



Aalto-yliopisto  
Insinööritieteiden  
korkeakoulu

Eveliina Niittyniemi

## **CO<sub>2</sub> -päästöjen vähentäminen asfaltointiprosessissa, toimenpiteet ja niiden vaikutukset**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 30.10.2018

Valvoja: Professori Jussi Leveinen

Ohjaaja: Ville Hirvilammi (DI & KTM) ja Michalina Makowska (D. Sc)

---

**Tekijä** Eveliina Niittyniemi

---

**Työn nimi** CO<sub>2</sub> -päästöjen vähentäminen asfaltointiprosessissa, toimenpiteet ja niiden vaikutukset

---

**Koulutusohjelma** Georakentamisen maisteriohjelma

---

**Pääaine** Tietekniikka**Pääaineen koodi** ENG23

---

**Vastuupettaja** Jussi Leveinen

---

**Työn ohjaaja(t)** Ville Hirvilammi, Michalina Makowska

---

**Päivämäärä** 30.10.2018**Sivumäärä** 86+4**Kieli** Suomi

---

## Tiivistelmä

Tietoisuus hiilidioksidipäästöistä ja niiden vähentämisen tarpeista on kasvanut kansainvälisten ilmastopöytäkirjojen myötä. Valtioilla, kaupungeilla ja yrityksillä on tavoitteita hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on ajankohtaista asfalttialalla, koska Liikennevirasto ja Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus tulevat huomiomaan päästöt tulevaisuudessa hankinnoissaan. Tämä diplomityö tehtiin, koska asfaltoinnin hiilidioksidipäästöistä ei ole tehty riittävästi pohjoismaihin soveltuvaa tutkimusta.

Diplomityö koostuu kirjallisuussosiosta ja tutkimussosiosta. Kirjallisuussosiassa tutkittiin hiilidioksidipäästöjen vähennysmenetelmiä ja tutkimussosiassa laskettiin asfaltoinnin hiilidioksidipäästöt esimerkiasfalttiasemalle panospohjaisella laskentatavalla. Kolme esimerkiasfalttiasemaa kuvattiin lämpökameralla. Tutkimussosiassa analysoitiin kirjallisuussosiassa löydettyjen hiilidioksidipäästöjen vähennysmenetelmien vaikutusta prosessin kokonaishiilidioksidipäästöihin.

Asfaltointiprosessin keskimääräiset kokonaishiilidioksidipäästöt ovat asfaltointiprosessissa 30,7 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni. Laskentatuloksena on 2017 käyttöön otetulle asfalttiasemalle, joka on hyvin eristetty ja, joka käyttää polttoaineena raskasta polttoöljyä. Asfaltointiprosessin hiilidioksidipäästöistä 56 % aiheutuu asfalttiaseman polttoaineenkulutuksesta. Toiseksi suurin hiilidioksidipäästöjen aiheuttaja on raaka-aineiden kuljetukset ja valmistaminen, joka muodostaa 38 % hiilidioksidipäästöistä. Loppu 6 % jakautuu tasan asfaltin levityksen, pyöräkuormaajan käytön ja asfalttimassan kuljetuksen kesken. Kuljetusmatkan on arvioitu tällä prosenttijakaumalla olevan 6,5 kilometriä.

Tutkimuksen tuloksena löydettiin eri menetelmiä vähentää asfaltoinnin hiilidioksidipäästöjä. Korvaamalla raskas polttoöljy biopolttoaineella asfaltointiprosessin laskennalliset hiilidioksidipäästöt pienenevät 56 %. Raskas polttoöljy voidaan korvata myös esimerkiksi nesteytettyllä maakaasulla tai nestekaasulla. Nesteytettyllä maakaasulla asfaltointiprosessin hiilidioksidipäästöt pienenevät 16 % ja nestekaasulla 9 %. Jos asfaltointiprosessissa hyödynnetään kierrätysasfalttia 40 % sekoitussuhteella, asfaltoinnin kokonaispäästöt vähenevät 12 %. Lisäksi kiviaineksen kosteusprosentin pienentäminen yhdellä prosentilla mahdollistaa 6 % pienemmät hiilidioksidipäästöt. 6 % pienennys hiilidioksidipäästöissä on myös mahdollista saavuttaa laskemalla asfalttimassan lämpötilaa 30 celsiusasteella. Suurimmat asfalttiaseman lämpöhäviöt syntyvät asfalttiaseman rummussa, elevaattorissa, siloissa ja sekoittajassa.

---

**Avainsanat** asfaltointiprosessi, hiilidioksidipäästöt, polttoaineenkulutus, kierrätysasfaltti, matalalämpöasfaltti, kosteusprosentti, eristäminen

---

---

<b>Author</b>	Eveliina Niittyniemi	
<b>Title of thesis</b>	Reducing CO <sub>2</sub> emissions in asphaltting process, procedures and influences	
<b>Degree programme</b>	Master's Programme in Geoengineering	
<b>Major</b>	Highway Engineering	<b>Major code</b> ENG23
<b>Supervisor</b>	Jussi Leveinen	
<b>Thesis advisor(s)</b>	Ville Hirvilammi, Michalina Makowska	
<b>Date</b>	<b>Pages</b> 86+4	<b>Language</b> Finnish

---

## Abstract

The knowledge about CO<sub>2</sub> emissions and need for reducing CO<sub>2</sub> emissions have increased strongly because of international climate change agreements. States, cities and companies have their own targets for reducing CO<sub>2</sub> emissions. Reducing CO<sub>2</sub> emissions of asphaltting process is topical, because Finnish Transport Agency and Centre for Economic Development, Transport and the Environment are going to notice CO<sub>2</sub> emissions when making public procurements. This master thesis was made because of the need for research from this field in the Nordic Countries.

There are a literature review and a research part in this thesis. Methods for reduction of CO<sub>2</sub> emissions are studied in the literature review and CO<sub>2</sub> emissions of the asphaltting process are calculated in the research part. Three asphalt plants were investigated with a thermal camera. Effects of every CO<sub>2</sub> reduction method were studied in research part.

Average total CO<sub>2</sub> emissions have been 30,7 kg CO<sub>2</sub>/asphalt ton for an asphaltting process. The calculation has made for a new asphalt plant which has good insulation and which uses heavy fuel oil. 56 % of total CO<sub>2</sub> emissions are caused because of fuel consumption of asphalt plant. The second largest CO<sub>2</sub> emitter in the asphaltting process with 38 % share is manufacturing and delivering the raw materials. Remaining 6 % share is equally composed of paving, using the wheel loader and transportations from asphalt plant to the pavement sites. It is assumed with this distribution of percentages that distance from asphalt plant to pavement site is 6,5 kilometers.

