomoottorit

Työkoneet ja kuljetuskalusto ovat yksi oleellisimmista asioista infratyömailla, koska ne mahdollistavat raskaiden tavaroiden ja maamassojen siirtämisen paikasta toiseen tehokkaasti. Työkoneiden ja kuorma-autojen ongelma on kuitenkin se, että ne tuottavat käytön aikana pakokaasuina ilmastolle haitallista hiilidioksidia ja lähellä oleskeleville haitallisia lähipäästöjä. Raskaankaluston pakokaasupäästöt ovat myös yleensä suuremmat, kuin henkilöautojen. Kallis ratkaisu ongelmaan olisi pitää kalusto mahdollisimman päivitettyinä, jolloin koneista tulisi puhtaampia pakokaasuja tiukempien päästörajoitusten takia.¹⁰

Taulukko 1. Euro-päästöluokitukset kuorma- ja linja-autoille.

Luokitus	Käytössä	Häkä	Hiilivety g/kWh	Typenoksidit	Pienhiukkaset
Euro I	10.1992	4.5	1.1	8.0	0.36
Euro II	10.1998	4.0	1.1	7.0	0.15
Euro III	10.2000	2.1	0.66	5.0	0.10
Euro IV	10.2005	1.5	0.46	3.5	0.02
Euro V	10.2008	1.5	0.46	2.0	0.02
Euro VI	01.2013	1.5	0.13	0.40	0.01

Työkoneissa ja kuorma-autoissa käytetään päästöluokittelussa nimityksiä Stage ja Euro. Euro-luokituksella tarkoitetaan päästöjen enimmäisrajoitusta, joka säätelee ajoneuvojen terveydelle haitallisten pakokaasujen, kuten hään, typenoksidien, pienhiukkasten ja hiilivetyjen määrää, kuten nähdään taulukosta 1. Mitä suurempi Euro-luokka, sitä puhtaammat pakokaasupäästöt ovat. Päästörajoituksia tiukennetaan noin viiden vuoden välein. Liikkuvien työkoneiden pakokaasupäästöjä säädellään Euro-luokkaa muistuttavalla Stage-luokituksella, kuten nähdään taulukosta 2. Ainoana erotuksena Stage-luokituksessa verrattuna Euro-luokitukseen on, että siinä rajoitetaan myös ammoniakkipäästöjä viimeisimmissä vaiheissa (Stage III – V).³⁸

Taulukko 2. Stage-päästöluokitukset työkoneille.

Luokitus	Nettoteho kW	Käytössä	Häkä	Hiilivety g/kWh	Typenoksidit g/kWh	Pienhiukkaset	Hiilivedyt + typenoksidit
Stage I	130 ≤ P ≤ 560	1/1999	5,0	1,3	9,2	0,54	
Stage I	75 ≤ P ≤ 130	1/1999	5,0	1,3	9,2	0,70	
Stage II	130 ≤ P ≤ 560	1/2002	3,5	1,0	6,0	0,2	
Stage II	75 ≤ P ≤ 130	1/2003	5,0	1,0	6,0	0,3	
Stage III A	130 ≤ P ≤ 560	1/2006	3,5	-	-	0,2	4,0
Stage III A	75 ≤ P ≤ 130	1/2007	5,0	-	-	0,3	4,0
Stage III B	130 ≤ P ≤ 560	1/2011	3,5	0,19	2,0	0,025	
Stage III B	75 ≤ P ≤ 130	1/2012	5,0	0,19	3,3	0,025	
Stage IV	130 ≤ P ≤ 560	1/2014	3,5	0,19	0,4	0,025	
Stage IV	56 ≤ P ≤ 130	10/2014	5,0	0,19	0,4	0,025	

Kuten nähdään taulukosta 2, Stage IV -luokan koneita on ollut saatavilla vuodesta 2014 alkaen. Yli 15-tonnisten Stage IV -luokan tela- ja pyörälustaisten kaivinkoneiden verottomat hinnat alkavat karkeasti noin 100 000 eurosta.⁷⁴ Euro VI -luokan kuorma-autoja on ollut saatavilla vuodesta 2013 eteenpäin, kuten voidaan nähdä kuvasta 3. Euro VI- luokan maanrakennukseen soveltuvien kipillä varustettujen kuorma-autojen verottomat hinnat alkavat karkeasti noin 100 000 eurosta.⁷³ Euro VI ja Stage IV päästöluokan kuorma-autot ja työkoneet ovat kalliita, joka saattaa aiheuttaa ongelmia pienemmille yrityksille. Nykyisestä konekannasta noin 10–15 % täyttää päästöttömän työmaan vaatimat välitavoitteet, jonka takia suureksi ongelmaksi muodostuu pienten yritysten investointikyky. Suuri osa yrityksistä on vaarassa joutua markkinoiden ulkopuolelle vuoden 2022 loppuun mennessä, koska päästöttömän työmaan alaisilla hankkeilla kuljetuskaluston ja työkoneiden tulee olla päästöluokitukseltaan Stage IV ja Euro VI.¹⁰

3.2.2 Vety, biokaasu ja täyssähköiset moottorit

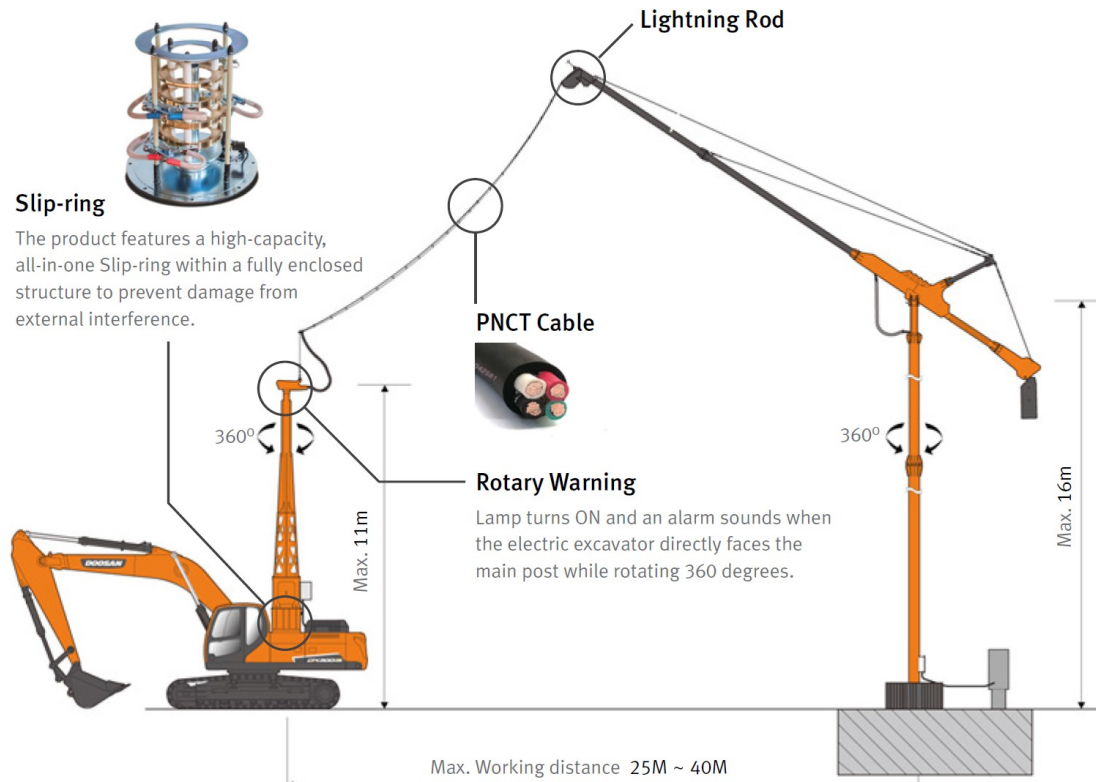
Työkonealalla on erikseen Green deal -sopimus, jonka tavoitteena on vähentää työkoneiden aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä lisäämällä täyssähkökäyttöisten sekä vähäpäästöisten työkoneiden tarjontaa. Vety, biokaasu ja täyssähköiset moottorit vähentävät tehokkaasti koneen käyttövaiheen lähipäästöjä ja etenkin hiilidioksidipäästöjä. Vähentyneiden päästöjen takia, työkoneita voidaan käyttää suljetuissa ja ahtaissa tiloissa ilman työntekijöiden altistumista pakokaasuille, esimerkiksi tunnelirakentamisessa.⁴⁰

Haittana tällä hetkellä on vaihtoehtojen vähyys, mutta siihen on kuitenkin tulossa muutos. Täyssähkökaivinkoneet ovat murtautumassa työmaille, ja valmistajista CAT on tuomassa markkinoille täyssähkökaivinkoneita 25 tonnin luokassa (kuvassa 5).⁶⁷ Doosan on myös tuomassa markkinoille täyssähköisen akuilla toimivan 30-tonnisen tela-alustaisen kaivinkoneen, jossa on kolme 130 kWh vaihdettavaa akkua, joiden avulla koneella pystyy työskentelemään kahdeksan tuntia yhtäjaksoisesti. Vaihdeavat akut ovat erittäin tehokas keino tehostaa akkukäyttöisen työkoneen käyttöä, sillä kun koneella työskennellään, vara-akut voivat olla samaan aikaan latauksessa.⁶⁹ Doosan on esitellyt sähkökaivinkoneen, jossa ei ole ollenkaan akkuja, vaan dieselmoottori on vaihdettu sähkömoottoriin, johon johdetaan sähkövirtaa kaapelia pitkin, kuten nähdään kuvasta 6. Kyseinen vaihtoehto on hyvin rajoittava, sillä työskentelyalue rajoittuu 25–40 metriin.⁶⁸



Kuva 4. CAT Z-line prototyyppi akkukäyttöisestä kaivinkoneesta ja pikalatauskontti.

Täyssähköisillä kaivinkoneilla on monia etuja verrattuna vanhoihin polttomoottorillisiin koneisiin, kuten matalat käyttökustannukset. Polttoaineet ja koneiden huollot ovat suuri kuluerä työkoneita käytettäessä, ja sähkön käytöllä näitä kuluja voidaan vähentää merkittävästi. Täyssähkökaivinkoneiden käyttäminen ei tuota lähipäästöjä eikä hiilidioksidipäästöjä, ja akuston lataaminen voidaan suorittaa päästöttömillä vaihtoehdoilla. Halvempien käyttökustannuksien lisäksi täyssähköiset työkoneet ovat paljon hiljaisempia verrattuna dieselmootoreihin, ja täten kaupunkialueilla voidaan työskennellä hiljaisemmin. Ongelmana on kuitenkin latausverkoston vajavaisuus sekä latausverkoston yhdistäminen pienempiin sekä syrjäisempiin infratyömaihin. Akkuteknologia tarvitsee myös kehitystä, että tulevat sähköiset työkoneet kestäisivät kaivinkoneurakoitsijoiden 12 tunnin mittaisia työpäiviä.



Kuva 5. Doosanin täyssähköinen kaivinkone, johon johdetaan sähkövirtaa kaapelia pitkin.

Tulevaisuuden vaihtoehto, eli polttokennoautot ja -koneet, joiden polttoaineena käytetään vetyä, ovat yleistymässä markkinoilla. Polttokennoautojen toiminta perustuu nesteytettyyn tai paineistettuun vetyyn, joka johdetaan polttokennoon. Vedyn reagoiessa hapen kanssa, vapautuu elektroneja ja syntyy sähköä. Pakokaasuina prosessissa syntyy lämpöä sekä puhdasta vesihöyryä. Polttokennot toimivat siis saasteettomasti, äänettömästi ja voidaan tankata yhtä nopeasti kuin polttomoottoriautot.⁵⁵ Kuorma-autoissa vedyn käyttäminen on kokeiluasteessa ja työkoneissa JCB on esittänyt ensimmäisen polttokennolla toimivan kaivinkoneen prototyypin.⁵⁶

Suurin ongelma uusissa tulevilla vety ja täyssähköisten työkonien hankinnassa tulee olemaan hinta, sillä on arvioitu, että ne tulevat maksamaan noin kolme kertaa enemmän kuin vastaava polttomoottorinen työkone. Kun työkonien uusitaan ja investoidaan täysin uusiin vaihtoehtoisia polttoainetta hyödyntäviin työkonisiin, niin vastaavasti urakoitsijoiden täytyy nostaa tuntihintaa korkeammaksi.^{39,40}

3.2.3 Työkoneiden käytön tehostaminen

Tällä hetkellä tehokkaimmat tavat vähentää päästöjä riippumatta koneesta, on työkoneiden optimointi ja kuljettajan asenne. Työkoneen optimoinnilla tarkoitetaan, että valitaan suunnitelmallisesti työkohteeseen mahdollisimman sopiva kalusto. Suunnitellaan ajatuksella, kuinka monta, minkä kokoisia ja minkä tyyppisiä koneita kohteeseen tarvitaan. Esimerkiksi tela-alustaista konetta ei kannata valita sellaiseen kohteeseen, missä konetta siirrellään paljon ajoneuvoliikenteen seassa paikasta toiseen.

Kuljettajan asenteella on merkittävä vaikutus työkoneen aiheuttamiin päästöihin, sillä kuljettaja on viime kädessä vastuussa siitä, miten hän omalla toiminnallaan käyttää työkonetta mahdollisimman energiatehokkaasti. Tällä tarkoitetaan sitä, että työkoneen ajamisen sekä työn suorittaminen tapahtuu moottorin optimaalisilla kierroksilla ja turhaa joutokäynnin vältetään. Kuljettaja pystyy omalla toiminnallaan vaikuttamaan polttoaineenkulutukseen huomattavasti, jos hän osaa suunnitella omat ajoreittinsä mahdollisimman tehokkaasti tai työskennellä työkoneella mahdollisimman optimaalisesti tekemättä turhaa työtä.

