



Salome Kallio

Päästötön työmaa -sopimuksen vaikutukset infrarakentamishankkeiden toteutukseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

13.1.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Salome Kallio
Otsikko:	Päästötön työmaa -sopimuksen vaikutukset infrarakentamishankkeiden toteutukseen
Sivumäärä:	69 sivua + liitteet 17 sivua
Aika:	13.1.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine:	Infrarakentaminen
Ohjaajat:	Lehtori Mika Räsänen, Metropolia Ammattikorkeakoulu Esa Juhantila, Yksikönjohtaja, Terrawise Oy

Tämän insinööriyön tavoitteena oli tutkia Green Deal päästötön työmaa -sopimuksen vaikutuksia infra-alan hankkeiden toteuttamiseen. Tutkimuksen yhtenä keskeisenä päämääränä oli tuottaa tietoa päästövähennysmahdollisuuksista ja uusiutuvan polttoaineen käyttämisen seurauksena syntyvistä kustannuksista. Työn teoriaosuudessa käsiteltiin melko laajasti Green Deal -sopimukseen liittyviä muutoksia ja ympäristövaikutusten vähentämiseen kehitettyä nykYTEKNOLOGIAA.

Tutkimuksessa hyödynnettyä taustatietoa kerättiin kenttätutkimuksen ja haastattelujen avulla. Tietoa kustannusvaikutuksista tuotettiin polttoaineen kulutusta, polttoaineiden hintaeroja ja erilaisia hankekokonaisuuksia käsittelevien laskelmien avulla. Työssä tutkittiin myös, kuinka hyvin markkinoilla on saatavilla vety-, biokaasu- ja täyssähkökäyttöisiä työkoneita, sekä korkeammissa päästöluokissa olevia dieselkäyttöisiä työkoneita, ja kuinka hyvin saatavilla oleva kalusto vastaa työmaiden tarpeisiin.

Tehtyjen laskelmien avulla saatiin tuotettua melko tarkkaa ja hyvin hyödynnettävissä olevaa tietoa konetyö- ja kuljetuskustannusten kasvusta. Laskelmien avulla onnistuttiin myös tuottamaan suuruusluokkatietoa kustannusvaikutuksista hanketasolla ja vertailemaan jo kilpailutettujen hankkeiden hankintaperusteita. Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla ei tutkimuksen perusteella aiheuta merkittävää kustannusten nousua hanketasolla tarkasteltuna.

Korkeammissa päästöluokissa olevaa kalustoa todettiin tutkimuksen perusteella olevan saatavilla hyvin ja alihankintaverkon nykyisenkin kaluston vastaavan erinomaisesti hankkeille asetettuihin vaatimuksiin. Markkinoilla olevien vety-, biokaasu- ja täyssähkökaluston todettiin tutkimuksen perusteella vastaavan nykytilanteessa heikosti infrarakentamisen tarpeisiin. Vety-, biokaasu- ja sähkökäyttöisen kaluston laajamittainen käyttöönotto edellyttäisi myös latausinfra- ja vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluverkon kehittymistä.

Avainsanat: ilmastonmuutos, Green Deal, päästötön työmaa

Abstract

Author: Salome Kallio
Title: Impact of Green Deal Zero Emission Site Agreement on Implementation of Infrastructure Construction Projects
Number of Pages: 69 pages + 17 pages of appendices
Date: 13 January 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil Engineering
Professional Major: Environmental Construction
Supervisors: Mika Räsänen, Senior Lecturer, Metropolia University of Applied Sciences
Esa Juhantila, Head of Department, Terrawise Oy

The goal of this final year project was to study effects of the Green Deal Zero-Emission Site Agreement. The study was commissioned by Terrawise Oy. One of the main priorities of the study was to provide the company with information on the costs of using renewable fuels.

The background information used in the study was collected through field research and interviews. Information on cost impacts was generated by calculations. The study also examined availability and suitability of heavy machinery using alternative motive powers, such as biogas, hydrogen and electricity.

The calculations provided fairly accurate and well-utilized information on the increase in the cost of machine work and site transportation. According to the study, the replacement of fossil fuels with renewable HVO fuels may not lead to a significant increase of costs. On the basis of the study, heavy machinery in the higher emission classes were found to be well available and the current equipment in the subcontracting network also meets the requirements of the projects. Vehicles currently on the market using alternative motive power were found to poorly meeting the needs of the infrastructure construction projects.

Keywords: Climate change, Green Deal, emission free worksite

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tavoite ja rajaus	1
1.2	Terrawise Oy	2
2	Ilmastonmuutos	4
2.1	Ilmastonmuutoksen tutkimus ja historia	5
2.2	Ilmastonmuutos, politiikka ja talous	6
2.3	Kansainvälinen päästöoikeuskauppa	8
2.4	Infrarakentaminen ja ympäristö	10
3	Green Deal päästötön työmaa	12
3.1	Green Deal -pilottihanke Kulosaaren Rantatie	14
3.2	Rakennushankkeesta syntyvät päästöt	17
4	Uusiutuva energia	20
4.1.1	CHP-tuotanto	21
4.1.2	Puupolttoaineet	22
5	Polttoaineet	25
5.1	Fossiiliset polttoaineet	25
5.2	Uusiutuvat polttoaineet	25
5.2.1	HVO-diesel	26
5.2.2	Perinteinen biodiesel	26
5.2.3	Biokaasu	27
5.2.4	Vety	27
6	Kalusto	29
6.1	Stage-luokitus	29
6.2	Stage-luokkien vertailuhanke	33
6.3	EURO-luokitus	42
6.4	Pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmät	44
6.5	Pienkalusto	47

6.6	Kaluston saatavuus	47
6.7	Kaluston käyttökelpoisuus ja erityisvaatimukset	49
7	Kiertotalous ja MARA-asetus	51
7.1	Kiertotalous	51
7.2	Puhtaiden maamassojen kierrätys	52
7.3	MARA-asetus	53
7.4	MARA-asetuksen mukainen ilmoitus	55
8	Betonirakentaminen ja sementtiteollisuus	57
8.1	Betonirakentamisen päästöt ja päästövähennyspotentiaali	57
8.2	Betoni hiilinieluna	58
8.3	Betoniteräs	59
9	Työmaan näkökulma	60
9.1	Yleiset käytännöt	60
9.2	Seurantamenetelmien lähtökohdat	60
9.3	Päästöseurannan tasot	61
9.4	Päästöseurannan prosessi	62
9.5	Alihankinta	62
9.6	Marttilan STk-hanke	63
10	Kustannusvaikutukset	65
11	Johtopäätelmät ja yhteenveto	67
	Lähteet	70

Liite 1: Laskelmissa käytetyt lyhenteet

Liite 2: Uusiutuvan polttoaineen käytön kustannusvaikutus

Liite 3: Kustannusvaikutusten suuruusluokka koko hankkeen tasolla

Liite 4: HSY:n kilpailuttaman hankkeen tarjousvaiheen pisteytysperusteiden vertailu

Liite 5: Yritykselle tuotetut laskelmat. Vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin

Lyhenteet ja termit

Albedo	Heijastuskyky. Kuvaa pinnan tai kappaleen kykyä heijastaa siihen osuvaa säteilyä.
ASC	Ammonia Slip Catalyst. Ammoniakkijäämiä poistava katalysaattori.
CHP	Sähkön ja lämmön yhteistuotantomenetelmä
CO ₂ e	Hiilidioksidiekvivalenttitonni. Ilmastopäästöjen yksikkö. Myös muiden kasvihuonekaasujen kuin hiilidioksidin vaikutus muunnetaan vastaamaan hiilidioksidin ilmastovaiikutusta. Esimerkiksi metaanipäästöjen kerroin on 21 ja typpioksiduulien 310.
DOC	Diesel Oxidation Catalyst. Hapettava katalysaattori.
DPF	Diesel Particular Filter. Hiukkassuodatin.
EGR	Exhaust Gas Recirculation. Pakokaasujen takaisinkierätysjärjestelmä.
EURO-luokitus	Ajoneuvojen päästöluokitusjärjestelmä. Tässä opinnäytetyössä käsitellään raskaan kaluston EURO-luokitusta.
F-kaasut	Fluoratut kasvihuonekaasut. Yhteinen nimitys HFC-, PFC-yhdisteille, rikkiheksafluoridille (SF ₆) ja typpifluoridille (NF ₃). F-kaasut ovat vaikutuksiltaan voimakkaita kasvihuonepäästöjä. F-kaasujen merkittävin lähde on kylmä- ja ilmastointilaitteet.

Fossiilivapaa työmaa	Työmaa, jonka työkoneissa tai sisäisissä kuljetuksissa ei käytetä fossiilisia polttoaineita. Sähkönä käytetään ainoastaan uusiutuvista energialähteistä peräisin olevaa sähköä.
HFC-yhdisteet	Fluorihillivedyt. Käytetään lähinnä kylmä- ja ilmastointilaitteissa. HFC-yhdisteiden ilmastoa lämmittävän vaikutuksen on arvioitu olevan jopa tuhatkertainen hiilidioksiidiin verrattaessa.
Hiilijalanjälki	Tuotteen tai toiminnan ilmastovaikutusta kuvaava termi, joka kertoo kuinka paljon kasvihuonepäästöjä toiminnasta tai esimerkiksi tuotteen valmistamisesta aiheutuu.
Hiilinielu	Mikä tahansa toiminto, joka poistaa hiilidioksidia tai muuta kasvihuonekaasua ilmakehästä.
HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Vesi- ja jätehuollon palveluntuottaja pääkaupunkiseudulla ja lähikunnissa.
HVO	Hydrotreated vegetable oil. Vetykäsitelty kasviöljy. Uusiutuva dieselpolttoaine.
Kasvihuonekaasu	Kaasu, joka imee itseensä lämpösäteilyä. Sekä luonnostaan ilmakehässä esiintyviä että ihmisen toiminnasta syntyneitä lämpösäteilyn absorptioon osallistuvia kaasuja kutsutaan kasvihuonekaasuiksi.
Kioton pöytäkirja	YK:n ilmastosopimusta täydentävä pöytäkirja. Ensimmäinen oikeudellisesti sitova sopimus, jonka avulla on tehty kansainvälisiä päästövähennyksiä.

KEINO-osaamiskeskus	Kestävien ja innovatiivisten julkisten hankintojen verkostomainen osaamiskeskus, jonka toiminnan ohjaamisesta ja rahoittamisesta vastaa työ- ja elinkeinoministeriö.
Kuorma-autot	N2- ja N3- luokan ajoneuvot. Auto, jota käytetään tavaroiden tai muun materiaalin kuljettamiseen.
PPM	Parts per million. Miljoonasosa.
Paikallispäästöt	Paikallisesti syntyvät terveydelle haitalliset päästöt. Paikallispäästöiksi katsotaan hiilimonoksidi, hiilivedyt, typen oksidit, pienhiukkaset, pöly ja moottorimelu.
PFC-yhdisteet	Perfluoratut yhdisteet. Käytetään yleisesti esimerkiksi vettä hylkivissä tekstiileissä. PFC-yhdisteillä on sekä terveydelle että ympäristölle haitallisia ominaisuuksia minkä lisäksi ne ovat erittäin hitaasti hajoavia.
Päästöt:	Kasvihuonekaasut ja haitalliset paikallispäästöt; hiilimonoksidi, hiilivedyt, typen oksidit, pienhiukkaset. Päästöiksi katsotaan myös pöly ja melu, mutta Green Deal päästötön työmaa -sopimus ei koske pölyä.
Päästötön työmaa	Työmaa, joka ei tuota suoria kasvihuonepäästöjä eikä haitallisia paikallispäästöjä.
Päästötön työmaa -konsepti	Hiilineutraalit ja resurssiviisaat yritysalueet (HNRY)-hankkeen osana kehitettävä konsepti, jota soveltamalla hankintayksikön on mahdollista toteuttaa Green Deal päästötön työmaa -sopimuksessa asetettuja tavoitteita.

SRC	Selective Catalytic Reduction. Typenoksideja pelkistävä katalysaattori.
Stage-luokitus	Työkoneiden päästöluokitusjärjestelmä.
STk-urakka	Kehittämävaiheen sisältävä suunnittele ja toteuta -urakka.
VTT	Suomen valtion omistama teknologian tutkimuskeskus

1 Johdanto

Ilmastonmuutos on merkittävä globaali uhka, jonka hillitsemiseksi tarvitaan vaikuttavia ja nopeita toimia maailmanlaajuisesti. Ilmaston muuttuessa luonnon monimuotoisuus heikkenee, ääri-ilmiöt lisääntyvät ja myös maailman talous ja sosiaalinen kehitys ovat uhattuina. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi on ryhdytty toimimaan ja kehittämään ratkaisuja sekä kansallisella että kansainvälisellä tasolla. Rakentaminen kuluttaa noin puolet luonnonvaroistamme [Pasanen 2018.], joten on ymmärrettävää, että ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi tarvittavat toimet korostuvat myös rakennusalalla yhä selkeämmin.

Merkittävä osa infrarakennushankkeiden päästöistä syntyy työkoneiden ja työmaiden kuljetuskaluston pakokaasuista [Laine 2020]. Vuonna 1993 otettiin käyttöön raskaan kaluston pakokaasupäästöjä säätelevä EURO-luokitus ja neljä vuotta myöhemmin myös työkoneiden pakokaasupäästöjä alettiin rajoittaa Stage-luokituksella. Viimeisen 30 vuoden aikana muutos on ollut nopeaa ja hankkeen ympäristövaikutuksia tarkastellaan yhä enemmän myös koko elinkaaren ajalta. Ympäristönäkökohdat korostuvat entistä selkeämmin hankintakilpailuissa ja yhtenä konkreettisimpana edistysaskeleena Suomen ympäristöministeriö, Helsinki, Turku, Vantaa, Espoo ja Senaattikiinteistöt julkistivat allekirjoittamansa ilmastonmuutoksen hillitsemiseen ja fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämiseen pyrkivän Green Deal päästötön työmaa -sopimuksen. Sopimuksen tavoitteena on päästä merkittäviin päästövähennyksiin hankintayksiköiden työmailla. [Green Deal päästötön työmaa -sopimus 2019.]

1.1 Työn tavoite ja rajaus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa tietoa infrarakentamistyömaiden päästövähennysmahdollisuuksista ja käytettävissä olevien keinojen kustannusvaikutuksista. Yhtenä keskeisimpänä tutkimuskohteena on Green Deal päästötön työmaa -sopimuksen mukaisten tavoitteiden vaikutukset maarakennustyökoneiden käytön kustannuksiin.

Työ tutkii myös yleisellä tasolla muun muassa uusiutuvan energian tuottamiseksi olemassa olevaa teknologiaa, uusien ekologisempien polttoaineiden mahdollisuuksia ja työmaiden ja liikenteen päästöistä aiheutuvia terveysvaikutuksia. Lisäksi työssä arvioidaan jo kilpailutettujen hankkeiden hankintaperusteiden kannustavuutta ympäristönäkökohtien yhä tarkempaan huomioimiseen. Tutkimusmenetelmänä työssä toimivat laskelmat, kirjallisten lähteiden hyödyntäminen, haastattelut ja kenttätutkimus. Työn käsittelemät aihealueet ovat hyvin laajoja ja tässä työssä niitä käsitelläänkin vain yrityksen liiketoimintojen tarpeiden vaatimassa laajuudessa.

1.2 Terrawise Oy

Terrawise Oy on vuonna 2015 perustettu, monipuolisia infra-alan palveluita tuottava yritys. Terrawisen liiketoiminnot jakautuvat neljään eri liiketoimintayksikköön; infra- ja maarakentamiseen, viherrakentamiseen, louhintaan ja kiviväestämiseen. Terrawisen omistavat Sentic Partnersin hallinnoimat rahastot. Työntekijöitä yrityksessä on noin 300. Maantieteellisesti yrityksen toiminnot sijoittuvat Uudenmaan, Varsinais-Suomen ja Pirkanmaan alueelle.

Yrityksellä on RALA-pätevyys sekä RALA ympäristö- ja laatu-, ja turvallisuussertifikaatit. RALA-sertifikaatti on osoitus siitä, että yrityksen toimintajärjestelmä täyttää arviointiperusteiden vaatimukset, sovittuja menettelyjä sovelletaan käytännössä ja yrityksen toimintaa pyritään jatkuvasti kehittämään. Sertifikaatti sujuvoittaa myös tilaajan työtä hankintamenettelyssä. Yritys on myös Infra RY:n ja Viher- ja ympäristörakentajat ry:n jäsen.

Infra- ja maarakennusyksikön hankkeet ovat pääosin kiinteistö- ja asunto-osakeyhtiöiden sekä julkisten sektoreiden tilaamia hankkeita. Liiketoimintojen keskittyessä pääkaupunkiseudun, Pirkanmaan ja Varsinais-Suomen alueelle, toimivat yksikön toteuttamissa hankkeissa tilaajana usein myös Green Deal päästötön työmaa -sopimuksen allekirjoittaneet hankintayksiköt, mikä korostaa ennestään sopimuksen mukanaan tuomien muutosten tuntemisen merkitystä. Opin- näytetyön tarkoituksena on tuottaa työn toimeksiantajalle Terrawise Oy:lle tietoa

Green Deal päästötön työmaa -sopimuksen tavoitteiden mukaisten toimenpiteiden vaikutuksista infrarakennushankkeiden toteuttamisen kustannuksiin ja käytännön toimiin työmaalla. Lisäksi tarkastellaan, kuinka hyvin yrityksessä käytössä oleva kalusto ja toimitavat vastaavat tämänhetkisiin ja lähitulevaisuudessa työmaata koskeviin vaatimuksiin.

2 Ilmastonmuutos

Maapallomme ilmasto-olosuhteisiin vaikuttavat monet tekijät. Auringon säteily on maapallon energianlähteistä merkittävin ja samalla maapallonpäällisen elämän edellytys. Auringon tuottama säteilyenergia toimii kaikkien sääilmiöiden energialähteenä. Suurimpiin energialähteisiin lukeutuu myös maan sisäinen eli geoterminen lämpö. Geoterminen lämpö kattaa kuitenkin vain noin 0,02 % auringosta saatavasta energiasta. [Kuusisto 1999: 201–202.]

Ilmakehän läpi kulkiessaan auringonsäteily imeytyy osittain ilman kaasuihin ja pilviin. Pilvisenä päivänä noin puolet pilvien yläpinnalle osuvasta säteilystä heijastuu takaisin avaruuteen. Pilvien määrän ja laadun vaihdellessa eri leveysasteilla ja vuodenaikojen mukaisesti, heijastumisen määrässä esiintyy suuria alueellisia ja ajallisia vaihteluita. Auringon säteilyn heijastumisella on iso rooli maapallon lämpötaloudessa. Noin puolet ilmakehän ulkorajalle saapuvasta säteilystä saapuu maanpinnalle asti. Maanpinnalle saapuneesta säteilyenergiasta iso osa kuluu veden haihduttamiseen ja maan pintakerrosten lämmittämiseen. Maanpinnalle saapuneesta säteilystä takaisin heijastuu kokonaisuudessaan noin 30 %. Tätä maan pinnalta avaruuteen heijastuvan säteilyn määrää kutsutaan planetaariseksi albedoksi. Erilaisten pintakerroksien albedo vaihtelee riippuen pinnan ominaisuuksista ja auringon korkeuskulmasta. Vesipinnoilta ja vihreistä metsistä takaisin heijastuvan säteilyn määrä on yleensä alle 10 %, kun taas vastasataneen lumen albedo on peräti 90 %. Muiden luonnollisten pintojen albedo vaihtelee 10–30 % välillä. [Kuusisto 1990: 102–203.]

Jotta keskilämpötila maapallolla säilyy likipitään vakiona, täytyy maapallon säteillä auringosta saamaansa säteilyenergiaa vastaava energiamäärä takaisin avaruuteen. Maan pinnalta lähtevä säteily on pääosin pitkäaaltoista lämpösäteilyä, joka imeytyy erittäin tehokkaasti pilviin ja joihinkin ilmakehän kaasuihin. Ilmakehän yleisimmät kaasut; happi, typpi ja argon eivät absorboi lämpösäteilyä, toisin kuin myös luonnollisesti ilmakehässä esiintyvät hiilidioksidi, metaani, typpioksiduuli ja otsoni. Nykyään ilmakehään päätyy myös ihmisen kehittämää, erittäin tehokkaasti lämpösäteilyä imeviä, pitkäikäisiä kaasuja, kuten

rikkiheksafluoridia sekä HFC- ja PFC-yhdisteitä. Sekä luonnollisia että ihmisen kehittämiä lämpösäteilyn absorptioon osallistuvia kaasuja kutsutaan kasvihuonekaasuiksi. Näiden lämpösäteilyä tehokkaasti imevien kaasujen vaikutuksesta ilmakehän alimmat osat lämpenevät. Tätä kutsutaan kasvihuoneilmiöksi. Kasvihuoneilmiö itsessään on luonnollinen ja elämän kannalta jopa välttämätön ilmiö. Kasvihuonekaasujen suhteellisen määrän kasvaessa maapallon lämpötila kuitenkin muuttuu. [Kuusisto 1999: 203–204.]

2.1 Ilmastonmuutoksen tutkimus ja historia

Tutkijat ja asiantuntijat ovat tärkeässä roolissa tuottamassa tietoa ilmastonmuutoksesta ja onnistunut tutkimustyö edellyttää eri luonnontieteen alojen asiantuntijoilta yhteistyötä. Tietoa maaperän ilmasto-olojen historiasta on saatu tutkimalla maa- ja kallioperän kerrostumia, valtamerien sedimenttejä sekä fossiileja. Tutkimukset ovat osoittaneet, että maapallon historiassa on ollut sekä nykyistä kylmempää että lämpimämpiä ajanjaksoja jo ennen säämittausten aloittamista. [Kuusisto 1999: 211.]

Säämittausten aikakausi alkoi Euroopassa 1600-luvun lopussa. Mittausten avulla on huomattu, että maapallon lämpeneminen alkoi kiihtyä voimakkaasti 1980-luvulla [Kuusisto 1999: 211]. Ilmastonmuutoksesta kertovina indikaattoreina on pidetty maan ja meren lämpötilaa, merenpinnan tasonvaihtelua, arktisen meren jääpeitettä, merien happamoitumista ja äärimmäisiä sääilmiöitä. Useat näistä keskeisistä indikaattoreista ovat viimeisinä vuosikymmeninä kertooneet siirtymistä yli luonnollisten vaihtelurajojen. Tutkimuksilla on voitu osoittaa ihmiskunnan toiminnan ja erityisesti fossiilisten polttoaineiden käytön johtavan ilmastonmuutokseen. [Virtanen 2011: 20.] Ennen teollista aikakautta kasvihuonepäästöjen pitoisuus ilmakehässä on ollut 278 ppm. Vuonna 2010 pitoisuus on ollut lähes 390 ppm. Arvioidaan, että 450 ppm:n hiilidioksidipitoisuus ilmakehässä aiheuttaisi noin 2–2,4 °C:n nousun maapallon keskilämpötilassa. [Virtanen 2011: 49.]

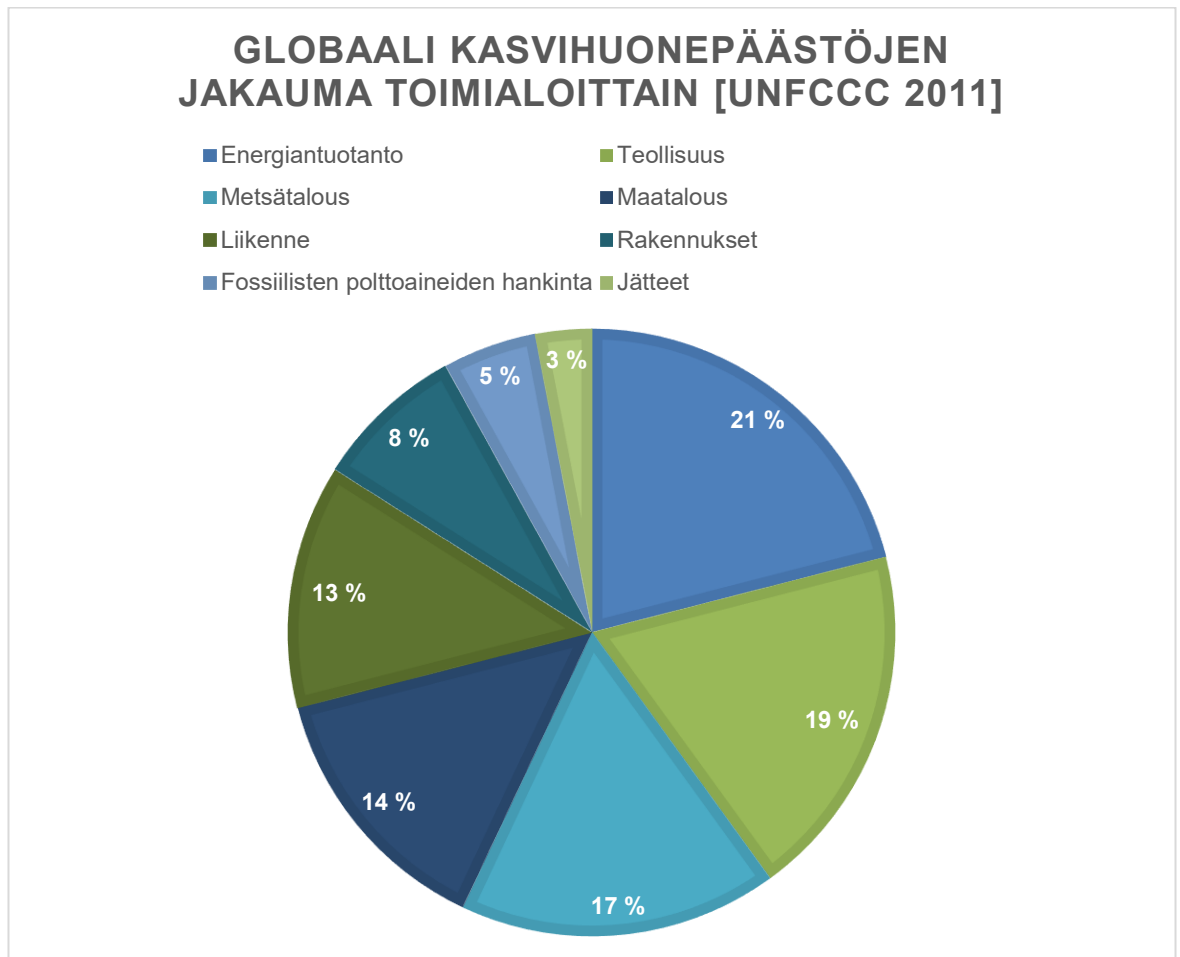
2.2 Ilmastonmuutos, politiikka ja talous

Ilmastopolitiikka on saanut alkunsa jo vuoden 1979 tienoilla, samoihin aikoihin, kun Maailman ilmatieteen järjestö (World Meteorological Organisation, WMO) organisoi ilmastonmuutosta käsittelevän konferenssin Genevessä. Sittemmin on allekirjoitettu useita ilmastopoliittisia tavoitteita koskevia ja ilmastonmuutoksen hillintään tähtääviä sopimuksia. Näistä merkittävimpänä voidaan nostaa esiin vuonna 1994 voimaan tullut, 197 osapuolen ratifioima YK:n ilmastosopimus. Myös Suomi ratifioi sopimuksen sen voimaantulovuonna. Suomen ja Euroopan unionin ilmastopolitiikkaa ohjaavat sekä alueelliset ja globaalit tavoitteet päästö- vähennyksistä ja sopeutumiskeinoista. [Virtanen 2011: 44–47.]