As a result of this study, different methods to reduce CO<sub>2</sub> emissions of asphaltting process were found. By replacing heavy fuel oil with some biofuel, CO<sub>2</sub> emissions of the asphaltting process will be decreased by 56 %. Heavy fuel oil can be also replaced with liquefied natural gas (LNG) or liquefied petroleum gas (LPG). CO<sub>2</sub> emissions can be cut down by 16 % if LNG is used and 9 % reduction is achieved if LPG is used. If reclaimed asphalt is used in the asphaltting process with 40 % share, CO<sub>2</sub> emissions are reduced by 12 %. By reducing a moisture content of aggregates by 1 %, CO<sub>2</sub> emissions would be reduced by 6 %. Same 6 % reduction in CO<sub>2</sub> emissions can be also achieved by reducing the temperature of the asphalt mass by 30 Celsius degrees. The most significant part of the heat losses are released from the asphalt drum, the elevator, the silos and the mixer.

---

**Keywords** asphaltting process, CO<sub>2</sub> emissions, fuel consumption, recycled asphalt, warm heat asphalt, moisture content, insulation

---

# Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	1
1.1 Tutkimuksen tavoite ja motivaatio tutkimuksen tekemiselle .....	2
1.2 Tutkimusmenetelmät, tutkimuskysymykset ja tutkimuksen rajaus.....	2
2 Lainsäädäntö ja standardit .....	5
2.1 ISO 14001 -standardi organisaation ympäristöjärjestelmästä .....	5
2.2 EN 15804 -standardi kestävästä rakentamisesta, rakennustuotteiden ympäristöselosteet .....	6
2.3 Ympäristölainsäädäntö ja hankintalaki.....	8
2.4 Energiaverotus Suomessa .....	8
2.5 Päästökauppalaki sekä laki biopolttoaineista ja –nesteistä.....	9
2.6 Jätteen hallintaan liittyvä lainsäädäntö .....	10
2.7 Ruotsin energia- ja hiilidioksidiverotuksen periaatteet .....	11
2.8 Norjan energia- ja hiilidioksidiverotuksen periaatteet.....	12
3 Asfaltointiprosessi .....	13
3.1 A1 raaka-aineiden hankinta ja A2 raaka-aineiden varastointi ja kuljetus .....	13
3.2 A3 Asfaltin valmistus .....	14
3.3 A4 Asfalttimassan kuljetus työmaalle ja A5 asfaltin levitystyömaan toiminnot .	17
4 Hiilidioksidipäästöjen laskennan periaatteet ja vähentämisen menetelmät asfaltointiprosessissa .....	18
4.1 Elinkaariarviointi (LCA) .....	18
4.2 Päästöjen laskenta ja kertoimet.....	19
4.3 Kuvaus asfaltin valmistuksessa syntyvistä hiilidioksidipäästöistä.....	21
4.4 Ratkaisuja asfaltin valmistuksen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi .....	24
4.5 Matalalämpöasfaltti .....	24
4.6 Kierrätysasfaltti .....	26
4.7 Polttoaineenkulutukseen vaikuttavat tekijät .....	28
4.8 Kuljetukset ja työkoneet .....	30
4.9 Tuotannon optimointi ja hukkan minimointi.....	31
5 Hiilidioksidipäästöjen laskenta.....	34
5.1 Case-yrityksen asfalttiasemat .....	34
5.2 Lähtötietojen selvittäminen ja laskennan rajaus.....	36
5.3 Asfaltin valmistusprosessissa syntyvät hiilidioksidipäästöt .....	37
5.4 Hiilidioksidipäästölaskennan tuloksen analysointi.....	41
6 Vähennystoimenpiteiden vaikutus hiilidioksidipäästöihin.....	45
6.1 Lämpömittaukset asfalttiasemilla.....	45

6.2 Bitumitankit .....	49
6.3 Polttoainetyypit.....	51
6.4 Kierrätysasfaltti .....	55
6.5 Kosteuden vaikutus polttoaineen kulutukseen .....	57
6.6 Asfaltin lämpötilan laskeminen .....	64
6.7 Ajoneuvot .....	67
6.8 Tuotannon optimointi ja hukan minimointi.....	69
7 Edellytykset menetelmien käyttöönotolle .....	71
8 Johtopäätökset .....	73
Lähteet .....	76

## Liitteet

Liite 1 – Oulun ja Tornion lämpökamerakuvat

# 1 Johdanto

Hiilidioksidi on ihmisen tuottamista kasvihuonekaasuista vaikutuksiltaan merkittävin. Sen pitoisuus ilmakehässä on kasvanut huomattavasti teollistumisen jälkeen nostoen ilmakehän keskilämpötilaa. Tärkeimmät hiilidioksidin lähteet ovat fossiiliset polttoaineet. (Ilmasto-opas.) Ilmaston lämpenemisellä on useita negatiivisia vaikutuksia, joita ovat esimerkiksi äärimmäisten sääolosuhteiden lisääntyminen ja muuttuneet sademäärät eri alueilla (Euroopan komissio). Ilmastonmuutoksen ehkäisemiseksi on solmittu maailmanlaajuisia sopimuksia, joiden tarkoituksena on pienentää päästöjen määrää. Tunnetuin ilmastopimus on Pariisin ilmastopimus. Pariisin ilmastopimus solmittiin joulukuussa 2015 Yhdistyneiden Kansakuntien kokouksessa Pariisissa. Sopimuksen tavoitteena on hillitä maapallon keskilämpötilan nousua esimerkiksi ohjaamalla valtioiden ja yritysten investointirahoitukset vähähiilisiin tuotteisiin. (Ympäristöministeriö 2017b.)

Hiilineutraaliteetilla tarkoitetaan luotettavalla tavalla laskettujen päästöjen vähentämistä ja vähentämisen jälkeen jäljelle jäävien päästöjen kompensointia (Department of energy and climate change 2009). Toisin sanoen, saavutettaessa hiilineutraaliteetti, valittu tarkastelukokonaisuus aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä määrän, joka pystytään sitomaan määrityllä tarkasteluvälillä. Usein tarkastelujaksona käytetään vuotta. Nykyisin hiilineutraaliteetin tavoittelemisen on valtioille vapaaehtoista. Tulevaisuudessa kehittyneiltä valtioilta saateen edellyttää ilmastoneutraaliuden saavuttamista. (Seppälä ym. 2014, s. 5, 8.) Suomen tavoitteena on olla hiilineutraaliyhteiskunta vuoteen 2050 mennessä. Päättävöitteen saavuttamiseksi on asetettu välitavoitteita. Yksi välitavoite on vähentää 20 % hiilidioksidipäästöjä vuoden 2013 tasosta vuoteen 2020 mennessä. (Liikennevirasto 2016, s. 49.) Suomessa tulee löytää ja ottaa käyttöön ratkaisuja päästöjen vähentämiseksi ja luopua hiilidioksidi-intensiivisistä menetelmistä.