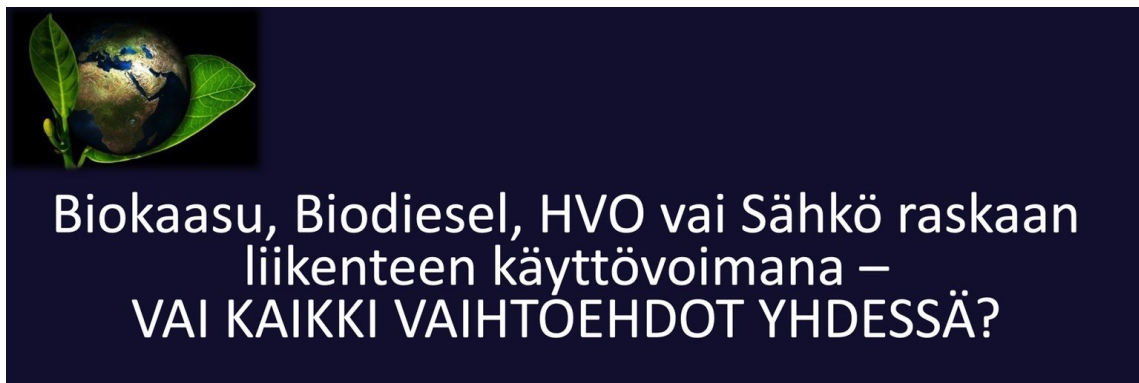
Koneiden käyttöä voidaan myös seurata etäyhteyksillä, jonka avulla saadaan tietoa siitä, kuinka tehokkaasti kone on ollut käytössä, miten kauan kone on ollut joutokäynnillä sekä onko koneen mahdollisia eco-ajotiloja hyödynnetty. VTT:n tutkimusten mukaan ajoneuvokalustoon on suositeltavaa asentaa esilämmittimet ja myöskin opastaa kuskit käyttämään niitä alle 0 °C:een jälkeen, koska tutkimustulosten mukaan dieselmootto- reiden esilämmittäminen vähentää merkittävästi hiilidioksidipäästöjä, typenoksiedeita, hiilivetyjä.⁶¹

3.2.4 Pienemmät akkukäyttöiset työkoneet

Akkukäyttöiset työkalut eivät ole vielä murtautuneet infratyömaille suuremmissa määrin. Tilanne tulee kuitenkin muuttumaan, sillä Swepac on tuomassa markkinoille vuoden 2021 aikana akkukäyttöisiä maantiivistimiä. Mallistosta löytyy 50 kg ja 100 kg painoluokan mallit ja myöhemmin esitellään isompi 200 kg maantiivistin. Suurin hyöty akkukäyttöisillä maantiivistimillä verrattuna polttomoottorillisiin on se, että sähkökäyttöinen moottori ei tuota enää yhtä rasittavaa ja kovaa ääntä, sekä akkuja käyttämällä vältetään pakokaasujen tuottamat lähipäästöt sekä hiilidioksidipäästöt. Täten työympäristö muuttuu puhtaammaksi sekä hiljaisemmaksi, jolla on suuri hyöty työntekijöiden sekä

lähiasukkaiden kannalta. Akkukäyttöisten pienkoneiden suurin ongelma on akkujen kesto sekä niiden lataamisen vaatima aika. Swepac on ilmoittanut, että sen 100 kg mallilla voidaan työskennellä noin tunnin verran yhtäjaksoisesti, jonka jälkeen maantievistä tulisi kytkeä lataukseen, jossa täyteen lataaminen kestää noin 2 tuntia. Suunta on kuitenkin oikea ja muutkin valmistajat tulevat esittelemään lähitulevaisuudessa uusia akkukäyttöisiä työkoneita.

3.3 Uusiutuvat polttoaineet



Kuva 6. Infratyömaiden tulee siirtyä käyttämään vaihtoehtoisia polttoaineita.

Fossiiliset polttoaineet ovat tällä hetkellä suuri ongelma infratyömaiden kasvihuonekaasupäästöissä, sillä kuten kuvasta 2 voidaan nähdä, yli puolet kaikista infratyömaiden päästöistä johtuu fossiilisen dieselin käytöstä. Fossiilisen dieselin polttaminen tuottaa pakokaasuna lähi- ja hiilidioksidipäästöjä. Lähi- sekä hiilidioksidipäästöjä voidaan työmaalla vähentää tehokkaasti investoimalla uuteen kalustoon, kuten täyssähkökoneisiin tai biokaasulla toimiviin kuorma-autoihin. Jos kuitenkin ei ole mahdollista investoida suuria määriä uuteen kalustoon, niin helpoin tapa vähentää päästöjä välittömästi on siirtyä käyttämään koneissaan uusiutuvia dieselaita.

Päästöttömät työmaat -sopimus on asettanut välitavoitteisiinsa, että vuoden 2022 loppuun mennessä työmaat luopuvat fossiilisen energian käytöstä ja siirtyvät vähäpäästöisiin sekä uusiutuviin energialähteisiin. Tavoite edellyttää sen, että työkoneet sekä kuorma-autot siirtyvät käyttämään fossiilisten polttoaineiden sijaan uusiutuvia polttoaineita (kuva 6). Uusiutuvia polttoaineita ovat biodiesel, uusiutuva diesel sekä biokaasu, mutta vetyä voidaan pitää hiilineutraalina polttoaineena. Kaikille näille on yhteistä se, että niiden avulla infratyömaat pystyvät vähentämään polttoaineista aiheutuvia lähi- ja

hiilidioksidipäästöjä. Seuraavissa alaluvuissa tarkastellaan lähemmin, mitä uusiutuvat polttoaineet ovat ja miten ne ovat ympäristöystävällisempiä kuin fossiiliset polttoaineet.

3.3.1 Biodiesel

Biodiesel-termi sekoittuu hyvin usein uusiutuvan dieselin kanssa, vaikka näillä kahdella ei ole mitään tekemistä toistensa kanssa. Ensimmäisen sukupolven biodieseliä kutsutaan nimillä FAME (Fatty Acid Methyl Esther, rasvahapon metyyliesteri) ja RME (Rape Methyl Ester, rypsimetyyliesteri). Biodieselin valmistamiseen käytetään rypsiä ja rapsia sekä kierrätysöljyjä, kuten ravintoloiden paistorasvoja. Biodieselin valmistuksessa ei käytetä hiilipohjaisia raaka-aineita, jonka takia se on vähähiilinen vaihtoehto fossiiliselle polttoaineelle, jolla hiilidioksidipäästöt voivat optimaalisessa tilanteessa laskea 85 %.⁴⁹

Suurimmaksi ongelmaksi biodieselin käytössä muodostuu sen heikot ominaisuudet. Biodieseliä ei voida tankata sellaisenaan, vaan se pitää sekoittaa fossiilisen dieselin kanssa. Biodiesel kerää itseensä vettä, minkä takia pitkään seisoneissa tankeissa alkaa muodostua biomassaa, joka tukkii koneiden polttoainesuodattimet.⁴¹ Biodieselin tiedetään myös syövyttävän polttoaineletkuja sekä tiivisteitä, ja näiden ongelmien takia useat autovalmistajat eivät halua, että biodieseliä tankataan heidän autoihinsa.⁴²

3.3.2 Uusiutuva diesel

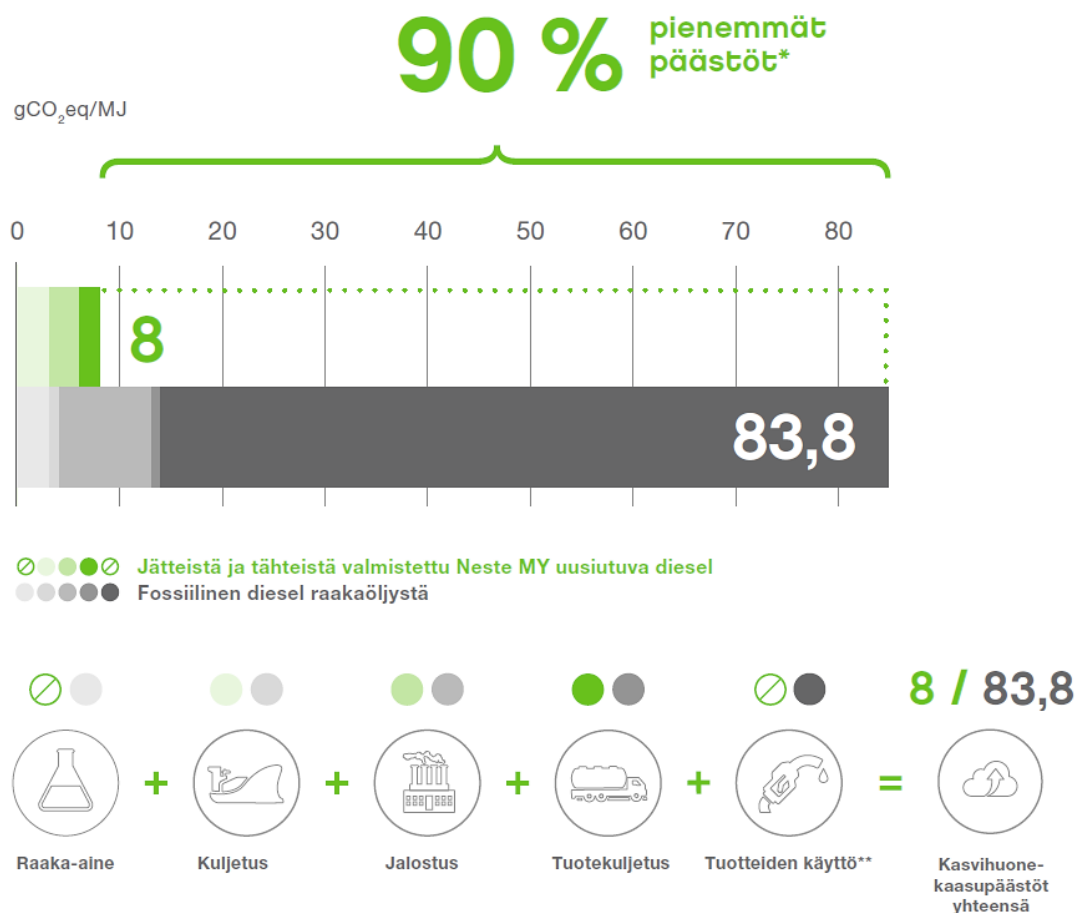
Toisen sukupolven uusiutuvaa dieseliä kutsutaan nimellä HVO (Hydrotreated Vegetable Oil), ja se eroaa täysin ensimmäisen sukupolven biodieselistä. Uusiutuva diesel on biopohjainen polttoaine, joka on valmistettu monista eri lähteistä, kuten jäte- ja rapsiöljystä sekä eläinrasvoista.⁴⁴ Vetykäsittelyn takia uusiutuvan dieselin kemiallinen koostumus on käytännössä sama kuin fossiilisella dieselillä, jonka takia sitä voidaan tankata ja käyttää täysin samalla tavalla kuin fossiilista polttoainetta, ja polttoaineen kulutus pysyy täten käytännössä samana. Autovalmistajat haluavatkin nimenomaan, että heidän autoissaan käytetään toisen sukupolven HVO-uusiutuvaa dieseliä eikä ensimmäisen sukupolven FAME-biodieseliä, sillä HVO-diesel ei vaurioita koneiden tiivisteitä eikä polttoaineletkuja ja on käytännössä ongelmavapaata. Suurin ero uusiutuvalla polttoaineella fossiiliseen polttoaineeseen on kasviuonekaasupäästöjen väheneminen parhaillaan 80–90 % ja lähipäästöjen 25–30 %.⁴⁵

Uusiutuvan dieselin tuotannossa Suomi on maailman kärkimaita ja tunnetuimpia valmistajia Suomessa on Neste, St1 ja UPM. Neste on näistä kaikista kuitenkin selvästi suurin, ja viimeisten tietojen mukaan jopa maailman suurin jätteistä tuotetun uusiutuvan dieselin tuottaja, noin 3 miljoonaa tonnia uusiutuvaa polttoainetta vuodessa. Neste MY diesel on Nesteen lanseeraama uusiutuva diesel, joka on tuotettu täysin jäte- ja tähde- raaka-aineista. Nesteen mukaan Neste My uusiutuvaa dieseliä käyttämällä voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä koko polttoaineen elinkaaren ajalta jopa 90 % verrattuna fossiiliseen dieseliin (kuva 7). Uusiutuvan dieselin käyttö ei kuitenkaan vähennä hiilidioksidipäästöjä 90 % pakoputken päästä mitattuna, vaan pakokaasuina tulee edelleenkin melkein yhtä paljon hiilidioksidia, mutta koska palamisessa vapautuneen biopohjaisen hiilidioksidin määrä vastaa aiemmin raaka-aineen sitomaa määrää, niin uusiutuvan dieselin käytön aikaiset hiilipäästöt ovat nolla.⁴³ Nesteen mukaan uusiutuvan dieselin parhaita puolia on sen puhdas palaminen, jonka takia pakokaasut sisältävät 33 % vähemmän pienhiukkasia, 9 % vähemmän typenoksideita, 30 % vähemmän hiilivetyjä sekä 24 % vähemmän hiilimonoksidipäästöjä.⁴⁶

Taulukko 3. Nesteen polttoaineiden hinnat 17.12.2020.

Polttoaine	Litrahinta
Neste Tempera Polttoöljy (kesä)	0,56 €/l
Neste Tempera Polttoöljy (talvi)	0,59 €/l
Neste MY uusiutuva polttoöljy (kesä)	0,76 €/l
Neste MY uusiutuva polttoöljy (talvi)	0,80 €/l
Neste MY uusiutua diesel (talvi)	1,14 €/l

Neste on toimittanut 17.12.2020 heidän tarjoamista polttoaineista luettelon litrahintoi- neen. Taulukosta 3 voidaan nähdä polttoaineiden hintavertailua ja halvin vaihtoehto on fossiilisen Tempera polttoöljy, kun kallein vaihtoehto on jakeluasemilta saatava Neste My uusiutuva diesel. Fossiilinen polttoöljy on kaksi kertaa halvempaa kuin uusiutuva diesel. Neste lanseerasi vuoden 2021 alussa työkoneille suunnatun Neste My uusiutu- va polttoöljyn, joka on 0,2 € kalliimpaa kuin vastaava fossiilinen polttoöljy.



* Laskentamenetelmä on EU:n uusiutuvan energian direktiivin (2009/28/EY) mukainen.

** Uusiutuvan dieselin käytön hiilipäästöt ovat nolla, koska palamisessa vapautuneen biopohjaisen hiilidioksidin määrä vastaa raaka-aineen aiemmin sitomaa määrää.

Kuva 7. Elinkaaren aikainen kasvihuonekaasupäästöjen vähenemä uusiutuvalla dieselillä.