Luonnon monimuotoisuuden lisäksi ilmastonmuutos uhkaa kestävästä taloudellista ja sosiaalista kehitystä. Kasvihuonepäästöjen vähentämistavoitteiden yhdistäminen kestävästä kehityksen tavoitteisiin mahdollistaa onnistuneen ilmastopolitiikan. Kansainväliset sopimukset, direktiivit, tukijärjestelmät ja standardit, sekä maiden kansallisesti asettamat tavoitteet ovat hallinnollisia ilmastopoliittisia ohjauskeinoja. [Virtanen & Rohweder 2011: 13–14.] Päästöjen hillintäpolitiikka on kiistatta globaalia: riippumatta siitä, missä osassa maapalloa päästöjä onnistutaan vähentämään, vaikutukset näkyvät koko maailman ilmastossa. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen on kuitenkin paikallista, sillä jokaisen maan on sopeuduttava ilmastonmuutoksen mukanaan tuomiin muutoksiin; luonnonilmiöihin ja elinolojen muutoksiin. Sopeutumisen edellyttämät toimet muodostavat maille myös taloudellisia rasitteita ja sopeutuminen ilmaston muutokseen saattaa tuoda mukanaan myös ylikansallisia seurauksia, kuten ilmastopakolaisuutta. [Aatola & Ollikainen 2011.]

Ihmiskunnan elintason kasvu on perustunut pitkään fossiilisen energian hyödyntämiseen ja nykyinen markkinamekanismi on tunnistettu kyvyttömäksi rajoittamaan päästöjä ilman, että julkinen valta asettaa sille globaalisti sitovat rajoitukset. Kaikkia maita koskevan sopimuksen aikaansaamisessa on kuitenkin omat haasteensa. Eri mailla on erilaiset näkemykset siitä, millainen sopimus olisi glo-

baalisti oikeudenmukainen. Lisäksi sopimus herättää kysymyksiä ilmastonmuutoksen paikallista haitoista ja hillinnän kustannuksista sekä teollistuneiden maiden kuormitushistoriasta. Vuonna 1992 solmittu YK:n ilmastopopimus ohjaa edelleen kansainvälistä ilmastopolitiikkaa. Sopimuksen keskeisimpänä päämääränä on saada kasvihuonepäästöt pysymään tasolla, jolla ei aiheudu haittaa ilmastojärjestelmälle. Osa sopimuksen velvoitteista koskee kaikkia sopimuksen allekirjoittaneita maita, mutta sopimuksessa on myös asetettu teollisuusmaille erityisiä vaatimuksia. Teollisuusmaiden on sitouduttava konkreettisiin päästövähentämistavoitteisiin ja tuettava kehitysmaita ilmastonmuutoksen hillinnässä ja sopeutumiskeinoissa tarjoamalla taloudellisten resurssien lisäksi teknologiaa ja asiantuntija-apua. [Aatola & Ollikainen 2011.]



Kuva 1 Kasvihuonepäästöjen jakauma toimialoittain [UNFCCC 2011]

Nicholas Sternin vuonna 2006 laatimassa ilmastoraportissa [Stern 2006] todetaan, että ilmaston lämpenemisen jatkuminen ilman rajoitustoimenpiteitä saattaa tulevaisuudessa vastata maailman bruttokansantuotteen vähenemistä jopa viidellä prosenttiyksiköllä vuosittain. Stern korostaa myös, että hiilidioksidipäästöjen tehokas rajoittaminen riittävän ajoissa muodostuu selvästi edullisemmaksi kuin globaaliin ilmastonmuutokseen sopeutuminen. Toisaalta ilmastonmuutos avaa myös uusia liiketoimintamahdollisuuksia muun muassa ilmastovastuullisemman teknologian kehittämisessä. [Virtanen & Rohweder 2011: 13–14.]

Kansallisia politiikan ja talouden keinoja ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ovat hallinnolliset säädökset ja taloudelliset keinot, kuten tuet ja verot. Yhtenä merkittävänä keinona ilmastopolitiikassa on myös kansainvälinen päästöoikeuskauppa. Tämä kiinnostava ohjauskeino on esitetty vaihtoehtona jo Kioton pöytäkirjassa ja sillä on tietyissä tapauksissa merkittäviä etuja verrattuna päästöveroon. Päästöoikeuksien jakotavalla on mahdollista korvata kehitysmailla teollistuneiden maiden päästöhistoriaa ja näin laskea kehitysmailla ilmastonmuutoksen hillinnästä aiheutuvia kustannuksia. Päästöoikeuden hinta on myös päästöveroä vähemmän altis inflaatiolle [Aatola ja Ollikainen 2011: 125].

2.3 Kansainvälinen päästöoikeuskauppa

Vuonna 2003 EU otti päästökaupan ensisijaiseksi tavakseen saavuttaa Kioton sopimuksen mukaiset tavoitteet. EU:n päästökauppa toimii asettamalla päästöjen määrälle tavoite eli päästökatto, jonka mukaisesti toimijoille jaetaan oikeuksia. Yksi päästöoikeus vastaa yhtä hiilidioksidiekvivalenttitonnia. Toimijat voivat verrata toimintansa päästövähennystoimien kustannuksia päästöoikeuksien ostohintaan ja valita vertailun perusteella edullisemman ratkaisun. Näin oikeudet kohdistuvat toimintaan, jossa niitä todella tarvitaan ja puhdistustoimenpiteet toteuttavat toimijat, joille ne muodostuvat edullisimmaksi. Päästöoikeuskauppa mahdollistaa näin päästövähennystavoitteiden toteutumisen minimikustannuksin. EU:n päästökauppasektori mahdollistaa noin puolet Kioton pöytäkirjassa sovitun tavoitteen saavuttamisesta. [Aatola & Ollikainen 2011.] Koko EU:ssa

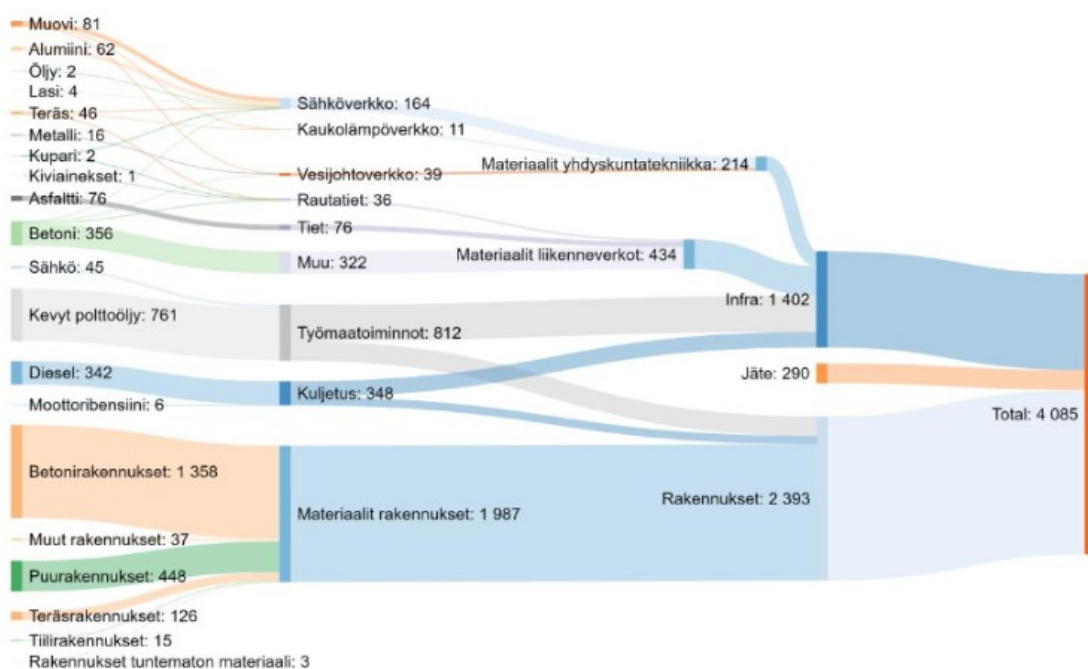
päästökaupan piirissä on yli 11000 laitosta. Päästöoikeusjärjestelmä kaipaa kuitenkin uudistusta, sillä päästöoikeuksien hinnat ovat alhaisia kysynnän laskettua talouskriisin vuoksi. Kysynnän ja tarjonnan välillä on ollut merkittävä epätasapaino, ja päästöoikeuksien ylijäämä on ollut suuri. Tämä on vähentänyt yritysten vihreään teknologiaan tekemiä investointeja. Uudistuksen tarkoituksena on nostaa päästöoikeuksien hintaa vähentämällä vuosittain huutokaupattavien päästöoikeuksien määrää. [Euroopan parlamentti 2021].

Päästökaupan piiriin kuuluvat tällä hetkellä suuret runsaasti energiaa käyttävät teollisuuslaitokset sekä sähkön- ja lämmöntuotannon laitokset. EU:ssa on asetettu päästökauppasektorin päästövähennystavoitteeksi – 43 % vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Päästökaupan ulkopuolelle jääviä aloja kutsutaan taakanjakosektoriksi. Taakanjakosektorin aloihin lukeutuu rakentaminen, rakennusten lämmitys, asuminen, maatalous, liikenne, jätehuolto ja teollisuuden F-kaasut. Suomi on asettanut taakanjakosektorin päästövähennyksille kansallisen tavoitteen, joka on -39 % vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Päästökauppasektorin ja taakanjakosektorin lisäksi omaksi kokonaisuudekseen on erotettu metsät ja maankäyttö (LULUCF), joista ei saa aiheutua lainkaan nettopäästöjä kaudella 2021–2023, tarkastellessa koko EU:n aluetta kokonaisuutena. [Nummelin 2021.]

Keväällä 2021 astui voimaan myös eurooppalainen ilmastolaki, joka saattaa lainmuotoon Euroopan vihreän kehityksen ohjelmassa esitetyt tavoitteet ilmastoneutraaliuuden tavoittamisesta vuoteen 2050 mennessä. Ilmastolaissa on asetettu välitavoitteeksi vähentää kasvihuonekaasujen nettopäästöjä vuoden 1990 tasoihin verrattuna vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä. Jotta ilmastoneutraaliuteen päästään vuoteen 2050 mennessä, on vähennettävä päästöjä, suojeltava luonnonympäristöjä ja investoitava vihreään teknologiaan. Lain tarkoituksena on varmistaa, että kaikki yhteiskunnan alat ryhtyvät tarpeellisiin toimiin ja EU:n politiikka palvelee osaltaan ilmastotavoitteiden saavuttamista. [Euroopan komissio 2021.]

2.4 Infrarakentaminen ja ympäristö

Infrarakentamisen potentiaali päästövähennyskohteena on tunnistettu ja alalla on ryhdytty toimiin, joiden avulla pyritään entistä vähäpäästöisempiin infrarakentamishankkeisiin tulevaisuudessa. Ympäristönäkökohdat korostuvat yhä selkeämmin jo hankintojen kilpailutusvaiheessa. Jotta ympäristönäkökulmia voidaan tulevaisuudessa arvioida yhä yhdenmukaisemmin ja tarkemmin, tarvitaan lisää tietoutta ja tarkempia menetelmiä hiilipäästöjen laskentaan. [Lehtokangas 2020.] Suomessa onkin jo käynnistetty tutkimus- ja kehityshanke, jonka tavoitteena on kehittää väylärakentamisen ja väylänpidon CO₂-päästöjen laskennassa hyödynnettävä avoin elinkaaripohjainen tietokanta. Tietokannan laadinnasta vastaa Suomen ympäristökeskus ja hankkeen tilaajana toimii Väylävirasto. [Väylävirasto 2021.]



Kuva 2 Rakennetun ympäristön elinkaaren hiilijalanjälki (ktCO₂e). Laskenta ei sisällä käyttövaiheen energian päästöjä [Laine 2020].

Työmaat tuottavat useita erityyppisiä päästöjä, kuten kasviuonekaasuja, pölyä, melua ja ympäristölle haitallisia paikallispäästöjä. Työkoneet tuottavat käynnissä ollessaan pienhiukkasia ja typenoksideja. Etenkin asutuksen ja vilkkaiden

alueiden läheisyydessä työmaista aiheutuu terveysvaikutuksia. [Päästötön työmaa -sopimus s. 2.] Yrityksen on tunnettava oman toimintansa ympäristövaikutukset ja ympäristöasioihin liittyvät velvoitteensa. Ympäristönsuojelulaki, jätelaki, maa-aineslaki ja vesilaki velvoittavat yrityksiä tietyissä tilanteissa myös hakemaan lupaa ja ilmoittamaan toiminnasta. [Olin 2015: 9.]

3 Green Deal päästötön työmaa

Suomen tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Tavoitteen saavuttamiseksi on tehtävä nopeasti merkittäviä toimia kaikilla sektoreilla, myös julkisen sektorin kilpailuttamissa infrarakentamishankkeissa. Vuonna 2020 Ympäristöministeriö, Senaatti-kiinteistöt, sekä Espoon, Helsingin, Vantaan ja Turun kaupungit julkistivat allekirjoittamansa Green Deal -sopimuksen. Green Deal päästötön työmaa -sopimuksen tavoitteena on vähentää hankintayksiköiden työmailla syntyviä päästöjä. Yksi keskeisimmistä tavoitteista on vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja korvata nykyistä kalustoa fossiilivapilla polttoaineilla toimivalla kalustolla. Lisäksi on esitetty lukuisia muita toimenpiteitä päästöjen vähentämiseksi. Sopimuksessa on esitetty useita välitavoitteita vuosille 2021–2030. [Green Deal päästötön työmaa -sopimus 2019.]

Sopimuksen ensivaiheessa allekirjoittaneet hankintayksiköt ovat velvoitettuja olemaan mukana päästötön työmaa -konseptin ja yhteisten hankintakriteerien laadinnassa. Hankintayksiköt laativat myös määrämuotoisen toimeenpanosuunnitelman konseptin ja hankintakriteerien käyttöönottamiseksi ja ovat mukana kehittämässä sopimuksen mukaista seurantajärjestelmää ja tehokkaampia valvontatapoja. Seurantajärjestelmä ja hankintakriteerit on otettava käyttöön työmailla laaditun toimeenpanosuunnitelman mukaisesti. Sopimus velvoittaa myös edistämään fossiilivapaiden polttoaineiden käyttöä työmailla ja kehittämään yhteistä päästölaskennan työkalua. Päästölaskennan avuksi laadittavan työkalun tarkoituksena on mahdollistaa työmailla syntyneiden päästöjen seuranta ja todennus. Lisäksi hankintayksiköiden on koulutettava tilaajiaan ja muita keskeisiä sidosryhmiä sekä käydä markkinavuoropuhelua ja jakaa tietoa päästötön työmaa -konseptista ja yhteisistä hankintakriteereistä. Jokainen hankintayksikkö määrittää sopimuksen vastuu- ja yhteyshenkilön vastaamaan yhteydenpidosta ministeriöön ja KEINO-osaamiskeskukseen. Tehdyistä toimenpiteistä, niiden vaikutuksista ja saavutetuista tuloksista raportoidaan sovitusti. [Green Deal päästötön työmaa -sopimus 2019.]

Sopimuksen allekirjoittaville hankintayksiköille esitetään edellä mainittujen toimien lisäksi valittavaksi seuraavista toimenpiteistä vähintään kaksi:

- Työmaiden latausinfraan liittyvien vaatimusten selvittäminen työmaiden koneiden sähköistämisen mahdollistamiseksi
- Green Deal -sopimuksen mukaisesti kehitettyyn koulutukseen osallistumisen asettaminen mahdollisuuksien mukaan edellytykseksi tarjouspyynnöissään
- Olemassa olevan konekannan päästöjen vähentävien lisäratkaisujen käyttöönottamisen edistäminen; tai
- Muiden toimijoiden ohjaaminen päästöjen vähentämiseksi työmailla.

Ympäristöministeriö edistää ja selvittää päästöjen vähentämiseksi tarvittavia toimenpiteitä ja ohjauskeinoja ja toteuttaa taustaselvityksiä, jotka edistävät sopimuksen tavoitteita. Ministeriö osallistuu hankintakriteereiden ja seurantajärjestelmän kehittämiseen ja tarjoaa hankintayksiköille Green Deal -sopimuksen kautta kerättävää markkinatietoa. KEINO-osaamiskeskuksen kautta tarjotaan asiantuntijatukea ja seurataan sopimuksen tavoitteiden täyttymistä. Ministeriö on mukana arvioimassa sopimuksen täydennystarvetta ja suunnittelemassa tarvittavia lisätoimenpiteitä. [Green Deal päästötön työmaa -sopimus 2019.]

Fossiilisten polttoaineiden käyttöä on tarkoitus vähentää korvaamalla nykyistä kalustoa työkoneilla, jotka käyttävät energianlähteenä vetyä, sähköä, biokaasua ja muita fossiilivapaita polttoaineita. Myös työmailla käytettävä fossiilisten polttoaineilla tuotettu sähkö tullaan korvaamaan uusiutuvista energialähteistä peräisin olevalla sähköllä ja työmaiden lämmityksessä voidaan tulevaisuudessa hyödyntää myös kaukolämpöä. Myös työmaan henkilöstön koulutuksella ja energiatehokkaammilla työtavoilla voidaan vähentää työmaiden päästöjä. [Green Deal päästötön työmaa -sopimus 2019.]

Ensimmäinen tavoite sopimuksessa asetettiin vuoden 2021 kesäkuulle. Tämän jälkeen solmituissa hankintasopimuksissa on määritettävä hankkeeksi käytettäväksi vähintään Stage IIIB-luokan työkoneita ja Euro V-luokan kuorma-autoja. [Green Deal päästötön työmaa -sopimus 2019.]

Vuoden 2022 loppuun mennessä on tavoitteena, että hankintayksiköt ovat ottaneet käyttöönsä sopimuksen määritelmän mukaisen seurantajärjestelmän ja määräajan jälkeen solmituissa hankintasopimuksissa otetaan käyttöön päästötön työmaa -konsepti. Hankintasopimuksissa on myös toisen välitavoitteen määräajan täyttymisen jälkeen edellytettävä käytettävien työkoneiden olevan vähintään Stage IV luokassa ja kuorma-autojen Euro VI luokassa. Hankintayksikön toimiessa itse päätoteuttajana hankkeissa, on työmaiden oltava fossiilivapaita. [Green Deal päästötön työmaa -sopimus 2019.]

Vuoden 2025 mennessä hankintayksiköiden työmailla käytettävien työkoneiden ja työmaiden sisäisissä kuljetuksissa käytettävien ajoneuvojen on toimittava fossiilivapailta polttoaineilla ja vähintään 20 prosentin on toimittava sähköllä, biokaasulla tai vedyllä.

Vuoteen 2030 mennessä biokaasulla, vedyllä ja sähköllä toimivien työkoneiden ja kuljetusajoneuvojen osuuden on oltava jo 50 prosenttia. Lisäksi työmaalle ja työmailta suuntautuvissa ulkoisissa kuljetuksissa on käytettävä vähintään Euro VI tason kuljetuskalustoa. [Green Deal päästötön työmaa -sopimus 2019.]

Sopimukseen on kirjattu, että johtoryhmän yhteisellä päätöksellä on mahdollista päivittää ja täydentää tavoitteita sopimuskauden aikana. [Green Deal päästötön työmaa -sopimus 2019.]

3.1 Green Deal -pilottihanke Kulosaaren Rantatie

Helsingin kaupunki toteutti vuonna 2020 Green Deal päästötön työmaa -pilottihankeena Kulosaaren Rantatien hankkeen. Hankkeen kilpailutuksen valintaperusteissa hinnalla oli 70 %:n ja laadulla eli ympäristötekijöillä 30 %:n painoarvo.

Laatupisteytyksessä pisteitä sai sähköisistä työmaakoneista. Jokaisesta sähköisestä työmaakoneesta sai 20 pistettä, ja pisteitä sai enimmillään viidestä työmaakoneesta enimmäispistemäärän ollessa 100 pistettä. Urakoitsijan oli esitettävä tarjouksen yhteydessä selvitys sähköisiksi työkoneiksi ilmoitetusta työkoneista, jotta voitiin varmistaa, että pisteytykseen ilmoitetut työkoneet täyttivät sähköisen työmaakoneen edellytykset.

Lisäksi hankkeen kilpailutusvaiheessa esitettiin seuraavat vähimmäisvaatimukset

- Työmaalla saa käyttää ainoastaan uusiutuvaa sähköä työmaan sähköistyksessä ja sähkön kulutus raportoidaan. Sähkön alkuperästä on esitettävä todistus, kuten ostolasku.
- Yrityksellä on olemassa kolmannen osapuolen todentama sertifioitu ympäristötoimintasuunnitelma, jossa tunnistetaan toiminnan aiheuttamat riskit ja keinot ympäristövaikutusten pienentämiseksi ja ympäristövahinkojen ehkäisemiseksi. Esimerkiksi RALA:n ympäristöjärjestelmä sertifikaatti katsottiin soveltuvaksi.
- Hankkeessa käytettävä kuljetuskalusto Euro VI-luokkaa ja työkoneet vähintään Stage IV-luokkaa.
- Kaikki alle 4kW pienkoneet ovat sähkökäyttöisiä.
- Kaikkien työkoneiden käyttövoimana käytetään pelkästään sähkö-, vety-, etanoli-, toimisia laitteita tai EN1940 standardin mukaista uusiutuvaa HVO dieseliä/moottoriöljyä.
- Työkoneiden polttoainekulutusta on seurattava ja siitä on raportoiva konekohtaisesti työmaakokousvälillä.
- Työmaan lämmitystarpeissa käytettävä energianlähteenä joko kaukolämpöä, fossiilivapaita biopolttoaineita tai uusiutuvia energianlähteitä.

- Kallion irrotus kohteessa suoritetaan kiilaamalla tai etanadynamiitilla.
- Hankkeelle asetetut vaatimukset kohdistuvat myös aliurakoitsijan toimintaan ja kalustoon.

Lisäksi hankkeeseen ryhtyvän tuli laatia hankekohtainen ympäristösuunnitelma, jota myös katselmoitiin määräajoin.

Kulosaaren Rantatien hankkeessa päätoteuttajana toimi VM Suomalainen, joka sai tarjouskilpailussa 80 laatupistettä yhteensä neljällä sähkökäyttöisellä työkooneella. Urakoitsijalla oli hankkeen toteutuksessa käytössä kolme urakoitsijan omaa Kramerin täyssähköistä pienpyöräkuormaajaa ja yksi vuokrakaivinkone. Käytettävien Kramereiden toiminta-aika oli noin 4 tuntia latauksen kestäessä 8 tuntia. Kramereita hyödynnettiin työmaan palvelukoneina, muun muassa kivitöiden aputöissä. Polttoaineen kulutuksen raportointi koettiin yksinkertaiseksi, sillä kaikkien urakoitsijan omien työkooneiden järjestelmästä sai etäluettua tietyn aikavälin polttoaineen tarkan kulutuksen. Aliurakoitsijoiden sopimukseen sisällytettiin velvoite pitää tarkkaa kirjanpitoa ja raportoida työmaakokouksiin koneiden polttoaineen kulutuksesta. Työmaalle oli järjestetty Neste My Dieselin tankkauspiste, jossa sekä omat että aliurakoitsijoiden koneet tankattiin. Kaivinkoneiden polttoaineen kulutus nousi jonkin verran, kun polttoaineena oli perinteisen dieselin sijaan Neste My Diesel. Myös polttoaineen hinta oli korkeampi, joten myös kaivinkonetyön kustannukset nousivat.

Haasteellisena pidettiin kuljetuskalustolle asetettua vaatimusta EURO VI-luokan kuljetusajoneuvoista, sillä vaaditun luokan ajoneuvoja ei aina saatu työmaalle riittävän nopealla aikataululla, mikä viivästytti toisinaan työn etenemistä. Kaikkia alle 4kW työkooneita ei ollut markkinoilla tarjolla ja kahden pientyökalun osalta haettiin poikkeamaan lupa hankkeen tilaajalta. Päästöttömän työmaan erityisvaatimuksien vaikutus koettiin eniten lisääntyneenä raportoinnin tarpeena ja työmaan koneiden yksikköhintojen nousussa.

Pilottihankkeen kilpailutusta valmisteltiin käymällä markkinavuoropuhelua urakoitsijoiden kanssa, jotta voitiin varmistaa, että markkinat ovat kykeneväiset

vastaamaan suunniteltuihin vaatimuksiin. Urakoitsijoiden ja hankintayksikön välillä käyty markkinavuoropuhelu myös vähensi väärinkäsityksien mahdollisuutta ja tarjosi urakoitsijoille mahdollisuuden esittää kysymyksiä ja huomioita. Pilottihankkeen kilpailutuksessa tarjouksia saatiin tavanomainen määrä, joten voidaan arvioida, etteivät asetetut vaatimukset vaikuttaneet urakoitsijoiden tarjoushalukkuuteen. [Taskila et al. 2020.]