Liikenteestä syntyy noin 20 % Suomen kaikista kasvihuonepäästöistä. (Ympäristöministeriö 2017, s. 11, 13). Liikennesektorin tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä. Liikenteen päästöjä tulee vähentää 50 % vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 2005 päästöihin. (Liikennevirasto 2017, s. 7.) Liikennevirasto on linjannut liikenteen ja sen infrastruktuurin kasvihuonepäästöjen vähentämisen painopisteiden olevan fossiilisten polttoaineiden korvaaminen muilla vaihtoehdoilla, kuljetusta- ja kuljetusmuotojakaumaan vaikuttaminen sekä energiatehokkuuden parantaminen ja energiankulutuksen vähentäminen. Edellä luetelluissa vähennystavoitteissa ei ole erikseen eroteltu liikenneinfrastruktuurin energiatehokkuutta liikenteen kokonaispäästöistä (Liikennevirasto 2016, s. 48, 49). Liikenneviraston tavoitteena on infrastruktuurin energiankulutuksen pienentäminen ja energiatehokkuuden parantaminen (Liikennevirasto 2017, s. 7). Liikennevirasto on asettanut väylänpidolle kasvihuonepäästöjen ja energiankulutuksen vähennystavoitteita (Eskola 2018, s. 1).

Liikenneviraston tavoitteena on, että vuonna 2019 hiilidioksidipäästöt huomioidaan päälystehankinnoissa. (Eskola 2018, s. 2.) Liikennevirasto on käynnistänyt ensimmäisiä pilottihankkeita, joissa väylähankkeen kasvihuonepäästöt huomioidaan. Kesäkuussa 2018 tarjouskilpailussa olivat Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselta kaksi hanketta, joissa tarjoajan tuli tarjoamisvaiheessa ilmoittaa raaka-aineiden, raaka-aineiden kuljetuksen, tuotteen valmistuksen, kuljetuksen työmaalle ja työmaatoimintojen aiheuttamat hiilidioksidipäästöihin liittyvät muuttujat. Pilottiurakkaan valittu urakoitsija sai bonuksen raportoidessaan toteutuneet päästömuuttujat hankkeen valmistumisen jälkeen. (ELY

2018.) Liikennevirastoa vastaavat viranomaiset Ruotsissa (Trafikverket) ja Norjassa (Statsbygg) edellyttävät päästöjen määrittämistä tietyissä väylähankkeissa. Trafikverket edellyttää tilaamalla infrahankkeilla elinkaari päästöjen tuntemista urakkasumman ylittäessä 50 MSEK. Statsbygg edellyttää kaikilla rakennushankkeillaan elinkaari päästöjen arviointia ja ympäristöselosteiden laadintaa. (Pasanen, Miilunmäki 2017b, s. 3.)

## 1.1 Tutkimuksen tavoite ja motivaatio tutkimuksen tekemiselle

Tämä diplomityö tehdään, koska asfaltoinnin hiilidioksidipäästöjen määrää ja konkreettisten vähennysmenetelmien vaikutuksia asfaltoinnin hiilidioksidipäästöihin ei ole tutkittu kattavasti Pohjoismaissa. Asfaltoinnin hiilidioksidipäästöt ovat ajankohtaiset, koska niiden huomioiminen hankintaperusteena tulevina vuosina on mahdollista. Erilaiset kansainväliset sopimukset lisäävät tarvetta hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi asfaltialalla. Muilla aloilla hiilidioksidipäästöjen vähentämistä on tutkittu enemmän. Asfaltointiurakoiden tilaajilla on tavoitteita hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi, mikä painostaa urakoitsijoita vähentämään hiilidioksidipäästöjään. Tämän diplomityön avulla yritys pystyy arvioimaan, mitkä vähennysmenetelmät ovat tällä hetkellä kannattavia.

Tämän diplomityön tavoitteena on tunnistaa asfaltin valmistusprosessissa syntyvät päästöt ja löytää sekä arvioida keinoja, joiden avulla hiilidioksidipäästöjen määrää pystytään pienentämään. Tutkimuksessa selvitetään Suomen, Ruotsin ja Norjan energiaverotuslainsäädännöt. Valtioiden verolainsäädäntöjä vertaamalla selvitetään, miten eri valtioiden lainsäädännöt kannustavat vähemmän hiilidioksidia tuottavien polttoaineiden käyttöön. Diplomityössä käsitellään aihealueeseen liittyvää ympäristölainsäädäntöä ja standardeja.

Ratkaisuja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi etsitään case-yrityksen avulla. Yritysnäkökulman huomioiminen tutkittaessa hiilidioksidipäästöjä on perusteltua. Elinkeinoelämän keskusliitto (2015) on linjannut yritysten olevan keskeisessä asemassa hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä. Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vaatii uusia vähäpäästöisiä ja energia- sekä kustannustehokkaita ratkaisuja, joiden kehittämisessä tarvitaan yrityksiä. Case-yrityksen toimintaa mittaamalla ja tarkkailemalla etsitään tärkeimmät päästölähteet. Case-yrityksenä tässä diplomityössä on Skanska Industrial Solutions Oy.

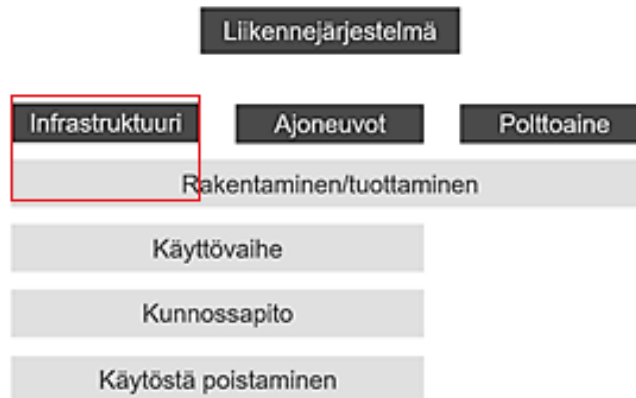
## 1.2 Tutkimusmenetelmät, tutkimuskysymykset ja tutkimuksen rajaus

Diplomityö koostuu kirjallisesta tutkimuksesta sekä aseman hiilidioksidipäästölaskelmista. Laskelmaosioissa tutkitaan erilaisten hiilidioksidipäästöjen vähentämismenetelmien vaikutusta asemien kokonaishiilidioksidipäästöihin ja vähentämisen kustannuksia verrattuna vähentyviin päästöihin. Asemien lämpötilaa mitataan lämpökameran avulla. Diplomityön tutkimuskysymykset ovat:

1. Missä asfaltointiprosessin vaiheissa hiilidioksidipäästöjä syntyy ja, mitkä ovat tärkeimmät päästölähteet?
2. Millaisilla menetelmillä asfalttiaseman hiilidioksidipäästöjä on mahdollista vähentää ja, mitkä näistä menetelmistä ovat sopivimpia case-yritykselle?
3. Millaiset ovat päästöjen aiheuttamat kustannukset ja, mitä pitäisi tapahtua, jotta päästöjen vähentämisestä tulisi kannattavampaa?

4. Millainen on suomalainen lainsäädäntö liittyen polttoaineen verotukseen ja ympäristölainsäädäntöön ja, miten suomalainen lainsäädäntö eroaa ruotsalaisesta tai norjalaisesta lainsäädännöstä?