Uusiutuvan dieselin käyttämisellä saadaan siis pudotettua merkittävästi kasvihuonekaasupäästöjä sekä lähipäästöjä ja täten vanhemman kaluston elinikää saadaan pidentettyä. Suurimmat haitat uusiutuvan dieselin käyttämiseen liittyvät nouseviin polttoainekustannuksiin sekä jakeluasemaverkoston harvuuteen. Tällä hetkellä Nesteellä on ympäri Suomea 126 Neste My -jakeluasemaa. Uusiutuva diesel maksaa asemalla noin 15 senttiä litralta enemmän, kuin fossiilinen polttoaine.⁴³

3.3.3 Biokaasu

Kaasukäyttöisten autojen ja raskaan kaluston polttoaineena käytetään maakaasua tai biokaasua. Biokaasu on maakaasun tavoin lähes kokonaan metaanista ja hiilidioksidista koostuva ilmaa kevyempi luonnonkaasuseos, jonka erona on, että maakaasu on fossiilinen kaasu, kun taas biokaasua saadaan mädättämällä orgaanista ainetta, kuten

jätevesilietettä ja biojätteitä. Jotta biokaasua voidaan kuitenkin käyttää moottoreiden polttoaineena, se tulee jalostaa, jotta siitä saadaan poistettua hiilidioksidi ja muut epäpuhtaudet. Jalostuksen jälkeen biokaasua kutsutaan usein biometaaniksi, koska se on lähes puhdasta metaania ja vastaa fossiilista maakaasua.⁴⁷

Biokaasun käyttäminen moottorin polttoaineena vaatii kuitenkin kaasun muuttamista paineistetuksi tai nesteytetyksi. CBG (Compressed Bio Gas) tarkoittaa paineistettua biokaasua, joka on paineistettu 200 baariin, ja sitä käytetään yleisimmin henkilöautoissa. LBG (Liquefied Bio Gas) tarkoittaa nesteytettyä biokaasua, joka on jäädytetty -163 °C:seen.⁴⁸ Nesteytettynä biokaasun energiasisältö on noin kolminkertainen verrattuna paineistettuun kaasuun, mutta haittapuolena se vaatii erityistä kylmäteknikkaa, jonka takia nesteytettyä kaasua käytetään lähinnä raskaassa kalustossa ja kaukoliikenteessä.⁴⁹

Kasvihuonekaasupäästöjen sekä lähipäästöjen kannalta biokaasun käyttäminen polttoaineena on erittäin järkevä vaihtoehto, koska sillä voidaan vähentää 85–95 % koko elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Lähipäästöjä ei pakokaasujen seasta tule lainkaan, mutta hiilidioksidia tulee melkein yhtä paljon, kuin bensiinikäyttöisen auton pakokaasuista. Erona on kuitenkin se, että biokaasua käytettäessä pakoputken päästä tuleva hiilidioksidi on peräisin normaalista luonnon kiertokulusta, eikä sen käyttäminen näin lisää hiilidioksidin määrää ilmakehässä.^{50,51}

Biokaasun käyttäminen polttoaineena on siis todellisuudessa ympäristölle ystävällinen vaihtoehto ja jopa halvempi, kuin fossiiliset polttoaineet, mutta haittapuoliakin on. Gasum omistaa melkein kaikki kaasun jakeluasemat, ja tällä hetkellä ympäri Suomen löytyy vain 49 biokaasun tankkausasemaa, joista suuri osa sijoittuu Etelä-Suomeen.⁵²

3.3.4 Vety

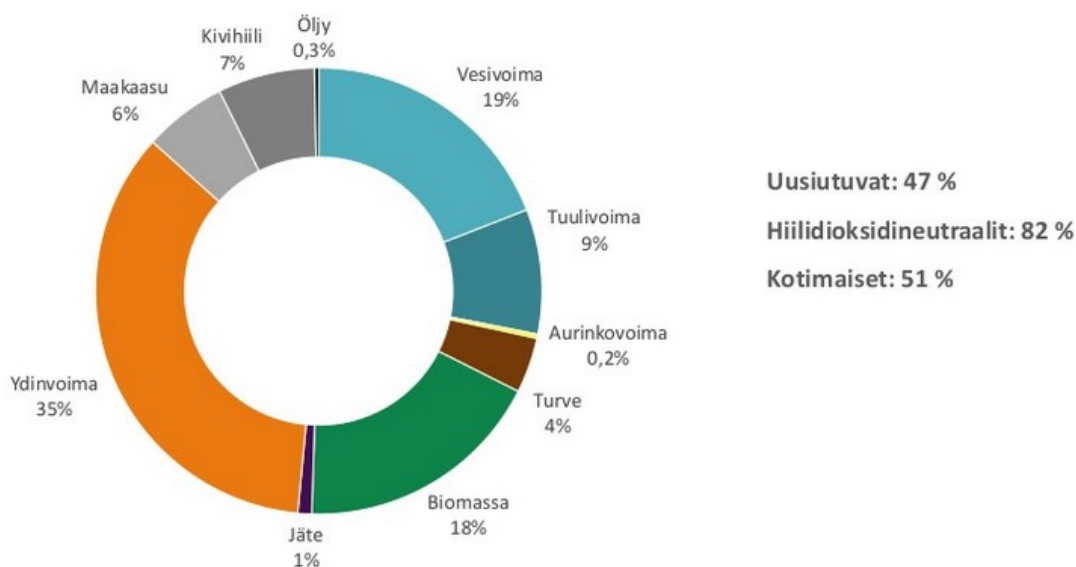
Vety on tämän ryhmän polttoaineista ainoa, jota ei voida kutsua uusiutuvaksi polttoaineeksi, koska vetyä ei esiinny luonnossa sellaisenaan, vaan sitä on aina erikseen valmistettava. Tämän takia vedyn hiilijalanjälki on täysin tuotantotavasta riippuva. Jotta vedyn valmistusta voisi kutsua uusiutuvaksi, niin vedyn tuottaminen tulisi tapahtua uusiutuvilla energialähteillä, kuten aurinko-, tuuli- ja vesivoimaa hyödyntäen.⁵³ Tällä hetkellä kuitenkin yli 99 % käytetystä vedystä tuotetaan fossiilisia polttoaineita hyödyntä-

en, joten vaikka vedyn pakokaasuina tulee pelkkää vesihöyryä, niin sen käyttäminen ei ole päästötöntä tuotantotavasta johtuen.⁵⁴

Suomessa on hankala lisätä vedyllä toimivaa ajoneuvokalustoa, sillä maassa ei ole ainuttakaan vedyn tankkauspistettä, ja lähin piste löytyy Ruotsista. Vedyn yleistyminen polttoaineena vaatii mittavia investointeja maan kattavaan jakeluverkkoon, ajoneuvokaluston lisääntymistä sekä puhtaan vedyn tuottamisen lisäämistä. Vety voi kuitenkin olla kaikista ongelmista huolimatta tulevaisuuden polttoaine, jos tekniikka kehittyy tarpeeksi ja tuotanto muuttuu uusiutuvia energialähteitä hyödyntäväksi.⁵⁴

3.4 Vihreä sähkö

Tällä hetkellä infratyömailla käytetään suhteellisen vähäisesti verkkovirtaa, sillä käyttö rajoittuu lähinnä toimistoihin, sosiaalityöihin ja mahdollisesti varastoihin. Päästöttömät työmaat -sopimuksessa on kuitenkin vaadittu, että sopimuksen alaisilla työmailla käytetään uusiutuvista energialähteistä tuotettua sähköä ja lämpöä. Tarkoituksena on luoda työmaista hiilineutraaleita ja fossiililla energialähteillä tuotettu sähkö lisää hiilidioksidipäästöjä, kun taas uusiutuvilla energialähteillä voidaan tuottaa sähköä päästöttömästi tai hiilineutraalisti.¹ Sähkönkulutuksen kasvuun on myös syytä varautua, sillä täyssähköisten koneiden osuutta työmaalla tulee kasvattaa, jos pyritään saavuttamaan päästöttömien työmaiden kunnianhimoiset välitavoitteet.



Kuva 8. Suomen sähköntuotanto energialähteittäin vuonna 2019.

Sähköä tuotetaan monin eri tavoin uusiutuvilla sekä uusiutumattomilla energiamuodoilla. Uusiutuvalla energialla tuotettua sähköä kutsutaan usein vihreäksi sähköksi, ja sitä voidaan tuottaa aurinko- ja tuulienergialla sekä vesivoimalla ja biomassasta. Uusiutumattomiin energiamuotoihin kuuluvat ydinvoima sekä fossiiliset polttoaineet, kuten kivihiili, öljy ja maakaasu.¹² Jotta kuluttaja voi varmistua uusiutuvan sähkön alkuperästä, on sille myönnettävä alkuperätakuu, joka sisältää tiedon sähkön tuotantotavasta ja sen energialähteistä sekä maininnan tuotantoajankohdasta ja -paikasta.⁵⁷ Vuonna 2019 Suomessa tuotettiin sähköä uusiutuvilla energiamuodoilla 47 % kaikesta sähköntuotannosta, kuten voidaan nähdä kuvasta 8.⁷⁰

Uusiutuvat energialähteet ovat päästöiltään ja ympäristövaikutuksiltaan lähtökohtaisesti muita tuotantotapoja puhtaampia, koska energia syntyy resursseista, jotka ovat oikein hyödynnettyinä käytännössä ehtymättömiä sekä itsestään luonnossa uusiutuvia. Vihreällä sähköllä on ekologisten hyötyjen lisäksi myös haittapuolia, jotka vaihtelevat eri tuotantotapojen mukaan.⁶³ Vesivoiman avulla on hyvä tasata sähkönkulutuksen ja -tuotannon välisiä eroja, mutta ongelmaksi muodostuu niiden paikalliset ympäristöhaitat, jonka takia uusia vesivoimaloita ei enää juuri rakenneta.⁶⁵ Tuulivoiman osuus on ollut Suomessa vahvassa kasvussa, mutta ongelmana on tuulettomat päivät sekä tuotannon vaihtelu hetkittäin. Bioenergia on Suomen merkittävin uusiutuvan energian lähde, jota saadaan puuenergiasta, peltobiomassoista, biokaasusta sekä kierrätys- ja jäteaineista. Bioenergialla voi myös olla haittoja, kuten metsien hakkuiden kiihtyminen, joka vähentää metsiä hiilinieluinä.⁶⁶

Vihreä sähkö ei ole huomattavasti kalliimpaa, kuin fossiilisesti tuotettu sähkö, ja hinta riippuukin eniten tuotantotavasta. Vesivoimalla tuotettu vihreä sähkö on Suomessa eniten myytyä uusiutuvaa sähköä, jota voi saada jopa samaan hintaan kuin fossiilisesti tuotettua sähköä. Vesivoimalla tuotettu sähkö ei kuitenkaan lisää uusiutuvien energialähteiden käyttöä, koska halvemmalla hinnalla ei voida kattaa uusien tuulivoimaloiden tuotanto- ja rakentamiskustannuksia. Valitsemalla vihreän sähkön sähkösopimuksen, jossa mainitaan uusiutuvien energialähteiden lisääminen voi olla kannattavampi vaihtoehto ympäristön kannalta.⁶² Kuten on aiemmin todettu, infratyömailla ei hyödynnetä merkittäviä määriä verkkovirtaa, joten vihreään sähköön siirtyminen työmaalla ei ole huomattavasti kalliimpaa.

Infratyömaat sijaitsevat hyvin usein verkkovirran ulottumattomissa, jonka takia työmaalla joudutaan usein turvautumaan aggregaattilla, eli sähkövoimakoneella tuotettuun säh-

köön. Aggregaateilla tuotetaan sähköä bensiini- tai dieselmoottorin avulla, joiden avulla pystytään turvaamaan sähkön saanti sähköverkon ulottumattomissa. Koska varsinaisella työmaalla ei pystytä hyödyntämään verkkovirtaa, josta saisi vihreästi tuotettua sähköä, urakoitsijoiden tulisi vähäpäästöisen työmaan takia investoida dieselaggregaatteihin, joiden polttoaineen käytettäisiin lähes hiilineutraalia uusiutuvaa dieseliä, koska bensiinikäyttöisillä aggregaateilla ei ole samanlaista mahdollisuutta hyödyntää lähes hiilineutraalia polttoainetta.

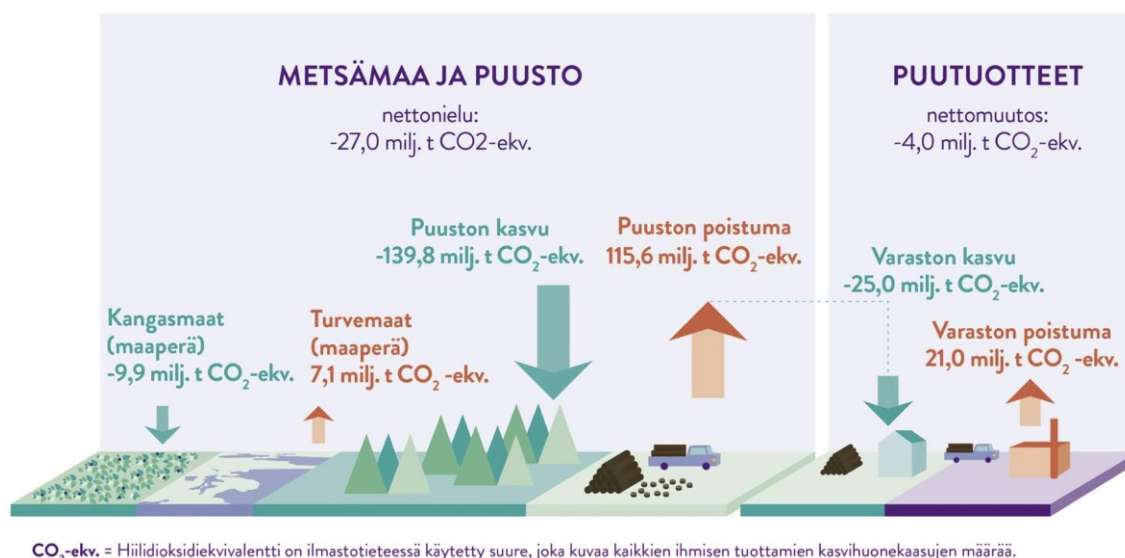
3.5 Hiilinielut ja päästökompensaatio

Hiilinielu tarkoittaa kasvavaa hiilivarastoa, jonka tarkoituksena on kerätä ja varastoida itseensä hiilidioksidia ja tutkimusten mukaan merkittävimpiä hiilinieluja ovat metsät ja meret. On tutkittu, että maailmanlaajuisesti metsät ja meret sitovat itseensä noin neljänneksen maailman hiilidioksidipäästöistä. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kuitenkin vain metsien osuutta hiilinieluna, koska tällä hetkellä Suomessa ihmisen toiminnalla voidaan vaikuttaa merkittävästi metsien kokoon sekä säilymiseen.¹⁸ Hiilinielut ja päästökompensaatio termit ovat yleistyneet yritysten sivuilla, joiden avulla yritetään antaa ympäristöystävällisempi kuva yrityksen toiminnasta. Onkin tärkeää tietää mitä termit oikeasti tarkoittavat ja käytetäänkö niitä väärin parantamaan yrityksen kuvaa, vai investoidaanko niiden avulla hyviin tarkoituksiin.