Helsingin kaupungilla päästöttömän työmaan Green Deal -sopimus sekä sopimuksen myötä tuleva muiden hankintayksiköiden kanssa yhteistyössä tehtävä kehitystyö ja tiekarttamainen etenemistapa on koettu erittäin hyväksi toimintata- vaksi. Lähtökohtaisesti Helsingin kaupungin kaikilla työmailla noudatetaan vä- hintään Päästötön työmaa -sopimuksen tasoa. Tiukempiakin vaatimuksia on to- teutetuissa hankkeissa jo sovellettu ja erityisvaatimuksia on asetettu muun mu- assa työkoneiden ja kuorma-autojen päästöluokkia koskien. Myös fossiilivapaita polttoaineita ja sähköä sekä sähkökäyttöisiä pienkoneita on edellytetty ja seu- raavaa sähkötyökoneita sisältävää pilottia on suunniteltu vuoden 2022 puolelle. Myös kaupungilla on todettu sähkötyökoneiden markkinatilanne Suomessa han- kalaksi, mutta sähkökoneisiin kannustaminen koetaan tärkeänä ja markkinati- lanteen paranemiseen luotetaan.

3.2 Rakennushankkeesta syntyvät päästöt

Merkittävä osa kaupunkien ja kuntien kasvihuonepäästöistä sekä terveydelle haitallisista hiukkas- ja typenoksidipäästöistä muodostuu työkoneiden ja kulje- tuskaluston pakokaasupäästöistä. Päästöjä työmaalla syntyy myös työnaikai- sesta lämmityksestä ja betonin kuivatuksesta, sekä välillisesti rakennusmateri- aalien valmistuksesta. [Luoto & Taskila 2020.]

Liikenne- ja viestintäviraston tuottamassa tutkimuksessa [Happo et al. 2020: 3] todetaan, että ilmansaasteet ovat merkittävin ympäristöstä peräisin oleva ter- veyshaitta Suomessa ja globaalisti. Polttomoottorien pakokaasupäästöt muo- dostavat merkittävän osan ilmansaasteista ja päästöt aiheuttavat tutkitusti en- nenaikaisia kuolemantapauksia, altistavat useille eri sairauksille ja kasvattavat

syöpäriskiä. Tutkimuksessa kuitenkin todetaan, että EURO VI-luokiteltujen moottoreiden päästöistä aiheutuvat terveyshaitat ovat huomattavasti vähäisemmät kuin perinteisistä dieselmootoreista aiheutuvat päästöt.

ETC/ACC on arvioinut ihmisten toiminnasta aiheutuneiden hiukasmaisten ilmansaasteiden aiheuttaneen vuosittain 2,1 miljoonaa ennen aikaista kuolemantapausta maailmanlaajuisesti 2010-luvun alussa. Hiukkasmaisista päästöistä noin 60 % on peräisin energiantuotannosta, mutta työkoneiden ja liikenteen aiheuttamien päästöjen osuus on kuitenkin huomionarvoinen. [Pope & Dockery 2006.] Lontoossa työmaiden työkoneiden on arvioitu tuottavan 14,5 % pienhiukkaspäästöistä. Oslossa kaikki työmaat ovat jo fossiilittomia, mutta on arvioitu, että työmaiden työkoneet tuottavat 18 % kaupungin liikenteen kokonaispäästöistä. [Viinanen 2019.]

Pakokaasupäästöt sisältävät hiilidioksidia, joka ei varsinaisesti ole terveydelle haitallinen, mutta sillä on kuitenkin merkittävä rooli ilmastonmuutosta aiheuttavana kasvihuonekaasuna. Terveyshaittojen kannalta merkittävimpiä pakokaasupäästöjä ovat typen oksidit ja häkä sekä päästöistä ikääntymisen aikana muodostuva otsoni. Typen oksidit muodostuvat ilman sisältämästä tpeestä palamisprosessien sivutuotteena. Typen oksidien (NO, NO₂) määrä on kääntynyt laskuun moottorien päästöjen jälkikäsitelyjärjestelmien tekniikan kehittyessä. Joissakin olosuhteissa dityppioksidin (N₂O) päästömäärät ovat kuitenkin nousseet katalysaattorien yleistymisen myötä. Typen oksidien reagoitessa ilman hydroksyyliiradikaalien tai UV-säteilyn kanssa muodostuu ilmakehään otsonia. Typen oksidien aiheuttamia terveyshaittoja on ollut haastavaa arvioida, sillä osin haitat muodostuvat suoraan typen oksideista ja osin muodostuvasta otsonista sekä syntyvistä sekundäärisistä hiukkasista. Otsoni aiheuttaa silmien ja kurkun ärsytysoireita ja voi aiheuttaa yskää sekä pahentaa siitepölyistä aiheutuvia allergioireita. Pitkäkestoisempi otsonialtistus lisää herkistymistä muille altisteille ja voi lisätä keuhkovaurioita ja tulehdusta. Puolestaan pitkäkestoinen NO₂-päästöille altistuminen lisää keuhkoperäisten oireiden riskiä ja vähentää mahdollisesti keuhkojen toiminnallisuutta. [WHO 2003.]

Pakokaasun sisältämä häkä, eli hiilimonoksidi, syntyy epätäydellisessä palamisprosessissa. Nykyaikaisien moottoreiden palamisprosessista syntyvä hiilimonoksidin määrä on vähäinen verrattuna vanhempiin moottoreihin. Hiilimonoksidi on hengenvaarallinen kaasu, mutta ulkoilmassa esiintyvät pitoisuudet eivät suoraan aiheuta merkittäviä terveyshaittoja. Häkä kuitenkin muuntuu ilmakehässä hiilidioksidiksi ja aiheuttaa näin epäsuoria ilmastovaikutuksia. Se voi muodostaa alailmakehään otsonia valokemiallisten reaktioiden myötä. [Happo et al. 2020.]

Dieselmoottoreiden pakokaasut synnyttävät haitalliseksi tunnistettuja polyaromaattisia hiilivetyjä eli PAH-yhdisteitä. PAH-yhdisteet voivat aiheuttaa perimävaurioita useilla tavoilla ja niistä on tunnistettu useita syöpävaarallisia yhdisteitä. [Ewa & Danuta 2017.] Näiden yhdisteiden pitoisuuksien on todettu olevan 10-kertaisia liikenneväylien läheisyydessä, verrattuna lähiöistä mitattuihin pitoisuuksiin [Ringuet et al. 2012].

4 Uusiutuva energia

Päästötön työmaa -sopimuksen tavoitteena on, että kaikki hankintayksikön työmaat siirtyvät käyttämään sähkön ja lämmön lähteenä yksinomaan uusiutuvia energialähteitä [Päästötön työmaa -sopimus 2020].

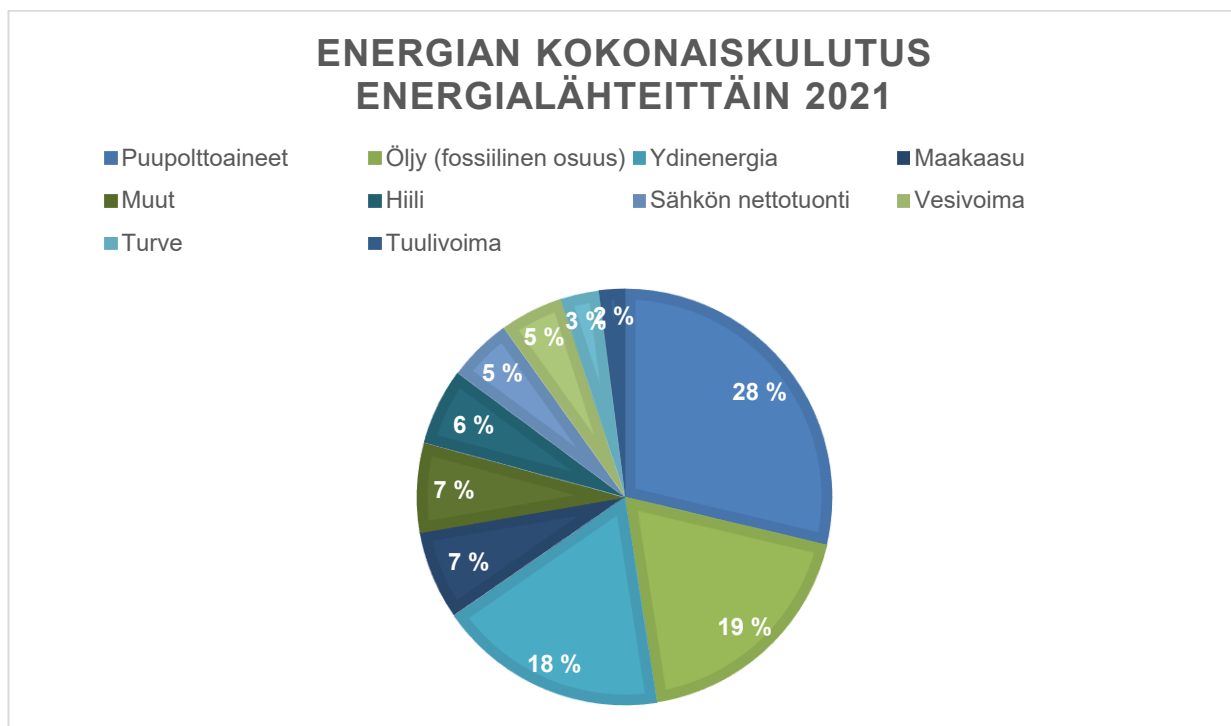
Viimeisen viidentoistavuoden aikana EU:n uusiutuvaa energiaa edistävä lainsäädäntö on kehittynyt merkittävästi. Vuonna 2009 EU:ssa asetettiin tavoitteeksi, että vuoteen 2020 mennessä EU:n energiankulutuksesta 20 % on uusiutuvista energialähteistä. Tämä vahvistettiin uusiutuvia energialähteitä koskevassa direktiivissä 2009/28/EY, jossa myös selvitettiin erilaisia menetelmiä, joiden avulla jäsenvaltioiden on mahdollista saavuttaa tavoitteensa. Seuraava tavoite on jo asetettu vuodelle 2030, jolloin EU:n energian loppukulutuksesta vähintään 32 % tulisi olla uusiutuvista energialähteistä. Tavoitetta voidaan vielä tarkistaa ylöspäin vuoteen 2023 asti. Jäsenvaltioille asetetaan kansallinen tavoitetaso. Tavoitetason asettamisessa otetaan huomioon maan lähtötilanne ja olemassa olevat mahdollisuudet uusiutuvien energialähteiden käyttöön. [Ciucci & Keravec 2021.]

Uusiutuvan energian markkinat ovat olleet maailmanlaajuisesti voimakkaassa kasvussa ja arvioidaan, että hiilivapaaseen energiajärjestelmään siirtyminen edellyttää 1000 miljardin euron vuosittaisia investointeja uusiutuvan energian alaan. Kiristyneet ympäristönormit ja biopolttoaineiden edistämistavoitteet lisäävät kiinnostusta uusiutuvan energian tuotantoon tähtäävään teknologiaan. [Alm 2020]. Vuonna 2020 uusiutuva energia nousi fossiilisten energialähteiden ohi energian kokonaiskulutuksessa Suomessa ensimmäistä kertaa energiatilastointin aloittamisen jälkeen. [Tilastokeskus 2020b.]

Uusiutuvia energialähteitä ovat vesi- ja tuulivoima, aurinkoenergia, valtamerienergia, maalämpö sekä biomassa ja biopolttoaineet. Uusiutuvien energialähteiden varanto ei vähene kestäväällä tavalla hyödynnettäessä pitkälläkään aikavälillä. Uusiutuvat energialähteet auttavat kasvihuonepäästöjen vähentämisessä

ja niiden käyttö vähentää myös riippuvuutta fossiilisten polttoaineiden markkinoihin. [Ciucci & Keravec 2021.] Suomessa selvästi eniten käytetty uusiutuvan energian muoto on puuperäiset polttoaineet, joista saatava energia muodostaa lähes kolmasosan valtion kokonaisenergiankulutuksesta [Alm 2017: 40–41].

Taulukko 1: Energian kokonaiskulutus energialähteittäin. Vuoden 2021 tammi-kesäkuu. [Tilastokeskus 2021a.]



4.1.1 CHP-tuotanto

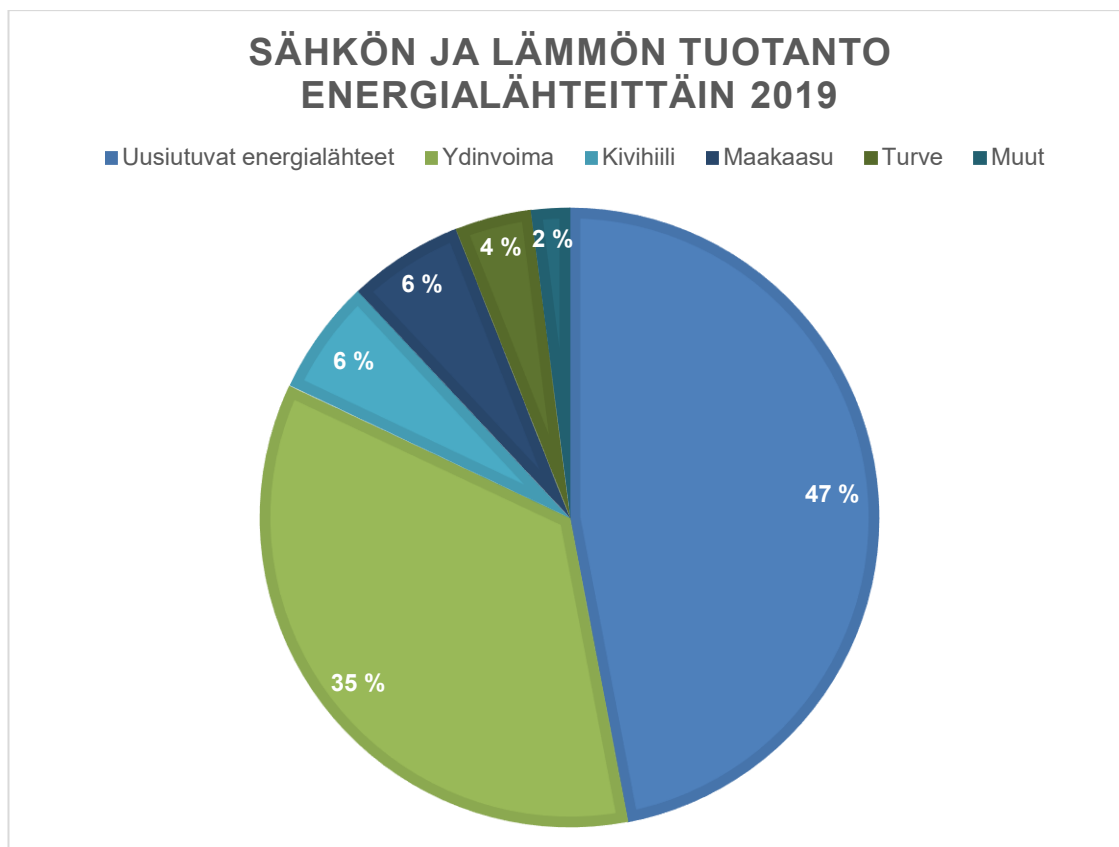
Suomi on globaalisti CHP-tuotannon, eli sähkön ja lämmön yhteistuotannon johtava maa, yhteistuotantomenetelmällä tuotetun sähkön markkinaosuuden ollessa suurempi kuin missään muussa maassa. Menetelmällä tuotetaan noin kolmannes Suomen sähköstä. EU:ssa lämmön ja sähkön yhteistuotantoa pidetään merkittävimpänä yksittäisenä keinona kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi. Yhteistuotantomenetelmän suosio on vaihdellut sähkön markkinahintojen mukaan. Sähkön markkinahinnan ollessa alhainen voi menetelmällä tuotetun sähkön tuotantokustannus jäädä markkinahintaa korkeammaksi. Yhteistuotantome-

netelmän etu on käytettävän polttoaineen sisältämän energian korkea hyödyntämistä verrattuna erillismenetelmiin. [Alm 2017: 62–63.] CHP-laitokset voivat käyttää energianlähteenä myös uusiutuvia energialähteitä. Suomessa laitosten polttoaineina käytetään suurimmaksi osaksi metsäteollisuuden jäteliemiä ja muita puupolttoaineita. [Maansilta 2018: 7.]

4.1.2 Puupolttoaineet

Vuonna 2013 puupolttoaineet nousivat öljyn ohitse Suomen yleisimmäksi energianlähteeksi ja vuonna 2016 ne muodostivat 74 % uusiutuvan energian osuudesta Suomessa. Puupolttoaineisiin lukeutuvat kiinteät puupolttoaineet sekä metsäteollisuuden jäteliemet. Vuonna 2016 Suomen lämpö- ja voimalaitoksissa käytettiin yhteensä 19,3 miljoonaa kuutiota kiinteitä puupolttoaineita. Puupolttoaineina voidaan hyödyntää metsäteollisuuden sivutuotepuuta ja saha- ja puulevyteollisuuden puutähdehaketta sekä puupuruja, -pölyjä ja -lastuja. Kiinteitä puupolttoaineita käytetään myös pientalojen lämmitykseen. [Alm 2017: 41.]

Suomessa tuulivoimaloiden tuottama energia muodostaa vain noin 2 % energian kokonaiskulutuksesta, vaikka Suomen tuuliolosuhteet soveltuvat hyvin tuulivoiman tuottamiseen. Vuoden 2016 sähköntuotannosta tuulivoima kattoi 4,6 %. Tuulivoiman tuotantoa on tuettu muun muassa tarjoamalla tuulivoiman tuottajalle 12 vuoden hintatakuuta ja vuosina 2013–2015 oli käytössä myös lisäbonus nopeille tuulivoimalan rakentajille. Tuulivoiman tuotantokapasiteetti on kuitenkin kasvussa ja vuonna 2020 tuulivoiman tuotanto lisääntyi peräti 30 %:lla. [Alm 2017: 51–53.]



Kuva 3: Sähkön ja lämmön tuotanto energialähteittäin vuonna 2019. [Tilastokeskus 2020]

Vesivoimalat ovat alun perin olleet mekaanisen energian tuotantoon rakennettuja sahojen ja myllyjen voimaloita. 1800-luvun loppupuolella vesivoimalla alettiin tuottaa myös sähköenergiaa. Nykyään vesivoimalaitoksia on Suomessa noin 250. Vuonna 2016 vesivoimalla tuotettiin 18,4 % Suomen kokonaissähkönkulutuksesta. [Alm 2017: 61–62.]

Auringon säteily sisältää hyvin paljon energiaa, mutta nykytekniikankin avulla säteilyn sisältämästä energiasta voidaan hyödyntää vain noin viidesosa. Suomessa aurinkoenergian vuodenaikavaihtelut ovat merkittävän suuria ja noin 90 % Suomessa hyödynnettävästä aurinkoenergiasta saadaankin maaliskuun ja syyskuun välisenä aikana. Maan pohjoisosassa vaihtelut voivat olla tätäkin suurempia. Vuonna 2015 otettiin käyttöön ensimmäiset kaupalliset aurinkoenergia-voimalat. Tätä ennen aurinkoenergiaa on tuotettu lähinnä kiinteistöjen omaan

käyttöön. Aurinkoenergian tuotannossa käytettävien aurinkopaneeleiden aurinkokennoissa auringonsäteiden energia saa aikaan jännitteen. Kun kennoja kytketään sarjaan, saadaan aikaan haluttu jännitteen taso. Paneelin tuottama sähkö voidaan varastoida akkuun, mutta sähköön varastointi ei ole kovin taloudellista. Käyttöön on kehitetty akkuja, jotka kestävät tavanomaista paremmin usein toistuvaa latausta ja purkausta. Aurinkosähköhankkeita on käynnistynyt lähivuosina runsaasti investointikustannuksien tippuessa ja hankkeisiin myönnetyn energiatuen ansiosta. Markkinahintaisilla aurinkosähköjärjestelmillä takaisinmaksuaika on alle 10 vuotta. [Alm 2017: 56–57.] Aurinkoenergialla tuotetun energian määrä on kuitenkin vain noin 0,5 promillea energian kokonaiskulutuksesta [Tilastokeskus 2020].

5 Polttoaineet

5.1 Fossiiliset polttoaineet

Fossiilisilla polttoaineilla tarkoitetaan polttoaineita, jotka ovat syntyneet biomassan fossiilistuessa maaperään. Fossiilista polttoaineista tärkeimpiä ovat öljy, maakaasu, ruskohiili ja kivihiili. Myös turve luetaan fossiiliseksi polttoaineeksi. Fossiiliset polttoaineet ovat uusiutumattomia tai hyvin hitaasti uusiutuvia luonnonvaroja ja niiden käyttö aiheuttaa huomattavia kasvihuonepäästöjä ilmakehään. Fossiilisten polttoaineiden polttaminen vapauttaa maaperään sitoutunutta ainesta ilmakehän kasvihuonekaasuiksi. Fossiilista alkuperää oleva dieselpolttoöljy on maaöljyn jalostustuote. [Virtanen et al. 2011: 410.]

5.2 Uusiutuvat polttoaineet

Biopolttoaineiksi katsotaan biomassasta tuotetut nestemäiset ja kaasumaiset polttoaineet. Käytössä olevia biopolttoaineita on useita, listaan lukeutuvat muun muassa bioetanoli, biodiesel, biokaasu, biovety, biometanoli, bioETBE, bioTAAE, bioMTBE biodimetyylieetteri sekä synteettiset biopolttoaineet ja puhdas kasviöljy. EU:ssa biopolttoaineiden käyttöä edistetään EU-säädöksin ja niiden käyttö onkin kasvanut hiljalleen. Biomassasta tuotettuja polttoaineita, joita käytetään liikennekäytön sijasta muuhun energian käyttöön, kutsutaan bionesteiksi. Maailmanlaajuisesti tarkasteltuna merkittävimpiä biopolttoaineiden raaka-aineita ovat sokeriruoko, soija, maissi, auringonkukka, selluloosa, palmuöljy ja puuhake. [Alm 2017: 65.]

EU:ssa biopolttoaineille on asetettu tarkasti määritellyt kestävyyskriteerit, joiden avulla taataan, että biopolttoaineiden käyttö todella auttaa vähentämään liikenteen päästöjä. Suomessa käytetään biopolttoaineita enemmän kuin EU:ssa keskimääräisesti ja kaikki Suomessa tieliikennekäyttöön jakelussa olevat polttonesteet sisältävätkin nykyisin biokomponentteja. [Engman et al. 2016.] Sekä biodiesel että uusiutuva diesel aiheuttavat vähemmän terveyshaittoja ja ovat vähä-

päästöisiä verratessa perinteiseen fossiiliseen dieseliin [Happo et al. 2020]. Biopolttoaineilla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita ja vähentää ilmastopäästöjä [Engman et al. 2016].

5.2.1 HVO-diesel

Suomessa kotimainen jäteraaka-aineisiin perustuva tuotanto on jatkuvassa kasvussa. Nykyään tuotetaan korkealaatuista uusiutuvaa dieseliä, eli HVO:ta (vetykäsitelty kasviöljy, hydrotreated vegetable oil), joka valmistetaan Suomessa uusiutuvista raaka-aineista, pääosin jätteistä ja tähteistä. Toisin kuin perinteiset biodieselit, on uusiutuva diesel fossiilisen dieselin tavoin hiilivety ja sitä voidaan käyttää korkeina pitoisuuksina dieselseoksissa tai jopa sellaisenaan. [Alm 2017: 64.] Käyttämällä uusiutuvaa dieseliä tai polttoöljyä voidaan vähentää merkittävästi rakennustyöstä ja työmaan kuljetuksista syntyviä kasvihuonekaasu- ja lähipäästöjä. HVO polttoöljyllä työkoneiden ja ajoneuvojen litraperusteisesti mitattu kulutus kohoaa hieman johtuen perinteistä polttoöljyä hieman alhaisemmasta tiheydestä.

Osana opinnäytetyötä toteutettiin laskelma, jossa tarkasteltiin uusiutuvan dieselin käytön vaikutuksia työkoneiden ja kuorma-autojen polttoaineen kulutukseen ja käytön kustannuksiin. Laskelmien perusteella voitiin todeta uusiutuvan polttoöljyn käytöstä johtuvien todellisten kustannusvaikutusten olevan melko vähäisiä.

5.2.2 Perinteinen biodiesel

Perinteinen biodiesel valmistetaan esteröimällä kasviöljyä. Esteröintiprosessissa ei voida käyttää heikkolaatuisia tai epäpuhtaita raaka-aineita kuten jätteitä, ja valmistetun polttoaineen laatu vaihtelee käytetyn raaka-aineen mukaan. Perinteinen biodiesel onkin koostumukseltaan esteri ja sitä voidaan käyttää enimmillään 7 % polttoaineen joukossa. Perinteisen biodieselin yhtenä ongelmana on mikrobikasvuston syntyminen silloin, kun vettä pääsee tiivistymään polttoaineeseen. [Engman et al. 2016.]

5.2.3 Biokaasu

Biokaasu on pääosin metaanista ja hiilidioksidista koostuvaa kaasua, jota voidaan tuottaa erityisissä reaktorilaitoksissa mädättämällä orgaanisia aineita, kuten kasvi-, ja eläinperäisiä jätteitä, lantaa tai yhdyskunnan jätevesilietettä. Biokaasua syntyy myös orgaanisten jätteiden hajotessa kaatopaikalla. Hiilidioksidin ja metaanin lisäksi biokaasu voi sisältää pieniä määriä rikkiyhdisteitä, vesihöyryä, typpeä ja happea. Metaanin pitoisuus vaihtelee tavallisesti 40–70 %:n ja hiilidioksidin 30–60 %:n välillä. Runsaasti metaania sisältävän biokaasun lämpöarvo on korkeampi. Biokaasun ympäristöedut ovat huomattavat ja se soveltuu hyödynnettäväksi sähkön- ja lämmöntuotannossa. Biokaasua voidaan käyttää polttoaineena. Biokaasun hyödyntämisteessä on kuitenkin parannettavaa, vaikka 75 prosentin minimitavoitteen onkin päästy. Ylijäämäkaasu poltetaan soihdussa metaanipäästöjen välttämiseksi, jolloin hukataan samalla kaasun sisältämä energia. Kiinnostus biokaasuteknologiaa kohtaan on lisääntynyt Suomessa etenkin liikennekäytön osalta, mutta teknologian hyödyntäminen on kuitenkin edelleen vähäistä. Biokaasuteknologia omaa paljon kehityspotentiaalia, mutta biokaasulaitosten korkea investointikustannus hidastaa alan kasvua. [Alm 2017: 53–54.]