Liikennejärjestelmä jaetaan osiin. Liikennejärjestelmän osa-alueita ovat infrastruktuuri, ajoneuvot ja ajoneuvojen polttoaine. Liikennejärjestelmä jaettuna elinkaaren eri vaiheisiin on esitetty kuvassa 1. Infrastruktuurin määritelmään kuuluvat tiet, rautatiet ja näitä tukevat komponentit kuten kyltit ja valot. (Miliutenko 2012, s. 11, 14.) Infrastruktuurin elinkaaren aikaiset päästöt jaetaan materiaalin valmistamisesta, infrastruktuurin rakentamisesta, käyttövaiheesta ja käytöstä poistamisesta syntyviin päästöihin (Claro 2010, s. 3).



Kuva 1. Liikennejärjestelmän elinkaaren osa-alueet ja punaisella ympyröitynä tämän diplomityön rajausalue

Tien elinkaarikustannukset lasketaan usein koko elinkaarelta. Tässä diplomityössä laskenta rajataan infrastruktuurin materiaalien valmistukseen ja infrastruktuurin rakentamisvaiheeseen. Tutkimuksessa lasketaan asfaltin tuotannonaikaiset päästöt. Rajaus tehdään, koska materiaalien valmistus- ja rakennusvaiheet muodostavat suurimmat päästöt infrastruktuurin elinkaareissa. Näiden vaiheiden prosenttiosuus on yhteensä 80,67 %. (Claro 2010, s. 4, 5.)

Taulukko 1 kuvaa tiehankkeen laskettuja päästöjä kussakin tieinfrastruktuurin elinkaaren vaiheessa. Taulukon 1 hiilidioksidipäästö määrät on määritetty 9,68 kilometriä pitkälle ja 10 metriä leveälle tielle, jonka käyttöluokka on 2000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Infrastruktuuri on taulukon laskelmassa jaettu neljään osaan: materiaalien jalostaminen, rakentaminen, käyttövaihe ja käytöstä poistaminen. Materiaaleihin kuuluvat kiviaines, betoni ja bitumi. Rakennusvaiheeseen kuuluvat maansiirto, tierakenteen rakentaminen ja päällystäminen. Hankkeessa valmistettiin asfalttia 92 575 tonnia. Käyttövaiheeseen kuuluu kunnossapito ja käytöstä poistamiseen purku sekä hävittäminen. (Claro 2010, s. 4, 5.) Infrastruktuuri rajataan tässä koskemaan tien sidottuja kerroksia. Rakentamisvaihe rajataan asfaltinvalmistus- ja levitysvaiheisiin.



Taulukko 1. Päästöjen muodostuminen tiehankkeessa (Claro 2010, s. 5)

<i>Vaihe elinkaarella</i>	<i>Todelliset päästöt</i>	<i>Päästöjen osuus</i>
<i>Materiaalien valmistus</i>	5 381 823 kg CO <sub>2</sub>	7,00%
<i>Rakentaminen</i>	56 672 167 kg CO <sub>2</sub>	73,67 %
<i>Käyttö</i>	10 114 080 kg CO <sub>2</sub>	13,15 %
<i>Käytöstä poistaminen</i>	4 754 722 kg CO <sub>2</sub>	6,18 %
<b><i>Yhteensä</i></b>	<b>76 922 792 kg CO<sub>2</sub></b>	<b>100,00 %</b>

Diplomityössä keskitytään energiatehokkuuden parantamiseen sekä fossiilisten polttoainneiden korvaamiseen muilla vaihtoehtoilla. Diplomityössä etsitään ratkaisuja suorien kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi. Tutkimuksessa keskitytään ratkaisuihin, joiden toteuttaminen on mahdollista lyhyellä aikavälillä eli 2020-luvulla. Tutkimusta ei tehdä 2050-näkökulmasta, koska yritysten tulee ottaa käyttöön menetelmiä hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi mahdollisimman pian. Päästölaskennassa huomioidaan hiilidioksidipäästöt tai kaikki kasvihuonekaasupäästöt. Muut kasvihuonepäästöt otetaan huomioon laskemalla CO<sub>2</sub>-ekvivalenttipäästöjä. Liikennevirasto ei ole huomionnut CO<sub>2</sub>-ekvivalenttikertoimia pilottihankkeensa päästölaskennassa. Pilotin johtopäätös on, että suurin osa tiehankkeissa syntyvistä kasvihuonekaasupäästöistä on hiilidioksidia (Aulankoski ym. 2014, s. 16). Diplomityössä tarkastellaan hiilidioksidin aiheuttamiin ympäristövaikutuksia.

## 2 Lainsäädäntö ja standardit

Tässä luvussa tutustutaan diplomityön otsikkoon liittyvään lainsäädäntöön ja standardeihin. Liikenneviraston mukaan infrastruktuurihankkeiden elinkaaripäästöjen määrittämisen ohjauksena hyödynnetään EN-standardeja. Tällä hetkellä standardien hyödyntäminen ei ole yrityksille pakollista, mutta niiden käyttö tarjoaa hyötyjä yrityksille. Standardien hyötyjä ovat niiden mukaisten menetelmien olemassaolo ja hyväksyttävyyt. Hyödyntämällä standardeja yritys säästää kustannuksissa, koska sen ei tarvitse kehittää täysin uusia ratkaisuja. Taulukossa 2 näytetään standardien käytön hyödyt väylähankkeessa eri sidosryhmille. (Miilunmäki, Pasanen 2017, s. 17, 23.)

Taulukko 2. Standardien noudattamisen hyödyt sidosryhmille

<i>Hyöty osapuolelle</i>	<i>Tilaja</i>	<i>Urakoitsija</i>	<i>Valmistaja</i>
<i>Valmis ja hyväksytty menetelmä</i>	X	X	X
<i>Tuotetietoa on valmiina saatavilla</i>	X	-	X
<i>Työkalut sekä osaaminen ovat olemassa</i>	X	X	X
<i>Sama malli kuin rakennuksille</i>	-	X	X
<i>Tulevaisuudessa mahdollisesti velvoittava</i>	X	-	-

Standardien ja lainsäädännön tunteminen on tärkeää. Ne määrittävät sen, millaiset toimet päästöjen vähentämiseksi ovat mahdollisia, mitä rajoitteita eri menetelmille on lainsäädännössä ja, millaiset ratkaisut ovat verotuksellisesti kannattavia. Koska eri valtioissa on toisistaan poikkeava lainsäädäntö, ovat eri menetelmät kannattavia eri valtioissa. Luvussa 2 tutustutaan eurooppalaisiin standardeihin, joiden avulla yritys voi kehittää ympäristöjärjestelmäänsä sekä kerätä, jaotella ja käyttää standardien avulla kerättyä tietoa laskentaperusteena. Luvussa käsitellään lisäksi päästökauppaa, ympäristölainsäädäntöä ja energiaverotusta Suomessa. Luvussa tutustutaan Norjan ja Ruotsin energialainsäädäntöihin ja verrataan niitä Suomen energialainsäädäntöön.

### 2.1 ISO 14001 -standardi organisaation ympäristöjärjestelmästä

ISO 14001 –standardi on tarkoitettu kaiken kokoisille ja toimialaisille yrityksille. Standardin avulla yritys kehittää ympäristöjärjestelmäänsä. Standardissa kuvataan organisaation ympäristöjärjestelmään liittyviä vaatimuksia, joiden avulla organisaatio voi vaikuttaa positiivisesti omaan toimintaansa, ympäristöön sekä eri sidosryhmiin. (ISO 14001 2015). Yrityksen ympäristöjärjestelmä on tukena päästöjen vähentämisessä. ISO 14001 –standardin avulla yritys voi liittää hiilidioksidipäästöjen vähennystavoitteensa omaan ympäristöjärjestelmäänsä.