3.5.1 Metsien merkitys hiilinieluna

Nykyisillä tutkimuksilla on osoitettu, että metsillä on merkittävä rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä. Kun puut kasvavat, ne varastoivat hiiltä lehtiin, runkoon ja juuriin. Juurien kautta hiiltä sitoutuu maaperään. Ajan kuluessa hiili vapautuu takaisin ilmaan hiilidioksidina, kun puut lahoavat. Kuten kuvasta 5 voidaan huomata, vuonna 2017 puusto ja maaperä sitoivat yhteensä 27 miljoonaa tonnia hiilidioksidia ja toimivat näin hiilinieluna. Metsien iällä on suuri merkitys, kuinka tehokkaasti ne pystyvät sitomaan hiiltä. Puiden istutuksesta kestää noin 20 vuotta, ennen kuin taimikko muuttuu hiilen lähteestä hiilinieluksi. Vasta 50 vuoden iässä saavutetaan nollataso, jolloin metsikön sitoma hiilimäärä on yhtä suuri kuin metsikön siihenastiset hiilipäästöt. Tärkeintä hiilensidonnan kannalta on siis suojella ja säilyttää vanhoja metsiä, sekä kasvattaa tulevista metsistä pitkäikäisiä.^{17,21}

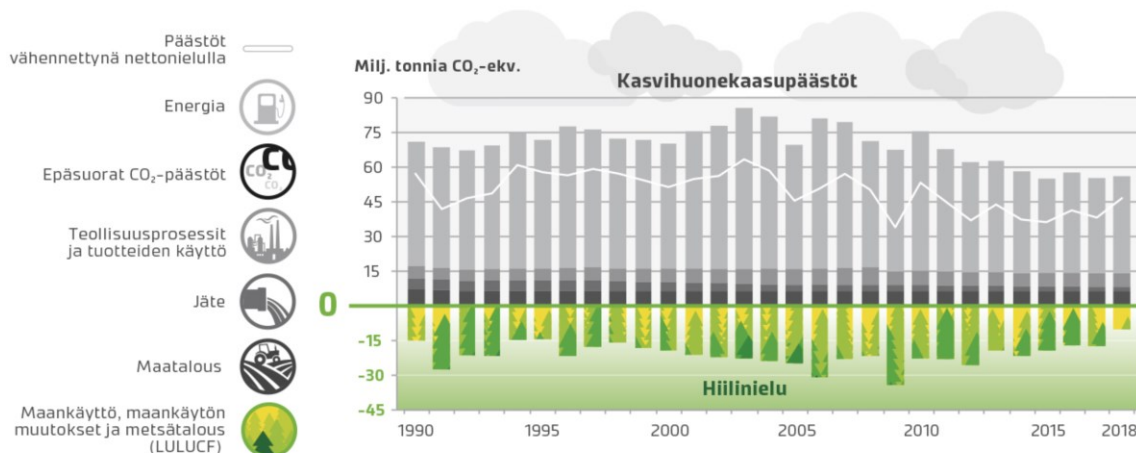
On olennaista tietää mihin tarkoitukseen puita kasvatetaan. Mitä suurempi osa kiertoajan kuluessa korjattavasta puusta on tukkipuuta, sitä enemmän myös hiiltä sitoutuu laadukkaisiin pitkän käyttöiän puutuotteisiin. Kun tukista tehdään sahatavaraa, joka hyödynnetään esimerkiksi puutaloissa, sitoutuu hiili lopputuotteisiin parhaassa tapauksessa jopa sadoiksi vuosiksi. Kuten kuvasta 9 nähdään, niin puutuotteisiin, kuten sahatavaraan ja puulevyihin sitoutui vuonna 2017 yhteensä 4 miljoonaa tonnia hiilidioksidia. Hiilitaseen kannalta huonoin puutavara on kuitupuu. Kuitupuusta valmistetuilla paperilla ja kartongilla ei ole korvausvaikutuksia, hiili ei säily tuotteissa kuin pienen ajan ja massateollisuus kuluttaa paljon energiaa tuotteiden valmistukseen.²¹



Kuva 9. Metsien ja puutuotteiden hiilitase vuonna 2017.

Yhden metsähehtaarin puut, kasvillisuus ja maaperä sitovat vuodessa noin 43 000 kiloa hiilidioksidia vuodessa. Puiden hengityksen kautta hiilidioksidia vapautuu takaisin ilmakehään noin 33 000 kiloa. Yhden metsähehtaarin vuotuinen nettohiilinielu on näiden lukujen erotus, joka on noin 10 000 kiloa. Yksittäisen puun nettohiilinielu on noin 6–7 kiloa vuodessa. Määrää voi verrata infratyömaan yhteen tela-alustaisen kaivinkoneen päästöihin. Vuodessa yhden metsähehtaarin sitovan hiilen määrä korvaa yhden pyöräalustaisen kaivinkoneen päästöt neljältä kuukaudelta, jos kaivinkoneen hiilidioksidi päästöt ovat 23 [kg/h] ja kaivinkoneella työskennellään 1500 tuntia vuodessa.¹⁹

Kasvihuonekaasupäästöt ja hiilinielut Suomessa



Kuva 10. Suomen kasvihuonepäästöt sekä hiilinielut taulukoituna vuodesta 1990–2018.

Suomessa on onnistuttu vähitellen vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 2000-luvun alusta, kuten nähdään kuvasta 10.

3.5.2 Työmaan mahdollisuudet vaikuttaa

Infratyömaat eivät tule vielä pitkään aikaan olemaan täysin päästöttömiä, mutta hiilinielujen avulla voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä jossain muualla merkittävästi päästöjen kompensoinnilla. Kompensointi tarkoittaa käytännössä sitä, että omasta toiminnasta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt kumotaan vähentämällä tai sitomalla omia päästöjä vastaava määrä jossain muualla. Päästökompensaation keinoja on monenlaisia, esimerkiksi suoalueiden ennallistaminen tai metsien lisäyksellinen kasvatusta, jossa luonnollisesti kasvamattomat joutomaat muutetaan metsiksi.²³

Yritykset voivat siis joko itse ryhtyä vetämään metsittämishankkeita tai maksaa kasvihuonekaasupäästöistä hyvitysmaksua jollekin voittoa tavoittelemattomalle säätiölle, jonka kanssa voidaan suunnitella, mihin ja minkälaisilla keinoilla lähdetään vetämään projektia. Metsittämishankkeiden etuna on, että tiedetään tarkalleen mihin rahat menevät, ja omalla toiminnalla voidaan varmistua siitä, että tulevat metsät ovat suojeltuja ja sitä kautta pitkäikäisiä hiilinieluja. Suurimpana ongelmana tämän hetken päästökompensaatiomarkkinoilla on läpinäkyvyys. Verkosta voi ostaa halpoja kompensatioyksiöitä, joiden päästövähennykset tapahtuvat jossain muussa maassa, usein kehitys-

maissa. Näissä on usein ongelmana se, että päästövähennyksiä tapahtuu, mutta ei kestäväällä pohjalla. Tärkeintä on selvittää, että kompensatiot on toteutettu siten, että ne tuottavat luvattun vaikutuksen sosiaalisesti kestäväällä tavalla.^{24,25}

Oletetaan tilanne, jossa infratyömaan urakoitsija havahtuu työmaansa aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen määrään ja alkaa suunnittelemaan ilmastotekona päästökompensaatioiden ostamista. Urakoitsijan selatessa erilaisia päästökompensaation mahdollisuuksia, hän päättää valita halvimman mahdollisen vaihtoehdon esimerkiksi Etelä-Amerikan metsittämishankkeen. Urakoitsija ei ole tarkastanut, pitääkö kohde sisällään minkäänlaisia sertifikaatteja, joilla pyritään varmistamaan päästövähennysten toteutuminen sekä projektien laatu.⁸⁸ Ongelmaksi halvoilla ja sertifikaattittomilla päästökompensaatioilla voi muodostua niiden luotettavuus, kuten voidaanko hyvittäjille vakuuttaa, että lahjoitetut rahat käytetään lyhentämättöminä metsittämishankkeeseen ja varmistetaan, että metsää tullaan suojelemaan sekä kasvattamaan hiilinieluna vuosikymmenien ajan.

Viherpesu, eli tuotteiden tai organisaation markkinoiminen vastuullisemman oloiseksi, kuin mitä todellisuudessa on, luo vääränlaisen käyttötarkoituksen päästökompensatioille. Oletetaan tilanne, jossa yritys rakentaa ympäristöystävällistä mielikuvaa omasta toiminnastaan markkinoimalla tuotteita tai palveluitaan hiilihyvitetyiksi. Yritys pystyy arvioimaan tuotteiden tai palveluiden aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ja niiden avulla ostaa vastaavan määrän kompensatioyksiköitä kansainvälisiltä markkinoilta.²⁴ Epäkohta muodostuu siinä vaiheessa, jos yritys valitsee halvimpia mahdollisia sertifikaattittomia kompensatioyksiköitä ja luo niiden avulla asiakkailleen ympäristöystävällisen kuvan yrityksen toimista.

3.6 Vihreä betoni

Betoni on yksi merkittävimmistä rakennusmateriaaleista infrarakentamisessa ja käyttökohteita voivat olla esimerkiksi sillat (kuvassa 11), tunnelit, jäteveden puhdistuslaitokset, ydinvoimalat, vesitornit ja melusteet. Edellä mainitut esimerkit eivät ole ainoita kohteita missä vihreää betonia voidaan käyttää, mutta kohteiden kokoluokasta voi päätellä sen, että riippuen infratyömaasta betonia käytetään erittäin paljon. Suomessa tuotetaan betonia erilaisiin käyttötarkoituksiin noin 5 miljoonaa kuutiometriä vuodessa ja

sen käyttö jakautuu noin 60 % talojen rakentamiseen ja 40 % infrarakentamiseen. Betonin tuottaminen ei ole kuitenkaan päästötöntä, päinvastoin.^{26,27}



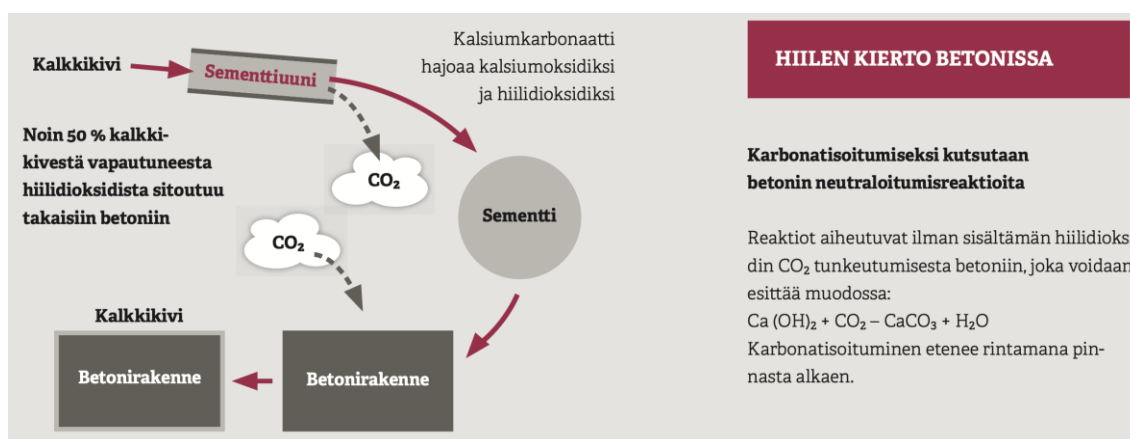
Kuva 11. Vekarasalmen silta, jonka urakoitsijana toimi GRK Infra Oy.

Betonin pääraaka-aineita ovat sementti, kiviaines ja vesi. Nopeasti katsottuna voisi vaikuttaa, että betonin valmistamisen on melko päästötöntä, mutta tosiasiasa sementin valmistus on suurin yksittäinen ihmisten aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen lähde. Viidestä kymmeneen prosenttia kaikista maailman hiilidioksidipäästöistä syntyy sementin valmistuksesta.²⁸ Sementin hiilidioksidipäästöt syntyvät kalkkikiven polttamiseen 1400 asteen lämpötilassa vaatimasta polttoaineesta, raaka-aineiden ja valmiin tuotteen kuljuttamisesta sekä kalsinoitumisessa vapautuvasta hiilidioksidista.²⁹ Sementin valmistaminen aiheuttaa 1,6 % Suomen hiilidioksidipäästöistä, joka on vajaa 900 000 tonnia hiilidioksidia ilmakehään vuodessa.³⁰

Infratyömaat voivat vaikuttaa hiilidioksidipäästöihin valitsemalla vähäpäästöisempiä betonivaihtoehtoja. Ruduksella on valikoimassa vihreää betonia, joka on tuotettu vähäpäästöisestä sementistä, jonka tuotannossa vapautuvat hiilidioksidipäästöt ovat noin 10 % vähäisemmät kuin perinteisellä betonilla. Vihreän betonin resepti säädetään erikseen käyttötarkoitukseen sopivaksi lisäaineita käyttämällä ja tarkoituksena on saada betoni mahdollisimman hiilipäästöttömäksi. Rudus on arvioinut vähentävänsä vihreällä betonilla hiilidioksidipäästöjä noin 20–50 % verrattuna normaaliin betoniin ja joissain tapauksissa vielä enemmän.³³ Ainoa ongelma vihreässä betonissa on sen rasi-

tävydyt, sillä vaativissa, ulkona olevissa ja erityisesti suola-pakkasrasitettuihin rakenteisiin vihreä betoni ei sovellu. Tyypillisiä käyttökohteita ovat tavanomaiset perustukset ja sisätiloissa olevat rakenteet.³⁴

Lujabetoni on valinnut erilaisen lähestymistavan vihreyteen tarjoamalla asiakkailleen mahdollisuuden valita hiilidioksidikompensoitua valmisbetonia. Päästökompensoitua betonia halutessaan, asiakas maksaa tuotteen hinnassa kuutiokohtaisen kompensatiomaksun, joka on 6,00 €/m³ ja lisäystä tulee noin 5 % normaalin valmisbetonin hintaan. Lujabetoni toimii yhdessä suomalaisen Nordic Offsetin kanssa, joka tarjoaa mahdollisuuden kompensoida hiilijalanjälkensä sertifioiduilla päästövähennyksillä tai pysyvillä hiilinielujen lisäyksillä.³²



Kuva 12. Hiilidioksidin kiertokulku kalkkikiven poltosta valmiiseen rakenteeseen.

Uusimpien tutkimustulosten mukaan betoniset rakennelmat ja rakennukset, kuten sillat ja ydinvoimalat toimivat merkittävinä hiilinieluinä. Betoniset rakennelmat karbonatoituvat pinnasta lähtien ja sitovat näin hiilidioksidia, kuten nähdään kuvassa 12.³¹ Suomessa noin 10 % sementtiteollisuuden päästöistä sitoutuu betoniseen rakennuskantaamme vuosittain ja yhteensä rakennuksiin on sitoutunut pysyvästi 5,2 megatonnia hiilidioksidia.³⁶ Tärkein asema työmaan päässä on jatkaa betonin kiertokulkua kierrättämällä se oikein. Kierrätysbetoni jatkaa matkaansa jatkuvana hiilinieluna, sillä murskattaessa betonia paljastuu merkittävästi karbonatisoitumatonta pinta-alaa, joka alkaa sitomaan itseensä hiilidioksidia. Riittävällä altistusajalla voidaan saada kalsinointivaiheen päästöistä talteen jopa 80 %. Elinkaarilaskelmissa, riippuen murskauksen ja toisen käyttövaiheen muuttujista, saadaan betonin hiilinielua kasvatettua jopa yli kaksinkertaiseksi. Eli betoni varastoi sitomansa hiilidioksidin pysyvästi ja se ei vapaudu ra-

kennuksen purunkaan jälkeen. Käytännössä kaikki kierrätetty betoni on vihreä ekoteko maailmalle. ^{36,37}

4 Päästövähennykset ja niiden vaikutukset kustannuksiin

Tällä hetkellä Helsingissä on käynnissä muutamia päästöttömän työmaan pilotointityömaita, joiden avulla koitetaan luoda selvät ohjeistukset tulevia infratyömaita varten.⁷⁷ Tässä tutkimuksessa syvennyttään GRK:n vähäpäästöiseen pilottityömaahan, joka sijaitsee Sompasaarella. Luvussa 4 käydään läpi, mitä rajoittavia tekijöitä vähäpäästöinen työmaa on asettanut Sompasaaren infratyömaalle sekä miten päästöjä on vähennetty käytännössä infratyömaalla. Tarkoituksena on selvittää, kuinka paljon päästöt vähenevät ja kustannukset nousevat, kun infratyömaalla aletaan soveltaa Green deal -päästöttömän työmaan asettamia vaatimuksia.