5.2.4 Vety

Vetyä käyttövoimanaan käyttävät ajoneuvot eivät tuota lainkaan paikallispäästöjä, vaan energian hyödyntämisprosessin sivutuotteena syntyy ainoastaan lämpöä ja vesihöyryä. Käytännössä vetyä polttoaineena käyttävät kulkuneuvot ovat sähköautoja, sillä polttokennoteknologia perustuu vedyn ja hapen reaktiossa syntyvän sähköisen varauksen hyödyntämiseen. Polttokenno on äänetön ja hyvin toimintavarma ja vedyn tankkaus on nopeaa. Hyvin kevyen vetykaasun säilytys ja kuljettaminen on kuitenkin haasteellista ja tällä hetkellä vedyn valmistuskustannukset ovat hyvin korkeita. Vedyn valmistamiseen tarvitaan paljon energiaa, sillä vetyä ei esiinny maapallolla sellaisenaan. Myös vedyn paineistamiseen ja varsinkin nestemäiseen olomuotoon muuttaminen kuluttaa energiaa.

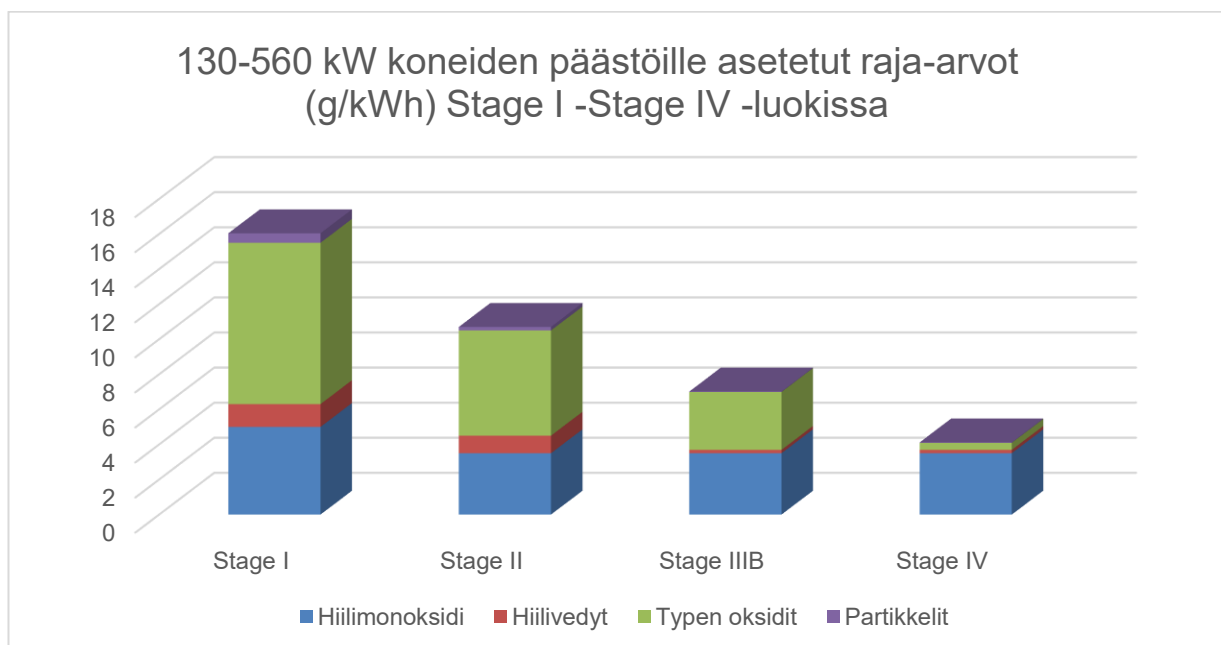
Tuotanto on mahdollista sekä fossiilisilla, että uusiutuvilla energialähteillä. Vetyteknologian läpimurtoa on ennustettu jo pitkään, mutta vetyteknologian kehitys on tähän asti ollut toistuvasti ennusteita hitaampaa. [Motiva 2021.]

6 Kalusto

Yksi Green Deal päästötön työmaa -sopimuksen konkreettisimmista muutoksista on kalustoa koskevat tiukentuvat vaatimukset. Työkoneiden ja kuljetusajoneuvojen pakokaasupäästöjä on säädelty jo kymmeniä vuosia, ja kaluston pakokaasupäästöjen haitta-ainepitoisuudet ovat tänä aikana laskeneet merkittävästi.

6.1 Stage-luokitus

Stage-luokitus on Euroopassa käytössä oleva luokitus, jonka tarkoituksena on säädellä työkoneiden pakokaasupäästöjä. Luokitus on otettu käyttöön vuonna 1997 voimaan tulleella direktiivillä (97/68/EY). Viimeisin Stage-direktiivi on pantu Suomessa täytäntöön asetuksella 398/2005. Stage-direktiivillä säädelään työkoneiden pakokaasujen sisältämien hiilivetyjen, hiilimonoksidin, typenoksidien ja pienhiukkasten pitoisuuksia. Viimeisimmissä luokituksen vaiheissa huomioidaan myös ammoniakkipäästöt. [Koneluokitus.]



Kuva 4 Stage-luokkien raja-arvoja havainnollistava pylväskaavio.

Ensimmäisenä otettiin käyttöön dieselmootoreilla varustettuja työkoneita koskevat Stage I standardit vuonna 1999. Stage II tuli voimaan vaiheittain vuosien 2001–2004 aikana riippuen työkoneiden moottoritehoista ja vuonna 2002 sääntely laajeni myös bensiinikäyttöisiin moottoreihin.

Taulukko 2: Stage I -luokan raja-arvot

Moottoriluokka	Netto-teho	Hiilimonoksidi	Hiilivedyt	Typen oksidit	Partikkelit
Yksikkö	kW	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh
A	130–560	5	1,3	9,2	0,54
B	75–130	5	1,3	9,2	0,70
C	37–75	6,5	1,3	9,2	0,85

Taulukko 3 Stage II-luokan raja-arvot

Moottoriluokka	Netto-teho	Hiilimonoksidi	Hiilivedyt	Typen oksidit	Partikkelit
Yksikkö	kW	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh
E	130–560	3,5	1	6	0,2
F	75–130	5	1	6	0,3
G	37–75	5	1,3	7	0,4
D	18–37	5,5	1,5	8	0,8

Stage IIIA ja IIIB astuivat voimaan vuosien 2006–2013 aikana. Stage IIIB standardin pienhiukkasraja-arvot kiristyivät 90 % Stage II standardiin verrattuna. Käytännössä Stage IIIB-luokituksen täyttävissä työkoneissa hiukkassuodatin on pakollinen.

Taulukko 4 Stage IIIA-luokan raja-arvot päästöille

Moottoriluokka	Netto-teho	Hiilimo-noksidi	Hiilivedyt + typen oksidit	Partikkelit
Yksikkö	kW	g/kWh	g/kWh	g/kWh
H	130–560	3,5	4	0,2
I	75–130	5	4	0,3
J	37–75	5	4,7	0,4
K	18–37	5,5	87,5	0,6

Taulukko 5 Stage IIIB-luokan raja-arvot päästöille.

Moottoriluokka	Netto-teho	Hiilimo-noksidi	Hiilivedyt	Typen oksidit	Partikke-lit
Yksikkö	kW	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh
L	130–560	3,5	0,19	1	0,025
M	75–130	5	0,19	3,3	0,025
N	37–75	5	0,19	3,3	0,025
P	18–37	5,5	4,7		0,025

Vuonna 2014 voimaan astuneen Stage IV-luokan päästörajat kiristyivät typen oksidien osalta siten, että luokan vaatimukset täyttävissä koneissa on oltava asennettuna pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmä. Useimmiten pakokaasujen jälkikäsittely toteutetaan urealiuosta hyödyntäen eli SRC-jälkikäsittelyllä.

Taulukko 6: Stage IV-luokan raja-arvot päästöille. Luokan raja-arvojen alittaminen edellyttää käytännössä pakokaasujen SRC-jälkikäsitteilyjärjestelmää.

Moottoriluokka	Nettoteho	Hiilimonoksidi	Hiilivedyt	Typen oksidit	Partikkelit
Yksikkö	kW	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh
Q	130–560	3,5	0,19	0,4	0,025
R	56–130	5	0,19	0,4	0,025

Viimeisin luokka, Stage V, otettiin käyttöön vuosina 2019–2020. Se koskee alle 56kW moottoreista vain dieselmoottoreita ja tätä tehokkaammissa moottoreissa myös muita polttoaineita käyttäviä moottoreita, myös kaasua käyttäviä moottoreita. Generaattorikäytössä oleville yli 560kW moottoreille on asetettu tiukemmat päästöraja-arvot kuin muille työkonemoottoreille. [Bergman et al. 2015.]

Taulukko 7: Stage V-luokan raja-arvot

Moottoriluokka	Nettoteho	Hiilimonoksidi	Hiilivedyt	Hiilivedyt + typen oksidit	Typen oksidit	Partikkelit
Yksikkö	kW	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh
NRE-v/c-1	<8	8	-	4,7	-	0,040
NRE-v/c-2	8–19	6,6	-	4,7	-	0,040
NRE-v/c-3	19–37	5	-	4,7	-	0,015
NRE-v/c-4	37–56	5	-	4,7	-	0,015
NRE-v/c-5	56–130	5	0,19		0,4	0,015
NRE-v/c-6	130–560	3,5	0,19		0,4	0,015
NRE-v/c-7	>560	3,5	0,19		3,5	0,045

6.2 Stage-luokkien vertailuhanke

Terrawise Oy toteuttaa Espoossa Yläkartanontien keski- ja itäosan, Soukantien sekä Soukanraitin rakentamishanketta, jossa saneerataan noin 1,4 kilometriä katu- ja tiealueita sekä Soukan tori- ja puistoalueita. Hankkeessa rakennetaan myös tukimuureja ja uusi alikulkusilta sekä saneerataan kaksi olemassa olevaa siltaa. Hanke on parhaillaan käynnissä ja sen on määrä valmistua vuoden 2022 lokakuuhun mennessä.

Neljän kuukauden seuranta-ajanjaksolla 1.7.-30.10.2021 hankkeessa pidettiin kirjaa kaluston käyttötunneista. Käyttötuntien, käytettyjen koneiden tehon ja koneiden Stage-luokituksen perusteella työkoneiden päästöistä on toteutettu päästölaskelma tarkasteluajanjaksolta. Kaikki hankkeessa tarkasteluajanjaksossa käytössä olleet kaivinkoneet ovat Stage IV ja Stage V -luokissa. Työmaan kuljetuskalusto rajattiin tarkastelun ulkopuolelle.

Toteutettua päästölaskelmaa verrattiin tilanteisiin, joissa käytetty kalusto edustaisi kokonaisuudessaan joko Stage I, Stage IIIA tai Stage V -luokkia.

Taulukko 8 Työmaan työkoneiden päästöistä tehty laskelma tarkasteluajanjak-solla 1.7.-30.10.2021. Työmaalla tarkasteluajanjakson aikana työskennelleet työkoneet olivat kaikki Stage IV ja Stage V -luokissa.

Kone	Teho / kW	Käyttötunnit (h)	CO (g)	CH (g)	No _x (g)	PM (g)
Case 245 Stage IV	124	699	433380	16468,44	34670,4	2166,9
Case 245 Stage IV	124	647	401140	15243,32	32091,2	2005,7
Liebherr A918 Stage V	115	263	151225	5746,55	12098	453,675
Liebherr A918 Stage V	115	350	201250	7647,5	16100	603,75
Cat 325 Stage V	128,5	658	422765	16065,07	33821,2	1268,295
Doosan DX160 Stage IV	103	61	31415	1193,77	2513,2	157,075
Volvo EC250EL Stage V	167	305	178272,5	9677,65	20374	764,025
Yhteensä (g)			1819447,5	72042,3	151668	7419,42
Yhteensä (kg)			1819,4475	72,0423	151,668	7,41942

Taulukko 9 Vertailulaskelma toteutettu Stage I-luokassa olevalla, tehoiltaan vastaavalla kalustolla ja samoilla käyttötuntimäärillä. Hiilimonoksidia lukuun ottamatta päästömäärät Stage I – luokan kalustolla olisivat moninkertaiset verrattuna työmaan todellisella kalustolla toteutettuun hankkeeseen. Hiilivetyä olisi syntynyt 7 kertainen määrä, typen oksideja lähes 11 kertainen määrä ja pienhiukkasia peräti yli 34 kertainen määrä.

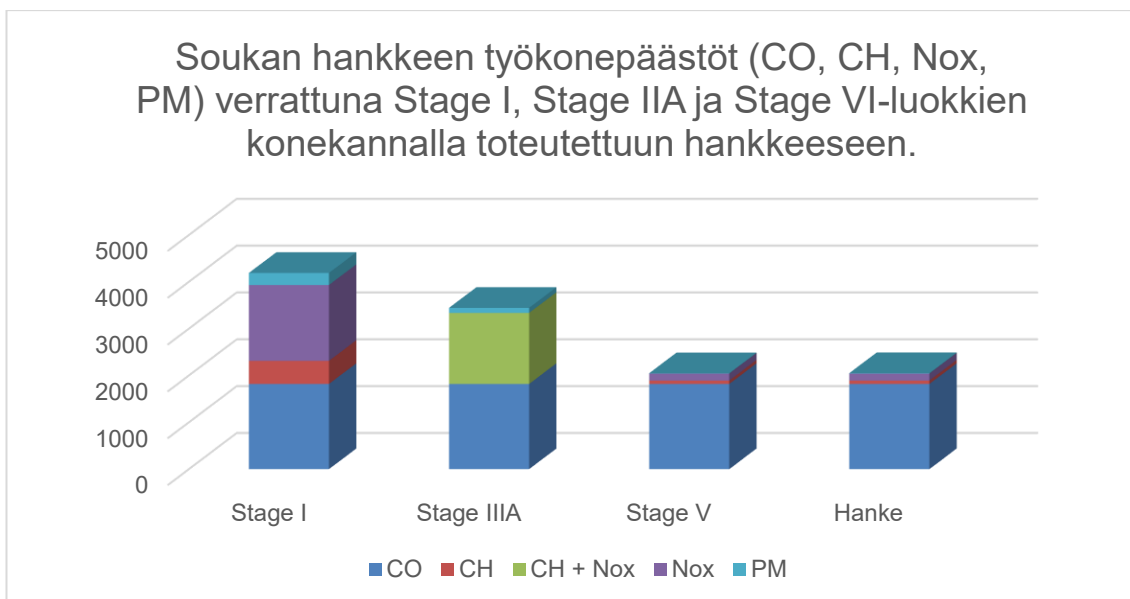
Kone	Teho (kW)	Käyttö-tunnit (h)	Stage I - CO (g)	Stage I - CH (g)	Stage I - No _x (g)	Stage I - PM (g)
Case 245	124	699	433380	112678,8	797419,2	60673,2
Case 245	124	647	401140	104296,4	738097,6	56159,6
Liebherr A918	115	263	151225	39318,5	12098	21171,5
Liebherr A918	115	350	201250	52325	16100	28175
Cat 325	128,5	658	422765	109918,9	33821,2	59187,1
Doosan DX160	103	61	31415	8167,9	2513,2	4398,1
Volvo EC250EL	167	305	254675	66215,5	20374	27504,9
Yhteensä (g)			1895850	492921	1620423,2	257269,4
Yhteensä (kg)			1895,85	492,921	1620,4232	257,2694

Taulukko 10 Vertailulaskelma toteutettuna Stage IIIA-luokassa olevalla, tehoiltaan vastaavalla kalustolla ja samoilla käyttötuntimäärillä. Pienhiukkasten määrä Stage IIIA-luokan raja-arvot täyttävällä kalustolla lähes 15-kertainen verrattuna työmaalla toteutuneeseen. Hiilivetyjen ja typenoksidien määrä on puolestaan noin 6,8-kertainen.

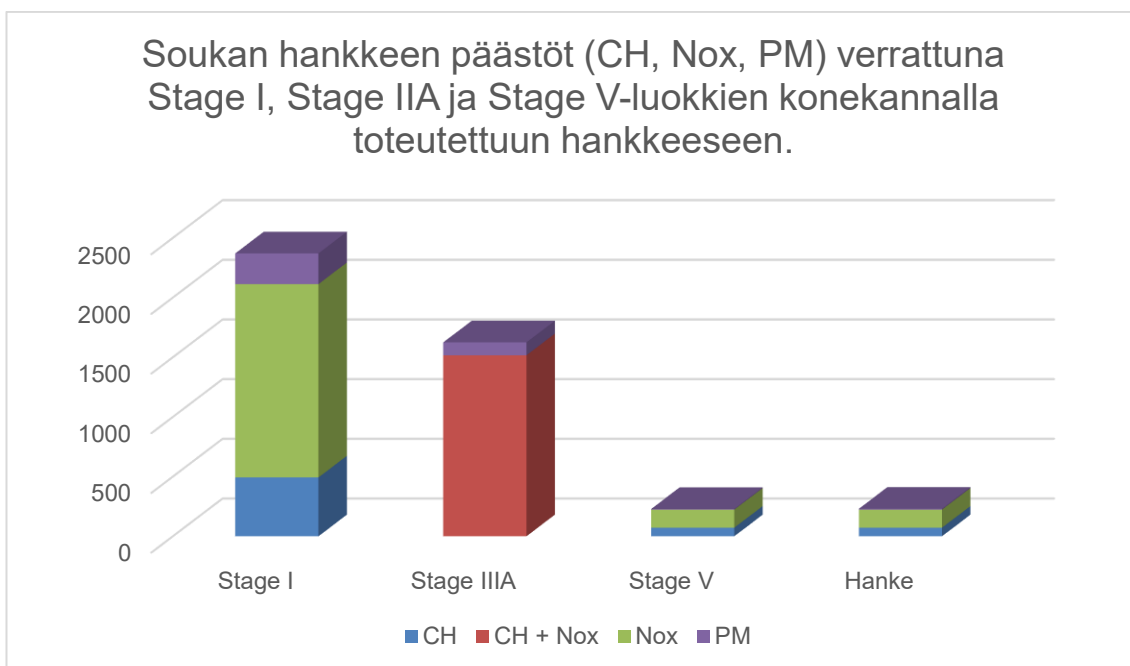
Kone	Teho (kW)	Käyttötunnit (h)	Stage IIIA - CO (g)	Stage IIIA - CH + NO _x (g)	Stage IIIA - PM (g)
Case 245	124	699	433380	346704	26002,8
Case 245	124	647	401140	320912	24068,4
Liebherr A918	115	263	151225	120980	9073,5
Liebherr A918	115	350	201250	161000	12075
Cat 325	128,5	658	422765	338212	25365,9
Doosan DX160	103	61	31415	25132	1884,9
Volvo EC250EL	167	305	178272,5	203740	10187
Yhteensä (g)			1819447,5	1516680	108657,5
Yhteensä (kg)			1819,4475	1516,68	108,6575

Taulukko 11 Vertailulaskelma, jossa päästölaskenta on toteutettu kaikkien työ-koneiden osalta Stage V -luokan raja-arvoilla. Koska valtaosa hankkeessa tarkasteluajanjaksoilla käytetystä kalustosta on Stage V -luokkaa, ovat vertailulas-kelman ja toteuman väliset erot vähäisiä. Laskelmasta todetaan kuitenkin, että päivittämällä Stage IV-luokan kalusto Stage V-luokkaan, olisi tarkasteluajanjak-solla syntynyt noin 23 % vähemmän pienhiukkaspäästöjä. Muilta osin Stage V-luokan vertailulaskelman ja tarkastelujakson toteutuneet päästöt ovat samalla tasolla.

Kone	Teho (kW)	Käyttötun-nit (h)	Stage V - CO (g)	Stage V - CH (g)	Stage V - No _x (g)	Stage V - PM (g)
Case 245	124	699	433380	16468,44	34670,4	1300,14
Case 245	124	647	401140	15243,32	32091,2	1203,42
Liebherr A918	115	263	151225	5746,55	12098	453,675
Liebherr A918	115	350	201250	7647,5	16100	603,75
Cat 325F	128,5	658	422765	16065,07	33821,2	1268,295
Doosan DX160	103	61	31415	1193,77	2513,2	94,245
Volvo EC250EL	167	305	178272,5	9677,65	20374	764,025
Yhteensä (g)			1819447,5	72042,3	151668	5687,55
Yhteensä (kg)			1819,4475	72,0423	151,668	5,68755



Kuva 5 Vertailulaskelman tulosten vertailu pylväskaavion muodossa. Hankkeen toteuma ja täysin Stage V-kalustolla toteutetun vertailulaskelman päästömäärät olivat typenoksidien, hiilimonoksidin ja hiilivetyjen osalta samat. Hiukkaspäästöjä hankkeessa syntyi kuitenkin 30 % enemmän, kun täysin Stage V -kalustolla toteutetussa hankkeessa olisi syntynyt.



Kuva 6 Vertailulaskelman tulosten vertailu pylväskaavion muodossa ilman hiilimonoksidia.

Seuranta-ajanjaksolta tuotettiin myös vertailulaskelma, joka tarkasteli teoreettisesti lähipäästöjen määrää tilanteessa, jossa työkoneet olisivat käyttäneet täysin uusiutuvaa polttoainetta.

Mikäli hanke olisi toteutettu täysin uusiutuvalla HVO polttoöljyllä, olisi pakokaasupäästöissä ilmaan päässeiden typenoksidien määrä vähentynyt 9 %, hiilivetyjen 30 %, hiilimonoksidin 24 % ja pienhiukkasten 33 %. Laskennan perusteena on käytetty polttoainevalmistajan ilmoittamia arvoja.

Taulukko 12 Vertailulaskelma, jossa on laskettu, kuinka paljon lähipäästöjä hankkeessa olisi tarkasteluajan jaksolla syntynyt, mikäli hanke olisi toteutettu täysin uusiutuvalla polttoaineella.

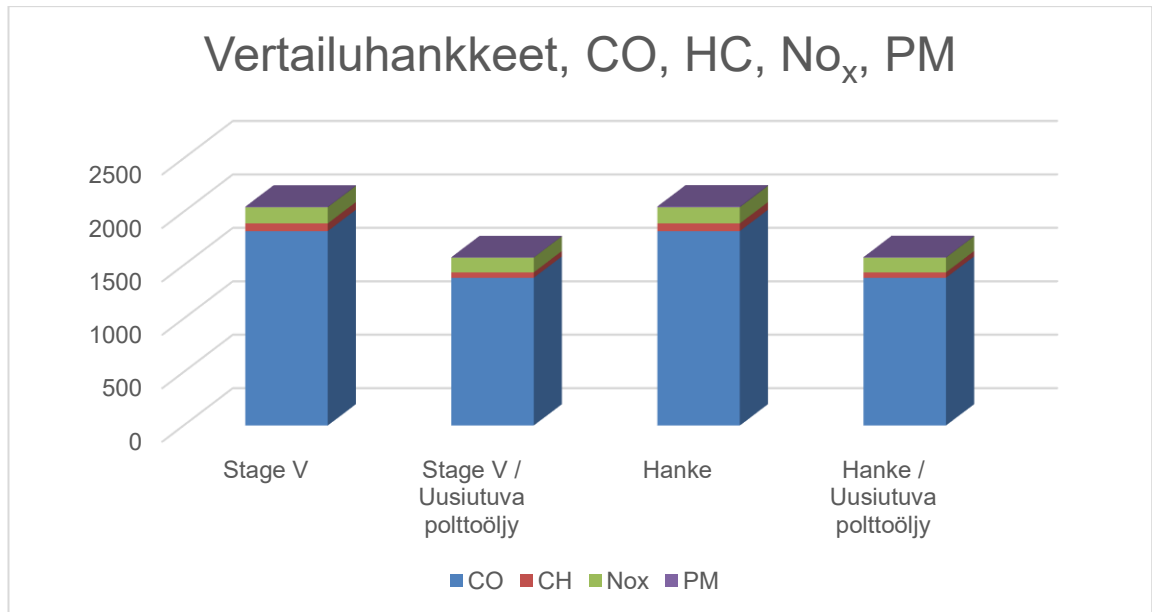
Kone	Teho / kW	Käyttötunnit (h)	CO (g)	CH (g)	No _x (g)	PM (g)
Case 245 Stage IV	124	699	433380	16468,44	34670,4	2166,9
Case 245 Stage IV	124	647	401140	15243,32	32091,2	2005,7
Liebherr A918 Stage V	115	263	151225	5746,55	12098	453,675
Liebherr A918 Stage V	115	350	201250	7647,5	16100	603,75
Cat 325 Stage V	128,5	658	422765	16065,07	33821,2	1268,295
Doosan DX160 Stage IV	103	61	31415	1193,77	2513,2	157,075
Volvo EC250EL Stage V	167	305	178272,5	9677,65	20374	764,025
Yhteensä (g)			1382780	50429,61	138017,9	4971,011
Yhteensä (kg)			1382,780	50,42961	138,0178	4,971011

Lopuksi tehtiin vertailulaskelma, jonka avulla tutkittiin, kuinka paljon tarkasteluajan jaksos päästöt olisivat kokonaisuudessaan vähentynyt, mikäli hankkeessa olisi käytetty täysin uusiutuvaa HVO polttoöljyä ja lisäksi kaikki hankkeessa käytettävät Stage IV-luokan työkoneet olisi korvattu Stage V-luokan vastaavilla koneilla. Kun verrataan todelliseen hankkeeseen, olisi hiilivetyjen, hiilimonoksidin ja typenoksidien määrä vähentynyt yhtä paljon kuin edellisessä vertailulaskelmassa, joka tutki kuinka paljon fossiilisen polttoaineen korvaaminen uusiutuvalla polttoöljyllä olisi vähentänyt päästöjä. Kun tämän lisäksi päivitettiin kaikki

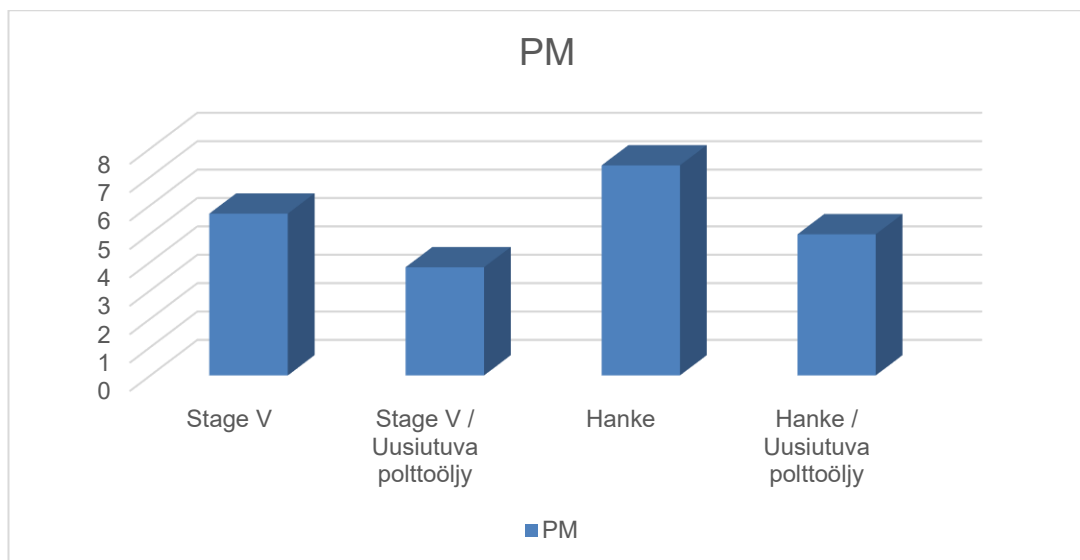
työkoneet Stage V luokan koneilla, vähentyi pienhiukkasten määrä vielä hieman enemmän, yhteensä 49 %, verrattuna seuranta-ajanjakson toteumaan.