Ympäristöjärjestelmää kehittämisen askeleet ovat:

1. Organisaatio tutustuu omaan toimintaympäristöönsä. Yritys määrittää itseensä vaikuttavat ympäristöasiat ja tunnistaa sellaiset ympäristönäkökohdat, joihin se pystyy itse vaikuttamaan.
2. Yritys määrittää ympäristöasioidensa kannalta tärkeimmät sidosryhmät ja tunnistaa näiden sidosryhmien tarpeet ja odotukset.
3. Yritys rajaa ympäristöjärjestelmänsä niin, että ympäristöjärjestelmä kattaa oleelliset näkökohdat ja tukee yrityksen tarpeita.
4. Ympäristöjärjestelmä muodostetaan edellisten kohtien toteutumisen jälkeen. Tämän jälkeen ympäristöjärjestelmä otetaan käyttöön. Yritys parantaa jatkuvasti ympäristöjärjestelmäänsä.
5. Yrityksen ylin johto sitoutuu ympäristöjärjestelmän noudattamiseen sekä laatii ja noudattaa tavoitteiden toteutumisen kannalta sopivaa ympäristöpolitiikkaa.
6. Organisaatiossa jaettavat vastuut ja roolit jaetaan ja tiedotetaan selkeästi.

Yritys määrittää itselleen ympäristötavoitteita, joiden kohdalla täyttyy seuraavat ehdot:

- tavoitteet ovat yhdenmukaisia ympäristöpolitiikan kanssa
- tavoitteet ovat mitattavia
- tavoitteiden toteutumista seurataan
- viestintä ympäristötavoitteista sekä niiden toteutumisesta suunnitellaan toimivaksi
- ympäristötavoitteet ovat ajankohtaisia.

Ympäristöjärjestelmässä käsiteltäviä ympäristönäkökohtia ovat päästöt ilmaan, veteen ja maaperään, raaka-aineiden, luonnonvarojen ja energian käyttäminen, vapautunut energia ja jätteen tai sivutuotteen muodostuminen. (ISO 14001 2015, s. 8, 13, 14, 17, 31). Ympäristöjärjestelmässä voidaan huomioida hiilidioksidipäästöjen vähennystavoitteet.

## **2.2 EN 15804 -standardi kestävästä rakentamisesta, rakennustuotteiden ympäristöselosteet**

Liikennevirasto on vertaillut erilaisia kasvihuonepäästöjen laskentaohjelmia. Laskentaohjelman avulla lasketaan tulevaisuudessa tiehankkeen hiilidioksidipäästöjä ja otetaan hiilidioksidipäästöt mahdollisesti hankintaperusteeksi. Liikenneviraston mukaan käytettävän laskentaohjelmiston tulee noudattaa EN 15804 -standardia. (Pasanen ja Miilunmäki 2017.) Koska Liikennevirasto tulee hyödyntämään EN 15804 -standardia hankintaperusteena tilaamissaan urakoissa, tulee urakoitsijoiden tuntea kyseinen standardi. Tällöin urakoitsijat osaavat keskittyä oikeisiin näkökohtiin suunnitellessaan omaa ympäristöjärjestelmäänsä ja keskittyvät oikeiden asioiden mittaamiseen pyrkiessään vähentämään kasvihuonepäästöjään.

EN 15804 -standardissa kuvataan rakennustuotteiden ympäristöselosteiden laadinnan yleissäännöt. Standardin noudattaminen varmistaa, että tehtävät ympäristövalinnat pohjautuvat tarkalle ja todenmukaiselle tiedolle. Standardia noudattamalla löydetään ympäristöselosteille sopivat mittarit, raportointitavat, yleissäännöt skenaarioiden laatimiseksi sekä saadaan laskenta-apua inventaarioanalyysin ja vaikutusarvointiin. Lisäksi määritetään elinkaaren vaiheet, jotka huomioidaan ympäristöselosteessa ja selvitetään, mitkä

prosessit kuuluvat kuhunkin elinkaaren vaiheeseen. Standardin avulla vertaillaan eri rakennustuotteita keskenään. (EN 15804 2013, s. 10.)

EN 15804 -standardin mukaan elinkaariarviointia tehdään erilaisilla tasoilla. Elinkaari jaetaan eri tarkastelumoduuleihin A1-A5, B1-B7, C1-C4 ja D, jotka esitellään taulukossa 3. Tuotteen valmistusvaihe, eli moduulit A1-A3, on näistä tasoista ensimmäinen. Tämä vaihe sisältää raaka-aineiden hankinnan, kuljetukset ja tuotteen valmistuksen. Valmistuksen lisäksi elinkaariarvioinnissa voidaan huomioida valittuja myöhempiä tuotannon vaiheita. Koko elinkaaren arviointitapauksissa käsitellään moduulit A1-C4 ja tarvittaessa moduuli D. A-D moduulit huomioitaessa arviointi kattaa valmistuksen, asennuksen, ylläpidon, kierrättämisen, jätteen hyödyntämisen sekä loppusijoituksen. Elinkaariarvioinnissa moduuleiden A1-A3 käsittely on pakollista (EN 15804 2013, s. 22, 28).

*Taulukko 3. Elinkaariarvioinnin moduulit*

<b>Moduuli</b>	<b>Moduulin kuvaus</b>
A1	Raaka- ja kierrätysmateriaalien hankinta ja käsittely. Tähän moduuliin sisältyy lisäksi sähköntuotanto, höyry ja lämpö sekä kierrätyspolttoaineiden tuotanto ja prosessointi.
A2	Kuljetus valmistukseen. Kuljetukset tuotantopaikalle sekä sisäiset kuljetukset.
A3	Valmistus. Apumateriaalit, esivalmisteet, tuotteet, sivutuotteet ja pakkaus.
A4	Kuljetukset työmaalle.
A4-A5	Tuotteiden varastointi, rakennustuotteiden ja -materiaalien hukka.
A5	Työmaatoiminnot.
B1	Käyttövaihe.
B2	Kunnossapitovaihe.
B3	Korjaus.
B4	Osien vaihto.
B5	Laajamittaiset korjaukset.
B6	Energian käyttö. Rakennuksissa tämä tarkoittaa esimerkiksi lämmitysjärjestelmää.
B7	Veden käyttö.
C1	Purkaminen.
C2	Purkuvaiheen kuljetukset.
C3	Purkujätteen käsittely uusiokäyttöä tai kierrätystä varten
C4	Purkujätteen loppusijoitus.
D	Informaatiomoduli. Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset. Uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä aiheutuvat, arvioidut nettovaikutukset.