Kuva 13. Ilmakuva Sompasaaresta vuodelta 1937.

4.1 Sompasaaren vähäpäästöinen työmaa

Sompasaaren infratyömaa sijaitsee Helsingin kaupungin Sörnäisten kaupunginosassa. Alue on entinen saari, kuten nähdään kuvassa 13, joka on yhdistetty pohjoispäästään aikanaan mantereeseen. Alue on entistä satamalaitosaluetta, jota rakennetaan parhailaan asuinalueeksi, kuvassa 14. Sompasaaren eteläosa on tällä hetkellä urakka-alue, jossa urakoitsijana toimii GRK. Urakka-alueeseen sisältyy rantarakenteiden, pintarakenteiden ja kunnallistekniikan rakentamista. Sompasaaren urakan kokonaishinta on 4 813 000 euroa.



Kuva 14. Havainnekuva tulevasta Sompasaaresta.

Sompasaaren urakka toteutetaan vähäpäästöisenä työmaana, joka tulee edellyttämään urakoitsijalta seuraavia asioita:

1. Tarjoajalla on vuoden 2020 loppuun mennessä kolmannen osapuolen todentama ympäristöjärjestelmän sertifiointi (esim. RALA:n ympäristöjärjestelmäsertifikaatti tai vastaava) toiminnan ympäristövaikutusten pienentämiseksi ja raskaan kuljetuskaluston energiatehokkuuden parantamiseksi sekä rutiinit näiden seurannalle ja raportoinnille.
2. Työmaakoneiden tulee täyttää vähintään STAGE IV -luokan vaatimukset
3. Urakoitsijan käyttämän raskaan kuljetuskaluston tulee täyttää vähintään EURO V päästöluokan päästövaatimukset.
4. Kaikkien työmaakoneiden ja urakoitsijan käyttämän raskaan kuljetuskaluston käyttämä polttoaine ei saa olla fossiilista alkuperää. Hyväksyttäviä ei-fossiilisia polttoaineita ovat biokaasu, vety, etanoli (esim. ED95) ja EN 19540 standardin mukainen uusiutuva HVO diesel tai moottoriöljy.

5. Työmaalla käytettävän sähkön tulee olla tuotettu uusiutuvilla energialähteillä ja sähkön alkuperästä tulee esittää todistus.
6. Työmaan lämmitystarpeet on toteutettava kaukolämmöllä, fossiilivapailta biopolttoaineilla tai uusiutuvilla energialähteillä tuotetulla sähköllä.
7. Työmaan kaikkien pienkoneiden (teho ≤ 4 kW) tulee olla sähkökäyttöisiä.

Urakoitsijan tulee edellä mainittujen vaatimusten lisäksi ylläpitää kalustoluetteloa, johon on merkattuna kaluston päästöluokitukset. Tällä varmistetaan se, että työmaalle ei saavu vanhempaa kalustoa, joka ei täytä vaadittuja päästöluokituksia. Urakoitsijan vastuulla on myös seurata ja raportoida työmaan polttoaineen sekä sähkön käyttöä kuukausitasolla. Seuranta koskee myös työmaan aliurakoitsijoita. Näitä raportointeja käytetään hyväksi tulevissa infrahankkeissa, jotta saadaan tietoa, kuinka paljon uusiutuvaa polttoainetta sekä sähköä käytetään ja kuinka paljon ne vaikuttavat infratyömaan kustannuksiin.

Sompasaaren työmaalla vähäpäästöisyys on otettu vakavissaan, jonka takia työmaalle saapuvalla työntekijälle korostetaan perehdytyksessä hankkeen ympäristövaatimuksia. Perehdytyksessä painotetaan edellä mainittujen vaatimusten lisäksi kuorma-auton sekä työkoneiden kuljettajia tyhjäkäyntiaikojen minimoimisesta. Hankkeelle nimetty kaupungin valvoja suorittaa työmaalle tarkastuskäyntejä, joissa valvotaan, että urakoitsija on kirjannut vaadittavat raportit sekä työmaalla toimitaan ympäristövaatimusten mukaisesti. Mikäli toiminnassa havaitaan puutteita ja ympäristövaatimuksia laiminlyödään, urakoitsijaa seuraa suuret sanktiot.

Urakan aikana Sompasaaren työmaalla pidetään ympäristösuunnitelman seurantakatselmuksia, joissa katsotaan toteutuneita menekkejä ja asetettujen määräyksien toteutumista. Lisäksi tilastoimiseksi urakoitsijan on esitettävä seurantakatselmuksissa raportit, miten vähäpäästöinen työmaa on vaikuttanut työn tekemiseen ja kustannuksiin.

4.2 Päästölaskelmat

Tässä luvussa tarkastellaan, miten Sompasaaren infratyömaalla on onnistuttu vähentämään päästöjä. Infratyömaiden todellisia ilman aiheutuvia kasvihuonekaasu- ja lähi-

päästömääriä on todella hankala mitata, koska muuttujia on erittäin paljon. Tarkoituksena ei ole selvittää absoluuttisia päästömääriä vaan havainnollistaa infratyömaan aiheuttamia likimääräisiä päästöjen suuruusluokkia. Laskelmien avulla voidaan havainnollistaa, millä erilaisilla tavoilla päästöjä on työmaalla vähennetty, sekä kuinka paljon nämä toimet ovat vähentäneet työmaan kokonaispäästöjä. Tulosten avulla voidaan verrata, kuinka paljon Sompasaaren työmaa olisi tuottanut päästöjä ilman vähäpäästöisen työmaan tuomia rajoituksia.

Tavoitteena on selvittää, kuinka suuri ero on vanhempien ja modernien työkoneiden sekä kuorma-autojen aiheuttamissa lähipäästöissä sekä selvittää kuinka paljon ne ovat tuottaneet lähipäästöjä koko hankkeen aikana. Fossiilisen- ja uusiutuvan dieselin käytöllä on merkittävä ero päästöissä ja tavoitteena on selvittää, kuinka paljon uusiutuvaa dieseliä käyttämällä voidaan vähentää kokonaislähipäästöjä sekä hiilidioksidipäästöjä. Teräsbetonointi on hankkeen yksi päätyövaiheista ja tavoitteena on selvittää, kuinka paljon teräsbetonointi aiheuttaa hankkeella päästöjä.

4.2.1 Euro ja Stage -päästöluokkien vertailua

Infratyömaiden päästöistä yli puolet johtuu työkoneiden sekä raskaan kuljetuskaluston käytöstä, kuten kuvasta 2 voidaan todeta. Aiemmin tutkimuksessa selvitettiin mahdollisia tapoja vähentää infratyömaiden aiheuttamia päästöjä ja voidaankin todeta, että varsinkin lähipäästöjen osalta on järkevää suosia työmaalla Stage IV ja Euro V -päästöluokan koneita. Tarkoituksena onkin nyt selvittää, kuinka suuri vaikutus työkoneiden päästöluokituksen kiristämällä on ollut Sompasaaren kokonaispäästöihin.

Laskelmissa keskitytään ainoastaan työkoneista ja kuorma-autoista syntyviin lähipäästöihin sekä arvioidaan hiilidioksidipäästöjen määrä, sillä työkoneiden ja kuorma-autojen hiilidioksidipäästöjä ei seurata kuten henkilöautoissa, eikä päästöluokituksissa ole mitään rajoitteita hiilidioksidipäästöjen osalta. Seuraavat laskelmat on laskettu käyttäen fossiilista dieseliä, ei uusiutuvalla dieselillä. Laskelmat ovat hyvin suuntaa antavia, sillä työkoneiden todellisiin käytön aikana syntyviin päästöihin vaikuttavat monet tekijät, kuten millaisessa maastossa liikutaan, kuinka tehokkaasti koneella työskennellään sekä millaisessa kunnossa työkoneiden moottorit ovat. Laskelmat perustuvat taulukoiden 1 ja 2 antamiin arvoihin.

Sompasaaren infratyömaan kalusto koostuu kirjoitushetkellä kahdesta pyörialustaisesta kaivinkoneesta, yhdestä kuorma-autosta, dieselaggregaatista sekä kahdesta maantiivistäjästä. Infrahankkeille tyypillisesti kalusto voi muuttua viikon sisällä hyvinkin radikaalisti, sillä eri työvaiheet vaativat erilaisia työskentelymenetelmiä ja sitä kautta erilaisista kalustoa. Laskelmissa käytetään apuna GRK:n luovuttamaa aineistoa, joissa on eriteltyä työkoneiden ja kuorma-auton polttoaineiden kulutus, käyttötunnit sekä viralliset tiedot koneista. Laskelmissa ei huomioida dieselaggregaatin sekä maantiivistäjien tuottamia päästöjä, sillä niistä ei ole saatavilla kattavia käyttötuntitietoja.

Sompasaaren työmaalla käytettävät pyörialustaiset kaivinkoneet ovat Doosan DX 190W, jossa on Stage IV -luokan 129kW dieselmoottori ja Volvo EWR170E, jossa on Stage IV- luokan 115kW dieselmoottori. Työmaalla ei kirjata erikseen työkoneiden käyttötuntitietoja, mutta koneiden kuljettajat ilmoittivat urakan kokonaiskäyttötuntitiedot, jotka olivat Volvolla noin 908 tuntia ja Doosanilla noin 632 tuntia.

Kaivinkoneiden tuottamat lähipäästöt voidaan laskea taulukon 2 ilmoittamilla tiedoilla, kun tiedetään kaivinkoneen Stage päästöluokitus, kaivinkoneiden moottorien keskiarvoinen enimmäisteho kilowatteina sekä yhteenlasketut työkoneetunnit. Näillä tiedoilla saadaan laskettua päästöt grammoina keskimääräistä tehonkäyttöä kohti [g/kWh]. Taulukon 3 arvot on saatu seuraavalla laskukaavalla, jossa esimerkkinä lasketaan typen oksidien kokonaispäästöt kahdelta pyörialustaiselta työkoneelta:

$$NOx = 0,4 \frac{g}{kWh} \times 1\,540\,h \times 122\,kW = 75\,152\,g \approx 75\,kg$$

Taulukko 4. Sompasaaren infratyömaan työkoneista aiheutuvat lähipäästöt.

Luokitus	Häkä CO (kg)	Hiilivety HC (kg)	Typen oksidit NOx (kg)	Pienhiukkaset PM (kg)
Stage I	939	224	1729	131
Stage II	939	187	1127	56
Stage III A	939	132	620	56
Stage III B	939	36	620	5
Stage IV	939	36	75	5

Taulukosta 4 voidaan nähdä Sompasaaren infratyömaan kahden pyöräalustaisen kairinkoneen aiheuttamat kokonaislähipäästöt Stage IV rivillä lihavoiduin numeroin. Taulukossa on samalla verrattu, kuinka paljon eroa olisi vanhemman päästöluokan koneilla samoilla arvoilla. Taulukon arvoista voidaan todeta, että tiukemmat päästöluokitukset vähentävät huomattavasti lähipäästöjen määrää. Hään määrää ei ole rajoitettu kertaaan, mutta ulkoilmassa esiintyvä häkä ei muodosta ihmisille merkittävää terveyshaittaa. Suurin hyöty Stage IV:n ja Stage III B:n välillä on yli 8 kertaa tiukempi typen oksidien rajoittaminen, jonka seurauksena työntekijät sekä lähiasukkaat altistuvat vähemmän typen oksideille, jotka pahimmassa tapauksessa voivat lisätä riskiä saada keuhkoperäisiä oireita.⁸⁰

Sompasaaren työmaalla käytettävä kuorma-auto on mallia Scania P420, jossa on Euro V -päästöluokan 309 kilowattinen dieselmoottori. Kuorma-auto on ollut käytössä työmaan alusta alkaen yhteensä noin 864 tuntia. Kuorma-auton tuottamat lähipäästöt voidaan laskea taulukon 1 ilmoittamilla tiedoilla, kun tiedetään kuorma-auton Euro-päästöluokitus, moottorin enimmäisteho kilowatteina sekä käyttötuntitiedot. Näillä tiedoilla saadaan laskettua päästöt grammoina keskimääräistä tehonkäyttöä kohti [g/kWh]. Taulukon 4 arvot on saatu seuraavalla laskukaavalla, jossa esimerkkinä lasketaan typenoksidien kokonaispäästöt yhdeltä kuorma-autolta:

$$NOx = 2,0 \frac{g}{kWh} \times 864 h \times 309 kW = 533\,952 g \approx 534 kg$$

Taulukko 5. Sompasaaren infratyömaan kuorma-autosta aiheutuvat lähipäästöt.

Luokitus	Häkä CO (kg)	Hiilivety HC (kg)	Typen oksidit NOx (kg)	Pienhiukkaset PM (kg)
Euro I	1201	294	2136	96
Euro II	1068	294	1869	40
Euro III	561	176	1335	27
Euro IV	400	123	934	5
Euro V	400	123	534	5
Euro VI	400	35	107	3

Taulukosta 5 voidaan nähdä Sompasaaren infratyömaan yhden kuorma-auton aiheuttamat kokonaislähipäästöt Euro V rivillä lihavoiduin numeroin. Taulukossa on samalla verrattu, kuinka paljon eroa olisi vanhemman sekä uudemman päästöluokan koneilla samoilla arvoilla. Taulukosta 4 voidaan todeta sama kuin edellisestä taulukosta 3, että vaarallisten typen oksidien määrää jatkuvasti kiristetty. Suurimpana erona Euro V ja Euro IV -päästöluokassa on hiilivetypäästöjen yli kolminkertainen kiristys sekä typen oksidien viisinkertainen kiristys, jonka takia työmaiden olisikin suotavaa siirtyä käyttämään Euro IV -päästöluokan kuorma-autoja työntekijöiden sekä työmaiden lähiasukkaiden terveyden takia.

Taulukko 6. Sompasaaren infratyömaan työkonien ja kuorma-auton tuottamat lähipäästöt.

Päästöt	Häkä CO (kg)	Hiilivety HC (kg)	Typenoksidit NOx (kg)	Pienhiukkaset PM (kg)
Yhteensä	1339	159	609	10

Taulukossa 6 on laskettu työkonien ja kuorma-auton aiheuttamat lähipäästöt koko hankkeen ajalta yhteen. Laskelmat on laskettu käyttäen fossiilista dieseliä, jotta seuraavassa luvussa voidaan laskea päästövähennemä, eli kuinka paljon uusiutuvaa dieseliä käyttämällä voidaan vähentää lähipäästöjä. Lähipäästöt tippuvat merkittävästi, mitä tiukempia päästöluokitukset ovat. Laskelmien perusteella voidaan todeta, että infratyömaiden siirtyminen Euro V ja Stage IV -päästöluokan koneisiin on työntekijöiden sekä työmaan lähiasukkaiden terveyden kannalta hyvä asia. Seuraavassa luvussa tarkennetaan koneiden käyttämään uusiutuvaan dieseliin.