Taulukko 13 Vertailulaskelma, jossa on laskettu, kuinka paljon lähipäästöjä hankkeessa olisi tarkasteluajan jaksolla syntynyt, mikäli hanke olisi toteutettu täysin uusiutuvalla polttoaineella ja pelkästään Stage V-luokan työkoneilla.

Kone	Teho (kW)	Käyttötunnit (h)	Stage V - CO (g)	Stage V - CH (g)	Stage V - No _x (g)	Stage V - PM (g)
Case 245	124	699	433380	16468,44	34670,4	1300,14
Case 245	124	647	401140	15243,32	32091,2	1203,42
Liebherr A918	115	263	151225	5746,55	12098	453,675
Liebherr A918	115	350	201250	7647,5	16100	603,75
Cat 325F	128,5	658	422765	16065,07	33821,2	1268,295
Doosan DX160	103	61	31415	1193,77	2513,2	94,245
Volvo EC250EL	167	305	178272,5	9677,65	20374	764,025
Yhteensä (g)			1382780	50429,61	138017,9	3810,659
Yhteensä (kg)			1382,780	50,4296	138,0179	3,810659



Kuva 7 Hankkeen lähipäästöjen toteutuma verrattuna Stage V-luokan kalustolla tehtyyn hankkeeseen ja hankkeeseen, jossa käytetty ainoastaan uusiutuvaa polttoöljyä.



Kuva 8 Hankkeen pienhiukkaspäästöjen toteutuma verrattuna Stage V-luokan kalustolla tehtyyn hankkeeseen ja hankkeeseen, jossa käytetty ainoastaan uusiutuvaa polttoöljyä.

Tehdyn tarkastelun perusteella voidaan todeta, että yhdistämällä kaikki mahdolliset päästövähennystoimet, on nykytilanteessakin syntyviä lähipäästöjä mahdollista selvästi vähentää. Kuitenkin voidaan todeta, että tarkasteluajanjaksolla syntyneiden päästöjen määrä on ollut huomattavasti vähäisempi verrattuna alempien Stage-luokkien (I ja IIIA) kalustolla toteutettuihin vertailulaskelmiin, vaikka hankkeessa ei ollut erikseen asetettuna työkoneiden päästöluokkia koskevia vaatimuksia. Fossiilisen käyttövoiman korvaaminen uusiutuvalla HVO polttoöljyllä vähentää valmistajan mukaan myös kasvihuonekaasupäästöjä 50–90 % [Engman et al. 2020].

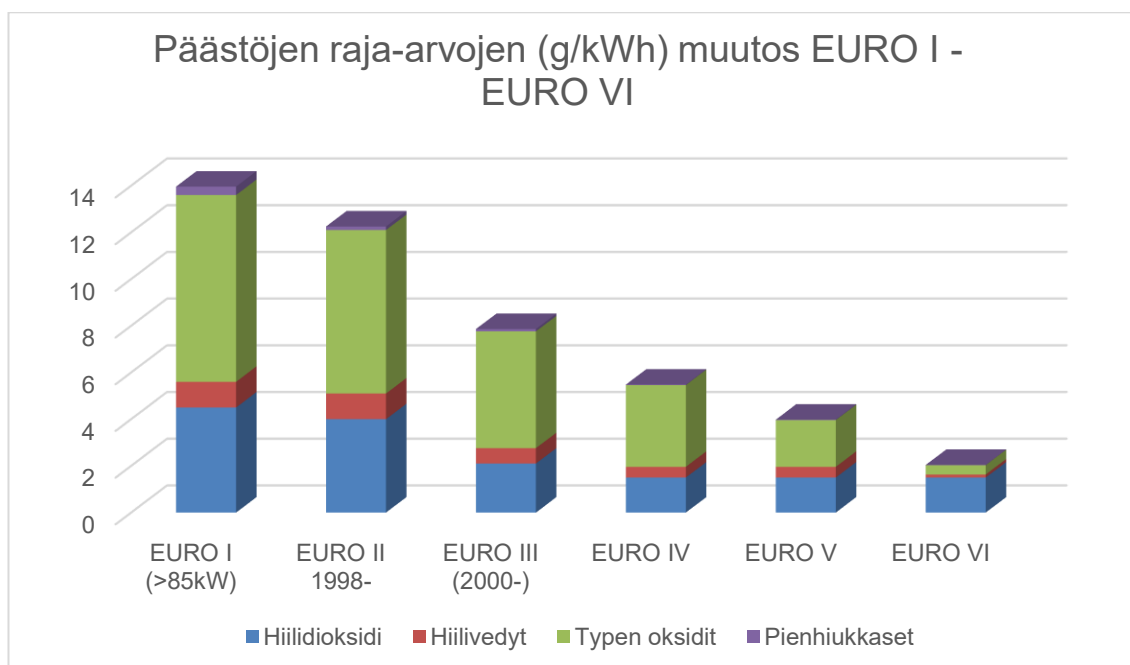
6.3 EURO-luokitus

Raskaan kaluston terveydelle haitallisten pakokaasupäästöjen enimmäisrajat säädetään EU:n tyyppihyväksyntädirektiivillä. Kuljetuskaluston päästöjä säätelevä EURO-luokitus otettiin käyttöön vuonna 1993. Luokitus säätelee käytännössä samoja päästöjä kuin työkoneilla käytössä oleva Stage-luokitus. EURO-luokitus on käytössä myös henkilö- ja pakettiautoilla. Päästörajoja tiukennetaan asteittain noin viiden vuoden välein ja uusi vaihe otetaan käyttöön noin vuoden mittaisen siirtymäajan kautta. Siirtymäajan päätyttyä kaikkien myynnissä olevien uusien ajoneuvojen on täytettävä uuden luokan määräykset. Kuljetusajoneuvojen päästöluokkaa on mahdollista parantaa jälkiasennettavilla laitteilla. [Motiva 2020.]

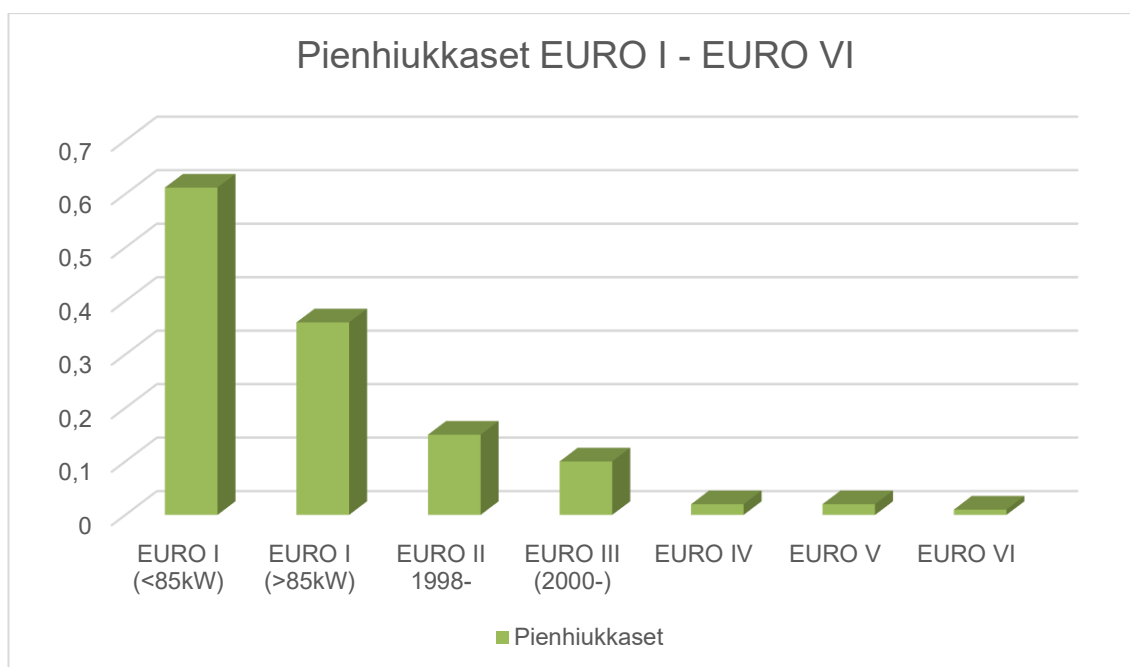
Voimassa oleva standardi on EURO VI. Kaikki tammikuun 2014 jälkeen ensirekisteröidyt raskaat ajoneuvot täyttävät nämä normit. Uusimman standardin raja-arvot ovat moninkertaisesti tiukemmat kuin vuonna 1993 voimaan tulleen EURO I-luokan raja-arvot. EURO VI-luokan kuljetuskaluston päästöissä sallitaan hiilimonoksidia 33 %, hiilivetyä 11 %, typenoksideja 5 % ja pienhiukkasia 1,6 % EURO I-luokan raja-arvoista. [Motiva 2020.]

Taulukko 14: EURO-luokkien raja-arvot [Asetus (EY) N:o 595/2009]

Päästö-luokka	CO	HC	NO _x	PM	PN	Savustus
	g/kWh				kpl/kWh	1/m
Euro I	4.5	1.1	8.0	0.612		
	4.5	1.1	8.0	0.36		
Euro II	4.0	1.1	7.0	0.25		
	4.0	1.1	7.0	0.15		
Euro III	1.5	0.25	2.0	0.02		0.15
	2.1	0.66	5.0	0.10a		0.8
Euro IV	1.5	0.46	3.5	0.02		0.5
Euro V	1.5	0.46	2.0	0.02		0.5
Euro VI	1.5	0.13	0.40	0.01	8.0×10 ¹¹	



Kuva 9 EURO-luokkien raja-arvojen muutos kuvattuna pylväskaaviona.



Kuva 10 EURO-luokkien pienhiukkasten raja-arvot kuvattuna pylväskaaviossa. Pylväskaavio havainnollistaa selkeästi, kuinka suuria eroja nykyteknologia on mahdollistanut.

Liikenne- ja viestintäministeriön tuottamassa selvityksessä [Happo et al 2020.] on todettu, että EURO VI-luokiteltujen dieselkäyttöisten ajoneuvojen päästöjä voidaan verrata maakaasua käyttävien vähäpäästöisien CNG-moottoreiden päästöihin. EURO VI-luokiteltujen dieselmootoreiden tuottamat hiukkaspäästöt ovat vähäisiä ja myös typenoksidien päästöihin voidaan myös vaikuttaa alentavasti.

6.4 Pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmät

Useimmissa nykyisissä dieselmootoreissa käytetään useamman suodatintyyppin yhdistelmää, jotta haitallisia päästöjä saadaan rajoitettua mahdollisimman tehokkaasti. Myös bensiinimoottoreissa hyödynnetään pakokaasujen jälkikäsittelyteknologiaa. [Knihti 2018.]

Hapettava katalysaattori (DOC) on yksi tavanomaisimmista suodattamista sekä diesel- että bensiinimoottoreissa. Sen toimintaperiaate perustuu haitallisten pakokaasujen, kuten typpimonoksidin, hiilimonoksidin ja hiilivetyjen hapettamiseen. Hapetus muuttaa haitallisia kaasuja hiilidioksidiksi, typpidioksidiksi ja vesihöyryksi. Katalysaattori ei kuitenkaan nokea lukuun ottamatta poista pakokaasusta pienhiukkasia. Dieselmoottoreissa hapettava katalysaattori toimii usein muita pakokaasun jälkikäsittelyjärjestelmiä avustavana komponenttina, sillä sen muodostama typpidioksidi auttaa DPF-suodattimien passiivista regenerointia ja SCR-järjestelmän toimintaa. Katalysaattori muodostuu keraamisesta karheapintaista kennosta tai metalliverkosta, joka on päällystetty hapettimena toimivalla jalometallilla. Katalysaattori sijoitetaan usein lähelle moottoria, sillä sen tehokas toiminta edellyttää korkeita lämpötiloja. [Knihti 2018.]



Kuva 11 Perinteinen hapettava katalysaattori. Katalysaattori on rakenteeltaan kennomainen [Knihti 2018].

EGR-venttiili kierrättää osan syntyvistä pakokaasuista läppäventtiilin kautta takaisin moottoriin. Moottorin imusarjassa pakokaasu sekoittuu vähentäen happipitoisuutta ja siten laskien palamislämpötilaa. Koska typenoksidipäästöt syntyvät erityisesti korkeassa paineessa ja lämpötilassa, vähentää palamislämpötilan

laskeminen huomattavasti syntyvien typenoksidipäästöjen määrää. Pakokaasujen takaisinkierätyjärjestelmää voidaan käyttää sekä bensiini- että dieselmootoreissa. Järjestelmän tunnetusti aiheuttama ongelma on pakokaasun kierrättämisestä johtuva imusarjan karstoittuminen. [Hietala 2010.]

DPF-suodattimen pääasiallinen tarkoitus on rajoittaa moottorissa syntyvien nokihiukkasten vapautumista ilmaan. Nykyaikaiset hiukkassuodattimet suodattavat hiukkaspäästöjä jopa 90 %:n tehokkuudella. Rakenteeltaan hiukkassuodatin muistuttaa katalysaattoria, mutta katalysaattorista poiketen sen kennojen kanavat on vastakkaisista päistä tulpatut, jolloin pakokaasun on kuljettava huokoisten seinämien läpi. Pakokaasun kulkiessa kennoston läpi, jäävät suurimmat hiukkaset suodattimen sisään. Hiukkasia kerääntyy suodattimen rakenteisiin nopeasti, jolloin suodattimen tuottama vastapaine nousee ja suodattimen ja moottorin toiminta heikkenee. Suodattimen ajoittain vaatimaa puhdistusta kutsutaan regeneroinniksi. Regeneroinnissa suodattimeen kertyneet nokihiukkaset muuteetaan korkeassa lämpötilassa hapen tai typpidioksidin avulla hiilidioksidiksi, joka pääsee poistumaan suodattimesta. Regeneroinnin sivutuotteena syntyy tuhkaa, joka ajansaatossa tukkii suodattimen. Regeneroinnista huolimatta suodatin on siis vaihdettava tai puhdistettava ajoittain. [Hietala 2010.]

SRC-järjestelmät on kehitetty typenoksidien vähentämiseksi ja käytännössä kaikissa EURO IV- ja Stage IV-luokkia ylemmissä luokissa olevissa työkoneissa ja kuljetusajoneuvoissa on käytössä SRC-järjestelmä. Järjestelmän toiminta perustuu kemialliseen reaktioon, jossa katalyytin ja pelkistimen avulla typenoksideista muodostuu typpeä ja vettä. Pelkistimenä käytetään tavallisesti ammoniakkipitoisia liuoksia, joista yleisimmin käytössä oleva ureavesiliuos tunnetaan markkinoilla AdBlue nimellä. Myös SRC-suodatin on rakenteeltaan kennomainen ja pinnoitettu katalyyttina toimivilla jalometalleilla tai metallien oksideilla. Ureavesiliuosta ruiskutetaan pakokaasuvirtaukseen ennen suodatinta, ja pakokaasun lämpö muuttaa urean ammoniakiksi. Järjestelmän oikeanlainen ja tehokas toiminta edellyttää hyvin tarkkaa säätöä etenkin lisäaineruiskutuksen osalta. Jotta typenoksidit saadaan pelkistettyä tehokkaasti, on pakokaasuvirrassa oltava ammoniakkia mieluummin hieman ylimääräistä. Ammoniakki on kuitenkin

erittäin haitallista luonnolle, joten sen poistamiseksi pakokaasusta on kehitetty erillinen ASC-suodatin. ASC-suodattimessa ammoniakki yhdistyy happeen muodostaen vesihöyryä ja typpeä. [Hietala 2010.]

6.5 Pienkalusto

On näköpiirissä, että myös pienkalustoa koskevia vaatimuksia tullaan tulevaisuudessa asettamaan päästötön työmaa -sopimuksen piirissä olevien hankintayksiköiden kilpailuttamille ja toteuttamille hankkeille. Helsingin kaupunki toteutti vuonna 2020 päästöttömän työmaanpilottihankkeena Kulosaaren puistotien urakan. Kilpailutusvaiheessa urakan yhtenä vähimmäisvaatimuksena oli, että kaikkien teholtaan alle 4 kW pienkoneiden tulee olla sähkökäyttöisiä. Green Deal päästötön työmaa -sopimuksen tavoitteissa ei ole listattuna pienkalustoa koskevia vaatimuksia, mutta voidaan kuitenkin pitää todennäköisenä, että tulevaisuuden infrahankkeiden hankintakilpailuissa on esitettyä myös työmaan pienkalustoa koskevia vähimmäisvelvoitteita. Terrawisen toteuttamassa Marttilan aluesaneerauksen STk-urakassa pienkaluston käyttövoiman lähde oli osana laatupisteytystä hankkeen tarjouskilpailussa. Pienkaluston uusiutuvan käyttövoiman käytöstä sai yhteensä 2 pistettä. Laatupisteiden enimmäismäärä oli 40.

6.6 Kaluston saatavuus

Green Deal päästötön työmaa -sopimuksessa esitetään neljä erillistä välitavoitetta vuosien 2021–2030 aikana. Jokaisessa välitavoitteessa päivitetään käytettävän kaluston päästöluokitusta ja hankkeessa käytettäviä polttoaineita koskevia vaatimuksia. Lisäksi hankintayksikölle on asetettu tavoitteita koskien päästötön työmaa -konseptin ja seurantajärjestelmän kehittämistä. Urakoitsijan näkökulmasta kalustoa ja polttoainetta koskevat päivittyvät vaatimukset tuovat mukanaan konkreettisimmat vaikutukset liiketoimintaan. Terrawise Oy:n infraraken- tamishankkeissa työkoneet ja kuljetuskalusto ovat pääosin alihankkijoiden omistuksessa. Alihankintaverkon kalusto vastaa tällä hetkellä hyvin toteutuksessa oleviin hankkeisiin ja hankintayksiköiden tällä hetkellä kilpailuttamien hankkei-

den vaatimukseen ja useissa toteutettavissa hankkeissa konekanta onkin jo vaatimuksia korkeammassa päästöluokassa. Myös korkeimpien päästöluokkien kuljetuskalustoa on ollut hyvin saatavilla. Korkeamman päästöluokan kaluston käyttämisestä aiheutuvia kustannusvaikutuksia voidaan pitää melko vähäisinä.

Caterpillar on tehnyt yhteistyötä Skandinavian suurimman maarakentajan Veidekkenin kanssa sähkökäyttöisen Cat 323F Z-Line kaivinkoneen kehityshankkeessa ja ensimmäinen 26 tonnin kaivinkone luovutettiin Veidekkenille vuonna 2019. Koneessa on 300 kWh litiumakusto ja 122 kW sähkömoottori. Tunnin latauksella saavutetaan noin tunnin työaika, ja täyteen ladatulla akulla olosuhteista riippuen noin 5–7 tunnin työaika. Koneen käyttö on mahdollista myös suoralla verkkoliitännällä. Vuonna 2019 koneen veroton hinta on ollut noin 570 000 €. Koneen kehitystyössä osallisena ollut Erik Sollerud toteaa, että työkonen sähköistäminen ei itsessään ole vaikeaa, vaan suurimmat haasteet liittyvät lähinnä työkonien akkuteknologiaan ja energian varastointitiheyteen. Kaivinkoneen kehittämisessä tavoitteena oli tuottaa riittävän suuri kone maansiirto- ja purkutöihin. [Doyle 2021.]

Volvo Trucksin mukaan Euroopassa on rekisteröity jo muutama sata kappaletta yli 16 tonnia painavia sähköisiä kuorma-autoja. Volvon omassa FM Electric sähkökuorma-autossa kantavuus on 44 000 kg ja kantama jopa 300 kilometriä. Sähkökuorma-autojen hankintahinta on vielä suhteellisen korkea, mutta suurimmat haasteet sähkökuorma-autojen käyttöönotossa liittyvät pitkän matkan liikenteeseen. [STT 2021.] Biokaasulla toimivia kuorma-autoja on markkinoilla jo paremmin, ja kaasu sopii raskaan kaluston polttoaineeksi hyvin. Toimintamatkatkin vastaavat kohtuullisen hyvin käytännön tarpeisiin, mutta haasteena on edelleen biokaasun tankkausasemien vähäinen määrä [Kokkonen 2018]. Myös vetyä polttokennoteknologialla sähköksi muuttavien, täysin lähipäästöttömien kuorma-autojen kehitystyö on pitkällä ja Sveitsissä vetykäyttöisellä Hyundai XCIENT kuorma-autolla on ajettu jo 750 000 kilometriä [Hyundai 2021].

Työkoneiden päästöjä ja sähköistymistä tutkivassa VTT:n asiakasraportissa [Markkanen & Lauhkonen 2021.] todetaan, että sähköisten työkoneiden markkinoiden tulevaisuuden kasvusta on hyvin vähän arvioita. Lajunen ja muut [Lajunen et al. 2018.] arvioivat voimansiirron sähköistymisen tulevaisuutta käsittelevässä tutkimuksessaan, että vuonna 2035 jopa puolet työkoneista on joko täys-sähkökäyttöisiä tai hybridejä. Osasyynä sähköistämisen suosioon kasvuun he pitävät sitä, että kehitettäville automatisoiduille autonomisille työkoneille sähkön ja hybridin hyödyntäminen käyttövoimana on järkevää sähkökomponenttien ja -järjestelmien ollessa perinteisiä mekaanisia ja hydraulisia järjestelmiä tarkempia ohjauksen ja mittaamisen kannalta.

6.7 Kaluston käyttökelpoisuus ja erityisvaatimukset

Korkeimpien EURO- ja Stage-luokkien kalusto vastaa hyvin työmaan tarpeisiin, eikä tiukemmat raja-arvot täyttävän kaluston käyttö näy työmaan käytännön työssä lähes lainkaan. Urealiuosta hyödyntävä SRC-järjestelmä on käytännössä kaikissa uusimpien päästoluokkien työkoneissa ja kuorma-autoissa. Järjestelmä edellyttää koneen käyttäjältä tunnollisuutta koneen ureatankkauksissa. Hienosäätöiset ja jossain määrin herkäät jälkikäsitteilyjärjestelmät edellyttävät säännöllistä huoltoa ja näin muuttavat kaluston huoltotarpeita.

Tällä hetkellä valtaosa markkinoilla tarjolla olevista sähkökäyttöisistä kaivinkoneista on työmaiden tarpeisiin liian pieniä ja täydelläkin akulla saavutettava työaika liian lyhyt. Markkinoilla tarjolla olevilla sähkökäyttöisiä pyöräkoneita ja trukkeja voidaan kuitenkin jossain määrin hyödyntää työmaan muiden koneiden palvelutarpeissa ja tavaroiden siirroissa. Sähköisten työkoneiden käyttömahdollisuuksia rajoittaa merkittävästi latausinfraan kehitys toteutettavien työmaiden läheisyydessä.

Green Deal päästötön työmaa -sopimuksessa on asetettu 2 välitavoitetta koskien työkoneita, jotka käyttävät käyttövoimanaan sähköä, vetyä tai biokaasua. Vuonna 2025 näiden koneiden osuus tulisi olla 20 % työmaalla käytettävistä työkoneista. Kymmenen vuotta myöhemmin, 2030, osuuden tulisi olla vähintään

50 %. Tavoitteiden tarkoituksenmukainen toteutuminen edellyttää kuitenkin vety-, biokaasu-, ja sähkökäyttöisten työkoneiden ja raskaiden ajoneuvojen tarjonnan parantumista ja monipuolistumista, sekä polttoaineiden jakeluverkon parantumista ja latausinfraan kehittymistä nopealla aikavälillä. Teknologian kehitykseen nähden liian tiukat kalustoa koskevat ympäristövaatimukset voivat johtaa työmaiden toteuttamiseen tarkoitukseen sopimattomilla koneilla ja työmaan sähköä, vetyä ja biokaasua käyttävän kaluston alhaiseen käyttöasteeseen.

7 Kiertotalous ja MARA-asetus

Merkittävä osa infrarakentamishankkeiden päästöistä syntyy maamassojen liikkuttamisesta. Vaikka nykyaikainen kuljetuskalusto tuottaa huomattavasti vähemmän päästöjä kuin ennen, on kuljetusmatkojen minimoinnilla ja puhtaiden maamassojen tehokkaalla kierrätyksellä mahdollista vähentää rakentamishankkeista syntyvien päästöjen määrää. Myös materiaalitehokkuudella ja materiaalien uusiokäytöllä voidaan aikaansaada ympäristöhyötyjä. Kiertotalousajattelua tukevan uusiomateriaalien käyttöä edistävä MARA-asetus, eli laki eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisesta, päivitettiin vuonna 2018.

7.1 Kiertotalous

Kiertotalouden tavoitteena on vähentää luonnonvarojen käyttöä tehostamalla materiaalien uusiokäyttöä ja kierretystä. Tarkoituksena on varmistaa materiaalien ja komponenttien arvon säilyminen ja taata niille mahdollisimman pitkä elinkaari. Sitran [Arponen et al. 2014.] selvityksen mukaan kiertotalous voi varovaisestikin arvioiden mahdollistaa 1,5–2,5 miljardin euron arvonnousun Suomen kansantalouteen vuoteen 2030 mennessä. Arviossa on huomioitu myös se, että Suomi on useilla sektoreilla jo pitkällä kiertotalouden toteuttamisessa.