EN 15804 -standardin mukaisessa elinkaariarvioinnissa käytetään rajauskriteerejä, joiden avulla elinkaariarvioinnista tulee tarkoituksenmukaisempi. Rajauskriteerit tulee esitellä tarkasti ja rajauksen enimmäismäärille on asetettu maksimiarvot. Rajauksen ulkopuolelle ei saa jättää tuote-, materiaali- tai energiaeriä, joiden määrät ja päästötiedot ovat saatavilla. Puuttuvat tiedot korvataan perustellulla ja dokumentoidulla yleisellä tai keskiarvotiedolla. Keskiarvotietoja tulee käyttää vähintään niistä prosesseista, joihin organisaatio voi vaikuttaa. Keskiarvotieto saa olla korkeintaan 5 vuotta vanhaa. Yleistä tietoa käytetään prosesseihin, jotka ovat yrityksen vaikutusmahdollisuuksien ulkopuolella. Yleisen tiedon ikä on korkeintaan 10 vuotta. (EN 15804 2013, s. 44, 46.)

## 2.3 Ympäristölainsäädäntö ja hankintalaki

Hiilidioksidipäästöjen huomioon ottaminen hankkeissa on mahdollista, koska lain julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista (1397/2016) toisen pykälän mukaan hankintaprosessi tulee järjestää niin, että ympäristö otetaan hankinnassa huomioon. Pykälän 93 mukaan hankintayksikkö voi asettaa ympäristönäkökohtia vertailuperusteeksi. Lain 95 pykälän mukaan, että hankintayksikkö voi käyttää elinkaarikustannuksia hankintaperusteena. Hankintakriteerit tulee ilmoittaa hankintailmoituksessa, tarjouspyynnössä tai neuvottelukutsussa. Perusteiden tulee olla selkeästi esitetty, jolloin tarjoaja pystyy yksilöimään ja todistamaan vaaditut tiedot vertailua varten. Pykälän 90 mukaan hankintayksiköllä on oikeus pyytää selvitystä ympäristövaikutusten hallintaan liittyvistä toimenpiteistä. Pykälässä 71 todetaan, että hankinnan kohdetta kuvaavat määritelmät tulee tehdä viittaamalla kansallisiin standardeihin, jotka tulevat eurooppalaisista standardeista. Eri-tyisen tärkeä standardi tierakentamisen kannalta on standardi EN 15804 (2014) Kestävä rakentaminen - Rakennustuotteiden ympäristöselosteet (Pasanen ja Miilunmäki 2017, s. 13).

Maankäyttö- ja rakennuslain (1999/132) tavoitteita ovat pykälän 12 mukaan ympäristöohjauksen kehittäminen niin, että kestävä kehitys, ympäristöhaittojen vähentäminen ja luonnonvarojen säästäminen otetaan huomioon. Laki ei ole ollut tarpeeksi selkeä näiden tavoitteiden osalta. Maankäyttö- ja rakennuslakia tullaan muuttamaan, ja lain tulevia suuntaviivoja ovat elinkaariajattelu sekä rakentamisen kestävä laatu. Uudistuksen valmistelussa on korostettu kansainvälisiä ilmastopimuksia ja hiilidioksidipäästöjen merkittävää vähentämistä. Ympäristöministeriön mukaan Suomen on siirryttävä vähähiiliseksi yhteiskunnaksi. Tulevaisuudessa nykyisen lain mukaiset ohjausmenetelmät tullaan kohdistamaan tarkemmin hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen ja ilmastomuutoksen hillintään. Lisäksi energiatehokkuutta sekä materiaalitehokkuutta tullaan tulevassa laissa korostamaan enemmän. (Ympäristöministeriö 2018, s. 3, 4, 6, 12.)

## 2.4 Energiaverotus Suomessa

Energiaverotus tarkoittaa nestemäisten polttoaineiden, sähkön, kivihiilen, maakaasun, polttoturpeen ja mäntyöljyn valmisteverotusta. Polttoainevero on nestemäisistä polttoaineista maksettava vero, johon sisältyy energiasäلتövero ja hiilidioksidivero. Energiasäلتövero pohjautuu polttoaineen lämpöarvoon ja hiilidioksidivero polttoaineen poltosta syntyviin hiilidioksidipäästöihin (Valtionvarainministeriö 2018). Nestemäisiä polttoaineita ovat raskas ja kevyt polttoöljy, moottoripolttoaine, biopolttoaine sekä lentobensiini (Tulli, 2015, s.1). Alla olevassa taulukossa 4 esitetään tämän diplomityön kannalta tärkeimpien polttoaineiden veromäärät (Vero 2018).

Taulukko 4. Nestemäisten polttoaineiden verotaulukko

<i>Tuote</i>	<i>Energiasisältö- vero (€)</i>	<i>Hiilidioksidi- vero (€)</i>	<i>Huoltovarmuus- maksu (€)</i>	<i>Yhteensä (€)</i>
<i>Etanolidiesel snt/l</i>	15,18	11,65	0,35	27,18
<i>Dieselöljy snt/l</i>	32,77	19,9	0,35	53,02
<i>Dieselöljy para snt/l</i>	25,95	18,79	0,35	45,09
<i>Biodieselöljy snt/l</i>	30,04	18,24	0,35	48,63
<i>Biodieselöljy P, T snt/l</i>	25,95	0,00	0,35	27,04
<i>Kevyt polttoöljy snt/t</i>	10,15	16,54	0,35	27,04
<i>Kevyt polttoöljy ri- kitön snt/l</i>	7,50	16,54	0,35	24,39
<i>Biopolttoöljy snt/l</i>	7,50	16,54	0,35	24,39
<i>Nestekaasu snt/kg</i>	9,58	18,74	0,11	28,43
<i>Bionestekaasu snt/kg</i>	9,58	18,74	0,11	28,43
<i>Bionestekaasu R snt/kg</i>	9,58	9,37	0,11	19,06
<i>Bionestekaasu T snt/kg</i>	9,58	0,00	0,11	9,69
<i>Raskas polttoöljy snt/kg</i>	8,56	20,08	0,28	28,92

Nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta annetun lain (1472/1994) yhdeksännen luvun kolmannessa kohdassa mainitaan polttoaineiden, jotka käytetään teollisessa tuotannossa raaka- tai apuaineena tai välittömästi ensikäytössä tavaran valmistuksessa, olevan valmisteverottomia ja huoltovarmuusmaksuttomia. Välittömällä polttoaineen ensikäytöllä tarkoitetaan sitä, että polttoaineen palaessa syntyvä liekki tai savukaasut koskettavat valmistettavaa tuotetta sitä valmistettaessa. Asfalttimassan valmistus luokitellaan välittömäksi ensikäytöksi. (Vero 2018b.)

## 2.5 Päästökauppalaki sekä laki biopolttoaineista ja –nesteistä

Päästökauppaa käsitellään päästökauppalaissa (2011/311). Lain luvun 1 ja asetuksen 1 mukaan lain tarkoituksena on edistää kasvihuonepäästöjen vähentämistä kustannustehokkaasti. Päästökauppalakea sovelletaan toimintaan, jossa polttoainetta poltetaan yli 20 megawatin kokonaislämpöteholla toimivissa laitoksissa. Päästökauppaa ei sovelleta laitokseen, jossa hyödynnetään energialähteenä biomassaa. (Finlex 2011.)