4.2.2 Polttoaineiden vertailua

Kuten luvussa 3 todettiin, uusiutuvaa dieseliä hyödyntämällä työmaat voivat vähentää päästöjä merkittävästi. Sompasaaren vähäpäästöisellä infratyömaalla fossiilinen diesel on korvattu täysin uusiutuvalla dieselillä (HVO). Tässä luvussa on tarkoituksena vertailla fossiilisen ja uusiutuvan dieselin vaikutusta Sompasaaren infratyömaan kokonaislähipäästöihin ja tarkastella, kuinka paljon uusiutuvaa dieseliä hyödyntämällä voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjä.

Taulukko 7. Keskimääräiset päästövähennykset käyttäen uusiutuvaa dieseliä.

Päästöt	Häkä CO	Hiilivety HC	Typenoksidit NOx	Pienhiukkaset PM	Hiilidioksidi CO ₂
Päästövähennys (%)	24	30	9	33	90

Fossiilisen dieselin korvaaminen uusiutuvalla dieselillä Nesteen mukaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä noin 90 % ja huomattavasti lähipäästöjä, kuten huomataan taulukosta 7. Uusiutuvan dieselin keskimääräiset päästövähennykset verrattuna fossiiliseen dieseliin perustuvat yli 40 tieteelliseen julkaisuun Nesteen mukaan.⁸¹ Taulukon 6 arvoja voidaan hyödyntää päästövähennyksen laskemiseen taulukosta 5, jossa päästöt on laskettu fossiilisen dieselin avulla. Laskelmat on koottu taulukkoon 7, jossa on eroteltu kokonaislähipäästöt fossiilisella (fos) dieselillä ja uusiutuvalla (uus) dieselillä. Tuloksena saadaan fossiilisen- ja uusiutuvan dieselin kokonaislähipäästöjen erotus eli päästövähennys kilogrammoina.

Taulukko 8. Uusiutuvan dieselin vaikutus lähipäästöihin.

Päästöt	Häkä CO (kg)	Hiilivety HC (kg)	Typen oksidit NOx (kg)	Pienhiukkaset PM (kg)
Kok.päästöt (fos)	1339	159	609	10
Kok.päästöt (uus)	1018	111	554	7
Vähennys yhteensä	321	48	55	3

Kuten huomataan taulukosta 7, lähipäästöt ovat vähentyneet merkittävästi, jonka takia hengitysilma paranee ja vähentää työntekijöiden sekä lähiasukkaiden altistusta myrkyllisille pakokaasuille. Nesteen mukaan uusiutuva diesel palaa moottorissa puhtaammin kuin fossiilinen diesel, joka sen takia selittäisi lähipäästöjen vähennyksen. Uusiutuva diesel myös kuormittaa pakokaasujen puhdistusjärjestelmää vähemmän, joka pidentää puhdistusjärjestelmän regenerointiväliä. Regenerointi kuluttaa polttoainetta, joten vähentynyt regenerointi vähentää polttoaineen kulutusta, joka vähentää lähipäästöjen määrää.⁸¹

Uusiutuvalla dieselillä on myös merkittävä ympäristövaikutus, sillä hiilidioksidipäästöt vähenevät 90 %. Seuraavassa laskelmassa selvitetään, kuinka paljon Sompasaaren infratyömaan työkoneet sekä kuorma-auto ovat tuottaneet koko hankkeen aikana hiili-

dioksidipäästöjä. Hiilidioksidipäästöjen osalta laskelmissa on hyödynnetty ConSiten työkoneiden monitorointiohjelmaa, jossa hiilidioksidipäästöjen määrä on laskettu polttoaineen kulutuksen perusteella. ConSite-ohjelma laskee työkoneen teoreettisen polttoaineenkulutuksen, jonka jälkeen ohjelma lisää polttoaineenkulutukseen 2,57978 kg/l hiilidioksidipäästökertoimen, joka tuottaa tuloksena yhden fossiilisen diesel litran polttamisessa syntyvän hiilidioksidin määrän kilogrammoina.

Sompasaaren infratyömaalla on käytetty koko hankkeen aikana uusiutuvaa dieseliä noin 12 771 litraa. Jotta kokonaispolttoaineen määrästä saadaan laskettua hiilidioksidipäästöjen määrä, pitää ensimmäiseksi laskea, kuinka paljon hiilidioksidipäästöjä syntyi fossiilista dieseliä käyttämällä. Fossiilisen dieselin hiilidioksidipäästökerroin on 2,57978 kg/l, jolla kerrotaan kokonaispolttoaineen määrä 12 771 litraa, jolloin tuloksena saadaan hiilidioksidin määrä kilogrammoina. Vastaukseksi saadaan noin 32 950 kg hiilidioksidipäästöjä.

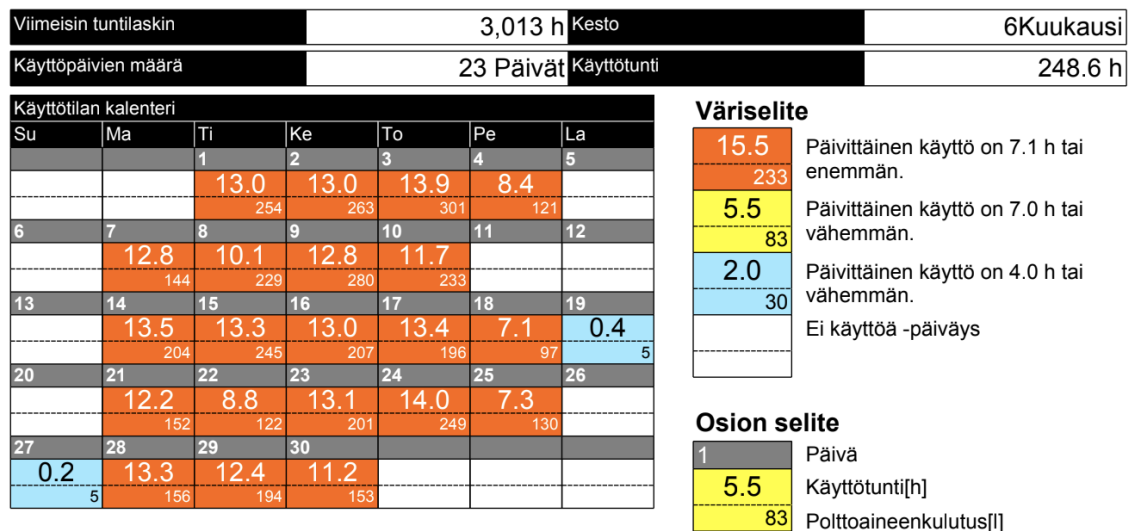
Fossiilista dieseliä käyttämällä Sompasaaren työmaa olisi tuottanut kokonaisuudessaan puolessa vuodessa noin 33 tonnia hiilidioksidipäästöjä, mutta koska työmaalla käytettiin uusiutuvaa dieseliä, hiilidioksidin määrästä voidaan vähentää 90 %. Vähentämällä 90 prosenttia 32 950 kilogrammasta, saadaan tulokseksi 3 295 kg. Sompasaaren infratyömaa on koko puolen vuoden hankkeen aikana tuottanut yhteensä 3,3 tonnia hiilidioksidia koneiden käytön seurauksena.

Oletetaan, että työmaa kuluttaa polttoainetta yhtä paljon koko hankkeen ajan, kunnes projekti valmistuu, niin voidaan laskea, kuinka paljon työmaa aiheuttaisi koko hankkeen alusta loppuun hiilidioksidipäästöjä työkoneiden ja kuorma-auton takia käyttämällä fossiilista dieseliä. Oletetaan, että työmaa valmistuu suunnitelmien mukaisesti vuoden 2021 lopussa, jolloin työaikaa olisi 18 kk verran. Näillä oletuksilla voidaan laskea, että kuudessa kuukaudessa fossiilista dieseliä käyttämällä syntyy hiilidioksidipäästöjä 33 tonnia ja 18:n kuukauden aikana syntyisi 99 tonnia hiilidioksidipäästöjä. Uusiutuvalla dieselillä saavutettava päästövähennys on 90 %, joten koko hankkeen aikana työkoneista ja kuljetuskalustosta syntyy uusiutuvaa dieseliä käyttämällä arviolta noin 9,9 tonnia hiilidioksidipäästöjä.

Sompasaaren infratyömaata voidaan kutsua vähäpäästöiseksi työmaaksi, sillä työmaalla on onnistuttu vähentämään merkittävästi terveydelle haitallisia lähipäästöjä sekä ympäristölle haitallisia hiilidioksidipäästöjä. Päästöjen vähentäminen on saavutettu

tiukemman päästörajoituksen työkoneilla sekä kuorma-autoilla, fossiilisesta dieselistä luopumalla ja siirtymällä uusiutuvaan dieseliin sekä perehdyttämällä kuljettajat taloudelliseen työskentelyyn, jossa korostetaan tyhjäkäyntiaikojen minimoimista sekä kuljetusreittien suunnittelua.

Urakoitsija voi edellyttää, että työmaalle tulevissa työkoneissa olisi asennettuna seurantajärjestelmä (kuvassa 15), jolla voi seurata työkoneen polttoaineen kulutusta, käyttötunteja, työkoneen käytön tehokkuutta sekä tyhjäkäyntiaikoja. Järjestelmää käyttämällä urakoitsija voi reaaliaikaisesti seurata toimiiko kuljettaja annettujen ohjeiden mukaisesti esimerkiksi tyhjäkäyntiaikoja noudattamalla.



Polttoainetehokkuus ja CO2

Polttoaineenkulutus	4,136 l	Edelliseen kuukauteen	+2,107 l
---------------------	---------	-----------------------	----------

* Edellä esitetty polttoaineen kulutus on laskettu teoreettisesti ja eroaa hieman todellisesta kulutuksesta. Se lasketaan joko teoreettisista ruiskutusmääristä tai johdetaan hydraalipumpun kuormista.

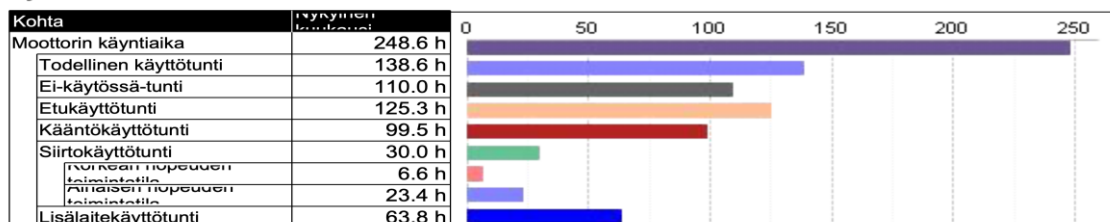
Polttoainetehokkuus	16.6 l/h	Edelliseen kuukauteen	-3.9 l/h
---------------------	----------	-----------------------	----------

* Polttoainetehokkuus lasketaan polttoaineenkulutuksen/käyttötuntien perusteella. Polttoainetehokkuus paranee, kun ei-käytössä tuntien määrä laskee.

CO2-päästöjen määrä	10,670 kg	Edelliseen kuukauteen	+5,435 kg
---------------------	-----------	-----------------------	-----------

* CO2-päästöt on laskettu polttoaineen kulutuksen perusteella.

Käyttötunti



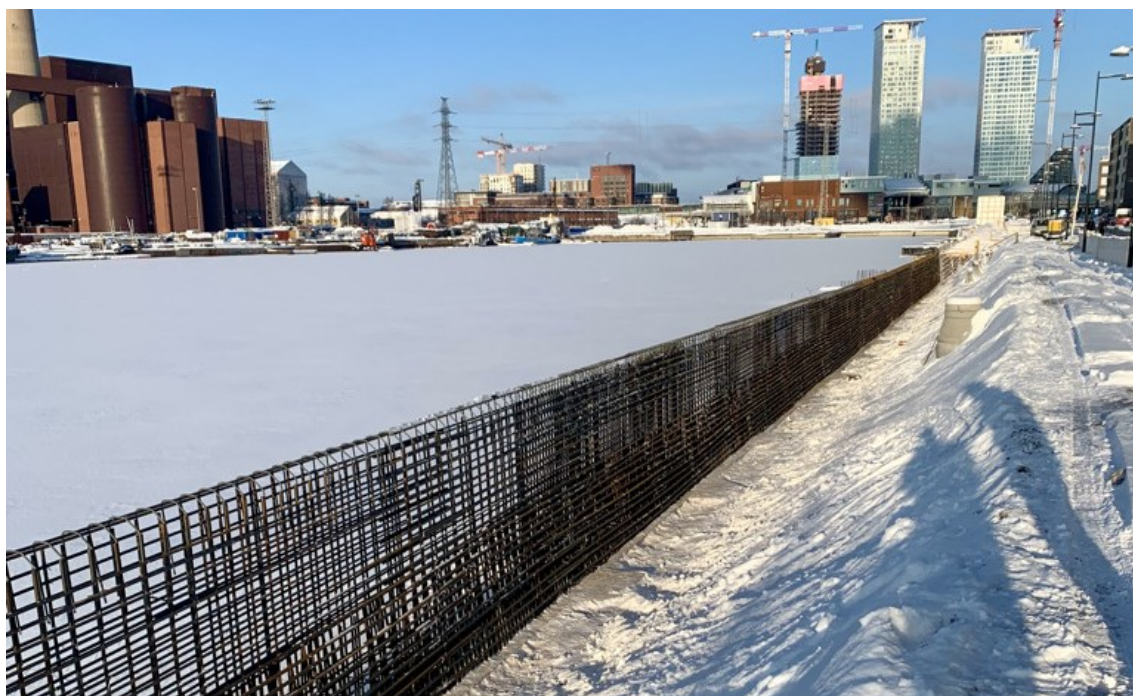
* Kokonaiskäyttötuntien määrä voi ylittää moottorin käyntiajan yhdistetyn käytön vuoksi.

Kuva 15. ConSite-ohjelma työkoneen käyttötietojen tarkasteluun.

4.2.3 Teräsbetonoinnin päästöt

Sompasaaren infratyömaan päätyövaihe on rantarakenteiden teräsbetonointi sekä niiden verhoaminen luonnonkivellä. Tavoitteena on selvittää, kuinka paljon teräsbetonointi aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä urakassa. Päästöjen tarkasteluun valitaan betoni sekä harjateräksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. Materiaalien kuljetuksia ei oteta laskennassa huomioon.