Infra-alalla on monia keinoja kiertotalouden edistämiseen toteutettavissa hankkeissa, ja kiertotalouden periaatteita noudattamalla voidaan parhaassa tapauksessa saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä kustannustehokkaasti ilman, että lopputuotteen laatu kärsii. Jo hankkeiden talouden ohjaaminen edellyttää materiaalihukan minimoimista hankkeissa, ja ympäristöarvot kasvattavat entistään materiaalien tehokkaan käytön merkitystä. Yhtenä keskeisimpänä kiertotaloutta edistävänä tekijänä maarakennushankkeissa on puhtaiden maainesten hyötykäyttö ja kierrättäminen. Suurien maamassojen siirtämisestä aiheutuu aina myös päästöjä, joten ideaalitalanteessa puhtaita maamassoja voidaan käyttää uudelleen joko saman hankkeen sisällä tai muissa lähiympäristön urakoissa. Maankäytön ja massojen kierrätyksen huolellinen suunnittelu vähentää

välivarastoinnin tarvetta, mikä puolestaan osaltaan supistaa maamassojen siirtelystä syntyvien pakokaasupäästöjen määrää. Puhtaiden maamassojen suunnitelmallinen ja tehokas kierrättäminen on kustannustehokas tapa vähentää rakennushankkeen päästöjä. Maamassojen kierrättäminen hankkeissa edellyttää kuitenkin tilaajan erillisen suostumuksen, mikäli kierrättämisen mahdollisuutta ei olla huomioitu jo kohteen urakkaohjelmassa.

7.2 Puhtaiden maamassojen kierrätys

Puhtaiden maamassojen kierrätyksen lisäksi infrarakentamishankkeissa on mahdollista käyttää uusiomateriaaleja rakenteissa. Uusiomateriaaleja on mahdollista käyttää väylärakenteiden lisäksi kenttien rakennekerroksissa, valleissa ja teollisuus- ja varastorakennuksien pohjarakentamisessa. Uusiomateriaalien käyttöä koskeva MARA-asetus eli Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa, on tullut voimaan vuonna 2006 ja asetusta päivitettiin vuonna 2018. Asetuksen ehtojen mukaisesti uusiomateriaaleja on mahdollista käyttää edellä mainituissa maarakenteissa ilman erikseen haettavaa ympäristölupaa. Asetuksen mukaisesta materiaalien hyödyntämisestä on kuitenkin tehtävä ilmoitus valvontaviranomaiselle ja käytettävien materiaalien on täytettävä rakenteen edellyttämät toiminnalliset ja tekniset ominaisuudet ja niiden koostumus ja ominaisuudet on tunnettava. Hyödynnettävien jätteiden haitta-aineiden pitoisuuksille ja liukoisuuksille on asetettu täyttökerroksen pak-suudesta riippuvaiset raja-arvot. Haitta-ainemääritykset tehdään akkreditoidussa laboratoriossa ensisijaisesti standardisoiduin menetelmin ja toissijaisesti muilla menetelmillä, jotka ovat määritysherkkyydeltään, toistettavuudeltaan ja tarkkuudeltaan todettu riittäviksi. MARA-asetuksen mukaista hyödyntämistä ei voida kuitenkaan tehdä pohjavesialueilla, tulvavaara-alueilla, leikkipaikoilla, viljelysalueilla tai luonnonsuojelualueella.

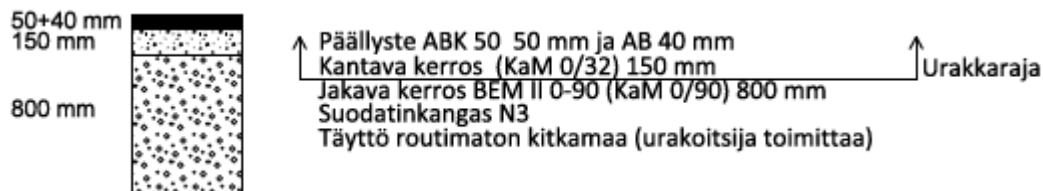
7.3 MARA-asetus

MARA-asetuksen mukaisen jätteen hyödyntämiskohteen rakenteen on oltava päällystetty lukuun ottamatta tuhkamursketeitä, joiden päällysteenä toimii asfalttimurske tai -rouhe. Jätettä sisältävän rakennekerroksen on myös oltava vähintään metrin etäisyydellä alueen pohjaveden enimmäiskorkeudesta ja rakenne ei saa sijaita 30 metriä lähempänä vesistöä, talousvesikäyttöön tarkoitettua kaivoa tai luonnonlähdettä. Rakennekerrospaksuuksien raja-arvot on esitetty asetuksen liitteissä. Jätteitä keskenään sekoitettaessa on huomioitava, että myös lopullisen seoksen tulee alittaa haitta-ainapitoisuuksille asetetut raja-arvot. Jos MARA-asetuksen mukaisesti hyödynnettäviä jätteitä on välivarastoitava, on otettava huomioon, että varastointi voidaan aloittaa aikaisintaan 4 viikkoa ennen varsinaisen hyödyntämisen aloittamista, ellei jätettä varastoida suojattuna. Suojattuna varastoitavan jätteen varastointi voidaan aloittaa aikaisintaan 12 kuukautta ennen hyödyntämisen aloittamista.

MARA-asetuksen mahdollistamissa hyödyntämiskohteissa on tavallista, että tilaaja tuo hyödyntämismahdollisuudet rajoitteineen esiin jo urakan kilpailutusvaiheessa. Tilaajan näkökulmasta tämä on kannattavaa, sillä tällöin tarjouskilpailuun osallistuvat urakoitsijat voivat arvioida uusiomateriaalien kustannusvaikutuksia jo hankkeen tarjousvaiheessa. Urakoitsija voi kuitenkin aktiivisesti kartoittaa MARA-asetuksen mukaisesti mahdollisia jätteiden hyödyntämiskohteita ja tehdä hankkeen tilaajalle ehdotuksen uusiomateriaalin hyödyntämisestä rakenteissa.

Terrawise Oy on toteuttanut useampia hankkeita, joissa on voitu hyödyntää uusiomateriaaleja rakenteissa MARA-asetuksen mukaisella ilmoituksella. Kohteissa tilaaja on tyypillisesti tunnistanut uusiomateriaalien hyödyntämismahdollisuuden jo hankkeen suunnitteluvaiheessa ja tuonut mahdollisuuden esiin jo hankkeen tarjouskilpailuvaiheessa. Tyypillisimmin asetuksen avulla hyödynnettävä materiaali on ollut betonimurske, joka sopii ominaisuuksiltaan hyvin useisiin rakenteisiin. Terrawise Oy:n toteuttamissa kohteissa betonimursketta on hyödynnetty muun muassa väylärakenteiden ja kenttien rakennekerroksissa.

Usein kohteissa on asetettu rajoituksia betonimurskeen käytölle; betonimurskeen käyttö on voinut olla kielletty jollain hankkeen alueella tien paaluluvun perusteella tai esimerkiksi kivipäällysteisten alueiden alla.



Kuva 12 MARA-asetusta hyödynnettiin muun muassa Terrawisen toteuttamassa HSY:n keräysvälineiden huoltohallia ympäröivän kentän jakavassa kerroksessa. Lämpimän hallin alapuolinen täyttö toteutettiin raekoon 0–90 mm kalliomurskeella, sillä lämpimän rakennuksen alla betonimurskeen käyttö ei ole sallittu.



Kuva 13 HSY:n keräysvälineiden huoltohallin urakka. Urakka toteutettiin vuoden 2020 kevään ja kesän aikana.

7.4 MARA-asetuksen mukainen ilmoitus

MARA-asetuksen mukainen hyödyntäminen ei edellytä ympäristölupaa, mutta jätteiden hyödyntämispaikan haltijan on kuitenkin tehtävä ilmoitus valtion valvontaviranomaiselle, jotta tieto jätteiden hyödyntämisestä saadaan rekisteröityä ympäristönsuojelun tietojärjestelmään. Ilmoitus on mahdollista tehdä myös hyödyntämispaikan haltijan puolesta, mutta haltijan kirjallinen hyväksyntä on kuitenkin lisättävä ilmoituksen liitteeksi. Ilmoitukseen on listattava seuraavat asiat:

- Hyödyntämispaikan sijainti ja koordinaatit karttaliitteineen sekä tiedot alueen ympäristössä sijaitsevista vesistöistä, vedenottoaikoista ja pohjavesialueista luokituksineen. Myös hyödyntämispaikan ja väliaikaisen varastointipaikan haltijan nimi, yhteystiedot ja laskutus osoite on merkittävä ilmoitukseen.
- Hyödyntämisen alkamis- ja päättymisajankohta.
- Tieto suunnitellun hyödyntämispaikan tulevasta käytöstä ja maarakennushanketta koskevista suunnitelmista, luvista ja mahdollisista ilmoituksista, tai kunnan rakennusjärjestyksestä.
- Jätteen luovuttaneen tahon nimi ja yhteystiedot. Liitteen 3 mukaisesti tarvitaan tiedot myös jätteen luovuttajan laadunvarmistusjärjestelmästä.
- Tieto jätteen määrästä ja jätteen nimike. On myös toimitettava selvitys jätteen ominaisuuksista sekä jätteiden haitta-aineiden liukoisuuksista ja pitoisuuksista. Tietojen tuottamiseen liittyvä laadunhallintaraportti liitetään ilmoitukseen.
- Jätettä sisältävästä rakenteesta esitetään periaatepoikkileikkaus. Myös jätteen teknisestä kelpoisuudesta sekä jätteen peittämiseen ja päällystämiseen käytettävästä materiaalista laaditaan selvitys.

- Selvitys jätteen varastoinnista ja mahdollisesta muusta toiminnasta hyödyntämispaikalla. Myös tieto näihin liittyvistä tarpeellista ympäristönsuojelutoimista liitetään ilmoitukseen.

8 Betonirakentaminen ja sementtiteollisuus

Green Deal päästötön työmaa -sopimukseen ei ole kirjattu betonirakentamista koskevia tavoitteita. Betonirakentamisen vastatessa noin neljäsosaa infrarakentamishankkeiden hiilijalanjäljestä, on todennäköistä, että hiilineutraaliuden saavuttamiseksi on hyödynnettävä tulevaisuudessa myös betonirakentamisessa ja sementtiteollisuuden päästövähennyspotentiaalia. Betonirakentamiseen on kehitetty jo useita innovaatioita, joiden avulla on mahdollista vähentää betonirakentamisesta aiheutuvien päästöjen määrää.

8.1 Betonirakentamisen päästöt ja päästövähennyspotentiaali

Betoni on erinomainen rakennusmateriaali muun muassa lujuutensa, muotoiltavuutensa, palonkestävyytensä ja ääneneristysominaisuuksien vuoksi. Betonirakentamiseen kohdistuu kuitenkin muutamia ympäristönäkökohtia. Sementti valmistetaan kalkkipitoisesta kiviaineesta, joka jauhetaan ja valmistetaan suuressa kiertouunissa. Sementtiklinkkeri kuumennetaan valmistusprosessissa jopa 1450 asteiseksi. Valmistus kuluttaa runsaasti energiaa ja lisäksi kuumennettaessa kalkkikivestä vapautuu huomattavia määriä hiilidioksidia. VTT:n julkaisun [Mäki-kouri & Vehmas] mukaan jopa 8 % maailman hiilidioksidipäästöistä syntyy sementtiteollisuudesta. Teollisuuden sektorista osuus on peräti 20 %. Rakennusteollisuuden tuottaman selvityksen [Mattila 2014: 119] mukaan tavanomaisesta rakennebetonista hiilidioksidipäästöjä syntyy noin 150 kiloa yhtä betonikuutiota kohden. Betonin hiilidioksidipäästöjen määrään vaikuttaa käytetyn sementin laatu ja tyyppi, ja hiilidioksidipäästöjä voidaan merkittävästi alentaa valitsemalla käytettäväksi normaalia seosainepitoisempaa sideainetta ja ylipäättänsä käyttämällä mahdollisuuksien mukaan alhaisemman lujuusluokan betoneita.

Betonirakentamisessa syntyvät päästöt on tunnistettu ongelmaksi, ja alalla onkin ryhdytty kehittämään ratkaisuja, joiden avulla sementtiteollisuuden ja betonirakentamisen päästöjä voitaisiin merkittävästi vähentää. Päästöjen vähentämiseksi on tunnistettava kierrätysraaka-aineiden mahdollisia käyttökohteita ja

vaihtoehtoisia sideaineita. Lisäksi on minimoitava rakentamisessa syntyvä materiaalihukka ja kehitettävä rakenneratkaisuja, jotka vaativat entistä vähemmän materiaalia. Yhtenä sementtiteollisuuden päästöjä vähentävänä toimenpiteenä on esitetty sementin tuottamiseen käytettävän uunin sähköistämistä. Mikäli uunin käyttövoimana toimisi fossiilisten polttoaineiden sijasta sähkö, saataisiin sivutuotteena puhdasta hiilidioksidia, jonka loppukäyttö olisi huomattavasti helpompaa. [Mäkikouri & Vehmas 2019.]

8.2 Betoni hiilinieluna

Yhtenä mielenkiintoisena ratkaisuna VTT on ryhtynyt kehittämään hiilidioksidin avulla kovetettua betonia CO₂crete-projektissa. Hiilidioksidikovuudessa ajatuksena on jälkihoitaa betonirakennetta hiilidioksidikaasulla plastisesta vaiheesta lähtien. Kun betoni kovettuu hiilidioksidipaineen alla, syntyy tavallisten sementin reaktiotuotteiden lisäksi karbonaattipohjaisia reaktiotuotteita. Prosesin avulla on mahdollista saada betoni sitomaan hiiltä jopa niin paljon, että lopputuotteesta on mahdollista saada jopa hiilnegatiivinen käytettäessä vähähiilisiä sideaineita. Projektissa tehdyissä kokeissa on saavutettu 10–40 % aiempaa pienempi hiilijalanjälki Portland-sementistä valmistetuilla kappaleilla. Masuunikuonalla valmistetuilla kappaleilla saavutettiin hiilineutraaliuus ja kuonan, viherlipeäsakan ja kuorituhkan yhdistelmä-kappaleilla päästiin hiilnegatiivisuuteen. Menetelmä antaa siis lupaavia tuloksia hiilensidonnan mahdollisuuksista ja kokeiden perusteella on saatu hyviä tuloksia myös menetelmällä valmistettujen kappaleiden lujuudesta. [Mäkikouri & Vehmas 2019]

Hiilensidonta on itseasiassa betonin luontainen ominaisuus. Tämä ilmiö on hyvin tunnettu betonirakentamisessa ja sitä kutsutaan karbonatisoitumiseksi. Ilman hiilidioksidi sitoutuu betonirakenteeseen pysyvästi reagoidessaan betonin kalsiumhydroksidin kanssa. Näin betoninen rakennuskanta sitoo jatkuvasti hiiltä ja Suomen betonirakenteissa onkin varastoituneena tällä hetkellä noin 5,2 megatonnia hiilidioksidia ja vuosittain sitoutuva määrä vastaa noin kymmentä prosenttia sementtiteollisuuden päästöistä. Kierrätysbetonimurske sitoo hiiltä erityi-

sen tehokkaasti, sillä betonimurskeessa on paljon enemmän karbonatisoitumaton pinta-alaa kuin ehjissä rakenteissa. Nykytutkimukset osoittavatkin, että karbonatisoitumisen avulla ja suunnitelmallisilla kierrätysmenetelmillä voitaisiin sitoa jopa 40–90 % sementin valmistuksessa syntyvistä päästöistä takaisin betoniin. [Kekkonen 2021.]

8.3 Betoniteräs

Suomessa betonirakentamiseen käytettävä teräs on valmistettu pääosin kierrätysraaka-aineista. Malmin korvaaminen kierrätysmateriaalilla vähentää merkittävästi teräksen valmistuksessa syntyvien hiilidioksidipäästöjen määrää. Kierrätysmateriaalista valmistetun terästonnin valmistuksesta syntyy noin 400 hiilidioksidiekvivalenttikiloa kasvihuonekaasupäästöjä. Betonirakentamisessa rakenteiden jännittämiseen käytettävät jänneteräkset puolestaan valmistetaan pääosin rautamalmista ja jänneteräksen valmistuksesta syntyy noin 1000 kg-CO₂ päästöt. Teräksen valmistuksessa syntyneet päästöt edustavat kuitenkin melko pientä osaa teräsbetonirakentamisessa syntyvistä päästöistä. [Mattila 2014.]

9 Työmaan näkökulma

9.1 Yleiset käytännöt

Green Deal päästötön työmaa -sopimuksen mukaiset toimenpiteet lisäävät jonkin verran työmaahan liittyvän raportoinnin ja seurannan tarvetta. Raportointi- ja seurantarpeet liittyvät lähinnä työmaan käyttövoimaan sekä päästötiedon tuottamiseen. Minimi- ja perustasolla tehtävä raportointi ja seuranta on työmailla jo helposti toteutettavissa, mutta ylemmän tason päästöseuranta edellyttää vielä jonkin verran käytäntöjen kehittämistä.

9.2 Seurantamenetelmien lähtökohdat

Green Deal päästötön työmaa -sopimuksen toteutumisen seuraamiseksi tarvitaan järjestelmä, jonka avulla voidaan seurata työmaiden päästöjä. Teknologian tutkimuskeskus on kartoittanut päästöjä koskevia tietotarpeita ja laatinut ehdotuksen päästöjen seurantajärjestelmästä. Seurantamenetelmän pohjaksi on VTT:n raportissa esitetty sähköistä kalustoluetteloa tai -järjestelmää, jossa ovat kirjattuina urakoissa käytettävät työkoneet. Järjestelmän kehittämisen lähtökohdista arvioidessa on tunnistettu tarve saada tietoa yksittäisien työmaiden lisäksi kootusti kaikista hankintayksikön työmaista. Järjestelmän on tarkoitus toimia myös päästölaskennan kehitys- ja aputyökaluna. Näiden tarpeiden täyttymiseksi järjestelmään tulee olla mahdollista syöttää myös työkoneiden arvioitu tai mitattu kulutus. [Muona et al. 2021: 3–4.]

Raportin [Muona et al. 2021] laatimiseksi tehtyjen haastattelujen pohjalta on todettu, että päästötietojen keräämisen haasteena on muun muassa alihankinta-verkoston heikko valmistautuminen tietojen keräämiseen sekä tietojen hajallisuus. Tiedonkeruuta on toteutettu keräämällä tankkauskuitteja ja lukemalla koneiden mittareita. Tietoa on saatu myös haastattelemalla työkoneiden käyttäjiä. Myös koneisiin asennettujen telematiikkajärjestelmien kautta on voitu kerätä tietoja.

9.3 Päästöseurannan tasot

Pelkästään fossiilivapaan työmaan päästöseuranta on selvästi yksinkertaisempaa kuin päästöttömän työmaan päästöseuranta. Fossiilivapauden seurantaan riittää tieto työkoneissa käytetyn polttoaineen laadusta ja työmaalla käytetyn sähkön ja lämmön alkuperästä. Näiden todentamiseen riittävät kuitit ja laaditut sopimukset. Tällä tasolla tehtävä tiedonkeruu mahdollistaa Green Deal-sopimuksen edellyttämän fossiilittoman työmaan toteutumisen seurannan ja sitä kutsutaan minimitason tiedonkeruiksi. [Muona et al. 2021: 6.]

Minimitasosta seuraava taso on perustaso, joka seuraa lisäksi kulutetun energian määrää. Perustasolla seurataan kulutetun polttoaineen määrää ja työmaalla kulutetun sähkö- ja lämpöenergian määrää. Mikäli työmaalla tuotetaan sähköä tai lämpöä, tarvitaan tieto myös tuotantoon kulutetun polttoaineen määrästä ja laadusta fossiilittomuuden todentamista varten. Tällä tasolla kerätystä tiedosta on laskettavissa työmaan suorien pakokaasuperäisten päästöjen määrä. Kun fossiilisia polttoaineita ei käytetä, ei työmaalla synny myöskään fossiilista alkuperää olevia hiilidioksidipäästöjä. Myös biopolttoaineiden käytöstä vapautuu hiilidioksidipäästöjä, mutta biomassasta syntyvät päästöt lasketaan kansainvälisen kasvihuonekaasujen päästölaskennan rajausten mukaan maankäytön ja metsätalouden päästöiksi. Myös biopolttoaineista vapautuu hiilidioksidin lisäksi muita kasvihuonepäästöjä, kuten metaania, typpioksiduulia, häkää, hiilivetyjä, pienenhiukkasia ja typen oksideja. Näiden päästöjen määrä on mahdollista laskea, kun tiedetään käytetyn polttoaineen määrä ja konetyyppikohtaiset päästökertoimet. Perustason seurannassa ei vielä huomioida elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjen määrää. [Muona et al. 2021: 6–7.]

Ylimmällä päästöseurannan tasolla huomioidaan elinkaaren aikana syntyvät päästöt. Ylimmän tason päästöseuranta ei edellytä perustasoa enempää tiedonkeruuta, mutta seurantajärjestelmässä käytetyt laskentamenetelmät ovat perustasoa tarkemmat. [Muona et al. 2021: 7.]

Päästöistä vaikeimmin mitattavaksi on tunnistettu pöly, joka käytännössä on pienhiukkasia kuten pakokaasulähtöisetkin pienhiukkaset. Pölymäärien mittaus voidaan toteuttaa pienhiukkasten määrää mittaavin sensorein, mutta pienhiukkaspäästön lähdettä ei voida erotella mittausdatasta ja näin mitatun tiedon tulkinta on haastavaa ja epävarmaa, sillä mitatut pienhiukkaspäästöt sisältävät myös pakokaasuperäiset päästöt. [Muona et al. 2021: 7.]

9.4 Päästöseurannan prosessi

Päästöseurannan prosessi alkaa tilaajan ja urakoitsijoiden välisestä markkinavuoropuhelusta, jossa määritellään urakkaa koskevat päästötavoitteet. Green Deal sopimuksen piiriin kuuluvissa tarjouspyynnöissä urakoitsijoilta vaaditaan tarjouksen liitteenä toimitettavaksi alustava kalustoluettelo. Markkinavuoropuhelu johtaa tarjouskilpailuun, jonka lopputuloksena syntyy urakasopimus, jossa määritellään urakassa käytettävä konekanta. Urakassa käytettävistä työkooneista ja pienkalustosta kalustoluettelon ja sopimuksen piiriin kuuluvien koneiden polttoaineen kulutusta seurataan mittauksien avulla. Tehdyistä mittauksista tehdään päästölaskelmia, joiden perusteella työmaan päästöistä voidaan raportoida. Kun kalustoluetteloä käytetään päästöseurannan apuna, on huomioitava, että työmaalla ei saa käyttää sellaisia työkoneita, jotka eivät ole kirjattuina työmaan kalustoluetteloon. Jos työmaalle tulee lisää kalustoa, on kaluston täytettävä tarjouspyynnössä määritellyt vaatimukset. [Muona et al. 2021: 8–12.]

9.5 Alihankinta

Hankkeissa urakoitsijan kalustolle ja toimitavoille asetetut ympäristövaatimukset koskevat myös urakoitsijan alihankintaketjua. Hankkeissa, joissa on asetettuna vaatimuksia koskien työkoneiden ja kuljetuskaluston luokitusta sekä käyttövoimaa, on hyvä tarjousvaiheessa hyvä varmistua myös alihankintaverkon kyvykkyydestä vastata hankkeelle asetettuihin vaatimuksiin ja samalla selvittää mahdolliset kustannusvaikutukset. Kalustoa koskevat vaatimukset on hyvä kirjata

ylös jo tarjousvaiheessa mahdollisesti tehtäviin ennakkotarjouspyyntöihin ja ennakkotarjouksia vertaillaessa on hyvä huomioida, että vaatimukset on huomioitu myös aliurakoitsijan antamassa tarjouksessa.

Alihankintaverkoston valmistautuminen päästötiedon keräämiseen voi olla heikkoa. Tämä luo lisähaasteita hankkeissa, joissa päästötietojen keräämistä edellytetään. Pääurakoitsijan on hyvä sisällyttää velvoite päästötiedon keräämisestä alihankintasopimukseen ja tarvittaessa tarjota aliurakoitsijoilleen työkaluja päästötiedon keräämisen avuksi ja auttaa hyväksi todettujen käytäntöjen käyttöönottamisessa.

9.6 Marttilan STk-hanke

Terrawise on tällä hetkellä toteuttajana Marttilan aluesaneerauksen kehittämissivaiheen sisältävässä suunnittele ja toteuta-urakassa, jossa saneerataan HSY:n vesihuollon rakenteita Helsingin Pitäjänmäen Marttilan ja Reimarlan alueilla. Tilaajana hankkeessa toimii HSY. Marttila on väljästi rakennettu asuinalue, joka koostuu pääosin 1940-luvun vaihteessa rakennetuista rintamamiestaloista. Reimarlan alueella puolestaan on pääosin 1940–1970-luvulla rakennettuja kerrostaloja ja pientaloja. Alueiden yhteenlaskettu asukasluku oli vuoden 2019 alku-puolella 5484 henkeä. Alueen viemäri- ja vesijohtoverkoston kunto on heikko ja alueella on ennen saneeraustyötä jouduttu tekemään säännöllisiä huoltotoimenpiteitä. Alueen vesihuoltoverkoston saneeraus toteutetaan kaivamattomin menetelmin niiltä osin kuin se on mahdollista. Putkiosuudet, joissa on havaittu painumia tai joissa on tarvetta kapasiteetin kasvattamiselle, saneerataan urakassa auki kaivamalla. Saneerattavaa putkijohtoa hankkeessa on yhteensä noin 31 kilometriä.

Marttilan alueen vesihuollon saneeraushanke on HSY:n aluesaneerauksen pilottilihanke, jossa on tarkoituksena saneerata HSY:n vesihuollon runkoverkoston lisäksi kiinteistöjen tonttijohdot kiinteistöjen rajalle asti. Aluesaneerauksessa on tarkoituksena kannustaa alueen kiinteistöjen haltijoita saneeraamaan myös kiin-

teistön rajojen sisäpuolinen osuus tonttijohdoista. Urakkaan sisältyy myös kiinteistön osuuden tonttijohtojen saneerauksen markkinointi. Kiinteistöjä kannustetaan kiinteistön puolen tonttijohtojen saneeraukseen HSY:n tarjoaman kannustimen avulla. Mikäli kiinteistön haltija saneeraa urakan yhteydessä tonttijohdot myös kiinteistön osuudelta, vapautuu hän samalla kadun osuuden saneerauksen kustannuksista.