Päästökaupan piiriin kuuluva laitos tarvitsee päästöoikeuden (Energiavirasto 2018). Päästöoikeudella tarkoitetaan oikeutta päästää kasvihuonekaasuja ilmaan (Finlex 2011). Laitos saa ilmaisia päästöoikeuksia toimialasta riippuen. Ilmaisten osuuksien määrä on laskemassa ja päästöoikeuksien jako perustuu tulevana vuosina yhä enemmän huutokauppaan (Energiavirasto 2018).

Päästökauppaa ei sovelleta asfaltin valmistukseen silloin, kun asfalttiaseman kokonaislämpöteho ei ylitä 20 megawatin kokonaistehoa. Laitoksen lämpökapasiteettiin lasketaan

kuuluvaksi kaikkien laitoksen tai sen osien yksiköiden yhteenlaskettu lämpöteho. Kuitenkaan yksiköitä, joiden nimellinen lämpöteho on pienempi kuin 3 megawattia, ei oteta laskelmassa huomioon. (Finlex 2011.) Tällä hetkellä todennäköiseltä näyttää, että asfaltin valmistus ei tule kuulumaan päästökaupan piiriin päästökaupan neljännellä kaudella 2021–2030 (Eurooppa-neuvosto 2017).

Päästökauppalain 56 luvun mukaan bionesteiden ja biopolttoaineiden päästökerroin voidaan asettaa nollassa, jos bioneste ja biopolttoaine täyttää laissa säädetyt kestävyyskriteerit. Lain biopolttoaineista ja –nesteistä (2013/393) mukaan biopolttoaineen kasvihuonepäästöjen tulee olla vähintään 60 % pienemmät verrattuna korvattavan fossiilisen polttoaineen kasvihuonepäästöihin. Lisäksi kestävyyskriteereihin kuuluvat luonnon monimuotoisuuden liittyvien vaatimusten täytyminen. (Finlex 2013.)

## 2.6 Jätteen hallintaan liittyvä lainsäädäntö

Jätelain (2011/646) tavoitteena on vähentää jätteen määrää ja estää luonnonvarojen turhaa käyttöä. Jätelain avulla pyritään estämään ympäristön roskaantumista sekä varmistamaan, ettei jätteistä aiheudu vaaraa terveydelle tai ympäristölle. Jätteellä tarkoitetaan ainetta tai esinettä, joka on poistettu käytöstä, se tullaan poistamaan käytöstä tai se ollaan velvollisia poistamaan käytöstä. Lisäksi laissa on määritelmä sivutuotteelle. Sivutuotteella tarkoitetaan tuotetta, joka syntyy tuotantoprosessissa, jonka ensisijaisena tarkoituksena ei ole kyseisen tuotteen valmistaminen. Jätelakia ei sovelleta ilmaan laskettuihin päästöihin. (Finlex 2011b.)

Jätelaki määrittää etujärjestyksen jätteelle:

1. jätettä sekä sen haitallisuutta vähennetään
2. jäte valmistellaan uusiokäyttöön
3. jäte kierrätetään
4. jäte hyödynnetään muilla tavoin, kuten energiana
5. jäte loppukäsitellään.

Jätelain mukaan tuotteen valmistajan tulee huolehtia siitä, että tuotteen valmistamisessa raaka-aineita käytetään säästeliäästi, uusia raaka-aineita korvataan jätteellä tai jätteestä valmistetuilla tuotteilla. (Finlex 2011b.)

Jätteiden hyötykäytöstä säädetään tarkasti. Jätteen hyödyntämistä hankaloittavat ja hidastavat lupamenettelyt. Jätteiden ammattimaista hyödyntämistä varten yritys tarvitsee ympäristöluvan. (Heinonen 2017.) Ympäristöluvan hankkiminen on monivaiheinen prosessi, johon kuuluvat lupahakemuksen täyttäminen, kuuluttaminen, lausunnot, päätös, päätöksestä tiedottaminen, mahdollinen muutoksenhaku ja lainvoimainen päätös. Ympäristöluvan käsittely on maksullinen prosessi lupaa hakevalle. (Ympäristö 2018.) Jäteverolain (2010/1126) mukaan jätettä saa säilyttää sille kelpuutetulla säilytyspaikalla verottomasti kolmen vuoden ajan. Jos tämä määräaika ylitetään, määrätään maksettavaksi jätevero kaikista alueilla olevista jätteistä. (Finlex 2010.)

Valtioneuvoston asetuksessa jätteistä (2012/179) käsitellään rakennus- sekä purkujätteen määrän ja haitallisuuden vähentämistä. Asetuksen mukaan rakennushankkeen suunnittelusta ja toteutuksesta tulee huolehtia sillä tavalla, että käyttökelpoinen materi-

aali otetaan talteen tai käytetään uudelleen. Asetuksen mukaan rakennushankkeessa tulee pyrkiä mahdollisimman pieneen määrään rakennus- ja purkujätettä. Jätteen lajittelu tulee työmailla järjestää sillä tavalla, että mahdollisimman moni materiaaleista voidaan uudelleen käyttää tai kierrättää. Asetuksessa määritetään tavoite vuodelle 2020. Tavoitteen mukaan kyseisenä vuonna 70 painoprosenttia rakennus- ja purkujätteestä tulee hyödyntää muuten kuin energiana tai polttoaineena. Tavoite ei sisällä kallio- tai maaperästä irrotettuja maa- ja kiviaineksia tai vaarallisia jätteitä. (Finlex 2012b.)

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (843/2017) määrittelee edellytykset, joiden täyttyessä jäte voidaan hyödyntää maarakentamisessa ilman erillistä ympäristölupaa. Asetusta sovelletaan tiettyjen jätteiden ammatilliseen ja laitospäiseen hyödyntämiseen erikseen määritellyissä maarakennuskohteissa. Tällaisia asetuksen piiriin kuuluvia jätemateriaaleja ovat esimerkiksi betonimurske, kevytbetonijäte sekä kevytsorajäte. Näiden käyttö on sallittua esimerkiksi väylä- ja kenttärakenteissa. Lentotuhkat, pohjatuhkat ja leijupetihiekka kuuluvat asetuksen piiriin. Asfalttimursketta ja -rouhetta voidaan käyttää väylä- ja kenttärakenteissa. Asetukseen liittyy laadunvalvontatutkimuksia. Asfalttimurskeen ja rouheen ympäristökelpoisuutta ei tarvitse erikseen osoittaa. Jätteen hyödyntäminen ilman ympäristölupaa edellyttää seuraavaa:

1. maarakennuskohteessa olevan jätteen kerrospaksuus ei ylitä enimmäiskerrospaksuuksia
2. haitallisten aineiden pitoisuudet eivät ylitä säädettyjä raja-arvoja
3. laadunhallinta noudattaa säädettyä
4. jätettä sisältävä rakenne peitetään tai päällystetään lukuun ottamatta tuhkamurskeesta ja asfalttimurskeesta tai -rouheesta valmistettuja päällysteitä
5. rakennekerroksen etäisyys pohjavedestä on vähintään metri ja kaivoista sekä lähteistä 30m
6. sekoitettaessa jätteitä keskenään, tulee määriteltyjen raja-arvojen alittua. (Finlex 2017b.)