Kuten tutkimuksessa on aiemmin todettu, betonin raaka-aineen sementin tuottaminen aiheuttaa paljon hiilidioksidipäästöjä, joka vaikuttaa myös betonin hiilidioksidipäästöihin. Rakennebetonin hiilidioksidipäästö on noin 150 [kg/m³], eli noin 60 [kg/tn].⁸³ Betonin hiilidioksidipäästöihin voi vaikuttaa valitsemalla vihreää betonia, jossa käytetään enemmän seosaineita, mutta Sompasaaren hankkeessa vihreän betonin käyttö ei ole mahdollista, sillä käytettävä betoni tulee olla meren aiheuttaman rasituksen vuoksi mahdollisimman rasituksenkestävää. Käytettävä betonilaatu hankkeella on C35/45, jonka tulee täyttää rasituksenkestävyydet XC4, XS3, XF4, P70, R4 ja suunnittelukäyttöikä on 100 vuotta. Betoniteräksenä käytetään romupohjaista harjaterästä B500B, kuvassa 16, jonka tuottaminen aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä noin 400 [kg-CO₂/tn].⁸³



Kuva 16. Rantamuurin valmis teräsrakenne, joka odottaa betonimuottia.

Betonin ja harjateräksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt voidaan laskea, kun tiedetään kuinka paljon betonia käytetään kuutioittain sekä kuinka paljon harjaterästä käytetään tonneittain. Suunnitelmien mukaan hankkeella käytetään teräsbetonirakenteeseen betonia noin 1095 m³ ja harjaterästä noin 110 tonnia. Näillä tiedoilla saadaan laskettua betonin aiheuttamat hiilidioksidipäästöt kuutiota kohti ja harjateräksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt tonnia kohti. Betonin hiilidioksidipäästö on 150 [kg/m³], joka kerrotaan koko hankkeella käytettävän betonin kanssa 1095 m³, jolloin saadaan tulokseksi betonin aiheuttama hiilidioksidipäästö kilogrammoina, joka on noin 164 250 [kg-CO₂]. Harjateräksen hiilidioksidipäästö on 400 [kg-CO₂/tn], joka kerrotaan koko hankkeella käytettävän harjateräksen kanssa 110 tonnia, jolloin tulokseksi saadaan harjateräksen aiheuttama hiilidioksidipäästö kilogrammoina, joka on noin 44 000 [kg-CO₂].

Laskemalla yhteen betonin sekä harjateräksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt saadaan vastaukseksi 208 250 kg, eli Sompasaaren rantarakenteiden teräsbetonointi aiheuttaa yhteensä noin 208 tonnia hiilidioksidipäästöjä. Määrä voi vaikuttaa suurelta, mutta kuten luvussa 3.6 todettiin, betoniset rakennelmat (kuva 17) alkavat karbonatisoitua, jolloin betoni alkaa sitoa hiilidioksidia rakenteen pinnalle.



Kuva 17. Valmis kiviverhoiltu teräsbetoninen rantarakenne.

4.3 Kustannukset

Vähäpäästöinen työmaa on rajoittanut urakoitsijan mahdollisuuksia valita työkoneita sekä kuljetuskalustoa hankkeelle töihin, joka on vaikuttaa negatiivisesti hankkeen kustannuksiin, sillä hankkeelle voidaan valita vain sellaisia työkoneita sekä kuljetuskalustoa, jotka ovat päästöluokitukseltaan Stage IV tai Euro V. Euro V -luokituksen omaavat kuorma-autot alkavat jo ikääntymään, koska päästöluokitus on tullut voimaan vuonna 2008, jonka takia niitä saa hankkeelle kohtuullisilla tuntihinnoilla. Stage IV -luokitus on tullut voimaan vuonna 2014, jonka takia koneita on markkinoilla vähemmän ja niistä voidaan pyytää korkeampaa tuntihintaa.

Sompasaaren infratyömaan kahden pyöräalustaisen kaivinkoneen tuntihinnat ovat molemmilla koneilla 95 €/h. Työkoneiden tuntihintaan ovat vaikuttaneet päästöluokitusten lisäksi fossiilisen dieselin korvaaminen uusiutuvalla dieselillä, jonka takia aliurakoitsijat ovat joutuneet nostamaan tuntihintoja polttoainehintojen erotuksen verran. Ilman vähäpäästöisen työmaan tuomia rajoituksia urakoitsija voisi saada samankokoisia pyöräalustaisia kaivinkoneita 85 €/h. Näin voidaan olettaa, että vähäpäästöisen työmaan rajoitukset ovat nostaneet työkoneituntihintoja noin 10 €/h.

Tarkoituksena on nyt laskea, kuinka paljon urakoitsijan kustannukset ovat nousseet työkoneiden tuntihintojen nousun takia puolessa vuodessa sekä arvioida, kuinka paljon kustannukset nousevat koko hankkeen ajalta. Hankkeen oletetaan valmistuvan vuoden 2021 lopussa. Lähtötietoina laskelmissa käytetään työkoneiden käyttötuntitietoja sekä nykyistä tietoa työkoneiden tuntihinnoista ja arviota, jolla työkoneita olisi mahdollista saada ilman vähäpäästöisen työmaan aiheuttamia rajoituksia. Työkoneiden käyttötunnit oletetaan pysyvän samassa suhteessa 18 kk ajan. Kuorma-auton vaikutuksia kustannuksiin ei voida arvioida, sillä se ei ole hankkeella tuntihinnalla vaan se kuuluu Kivi-paasin aliurakkaan.

Taulukko 9. Työkoneiden tuntihintojen vertailua Sompasaaren urakassa.

Työkoneiden tuntihinnat	Käyttötunnit	Lopulliset kustannukset
Pyöreealustainen kaivinkone 95 €/h	6 kk / 1540 h	146 300,00 €
Pyöreealustainen kaivinkone 85 €/h	6 kk / 1540 h	130 900,00 €
Erotus		15 400,00 €
Pyöreealustainen kaivinkone 95 €/h	18 kk / 4620 h	438 900,00 €
Pyöreealustainen kaivinkone 85 €/h	18 kk / 4620 h	392 700,00 €
Erotus		46 200,00 €

Taulukossa 9 on eroteltuna kaivinkoneiden tuntihinnat, jotka on kerrottu käyttötuntien kanssa, jolloin tuloksena saadaan lopulliset kustannukset. Taulukosta voidaan huomata, että työkoneiden tuntihintojen nousu on maksanut urakoitsijalle 6:n kk aikana noin 15 400 € ylimääräistä verrattuna työkoneisiin, jotka ovat vanhempia ja käyttävät fossiilista dieseliä. Koko Sompasaaren urakan ajalta voidaan olettaa, että vähäpäästöisen työmaan tuomat rajoitukset tulevat maksamaan urakoitsijalle työkoneiden osalta noin 46 200 €.

Vähäpäästöisen työmaan rajoitukset nostavat Sompasaaren infratyömaan kustannuksia koko hankkeen aikana arviolta 46 200 €, joiden avulla infratyömaan hengitysilmasta saadaan puhtaampaa vähentämällä huomattavasti työkoneiden aiheuttamien lähipäästöjen määrää. Rajoitusten avulla Sompasaaren infratyömaa vähentää hiilidioksidipäästöjä noin 30 tonnia, jonka avulla vähennetään ympäristörasitusta. Voidaan todeta, että rajoitusten avulla saadaan selkeitä terveyshyötyjä alennettujen lähipäästöjen takia sekä vähennetään ympäristörasitusta alennettujen hiilidioksidipäästöjen takia. Laskelmien tulokset eivät ole absoluuttisia vaan enemmän suuntaa antavia, mutta niistä voidaan nähdä, missä suuruusluokassa kustannukset kasvavat suhteessa vähennettyihin päästöihin. Näiden tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että rajoitusten avulla voidaan saavuttaa selkeitä terveyshyötyjä sekä ympäristöhyötyjä kohtuullisella kustannusten nousulla.

4.3.1 Hiilinielu

Helsingin kaupungin tavoitteena on, että vuoteen 2035 mennessä Helsinki olisi hiili-neutraali ja rakentamisesta aiheutuvat päästöt kuuluvat Helsingin kaupungin hiilineutraalisuustavoitteeseen. Kuten aiemmassa luvussa todettiin, Sompasaaren infratyömaalla on onnistuttu vähentämään hiilidioksidipäästöjä huomattavia määriä, mutta hiili-

neutraalisuus on silti hyvin kaukana. Seuraavaksi on tarkoitus tarkastella, kuinka paljon Sompasaaren infratyömaa tulee tuottamaan arviolta koko hankkeen aikana hiilidioksidipäästöjä sekä arvioida, kuinka paljon hiilidioksidipäästöjen kompensoiminen hiilinielujen avulla voisi maksaa. Hankkeen arvioitaviin hiilidioksidipäästöihin valitaan teräsbetonoinnista sekä työkoneista ja kuljetuskalustosta aiheutuvat päästöt.

Aiempien lukujen tutkimustulosten pohjalta voidaan summata koko hankkeen aikana syntyvät hiilidioksidipäästöt yhteen. Teräsbetonointi tuottaa Sompasaaren hankkeella selkeästi eniten hiilidioksidipäästöjä, noin 208 tonnia. Työkoneista ja kuljetuskalustosta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat selkeästi pienemmät, noin 9,9 tonnia. Summaamalla arviot koko hankkeella aiheutuvista hiilidioksidipäästöistä yhteen saadaan tuloksena noin 218 tonnia hiilidioksidipäästöjä.

Työkoneista ja kuljetuskalustosta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä on onnistuttu vähentämään käyttämällä uusiutuvaa dieseliä, mutta teräsbetonoinnista aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä ei pystytä vähentämään käyttämällä vaihtoehtoisia materiaaleja tai korvaavia menetelmiä, joten ainut tapa tasata ympäristölle aiheutuneet rasitukset on kompensoida päästöt hiilinielulla, esimerkiksi metsittämishankkeilla. Hiilidioksidipäästöjen kompensointiin löytyy nykyään monia yrityksiä, jotka hoitavat projektit läpinäkyvästi, luotettavasti ja varmistavat, että rahat käytetään oikeaan tarkoitukseen.⁸⁶

Ilmastoapu Oy on suomalainen päästövähennysyksiköiden välittäjä, joka tarjoaa palvelunaan kotimaisen turvemaan metsittämishanketta, jossa yhden tuotteen valitessaan yksi männyntaimen istutetaan turvemaalle. Yhden mäntytaimen istutuksen hinta on 6,80 €. Turvemaalle istutettu männyntaimen sitoo koko elinkaaren aikana noin 600 kiloa hiilidioksidia.⁸⁵

Oletetaan, että Sompasaaren infratyömaalla aiheutuneet hiilidioksidipäästöt kompensoitaisiin kotimaisen turvemaan metsittämishankkeessa. Sompasaaren infratyömaa aiheuttaa koko hankkeen aikana arviolta noin 218 tonnia hiilidioksidipäästöjä, jolloin männyntaimenia tulisi istuttaa turvemaalle noin 364 kappaletta. Taimenista kasvavat puut tulisivat elinkaaren aikana sitomaan noin 218 400 kg hiilidioksidia, joka riittäisi kompensoimaan hankkeen aiheuttamat päästöt. Päästökompensaatio Ilmastoapu -yrityksen kautta tulisi maksamaan 1 980 €, johon kuuluu 364 kappaletta männyntaimien istutusta turvemaalle, kestävä metsänhoito sekä ilmastoavun sitoutuminen korvaamaan arvaamattomien metsätuhojen aiheuttamat vahingot.

5 Johtopäätökset

Päästöttömät työmaat -sopimus tulee vaikuttamaan lähitulevaisuudessa hyvin merkittävästi, sillä sopimuksen tuomat rajoitukset ovat hyvin merkittäviä koko infra-alan kannalta. Infra-ala on pysynyt pitkään hyvin perinteisenä, jossa työt on tehty vanhoilla työkoneilla ja teknologiaa on hyödynnetty heikosti. 2010-luvusta lähtien infra-ala on kehittynyt todella vauhdikkaasti teknologian sekä uusien koneiden osalta. Päästöttömät työmaat -sopimus tulee vauhdittamaan tätä kehitystä vielä hurjemmin, kun rajoitusten takia täysin uusien sähkökäyttöisten ja biokaasulla toimivien työkoneiden sekä kuljetuskaluston osuutta tulee lisätä työmaalla, fossiilinen polttoaine vaihtaa uusiutuvaan polttoaineeseen sekä työntekijöiden asennetta tulee muuttaa kohti ympäristöystävällistä ajatusmallia.

Työssä tarkasteltiin erilaisia keinoja vähentää päästöjä infratyömailla, joista tehokkaimpia olivat uudet vaihtoehtoisella polttoaineella toimivat koneet sekä uusimalla kalustotiukimman päästöluokituksen mukaan. Infratyömaiden tulee myös siirtyä täysin fossiilittomiksi, jonka takia työmailla tulee siirtyä käyttämään uusiutuvia polttoaineita sekä uusiutuvista energialähteistä tuotettua sähköä sekä lämpöä. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös hiilinielujen merkitystä, koska infratyömaiden tulisi tavoitella vuoteen 2035 mennessä hiilineutraaliutta. Päästökompensointiavun avulla infratyömaat voivat tasata työmaalla aiheutetut hiilidioksidipäästöt jossain muualla hiilinielujen avulla ja näin saavuttaa hiilineutraalisuuden.

Tutkimukseen valittiin mukaan yksi case-hanke, jonka avulla havainnollistettiin päästövähennyksiä ja niiden vaikutuksia kustannuksiin. Hankkeeksi valikoitui Sompasaaren urakka osa 4, joka oli valikoitu kaupungin toimesta vähäpäästöiseksi työmaapilotiksi. Case-hankkeen avulla laskettiin, kuinka paljon vähäpäästöisen työmaan rajoitukset alentaisivat koko hankkeen aikana työkoneiden sekä kuljetuskaluston aiheuttamia lähi- sekä hiilidioksidipäästöjä. Tulosten avulla voidaan todeta, että moottoreiden päästöluokituksia kannattaa tiukentaa työmaan työntekijöiden sekä mahdollisten lähiasukkaiden takia. Tutkimuksessa laskettiin myös, kuinka paljon fossiilisen dieselin korvaaminen uusiutuvalla dieselillä vaikuttaisi. Tulosten perusteella voidaan todeta, että uusiutuvaa dieseliä käyttämällä saavutetaan kiistattomia hyötyjä alentuneiden lähipäästöjen sekä merkittävästi vähentyneiden kasvihuonekaasupäästöjen takia.

Case-hankkeelle tehdyt laskelmat ovat suuntaa antavia ja niiden tarkoituksena on havainnollistaa, missä suuruusluokassa hanke on ja tulee aiheuttamaan päästöjä sekä miten paljon vastaavasti päästöjen vähentäminen tulee maksamaan. Laskelmien tuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että vähäpäästöisen työmaan rajoitukset ovat tehonneet, sillä case-hankkeen aiheuttamat päästöt vähenivät merkittävästi. Kustannusten osalta voidaan todeta, että vähäpäästöinen työmaa ei aiheuta urakoitsijalle kohtuutonta rahallista haittaa, mutta kasvaneet kustannukset olisi hyvä huomioida tarjousvaiheessa.