Hankkeessa käytettävien kuorma-autojen tulee olla vähintään luokassa EURO VI. Urakkaohjelmassa edellytetään urakoitsijaa myös laatimaan työmaakohtainen ympäristösuunnitelma, jossa otetaan huomioon rakentamisen ympäristönäkökohdat ja jätteiden lajittelu, työmaan päästöt ja materiaalien hyötykäyttö. Työssä on minimoitava työmaasta aiheutuvat haitalliset ympäristövaatimukset. Purkutyöt on suoritettava lajittelevana purkuna ja materiaaleja valitessa on otettava huomioon materiaalien käyttöikä, korjattavuus ja ympäristörasitus.

Hankkeen kilpailutus toteutettiin yhdistettynä laatu- ja hintakilpailuna. Vertailuhinnan painoarvo kilpailutuksessa oli 60 % ja laatusuorituksen painoarvo yhteensä 40 %. Neljäsosa laatusuorituksesta, eli yhteensä 10 % kokonaispisteistä, muodostui työmaan päästöjen, eli työmaalla käytettävien työkoneiden käyttövoiman perusteella. Täydet pisteet päästöjen osuudesta sai, mikäli kaikki urakassa käytettävät työkoneet, pienkoneet ja kuljetuskalusto käyttivät käyttövoimanaan uusiutuvia energianlähteitä. Muut laatusuorituksen pisteet määräytyivät urakoitsijan henkilöstön pätevyyden, läpimenoajan sekä sen perusteella, kuinka monta kiinteistön puolen tonttijohtoa urakoitsija ilmoitti tarjousvaiheessa saneeraavansa.

Terrawise Oy ilmoitti käyttävänsä hankkeessa uusiutuvaa käyttövoimaa, joten hankkeessa myös seurataan ja raportoidaan uusiutuvan polttoaineen käyttöä minimitaso mukaisesti. Urakan pisteytyksen laskentaperusteita ja uusiutuvan käyttövoiman kustannusvaikutuksia tutkivien laskelmien perusteella tarkastelemalla voidaan osoittaa, että hankinnan pisteytys kannustaa uusiutuvien energialähteiden käyttöön, eivätkä uusiutuvien polttoaineiden käyttämisen kustannusvaikutukset ylitä laatusuorituksesta saatavien pisteiden tuomaa kilpailuetua.

10 Kustannusvaikutukset

Osana opinnäytetyötä toteutettiin laskelmia, jotka arvioivat uusiutuvan polttoaineen käytön kustannusvaikutuksia infrarakentamishankkeissa. Laskennan perusteina käytettiin tietoja polttoaineen kulutuksen nousemisesta, polttoaineiden hinnoista ja tehdyistä konetyötunneista ja lisääntyneistä rahtikustannuksista.

Polttoaineen kulutusta arvioidessa käytettiin sekä valmistajan ilmoittamaa tietoa polttoaineen kulutuksen noususta että kenttätutkimuksena tehdyn vertailun perusteella saatavia arvoja. Valmistajan tuotetietojen mukaan uusiutuvan HVO polttoöljyn litraperusteisesti mitattu kulutus on 3 % korkeampi kuin perinteisellä polttoöljyllä. Korkeampi kulutus johtuu polttoaineen hieman pienemmästä tiheydestä. [Aatola et al. 2008.]

Kenttätutkimus toteutettiin kahden toisiaan vastaavan Case 245 kaivinkoneen käyttötuntien ja kokonaispolttoaineenkulutuksen perusteella. Toinen työkoneista on käyttänyt koko käyttöhistoriansa eli 1351 tunnin ajan ainoastaan uusiutuvaa polttoainetta. Perinteistä polttoöljyä käyttäneen koneen käyttötunnit olivat yhteensä 3900. Uusiutuvaa polttoöljyä käyttäneen koneen kulutus oli 10,63 % korkeampi kuin perinteistä polttoöljyä käyttäneen koneen. Kaivinkoneet olivat kuitenkin työskennelleet hieman erityyppisissä hankkeissa ja voidaan käyttöhistoriasta olevien tietojen perusteella olettaa, että osin korkeampi kulutus on johtunut työn korkeammasta kuormittavuudesta. Kenttätutkimuksen otanta on kuitenkin aivan liian pieni tarkkojen lukujen tuottamiseksi, mutta sen perusteella saatua tietoa on hyödynnetty osana kustannuslaskelmia.

Uusiutuvan polttoaineen käyttö nostaa työkoneiden ja kuljetuskaluston käytön kustannuksia ja sitä kautta näkyy myös alihankintatyönä toteutettavan konetyön ja kuljetusliikkeiden kuorma-autojen tuntihinnoissa. Konetyön tuntihintoihin kohdistuvan vaikutuksen voidaan laskelmien perusteella osoittaa olevan merkityksiltään melko vähäinen. Rahtikustannuksia uusiutuvan polttoöljyn käyttö nostaa hieman enemmän. Syynä kustannuksien nousemiseen on uusiutuvien polttoai-

neiden korkeampi hinta ja kulutuksen kohoaminen. Tavanomaisia maarakennustöitä sisältävissä urakkakokonaisuuksissa uusiutuvan polttoaineen käytöstä aiheutuva hinnan nousu vastaa kuitenkin vain hyvin pientä osaa urakoiden kokonaiskustannuksista. Vaikutus hankkeen kokonaiskustannuksiin on hankekohdista, riippuen konetyöstä ja kuljetuksista muodostuvien kustannuksien suhteellisesta määrästä osana hankekokonaisuutta. Hankkeissa, joissa työkone- ja rahtikustannukset muodostavat suuren osan hankkeen kustannuksista ja kone-työtehot ovat korkeat, ovat myös uusiutuvan polttoöljyn käyttämisen tuomat kustannusvaikutukset suhteellisesti isommat. Laskelmissa tarkasteltiin työkoneiden, kuljetuskaluston ja pienkaluston uusiutuvasta käyttövoimasta aiheutuvia kustannuksia. Kustannusvaikutuksia voi syntyä kuitenkin myös esimerkiksi silloin, jos uusiutuvaa polttoöljyä käytetään työmaan lämmitystarpeisiin.

Tällä hetkellä täyssähköisten koneiden hankintahinta on huomattavasti korkeampi verrattaessa perinteisiin dieselkäyttöisiin koneisiin ja sähkökäyttöinen kalusto vastaa työmaan tarpeisiin melko heikosti. Tästä johtuen täyssähköisen kaluston käyttöaste työmaalla voi olla helposti dieselillä toimivia työkoneita alhaisempi ja työsaavutus matalampi, mikä osaltaan vähentää kustannustehokkuutta. Työkoneiden tulevaisuuden sähköistymisen hintavaikutuksia on vaikea arvioida, sillä sähköisten työkoneiden laajamittainen käyttöönotto ei ole mahdollista ennen täyssähkökoneiden hyödyntämisen teknologian ja markkinoiden kehittymistä.

Kustannusten arvioimisen yhteydessä tuotettiin myös laskelma, joka arvioi Marttilan STk-hankkeen yhdistetyn laatu- ja hintakilpailutuksen pisteytysperusteita uusiutuvien polttoaineiden kannattavuuden näkökulmasta. Laskelman perusteella voitiin osoittaa laatu-hintakilpailutuksien pisteytyksen kannustavan uusiutuvien polttoaineiden ja uusiutuvan energian käyttöön työkoneiden, työmaan kuljetuskaluston, erikoiskaluston ja pienkaluston käyttövoimana.

11 Johtopäätelmät ja yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa tietoa infratyömaiden Green Deal päästötön työmaa -sopimuksen vaikutuksista infratyömaiden toteuttamiseen ja yleisesti infratyömaiden päästövähennysmahdollisuuksista ja -keinoista. Keskeisimpiä tutkimuskohteita työssä oli työmaan työkoneiden ja raskaiden kuljetusajoneuvojen päivittyvät päästövaatimukset, sekä uusiutuvan polttoöljyn synnyttämät kustannusvaikutukset. Työn tuloksena saatiin tuotettua tavoitteiden näkökulmasta riittävän tarkkaa ja hyvin hyödynnettävissä olevaa tietoa päästövähennysoimista ja niiden kustannusvaikutuksista. Työssä haluttiin käsitellä mahdollisimman kattavasti Päästötön työmaa -sopimuksen taustoja, sekä päästövähennyksiä mahdollistavaa teknologiaa. Aihekokonaisuuden ollessa hyvin laaja, voitaisiin työhön liittyen tehdä useitakin jatkotutkimuksia, liittyen esimerkiksi kiertotalouden tehostamisen päästö- ja kustannusvähennyspotentiaaliin tai sähkökäyttöisen pienkaluston saatavuuteen ja käyttökelpoisuuteen hankkeissa. Mielenkiihtoista voisi olla myös toteuttaa yksityiskohtainen elinkaaritarkastelu esimerkiksi jonkin liikenteen sujuvuutta tai kevyen ja julkisen liikenteen yhteyksiä parantavan hankkeen päästöjen osalta.

Green Deal päästötön työmaa -sopimus tuo mukanaan selkeitä muutoksia sopimuksen allekirjoittaneiden hankintayksiköiden hankkeille asettamiin vaatimuksiin ja hankkeiden kilpailutusperusteisiin. Työmaiden kannalta merkittävimmät muutokset ovat työmaan kalustoa ja polttoaineita koskevat vaatimukset. Sopimuksen tavoitteet lisäävät jonkin verran myös raportointia työmaalla, mutta pääosin työmailla on hyvät mahdollisuudet vastata raportointitarpeisiin ja täydellinen sopeutuminen kasvaneeseen raportointitarpeeseen edellyttää lähinnä vakiintuneita käytäntöjä ja työmaahenkilöstön rutinoitumista. Osana opinnäytetyötä tutkittiin uusiutuvasta käyttövoimasta työmaatoimintoihin aiheutuvia kustannusvaikutuksia. Saadun kustannustiedon perusteella voidaan yleisesti ottaen uusiutuvan polttoöljyn käyttämisestä aiheutuvia kustannusvaikutuksia pitää hankkokokonaisuuksien näkökulmasta melko vähäisinä.

Fossiilisen polttoaineen korvaaminen uusiutuvalla polttoöljyllä vähentää merkittävästi työmaasta aiheutuvia kasvihuonekaasu- ja lähipäästöjä, joten uusiutuvan polttoöljyn käyttöönotolla voidaan saavuttaa merkittävää hyötyä melko vähäisillä lisäkustannuksilla. Uusiutuvan käyttövoiman kustannusvaikutukset on kuitenkin hyvä huomioida hankkeiden tarjousvaiheissa. Tehtyjen laskelmien perusteella saatiin melko tarkkaa tietoa työkoneiden ja kuljetuskaluston tuntihintoihin kohdistuvista kustannusvaikutuksista. Myös kokonaisten hankkeiden kustannusnoususta saatiin riittävän tarkkaa suuruusluokkatietoa tarjouslaskennassa hyödynnettäväksi.

Osa urakkojen hankintapyynnöissä ja urakkaohjelmissa esitetyistä, esimerkiksi ympäristöhaittojen minimoimista ja työmaan materiaalivalintoja koskevista yleisistä kirjauksista ovat haasteellisia toteutumisen seurannan ja valvonnan näkökulmasta.

Korkeimpien Euro- ja Stage-luokkien kalusto vastaa erinomaisesti työmaiden tarpeisiin ja yrityksen alihankkijaverkoston työkoneet ja kuljetusajoneuvot ovat hyvin suurelta osin jo parhaimmissa päästöluokissa. Hankkeille asetetut työkoneiden ja kuljetuskaluston päästöluokkia koskevat rajoitukset eivät tästä syystä aiheuta haasteita hankkeiden toteutuksessa.

Sähkö-, vety-, ja biokaasukäyttöisten työkoneiden ja raskaiden ajoneuvojen laajamittainen käyttöönotto edellyttää kuitenkin vielä markkinoiden ja teknologian kehittymistä, sekä polttoaineiden jakeluverkon ja sähkökoneiden latausinfrastruktuurin kehittymistä. Kaluston lisäksi teknologisia innovaatioita luodaan muun muassa betonirakentamisen ympäristövaikutuksien hillintään ja betonin hiilensidont ominaisuuksien parantamiseen.

Tällä hetkellä markkinoilla oleva vety-, biokaasu-, ja sähkökäyttöinen kalusto vastaa huonosti työmaiden tarpeisiin. Hankintayksiköiden asettamissa kalustovaatimuksissa tulisi ottaa huomioon teknologian ja työkonemarkkinoiden kehitys, jotta liian korkealle asetetut tavoitteet eivät johda työmaiden toteuttamiseen tarkoitukseen sopimattomalla kalustolla tai kaluston alhaiseen käyttöasteeseen.

Käyttötarkoitukseen sopimattoman kaluston käyttö ei välttämättä palvele ympäristötavoitteiden toteutumista, vaikka vetyä, sähköä ja biokaasua käyttävän kaluston prosentuaalinen osuus työmaalla olisikin Green Deal päästötön työmaa -sopimuksen välitavoitteiden mukainen.

Kiertotalouden, älykkään massatalouden ja massojen tehokkaan paikallisen kierrättämisen avulla voidaan vaikuttaa merkittävästi ja kustannustehokkaasti infrarakentamishankkeiden päästöihin. Massojen kuljettamisesta aiheutuu merkittävästi päästöjä ja kustannuksia, joten maamassojen paikallisella käytöllä voidaan vaikuttaa alentavasti sekä päästöihin että työmaan kustannuksiin. Tilaajat ja suunnittelijat ovat kiertotalouden mahdollistamisen näkökulmasta isossa roolissa asettaessaan materiaalivaatimuksia ja määrittäessään kierrätysmateriaalien käyttömahdollisuuksia hankkeissa. Työnjohdon aktiivinen suhtautuminen ja yrityksen sisäinen sekä yritysten välinen yhteistyö tehostavat kiertotalouden toteutumista. Kiertotalouden mahdollisuuksia tutkittiin tässä opinnäytetyössä aihekokonaisuuden laajuuden vuoksi hyvin suppeasti. Aiheesta olisi mahdollista tuottaa sekä tilaajan että urakoitsijan näkökulmasta mielenkiintoisia jatkotutkimuksia.

Globaalit ja kansalliset markkinat asettavat liiketoiminnalle yhä enemmän paineita. Tästä syystä lainsäädännöllinen ohjaus on päästövähennyksien ja terveen kilpailun sekä liiketalouden kestävyuden näkökulmasta tärkeä vaikutuskeino. Lainsäädännön avulla asetetaan kaikkia toimijoita koskevat vaatimukset ja samalla luodaan edellytyksiä muutoksille. Lainsäädännön kehitys tulisi tehdä hyvässä vuorovaikutuksessa alan toimijoiden kanssa ottaen huomioon myös teollisuuden ja innovaatioiden sen hetkinen kehitysaste.

Infrarakentamishankkeissa syntyvien päästöjen seurannassa tulisi siirtyä yhä yleisemmin elinkaaritarkasteluun, jossa huomioidaan myös hankkeen myötä mahdollisesti saavutetut päästövähennykset tulevaisuudessa. Esimerkiksi kevyen ja julkisen liikenteen yhteyksiä parantavilla hankkeilla voidaan saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä, kun tarkastelu ulotetaan koko hankkeen elinkaaren ajalle.

Lähteet

Aatola, Hannu et al. 2008. Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between Nox, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy-Duty Engine. Helsinki University of Technology. SAE International 2008.

Alm, Markku. 2017. Uusiutuva energia – kohti hiilineutraalia tulevaisuutta. Toimialaraportti. Työ- ja elinkeinoministeriö. Helsinki.

Arponen, Jyri et al. 2014. Kiertotalouden mahdollisuudet Suomelle. Sitran selvityksiä 84. Libris, Helsinki.

Bergman, Isa-Maria et al. 2015. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. Kone- ja kuljetuskaluston ympäristö- ja turvallisuusvaatimukset 2015–2020. Tiestön hoidon alueurakat. Liikennevirasto.

Ciucci, Matteo & Keravec Albane. 2021. Uusiutuvat energialähteet. Faktatietoja Euroopan unionista. Euroopan parlamentti. Verkkolähde. Luettu 22.10.2021. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fi/sheet/70/uusiutuvat-energiälähteet>

Doyle, Marcia. 2021. Meeting Customer Demands, This Cat Dealer Opted to Produce It's Own Electric Excavator. Equipment World. Verkkolähde. Luettu 17.11.2021. <https://www.equipmentworld.com/technology/article/15065356/cat-dealer-produces-its-own-electric-excavator>

Engman et al. 2020. Neste Renewable Diesel Handbook. Espoo. Neste Corporation.

Euroopan komissio. 2021. Eurooppalainen ilmastolaki. Verkkolähde. Luettu 1.11.2021 https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_fi

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 595/2009. Moottoriajoneuvojen ja moottorien tyyppihyväksynnästä raskaiden hyötyajoneuvojen päästöjen osalta (Euro VI) ja ajoneuvojen korjaamiseen ja huoltamiseen tarvittavien tietojen saatavuudesta ja asetuksen (EY) N:o 715/2007 ja direktiivin 2007/46/EY muuttamisesta sekä direktiivien 80/1269/ETY, 2005/55/EY ja 2005/78/EY kumoamisesta

Ewa, B., Danuta, M.-Š. 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons and PAH-related DNA adducts. J. Appl. Genetics, 58:321–330.

Green Deal Päästöttömät työmaat – Kestävien hankintojen sopimus. 2020.

Happo et al. 2020. Tieliikenteen eri käyttövoimien ja polttoaineiden lähipäästöt ja niiden haitalliset vaikutukset. Traficomin tutkimuksia ja selviyksiä.

Hietala, Miikka. 2010. Pakokaasujen jälkikäsittely kuorma-autoissa. Opinnäyte-työ. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu.

Hyundai. 2021. Raskas liikenne sähköistyy. Verkkolähde. Luettu 18.11.2021. <https://www.hyundai.fi/raskas-liikenne-sahkoistyy-vedylla-kulkevaan-hyundai-xcient-kuorma-autoon-mallipaivitys/>

Kekkonen, Tommi. Projektipäällikkö, Co2ncrete Solution. 2021. Turun Topinpuistossa tutkitaan betonin hiilensidontaominaisuuksia. Betonteollisuus ry. Helsinki.

Knihti, Lasse. Diesel-Asennus Oy. 2018. Diesel-ajoneuvojen pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmä. EKO DPF. Verkkolähde. Luettu 8.11.2021. <https://www.ekodpf.fi/jalkikasittelyjarjestelmat-yleisesti/>

Koneluokitus. Maarakennus- ja työkoneiden koneluokitus. Verkkoaineisto. Luettu 15.10.2021. < <http://www.koneluokitus.fi/>>

Kuusisto, Esko. 1999. Maailman laajuiset ympäristöongelmat. Turun Yliopiston täydennyskoulutuskeskus.

Laine, Anna. Gaia Consulting. 2020. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035-tiekartta. Nykytilannekartoitus ja työn jatko. Ympäristöministeriö, vähähiilisen rakentamisen vuosiseminaari.

Lajunen, Antti et al. 2018. Overview of Powertrain Electrification and Future Scenarios for Non-Road Mobile Machinery. MDPI.

Lauhkonen, Arttu ja Markkanen, Johanna. 2021. Työkoneiden päästöjen peruseennuste ja sähköistymisen vaikutus päästöihin. Asiakasraportti. VTT.

Lehtokangas, Jori. 2020. Osastopäällikkö, Sweco, Green Building Council Finland Infra-toimikunnan jäsen. Infrasektorin hiilipäästöt saatava kuriin – jopa puolet yhteiskunnan hiilijalanjäljestä on johdettavissa infraa. Tekniikka & Talous

Luoto, Juuso & Taskila Liisa. 2020. Helsingin kaupungin tavoitteet infratyömaiden päästöjen vähentämisessä – kokemuksia pilottiurakasta. Helsinki.

Maansilta, Pekka. 2018. Suomen CHP laitosten potentiaali sähkön reservimarkkinoilla. Kandidaatin työ. Lappeenranta University of Technology.

Mattila, Jussi. Tekniikan tohtori. 2014. Betoni ja ympäristö. Rakennustieto. Verkkolähde. Luettu 9.11.2021. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK150303.pdf>

Motiva. 2021. Polttokennoauto. Verkkolähde. Luettu 18.11.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/autotyyppeja/polttokennoauto

Muona, Tommi et al. 2021. Päästöttömien työmaiden seurantajärjestelmä. Green Deal – sopimuksen päästöseurannan toteutus. Asiakasraportti. VTT.

Mäkikouri, Sampo & Vehmas, Tapio. 2019. Muutetaan betonin ongelmat ratkaisuksi. VTT. Verkkolähde. Luettu 8.11.2021. <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/muutetaan-betonin-ongelmat-ratkaisuksi>

Nummelin, Marjo. Ympäristöneuvos. 2021. Euroopan unionin ilmastopolitiikka. Ympäristöministeriö. Verkkolähde. Luettu 1.11.2021. <https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka>

Olin, Tiina. 2015. Lakimies, Infra Ry. Infrarakentamisen ympäristöopas. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Pasanen, Panu et al. 2018. Infrahankkeiden rakentamisen ja materiaalien CO₂-päästöjen raportointi- ja ohjauskeinojen kartoitus. Helsinki. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 64/2018

Pope, C. A., Dockery, D. W. 2006. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. 2006 Critical Review. J. Air & Waste Manage. Assoc., 56:709– 742.

Ringuet, J. et al. 2012. Diurnal/nocturnal concentrations and sources of particulate-bound PAHs, OPAHs and NPAHs at traffic and suburban sites in the region of Paris (France). Sci. Total Environ., 437:297–305.

STT: 2021. Volvo Trucksille ennätystilaus sähkökuorma-autoista – Suomessa käytössä vasta vähän. Maaseudun tulevaisuus 6.10.2021.

Stern, Nicholas. 2006. The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge University Press.

Taskila, Liisa et al. 2020. Päästöttömän työmaan pilotti: Kulosaaren puistotien urakka – Case Helsingin kaupunki. Verkkolähde. Luettu 31.10.2021. <https://www.hankintakeino.fi/fi/keinokkaat-esimerkit/paastottoman-tyomaan-pilotti-kulosaaren-puistotien-urakka-case-helsingin>

Tilastokeskus. 2021a. Energian kokonaiskulutus kasvoi 3 prosenttia tammi-kesäkuussa. Verkkoaineisto. Luettu 19.10.2021.

https://www.stat.fi/til/ehk/2021/02/ehk_2021_02_2021-09-30_tie_001_fi.html

Tilastokeskus. 2020. Sähkön tuotanto energialähteittäin 2019. Verkkoaineisto. Luettu 19.10.2021. https://www.stat.fi/til/salatuo/2019/salatuo_2019_2020-11-03_kuv_001_fi.html

Tilastokeskus. 2021b. Uusiutuva energia nousi fossiilisten ja turpeen ohi energian kokonaiskulutuksessa vuonna 2020. Verkkoaineisto. Luettu 18.10.2021.

https://www.stat.fi/til/ehk/2020/04/ehk_2020_04_2021-04-16_tie_001_fi.html

Viinanen, Jari. Helsingin kaupunki, kaupunkiympäristön toimiala. 2019. Päästö-
tön työmaa. Helsinki

Virtanen, Anne & Rohweder, Liisa. 2011. Ilmastonmuutos käytännössä. Hel-
sinki: Gaudeamus Helsinki University Press

Väylävirasto. 2021. Infrarakentamisen CO₂-päästötietokanta kokoaa tietoa väy-
länpidon hiilijalanjäljestä. Verkkoaineisto. Luettu 29.10.2021 < [https://vayla.fi/-
/infrarakentamisen-co2-paastotietokanta-kokoaa-tietoa-vaylanpidon-hiilijalanjal-
jesta](https://vayla.fi/-/infrarakentamisen-co2-paastotietokanta-kokoaa-tietoa-vaylanpidon-hiilijalanjal-
jesta)>

WHO 2003: Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and
Nitrogen Dioxide. Report on a WHO Working Group Bonn, Germany 13–15
January 2003. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark Janu-
ary 2003.

Liite 1: Laskelmissa käytetyt lyhenteet

	Tunnus	Yksikkö
Kulutus, tuntiperusteinen, fossiilinen polttoaine	C_{FOS}	l/h
Kulutus, tuntiperusteinen, uusiutuva polttoaine, valmistajan ilmoitus	C_m	l/h
Kulutus, tuntiperusteinen, uusiutuva polttoaine, kenttätutkimus	C_{fr}	l/h
Kulutus, kilometriperusteinen, fossiilinen polttoaine	$C_{FOS(100km)}$	$l/100km$
Kulutus, kilometriperusteinen, uusiutuva polttoaine, valmistajan ilmoitus	$C_{m(100km)}$	$l/100km$
Kulutus, kilometriperusteinen, uusiutuva polttoaine, kenttätutkimus	$C_{fr(100km)}$	$l/100km$
Kulutuksen nousukerroin, valmistajan ilmoitus	I_m	1,03
Kulutuksen nousukerroin, kenttätutkimus	I_{fr}	1,116
Litrahinta, fossiilinen polttoöljy	P_{FOS}	€/l
Litrahinta, uusiutuva polttoöljy	P_{HVO}	€/l
Tuntihinnan erotus, valmistajan ilmoittama kulutus	PD_m	€/h
Tuntihinnan erotus, kenttätutkimuksen mukainen kulutus	PD_{fr}	€/h
Tuntihinnan erotus, kenttätutkimus, kuormittava konetyö	PD_{fr2}	€/h
Hinnan erotus, kilometriperusteinen, valmistajan ilmoitus	$PD_{m(100km)}$	€/100km
Hinnan erotus, kilometriperusteinen, kenttätutkimus	$PD_{fr(100km)}$	€/100km

Polttoainekustannus, fossiilinen polttoaine	PPH_{FOS}	€/h
Polttoainekustannus, uusiutuva polttoaine, valmistajan ilmoitus	PPH_m	€/h
Polttoainekustannus, uusiutuva polttoaine, kenttätutkimus	PPH_{fr}	€/h
Polttoainekustannus, uusiutuva polttoaine, suurin arvo	PPH_{fr2}	€/h
Polttoainekustannus, kilometriperusteinen, fossiilinen polttoaine	PPO_{FOS}	€/100km
Polttoainekustannus, uusiutuva polttoaine, kilometriperusteinen, valmistajan ilmoitus	PPO_m	€/100km
Polttoainekustannus, uusiutuva polttoaine, kilometriperusteinen, kenttätutkimus	PPO_{fr}	€/100km

Liite 2: Laskentamenetelmät: Uusiutuvan polttoöljyn käytön kustannusvaikutukset

Uusiutuvan polttoöljyn kustannusvaikutusta voidaan tarkastella, kun käytettävissä on seuraavat tiedot:

- Polttoaineen keskimääräinen kulutus, litra/tunti
- Uusiutuvan polttoöljyn ja fossiilisen polttoöljyn hintojen erotus
- Uusiutuvan polttoaineen vaikutus koneiden kokonaiskulutukseen.

Polttoaineen keskikulutus

Polttoaineen keskikulutuksesta saatiin tietoa selvittämällä yhteensä kuuden kaivinkoneen, jotka tyypiltään, tehoiltaan ja kokoluokaltaan antavat hyvän kokonaiskuvan urakoitsijan hankkeissa käytettävistä työkoneista, keskikulutus. Tarkastelussa oli mukana 2 pyörälustaista kaivinkonetta ja 4 tela-alustaista kaivinkonetta. Osasta kaivinkoneista oli saatavilla keskikulutus koko työkoneen käyttöhistorian ajalta, mutta joidenkin koneiden osalta hyödynnettiin lyhyemmältä tarkasteluajanjaksolta saatua tietoa.

Taulukko 15 Kaivinkoneiden keskikulutuksia

Cat 325F	Lyhyen tarkasteluajanjakson käyttöhistoria	8,9 l/h
Case 245	Koko koneen käyttöhistoria	9,7 l/h
Liebherr A918	Lyhyen tarkasteluajanjakson käyttöhistoria	7 l/h
Liebherr A918	Lyhyen tarkasteluajanjakson käyttöhistoria	8,7 l/h
Volvo EC250EL	Koko koneen käyttöhistoria	7,4 l/h
Doosan DX 255 LC	Lyhyen tarkasteluajanjakson käyttöhistoria	9,6 l/h

Työkoneiden keskikulutuksesta saaduista tiedoista voidaan laskea laskennassa hyödynnettävä keskiarvo. Keskikulutuksien keskiarvo tarkastelluissa koneissa

oli 8,55 l/h. Vastaavien työkoneiden keskimuutos voisi konetta kuormittavammassa työvaiheissa kuitenkin olla tästä huomattavasti korkeampikin, joten laskennan lopussa on arvioitu myös korkeammalla kulutuksella syntyviä kustannusvaikutuksia.

Uusiutuvan polttoöljyn käytön vaikutus polttoaineen kulutukseen

Valmistaja ilmoittaa uusiutuvan polttoöljyn hinnan lisäävän polttoaineen vo-lymetristä (tilavuuden perusteella määritettyä) kulutusta kolmella prosenttiyksiköllä verrattuna perinteiseen polttoöljyyn verrattuna. Syy korkeampaan kulutukseen on polttoaineen pienempi energiatiheys.

Käyttämällä laskennassa valmistajan antamaa arvoa polttoaineen kulutuksen kasvusta, saadaan uusiutuvan polttoaineen vertailukeskiarvokulutukseksi 8,81 litraa/tunti.

Vertailuun hyödynnettävissä oli tieto myös kahden samanlaisen Case 245 kairinkoneen koko käyttöhistorian ajalta lasketusta keskimuutuksesta. Toinen koneista on käyttänyt käyttövoimanaan ainoastaan fossiilista polttoöljyä ja toinen puolestaan vain uusiutuvaa HVO polttoöljyä.

Kone ja käyttövoima	Käyttötunnit	Polttoaineen kokonaiskulutus	Polttoaineen keskimuutos
Case 245 – Uusiutuva HVO polttoöljy	1351 h	14613 l	10,82 l/h
Case 245 – Perinteinen fossiilinen polttoöljy	3900 h	37700 l	9,7 l/h

Tarkastelun kohteena olevissa koneissa uusiutuvaa HVO polttoöljyä käyttövoimanaan käyttävän koneen keskimuutos on ollut 1,12 litraa eli noin 11,6 % korkeampi kuin fossiilista polttoainetta käyttäneen koneen keskimuutos. Tarkastelu on kuitenkin tehty kenttäolosuhteissa, eikä tarkastelussa ole tästä syystä voitu sulkea pois ulkoisista tekijöistä johtuvia polttoaineen kulutuksen vaihteluita. Koneiden kuljettajat myös arvioivat, että uusiutuvaa polttoainetta käyttänyt kone on ollut koko koneen käyttöhistorian korkeamman kuormituksen työtehtävissä, kun

taas fossiilista polttoainetta käyttänyt kone on työskennellyt suurimmaksi osaksi katujen ja kunnallistekniikan saneeraushankkeissa, joissa koneen työtehot ja kulutus ovat tyypillisesti alhaisemmat.

Uusiutuvan polttoaineen kustannusvaikutuksia tutkivassa laskelmassa voidaan kuitenkin hyödyntää valmistajan ilmoittaman arvon lisäksi tätä vertailtujen koneiden kulutuksista saatua tietoa suuntaa antavan tiedon ja kustannuksien suuruusluokkatiedon arvioimisessa.

Uusiutuvan polttoöljyn kustannusvaikutus

Polttoainekustannus perinteinen polttoöljy, € / h

$$PPH_{FOS} = P_{FOS} \times C_{FOS}$$

Polttoöljyn hinnan ollessa esimerkiksi 0,90 €/l

$$PPH_{FOS} = 0,90 \text{ €/l} \times 8,55 \text{ l/h} = \mathbf{7,7 \text{ €/h}}$$

Kulutus uusiutuvalla HVO polttoöljyllä, valmistajan ilmoittama kulutuksen nousu l/h

$$C_m = C_{FOS} \times I_m$$

eli esimerkiksi;

$$C_m = 8,55 \text{ l/h} \times 1,03 = \mathbf{8,81 \text{ l/h}}$$

Polttoainekustannus HVO polttoöljy, valmistajan ilmoittaman kulutuksen nousun perusteella laskettu

$$PPH_m = P_{HVO} \times C_m$$

eli uusiutuvan polttoöljyn hinnan ollessa esimerkiksi 1 €/l;

$$PPH_m = 1\text{€/l} \times 8,81\text{l/h} = \mathbf{8,81\text{ €/h}}$$

Kulutus uusiutuvalla HVO polttoöljyllä, Case 245 työkoneiden kulutuksen toteuma

$$C_{fr} = C_{FOS} \times I_{fr}$$

Polttoainekustannus HVO polttoöljy, Case 245 työkoneiden kulutuksen toteuman perusteella laskettu

$$PPH_{fr} = P_{HVO} \times C_{fr}$$

Erotus tuntihintaan, tilaajan ilmoittaman tiedon mukaisesti laskettu

$$PD_m = PPH_m - PPH_{FOS}$$

Erotus tuntihintaan, Case 245 työkoneiden kulutuksen toteuman perusteella laskettu

$$PD_{fr} = PPH_{fr} - PPH_{FOS}$$

Lopuksi otettiin huomioon, että esirakentamishankkeissa ja muissa maarakennusurakoissa, joissa tehdään konetta huomattavasti enemmän kuormittavaa työtä, voi koneen kulutus olla huomattavasti korkeampi kuin kadunrakentamis- ja kunnallistekniikan saneeraushankkeissa. Tästä syystä Case 245-vertailulaskelmassa saatu tuntihinnan erotus kerrottiin vielä kahdella, jotta voitiin realistisesti arvioida kustannusvaikutuksia myös niihin hankkeisiin, jossa konetyön tehot ja polttoaineen kulutus on selvästi korkeampi.

Erotus tuntihintaan, Case 245 työkoneiden kulutuksen toteuman perusteella las-
kettu, korkeamman konetyötehon hankkeet:

$$PD_{fr2} = (PPH_{fr} - PPH_{FOS}) \times 2$$

Rahtikustannusten nousu uusiutuvan polttoaineen vaikutuksesta

Rahtikustannuksia voidaan tarkastella vastaavilla laskelmilla, kun tunnetaan kuorma-autojen kulutus. Terrawise Oy:n infrarakentamisyksikkö käyttää hankkeiden kuljetuksissa ainoastaan aliurakoitsijoiden kalustoa, joten uusiutuvan polttoöljyn kustannusvaikutuksia on voitu arvioida realistisesti tuntiperusteisten sopimushintojen perusteella. Tehdyn laskelman perusteella aliurakoitsijan korkeampi tuntihinta vastaa melko hyvin kustannusten todellista nousua olettaen, että aliurakoitsijan polttoöljyn sopimushinnat ovat samalla tasolla Terrawisen sopimushintojen kanssa.

**Kuorma-autot, kustannuslaskennassa
käytetyt kaavat**

	Tunnus ja lauseke	Yksikkö
<i>Keskikulutus, fossiilinen polttoaine</i>	$C_{FOS(100km)}$	<i>l/100 km</i>
<i>Noussut keskikulutus, valmistajan ilmoitus</i>	$C_{m(100km)} = C_{FOS(100km)} \times I_m$	<i>l/100 km</i>
<i>Noussut keskikulutus, Case 245 vertailu</i>	$C_{fr(100km)} = C_{FOS(100km)} \times I_{fr}$	<i>l/100 km</i>
<i>Polttoainekustannus €/100 km, perinteinen polttoaine</i>	$PPO_{FOS} = C_{FOS(100km)} \times P_{FOS}$	<i>€/100 km</i>
<i>Polttoainekustannus €/100 km, uusiutuva polttoaine, valmistajan ilmoitus</i>	$PPO_m = C_{m(100km)} \times P_{HVO}$	<i>€/100 km</i>
<i>Polttoainekustannus €/100, uusiutuva polttoaine, Case 245 vertailu</i>	$PPO_{fr} = C_{fr(100km)} \times P_{HVO}$	<i>€/100 km</i>
<i>Erotus, kilometriperusteinen, valmistajan ilmoitus</i>	$PD_{m(100km)} = PPO_m - PPO_{FOS}$	<i>€/100 km</i>
<i>Erotus, kilometriperusteinen, kenttätutkimus</i>	$PD_{fr(100km)} = PPO_{fr} - PPO_{FOS}$	<i>€/100 km</i>
<i>Keskimääräinen ajomäärä, lastaukset, kippaus ja kahvitauot huomioitu, km/h</i>		$A_{km/h}$ <i>km/h</i>
<i>Tuntikohtainen erotus, valmistajan ilmoitus</i>	$PD_{fr(h)} = \frac{PD_{m(100km)} \times A_{km/h}}{100}$	<i>€/h</i>
<i>Tuntikohtainen erotus, kenttätutkimus</i>	$PD_{fr(h)} = \frac{PD_{fr(100km)} \times A_{km/h}}{100}$	<i>€/h</i>

Liite 3: Laskentamenetelmät: Kustannusvaikutusten suuruusluokka koko hankkeen tasolla

Kun tunnetaan uusiutuvan polttoaineen käytön kustannusvaikutus konetyön tuntihintaan ja rahtikustannuksiin, voidaan yksinkertaisella laskelmalla tarkastella myös kustannusvaikutusten suuruusluokkaa suhteutettuna koko hankkeen budjettiin.

Esimerkkilaskelma (käytetyt arvot eivät ole todellisia)

Esimerkkilaskelman lähtötiedot

<i>Kuorma-auton tuntihinnan korotus, alin</i>	<i>KA: PD_m</i>	<i>5 €/h</i>
<i>Kuorma-auton tuntihinnan korotus, ylin</i>	<i>KA: PD_{fr}</i>	<i>10 €/h</i>
<i>Kaivinkoneen tuntihinnan korotus, alin</i>	<i>Kkht: PD_m</i>	<i>5 €/h</i>
<i>Kaivinkoneen tuntihinnan korotus, ylin</i>	<i>Kkht: PD_{fr2}</i>	<i>10 €/h</i>
<i>Toteutuneet kokonaiskustannukset, koko hanke</i>	<i>TOT_H</i>	<i>1 500 000 €</i>
<i>Kaivinkonetunnit</i>	<i>Kkht_(h)</i>	<i>3800 h</i>
<i>Kuorma-autotunnit</i>	<i>KA_(h)</i>	<i>2900 h</i>

Kustannusvaikutukset, kaivinkonetyöt

Konetyöhön kohdistuva kustannusvaikutus valmistajan ilmoittaman polttoaineen nousun perustella saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

$$Kkht_{(h)} \times Kkht: PD_m$$

Eli esimerkiksi;

$$3800h \times 5\text{€}/h = 19000 \text{ €}$$

Konetyöhön kohdistuva kustannusvaikutus kenttätutkimuksen perusteella lasketun polttoaineen kulutuksen nousun perusteella

$$Kkht_{(h)} \times Kkht: PD_{fr}$$

Eli esimerkiksi;

$$3800h \times 10\text{€}/h = 38000 \text{ €}$$

Kustannusvaikutukset, työmaan kuljetuskalusto

Rahtikustannusten nousu valmistajan ilmoittaman polttoaineen nousun perustella saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

$$KA_{(h)} \times KA: PD_m$$

Eli esimerkiksi;

$$2900h \times 5\text{€}/h = 14500 \text{ €}$$

Rahtikustannusten nousu kenttätutkimuksen perusteella lasketun polttoaineen kulutuksen nousun perusteella

$$KA_{(h)} \times KA: PD_{fr}$$

Eli esimerkiksi;

$$2900h \times 10\text{€}/h = 29000 \text{ €}$$

Kustannusvaikutus hanketasolla

Alin euromääräinen kustannusvaikutus saadaan laskemalla pienemmät kone-työstä ja rahdeista syntyneet kustannusvaikutukset yhteen, eli esimerkkihankkeessa:

$$19\ 000\text{€} + 14\ 500\text{€} = \mathbf{33\ 500\text{€}}$$

Ylin euromääräinen kustannusvaikutus saadaan laskemalla suuremmat kone-työstä ja rahdeista syntyneet kustannusvaikutukset yhteen, eli esimerkkihankkeessa:

$$38\ 000\text{€} + 29\ 000\text{€} = \mathbf{67\ 000\text{€}}$$

Saatujen lukujen avulla voidaan arvioida kokonaiskustannusvaikutuksia hanketasolla, kun tiedetään hankkeen toteutuneet kokonaiskustannukset.

Kustannusvaikutus alimmillaan hanketasolla:

$$\frac{33\ 500 \text{ €}}{1\ 500\ 000 \text{ €}} \times 100 = \mathbf{2,2 \%}$$

Kustannusvaikutus ylimmillään hanketasolla:

$$\frac{67\,000\ \text{€}}{1\,500\,000\ \text{€}} \times 100 = 4,5\ \%$$

Esitetyllä laskentamenetelmällä toteutettiin laskelmat neljästä Terrawisen toteut-
tamasta hankkeesta hyödyntäen tietoja toteutuneista kustannuksista, konetyö-
ja kuorma-autotuntien toteutuneita määriä, sekä laskennan tuloksena saatuja
tietoja tuntikohtaisista kustannusvaikutuksista. Laskelmat toteutettiin Excel-poh-
jaisena.

Yksi vertailuhankkeista oli pientalovaltaisen asuinalueen vesihuollon saneeraus-
hanke. Kahdessa hankkeessa rakennettiin olemassa olevan tien yhteyteen ke-
vyen liikenteen väylää ja lisäksi taitorakenteita, kuten siltoja ja tukimuureja. Nel-
jäs hanke oli uuden kaava-alueen esirakentamishanke.

Laskelmasta saatiin suuruusluokkatietoa uusiutuvan käyttövoiman kustannus-
vaikutuksista hanketasolla erityyppisissä hankkeissa.

Taulukko 16 Neljän hankkeen tietoja arvioitiin esitettyjen kaavojen avulla Excel-
pohjaisessa laskelmassa. Laskelman tuottamiseen käytettiin hankkeissa toteu-
tuneita kone-, ja kuorma-autotunteja sekä hankkeen toteutuneita
kokonaiskustannuksia.

	Kokonais-kustan- nukset	Kuorma-auto (h)	Konetyö (h)	Kustannusvaiku- tus alin	Kustannusvaiku- tus ylin	Kustannus- vaikutus % koko hanke alin	Kustannus- vaikutus % koko hanke ylin
H 1	xxxxxx €	xxxx h	xxxx h	xxxxx €	xxxxx €	xx,xx %	xx,xx %
H 2	xxxxxx €	xxxx h	xxxx h	xxxxx €	xxxxx €	xx,xx %	xx,xx %
H 3	xxxxxx €	xxxx h	xxxx h	xxxxx €	xxxxx €	xx,xx %	xx,xx %
H 4	xxxxxx €	xxxx h	xxxx h	xxxxx €	xxxxx €	xx,xx %	xx,xx %

Liite 4: HSY:n kilpailuttaman hankkeen tarjousvaiheen pisteytysperusteiden vertailu

Hankkeen kilpailutus toteutettiin yhdistettynä laatu- ja hintakilpailuna. Vertailuhinnan painoarvo kilpailutuksessa oli 60 % ja laatuasteiden painoarvo yhteensä 40 %. Neljäsosa laatuasteista, eli yhteensä 10 % kokonaisasteista, muodostui työmaan päästöjen, eli työmaalla käytettävien työkoneiden käyttövoiman perusteella. Täydet pisteet päästöjen osuudesta sai, mikäli kaikki urakassa käytettävät työkoneet, pienkoneet ja kuljetuskalusto käyttivät käyttövoimanaan uusiutuvia energianlähteitä. Muut laatuasteet määräytyivät urakoitsijan henkilöstön pätevyuden, läpimenoajan sekä sen perusteella, kuinka monta kiinteistön puolen tonttijohtoa urakoitsija ilmoitti tarjousvaiheessa saneeraavansa.

Hintapisteitä enintään 60 p.

Laatupisteitä enintään 40 p.

Vertailuhinnasta saatavat pisteet määräytyvät siten, että halvin tarjous saa täydet pisteet (60 pistettä) ja kaksi kertaa kalliimpi tarjous saa nolla pistettä.

Vertailuhinnan pisteytys määräytyy kaavasta:

$$H = 60 - ((i - h) / (2h - h)) * 60, \text{ jossa;}$$

$H = \text{hintaedullisuus}$

$h = \text{halvin hinta}$

$i = \text{kyseessä olevan tarjoajan hinta}$

Koska $2h - h = h$, käytännössä saman asian ajaa myös seuraava kaava

$$H = 60 - ((i - h) / h) * 60$$

Kaavasta voidaan päätellä, että kun $i = h$, pisteiden määrä on 60. Kun $i = 2h$, on pisteiden määrä 0. i/h suhdeluvun ja vertailuhinnan pisteytys on lineaarinen (kuva 14)

Ympäristövaikutusten painoarvo laatupisteytyksessä on yhteensä kymmenen pistettä. Jotta voidaan vertailla uusiutuvan käyttövoiman hintavaikutusta, on selvitettävä kuinka suurta osaa hinnasta 10 % tarkoittaa.

$$H = 50$$

$$H = 60 - 10$$

$$((i-h)/h) * 60 = 10$$

$$60 * x = 10$$

$$x = 1 / 6$$

$$((i-h)/h) = 1 / 6$$

$$i-h = 1h/6$$

$$i = 1h/6 + h$$

$$i = 7h/6$$

$$H = 10$$

$$H = 60 - 50$$

$$((i-h)/h) * 60 = 50$$

$$60 * x = 50$$

$$x = 5/6$$

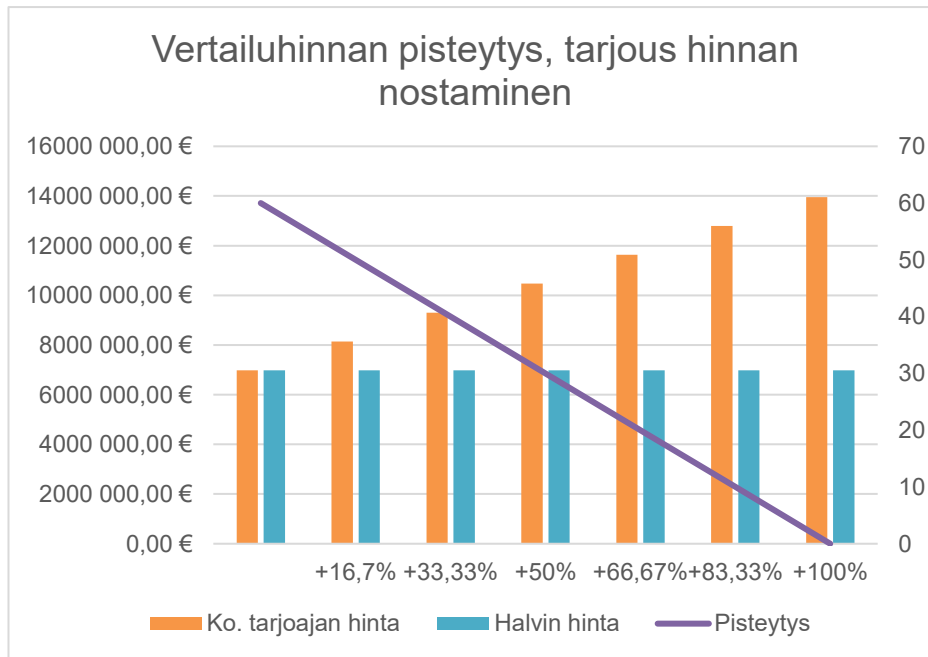
$$((i-h)/h) = 5 / 6$$

$$i-h = 5h/6$$

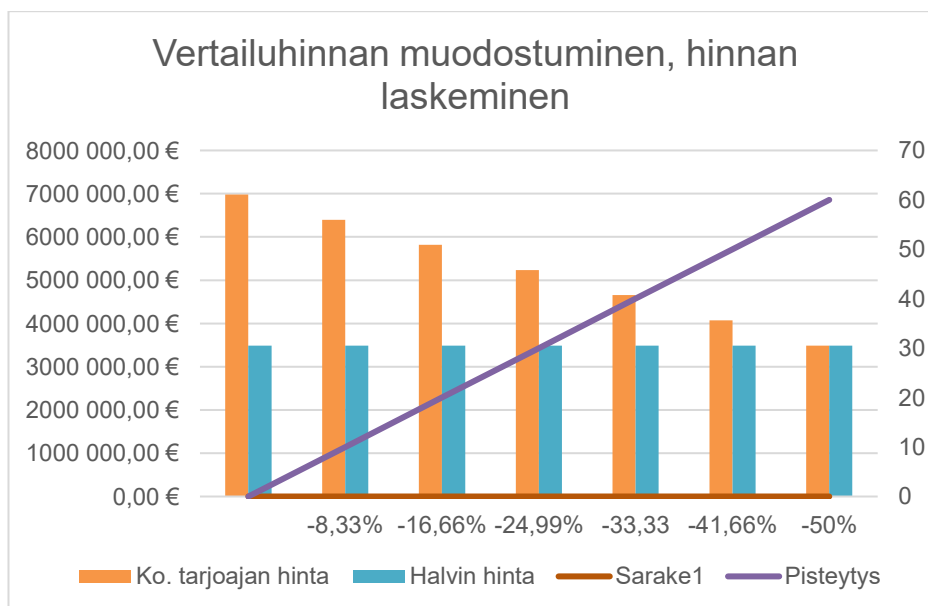
$$i = 5h/6 + h$$

$$i = 11h/6$$

Kaavan tarkastelun perusteella voidaan osoittaa, että 10 pistettä vertailuhinnan pisteytyksessä vastaa 1/6, eli 16,7 prosenttia urakkahinnasta.



Kuva 14 Vertailuhinnan pisteytystä kuvaava kaavio



Kuva 15 Vertailuhinnan pisteytystä kuvaava visuaalinen kaavio. Vertailuhinnan laskeminen.

Kaavasta voidaan siis päätellä, että vertailuhinnan pisteyttämisessä tarjoushinnan kasvaminen 16,7 % (1/6) verrattuna halvimman tarjouksen tarjoushintaan

vastaa 10 pisteen menetystä. Koska 0 pistettä saadaan halvimmman tarjoushinnan (h) ollessa puolet yrityksen omasta tarjoushinnasta, tiedetään, että silloin kun yrityksen tarjoushinta ei ole halvin, eikä toisaalta yli 200 % halvimmasta tarjoushinnasta, vastaa hintapisteytyksessä 10 pisteen arvo 16,7 % (1/6) yrityksen tarjoushinnasta hintaa korotettaessa.

Urakan laatupisteistä 10 pistettä on muodostunut työmaan päästöistä eli uusiutuvan polttoaineen ja uusiutuvan energian käyttämisestä työmaan työkoneiden ja kuljetuskaluston käyttövoimana.

KÄYTETTÄVÄ KALUSTO			
Urakan toteutuksessa käytettävä koneiden ja laitteiden käyttövoima			
Kuljetuskalusto	3.000	Käyttövoima on uusiutuvaa	Käyttövoima on uusiutuvaa 3p Käyttövoima ei ole uusiutuvaa 0p
Työkoneet	3.000	Käyttövoima on uusiutuvaa	Käyttövoima on uusiutuvaa 3p Käyttövoima ei ole uusiutuvaa 0p
Pienkoneet	2.000	Käyttövoima on uusiutuvaa	Käyttövoima on uusiutuvaa 2p Käyttövoima ei ole uusiutuvaa 0p
Erikoskoneet (esim. sujutuslaitteisto, kompressorit)	2.000	Käyttövoima on uusiutuvaa	Käyttövoima on uusiutuvaa 2p Käyttövoima ei ole uusiutuvaa 0p

Kuva 16 Hankkeessa uusiutuvaa käyttövoimaa käyttämällä oli mahdollista saada yhteensä 10 pistettä vertailuhinnan pisteytyksessä.

Kaiken työmaakaluston käyttövoimana käytettäessä uusiutuvaa energiaa, saadaan ympäristöä koskevista laatupisteistä täydet 10 pistettä. Aiemman vertailuhinnan pisteytyksen määräytymistä koskevan tarkastelun perusteella voidaan todeta, että mikäli urakoitsija käyttää hankkeen kaluston käyttövoimana yksinomaan uusiutuvia polttoaineita ja uusiutuvaa energiaa, voi urakoitsija korottaa tarjoushintaa 16,7 %:lla yhteispisteiden säilyessä samana. Vastaavasti, mikäli urakoitsija päättää olla käyttämättä uusiutuvia polttoaineita, voi urakoitsija kompensoida tätä laskemalla tarjoushintaa. Toteutettujen laskelmien perusteella

voitiin verrata uusiutuvasta käyttövoimasta aiheutuvia kustannusvaikutuksia laatu-
tupisteiden kautta saatuun kilpailuetuun ja tarkastella kilpailutusmenettelyn kan-
nustavuutta uusiutuvan käyttövoiman käyttöön.