Tutkimuksen aihealue on ollut hyvin laaja, jonka takia tutkittavat aiheet on käsitelty hyvin yksinkertaisesti ja helposti luettavasti. Aihealueen laajuuden takia monet tutkitut aiheet vaatisivat tarkempaa tarkastelua, kuten vähäpäästöisen työmaan kustannusten nousu, jota voisi tarkastella useampien hankkeiden avulla, joiden avulla saisi luotettavamman tuloksen infratyömaan kustannusten kasvusta. Toinen tarkastelua vaativa aihe on sähköistyminen infratyömailla, jossa tarkastellaan, miten infratyömaat tulevat valmistautumaan täyssähköisten työkoneiden saapumiseen työmaille ja tutkitaan sähköisten työkoneiden työtehokkuutta.

6 Yhteenveto

Tämä insinööri työ tehtiin GRK:n toimeksiannosta, jossa tutkittiin, miten päästöttömät työmaat -sopimus tulee vaikuttamaan infratyömaihin ja millaiset vaikutukset sillä tulee olemaan kustannuksiin. Insinööri työn tavoitteena on selvittää, millä tavoin infratyömailla voidaan vähentää päästöjä sekä millaiset vaikutuksen niillä on itse infratyömaihin.

Tutkimuksessa tarkastellaan uusiutuvien polttoainevaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia sekä selvitetään, kuinka paljon päästöt vähenevät siirryttäessä fossiilisesta polttoaineesta uusiutuvaan polttoaineeseen infratyömailla. Tavoitteena oli tutkia, kuinka paljon vähäpäästöisen työmaan rajoitukset kasvattivat kustannuksia.

Tutkittavina kohteina olivat erilaiset päästövähennystekniikat, kuten sähkö ja maakaasulla toimivat työkoneet, erilaiset polttoainevaihtoehdot, työkoneiden käytön tehostaminen, vihreän sähkön hyödyntäminen, vihreän betonin hyödyntäminen ja päästöjen kompensointi hiilinielujen avulla.

Vähäpäästöinen työmaa Case-hankkeessa: Sompasaaren urakka osa 4, selvitettiin, kuinka paljon lähi- ja hiilidioksidipäästöjä työmaalla pystyttiin vähentämään käyttämällä uusiutuvaa dieseliä fossiilisen dieselin sijasta. Samalla selvitettiin, kuinka paljon vähäpäästöisen työmaan rajoitukset tulisivat nostamaan kustannuksia koko hankkeen ajalta. Case-hankkeesta selvitettiin myös, kuinka paljon työmaa tulee aiheuttamaan hiilidioksidipäästöjä koko hankkeen ajalta, sekä kuinka paljon hankkeen hiilidioksidipäästöjen kompensoiminen tulisi kustantamaan.

Insinööri työn lopputuloksena voidaan todeta, että päästöttömät työmaat -konseptin rajoitukset koskien fossiilisen dieselin korvaamista uusiutuvalla dieselillä sekä työkoneiden ja kuljetuskaluston päästörajoitusten tiukentamista ovat loistava asia työmaan työntekijöiden sekä mahdollisten lähiasukkaiden kannalta, sillä rajoitusten takia hengitys ilma paranee koneiden läheisyydessä. Rajoituksilla on myös merkittävä positiivinen vaikutus ympäristöön, koska hiilidioksidipäästöt vähenevät merkittävästi. Päästöttömät työmaat -konsepti tulee vaikuttamaan kustannuksiin huomattavasti, mutta ei kohtuuttomasti, suhteutettuna rajoitusten tuomaan hyötyyn nähden.

Lähteet

- 1 <https://sitoumus2050.fi/documents/20143/428684/Päästöttömät+työmaat_green+deal+sopimus+allekirjoitettavaksi_FINAL.pdf/f2df341a-7361-8b5a-8a65-8cdc424836a9>
- 2 <[https://sitoumus2050.fi/paastotontyomaa#/>](https://sitoumus2050.fi/paastotontyomaa#/)
- 3 <[https://www.sitoumus2050.fi/web/sitoumus2050/tietoa-green-dealista#/>](https://www.sitoumus2050.fi/web/sitoumus2050/tietoa-green-dealista#/)
- 4 <[https://eurooppatiedotus.fi/2020/03/04/mika-eun-green-deal/>](https://eurooppatiedotus.fi/2020/03/04/mika-eun-green-deal/)
- 5 <[https://www.grk.fi/palvelut/insinöörirakentaminen/>](https://www.grk.fi/palvelut/insinöörirakentaminen/)
- 6 <[https://www.grk.fi/ilmalan-ratikka/>](https://www.grk.fi/ilmalan-ratikka/)
- 7 <<https://www.epressi.com/tiedotteet/autot-ja-moottoripyorat/paastoton-tyomaa-konseptin-ensiaskleet-otettiin-espoossa.html>>
- 8 <[https://helsinginilmastoteot.fi/helsingin-vahapaastoiset-tyomaapilotit-ovat-kaynnistyneet/>](https://helsinginilmastoteot.fi/helsingin-vahapaastoiset-tyomaapilotit-ovat-kaynnistyneet/)
- 9 <<https://yle.fi/aihe/artikkeli/2016/10/13/sahkosopimuksen-nimi-ei-kerro-energian-vihreydesta-apua-vihersavyn-valintaan>>
- 10 <[https://www.rakennusteollisuus.fi/INFRA/Ajankohtaista/tiedotteet2-kansio/2020/ensimmainen-julkisen-sektorin-green-deal--sopimus-tuo-tiukat-ehdot-tyokoneille/>](https://www.rakennusteollisuus.fi/INFRA/Ajankohtaista/tiedotteet2-kansio/2020/ensimmainen-julkisen-sektorin-green-deal--sopimus-tuo-tiukat-ehdot-tyokoneille/)
- 11 <<http://lipasto.vtt.fi/tyko/index.htm>>
- 12 <<https://energia.fi>>
- 13 <https://energia.fi/files/4360/Sahkovuosi_2019_mediakuvat.pdf_sahkokaavio>
- 14 <[https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsat-ja-ilmastonmuutos/vertailutaso/>](https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsat-ja-ilmastonmuutos/vertailutaso/)
- 15 <<https://www.metsaforest.com/fi/Metsanhoito/Metsien-hiilinielu/Pages/default.aspx>>
- 16 <[https://www.metsalehti.fi/artikkelit/avohakkuu-ei-havita-hiilivarastoa/>](https://www.metsalehti.fi/artikkelit/avohakkuu-ei-havita-hiilivarastoa/)

- 17 <<https://www.ajatuspajavisio.fi/wp-content/uploads/2019/12/Hiilinielujen-ABC.pdf>>
- 18 <<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/7c821f90-9605-4f9d-827b-894301c1e009/hiilinieluista-huolehtiminen.html>>
- 19 <<https://www.hs.fi/tiede/art-2000006298624.html>>
- 20 https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/159812/Diplomityo_Kotro_Jenna.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 21 <<https://arvometsa.fi/blogi/kuinka-saan-metsani-nielemaan-hiilta>>
- 22 <<https://mmm.fi/documents/1410837/12877048/Puuston+maaperan+ja+puutuotteiden+hiilitase+2017.pdf/c452b810-86a2-f545-2bfa-d1b684ecebfb/Puuston+maaperan+ja+puutuotteiden+hiilitase+2017.pdf>>
- 23 <<https://reforest.fi/tietoa-hiilikompensaatiosta/>>
- 24 <<https://finnwatch.org/fi/blogi/713-kompensaatio-tuo-lohtua-yksiloen-ilmastohaepaean,-mutta-yrityksille-se-on-braendityoetae>>
- 25 <<https://finnwatch.org/fi/blogi/695-paeaeseekoe-paeaestoeistae-rahalla>>
- 26 <<https://betoni.com/betonirakentaminen/elementtirakentaminen/infrarakentaminen/>>
- 27 <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK120503.pdf>>
- 28 <<https://tekniikanmaailma.fi/sementin-valmistus-on-suurin-ihmisen-aiheuttamien-co2-paastojen-lahde-teollisuuden-jatteista-voidaan-valmistaa-betonia-joka-ei-sisalla-ollenkaan-sementtia/>>
- 29 <<https://finnsementti.fi/palvelut/ymparisto/co2-tarina/>>
- 30 <https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/Finnsementti_ymparistoraportti_2020.pdf>
- 31 <<https://concretesolution.fi/tutkimustuloksia-maailmalta-betoni-on-hiilinielu/>>
- 32 <<https://www.lujabetoni.fi/tuotteet/valmisbetonit/kompensoitubetoni/>>
- 33 <https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/09/BET1204_54-55.pdf>

- 34 <<https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/vihrea-betoni/5798/vihrea-betoni>>
- 35 <https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/05/BET1702_82-84.pdf>
- 36 <<https://www.epressi.com/tiedotteet/rakentaminen/betoni-on-hiilinielu-vuodessa-10-sementtiteollisuuden-paastoista-sitoutuu-rakennuskantaan.html>>
- 37 <<https://concretesolution.fi/wp-content/uploads/2020/04/CO2NCRETE-SOLUTION-kirjallisuusraportti-6p-20200206.pdf>>
- 38 <https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/tyokoneet>
- 39 <<https://www.espoo.fi/download/noname/%7BA5DA2559-A9F8-4F8F-A60A-278640D5A814%7D/126230>>
- 40 <<https://helsinginilmastoteot.fi/wp-content/uploads/2020/09/HNRY-Liikenteen-ja-logistiikan-ratkaisufoorumi-Tyokoneet-250820.pdf>>
- 41 <<https://yle.fi/uutiset/3-10830138>>
- 42 <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisa_asti/valitse_auto_viisaasti/energialahteet/uusiutuva_diesel>
- 43 <https://irservice.appspot.com/view/ahBzfmlYLNlcnZpY2UtaHJkchsLEg5GaWxlQXR0YWNoWVudBiAgNDdu5juCgw?language_no=1>
- 44 <<https://www.scania.com/fi/fi/home/kestava-kehitys/vaihtoehtoiset-polttoaineet/HVO.html>>
- 45 <<https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7bEC3AFE90-B3FC-446B-90C3-4A8B253B4256%7d/125900>>
- 46 <<https://www.neste.fi/yritysasiakkaat/vastuulliset-ratkaisut/tuotteet/uusiutuvat-polttoaineet/neste-my-uusiutuva-diesel-1>>
- 47 <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/biokaasu>
- 48 <<https://www.scania.com/fi/fi/home/kestava-kehitys/vaihtoehtoiset-polttoaineet/bio-ja-maakaasu.html>>
- 49 <<https://moottori.fi/ajoneuvot/jutut/siis-hah-hvo-fame-lpg-liikennepolttoaineiden-koottu-sanasto/>>
- 50 <<https://biovoima.com/biokaasu>>

- 51 <<https://kaasuautoilijat.fi/2019/07/24/maakaasu-ja-biokaasu/>>
- 52 <<https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tankkausasemat/>>
- 53 <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisa_asti/valitse_auto_viisaasti/energialahteet/vety>
- 54 <<https://www.fortum.fi/tietoa-meista/blogi/forthedoers-blogi/vetytalous-tulee-ennemmin-tai-myohemmin>>
- 55 <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisa_asti/valitse_auto_viisaasti/autotyyppeja/polttokennoauto>
- 56 <<https://www.koneviesti.fi/uutiset/artikkeli-1.1132114>>
- 57 <<https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2003/20031129>> 2 §
- 58 <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa>
- 59 <<https://www.genano.com/fi/tietopankki/kasvihuonekaasut-ja-niiden-haitallisuus>>
- 60 <<https://www.scania.com/fi/fi/home/kestava-kehitys/vaihtoehtoiset-polttoaineet.html>>
- 61 <https://www.motiva.fi/files/9247/Henkiloauton_moottorin_esilammituksen_vaihtoehtoiset_paastoihin_ja_energian_kulutukseen_VTT-R-06328-13.pdf>
- 62 <<https://www.ekosahko.fi/usein-kysytyt-kysymykset-vihreasta-sahkosta>>
- 63 <<https://sahkovertailu.fi/vihrea-sahko>>
- 64 <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/voimalan_sijoittaminen>
- 65 <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima>
- 66 <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_kaytto>
- 67 <<https://electrek.co/2019/01/29/caterpillar-electric-excavator-giant-battery-pack/>>
- 68 <https://asia.doosanequipment.com/emerging/download/equipment/special-applications/electric-excavator/en_electric-excavator.pdf>

- 69 <<https://www.staad-group.com/new/electric/doosan-dx300lc-electric/>>
- 70 <<https://image.slidesharecdn.com/energiavuosi2019sahko-200122152431/95/energiavuosi-2019-shk-13-1024.jpg?cb=1579706744>>
- 71 <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiilisyys/rt-hiilitiekartta_rakennetun-ympariston-hiilielinkaaren-nykytila-lopullinen-luonnos-20.3.pdf>
- 72 <https://tilastokeskus.fi/til/khki/2017/khki_2017_2018-05-24_kat_001_fi.html>
- 73 <[https://www.nettikone.com/kuljetuskalusto/kuorma-autot?id_cat_sub_type=1043&yfrom=2013&id_country\[\]=73](https://www.nettikone.com/kuljetuskalusto/kuorma-autot?id_cat_sub_type=1043&yfrom=2013&id_country[]=73)>
- 74 <[https://www.nettikone.com/maarakennus/kaivinkone?yfrom=2014&id_country\[\]=73](https://www.nettikone.com/maarakennus/kaivinkone?yfrom=2014&id_country[]=73)>
- 75 <https://kaino.kotus.fi/www/verkkajulkaisut/julk125/helsinki/kuvat/sompasaari_ennen.gif>
- 76 <<https://www.rakennuslehti.fi/2016/04/rakennusteholle-hitas-kohde-sompasaareen/>>
- 77 <<https://helsinginilmastoteot.fi/helsingin-vahapaastoiset-tyomaapilotit-ovat-kaynnistyneet/>>
- 78 <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121105/lts_2015-60_978-952-317-168-8.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 79 <<https://6aika.fi/paastoja-vahennetaan-kaupunkien-tyomailla-hnry-hankkeen-pilotit-jouduttavat-kehitysta/>>
- 80 <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Tieliikenteen%20eri%20käyttövoimien%20ja%20polttoaineiden%20lähipäästöt%20ja%20niiden%20haitalliset%20vaikutukset_Vaihe%202_final.pdf>
- 81 <<https://www.neste.fi/tuote/neste-my-uusiutuva-diesel-10>>
- 82 <http://fi.opasnet.org/fi/Tautitaakka_Suomessa>
- 83 <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK150303.pdf>>
- 84 <https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/08/BET1502_74-77.pdf>
- 85 <<https://www.ilmastoapu.fi/tuote/19468560>>

- 86 <<https://www.valonia.fi/materiaali/katsaus-paastokompensaatiopalveluihin/>>
- 87 <<https://hs.mediadelivery.fi/img/1920/cf0d05208b4c4208b1710308cd37b146.jpg>
>
- 88 <<https://www.maailma.net/uutiset/paastokompensointi-paremmen-omantunnon-ostamista-vai-investointeja-hyviin-tarkoituksiin>>