## 2.7 Ruotsin energia- ja hiilidioksidiverotuksen periaatteet

Ruotsissa maksetaan energia- ja hiilidioksidiveroa. Osa polttoaineista on vapautettu näistä veroista. Tällaisia verotuksesta vapautettuja polttoaineita ovat: biokaasu, eläin- ja kasvirasvoista valmistettu biodiesel, rypsiöljystä valmistettu biodiesel, rypsiöljy, soijaöljy, pellavaöljy sekä eläin- ja kasvirasvat. Verovapautukseen on mahdollisuus, jos joku edellä mainituista polttoaineista on ainesosana toisessa käytettävässä polttoaineessa. Polttoaineesta tulee olla päätös siitä, että se on kestävä kehityksen kannalta edullinen. Verovapautusta ei Ruotsissa voi saada biokaasusta, joka kulutetaan lämmitykseen. Eläin- ja kasvirasvasta sekä rypsiöljystä valmistetusta biodieselistä verovapaata on ainoastaan se osa, joka on valmistettu biomassasta. Synteettisestä dieseliä ei voida käyttää tai valmistaa verovapaasti. Ruotsissa verovapautusta voi hakea ainoastaan valtuutettu edunsaaja. Valtuutettu edunsaaja ei voi olla taloudellisissa vaikeuksissa. Yli 200 000 euron valtuutusta haetaan ilmoittamalla yritystyyppi, toimiala sekä maantieteellinen sijainti ruotsalaiselle verolaitokselle. (Skatteverket a.)

Edellä selostetussa tiettyjen polttoaineiden verovapautuksessa huomioon tulee ottaa Euroopan Unionin lainsäädäntö koskien valtiontukia. Ruotsin mukainen, valituista polttoaineista annettava 3 vuoden aikana yli 200 000 euron suuruinen veroalennus määritellään



valtiontueksi. Valtiontuet ovat lähtökohtaisesti Euroopan Unionissa kiellettyjä, koska ne voivat antaa kohtuutonta etua tuetun maan yrityksille suhteessa muiden jäsenmaiden yrityksiin. Tiettyjen toimintojen tukeminen on kuitenkin sallittua esimerkiksi verotusta muuttamalla. Valtionapu voidaan sallia ainoastaan tapauksessa, jossa se on yleisen edun mukaista. Ympäristöystävällisempien polttoaineiden tukeminen on tätä poikkeamaa noudattamalla sallittua Euroopan Unionin määräyksiä noudatettaessa. (Skatteverket b & Euroopan komissio 2012.)

Merkitystä ja värjätystä polttoöljystä ja dieselöljystä, joka sisältää tisleettä korkeintaan 85% kokonaistilavuudesta, maksettava energia- ja hiilidioksidiveromäärä kuutiolta on yhteensä 4161 kruunua vuonna 2018. Jos tisleettä on enemmän kuin 85% ja poltto- tai dieselöljy ovat merkkeamattomia tai värjäämättömiä, on vastaavien verojen määrä kuutiolta 5940 kruunua. Maakaasusta, jota käytetään moottoriajoneuvojen polttoaineena, maksetaan vastaavaa veroa 2465 kruunua/ 1000 m<sup>3</sup> ja muihin tarkoituksiin tulevasta maakaasusta energia- ja hiilidioksidiveroa maksetaan 3426 kruunua/1000 m<sup>3</sup>. (Skatteverket c.)

Yritykset, jotka valmistavat teollisuustuotteita, saavat veronalennusta energia- ja sähköverosta. Polttoaineen tai sähkön käyttämisen tulee olla suorassa yhteydessä tuotteen valmistukseen. Edellytyksenä verohelpotuksille on edellisten lisäksi se, että yritys on valtuutettu edunsaaja. Sähkön käytöstä on mahdollista saada 0,5 äyriä/kWh, jos käyttö ylittää 8000 kruunua kalenterivuodelta. Vuonna 2018 teollisuus saa 70% veroalennuksen energiaverosta. Aiempina vuosina vapautusta on saanut myös hiilidioksidiverosta, mutta ensimmäistä kertaa vuonna 2018 hiilidioksidiverosta ei saa hyvitystä. Näin ollen yritys maksaa alle 85% tisleestä koostuvasta, värjätystä ja merkitystä polttoöljystä ja dieselöljystä veroa 3552,7 kruunua/1000m<sup>3</sup> ja maakaasusta 2753,3 kruunua/1000m<sup>3</sup>. (Skatteverket c & d.)

## 2.8 Norjan energia- ja hiilidioksidiverotuksen periaatteet

Norjalainen lainsäädäntö pyrkii rajoittamaan raskaan polttoöljyn käyttöä. Norjan kaupungeissa Oslossa ja Drammennissa raskaan polttoöljyn käyttö on täysin kielletty. (Lovdata 2011.) Lainsäädännön ja muiden sidosryhmien takia Norjassa ei käytetä asfaltointiprosessissa ollenkaan raskasta polttoöljyä vaan vallitseva polttoaine on maakaasu. (Statens vegvesen 2014.) Norjassa maksetaan vaihteleva määrä hiilidioksidiveroa riippuen käytetävästä polttoaineesta (Norwegian petroleum 2018).

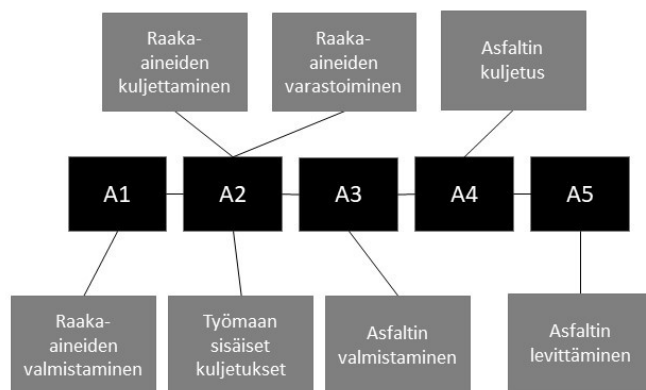
Alla olevassa taulukossa 5 esitetään joitain hiilidioksidiveroja norjalaisessa lainsäädännössä (Regjeringen 2017). Taulukossa esitetyistä veromääristä nähdään, että norjalainen verolainsäädäntö kannustaa vähäpäästöisempien polttoaineiden käyttöön.

Taulukko 5. Energialainsäädäntö Norjassa

<i>CO<sub>2</sub>-vero</i>	<i>Hinta (Norjan kruunua)</i>
<i>Bensiini kr/litra</i>	1,16
<i>Maakaasu kr/m<sup>3</sup></i>	1,06
<i>LPG kr/m<sup>3</sup></i>	1,5
<i>Kalaöljy kr/l</i>	0,29

### 3 Asfaltointiprosessi

Asfaltin valmistusprosessi jaetaan standardin EN 15805 (2013) mukaisiin moduuleihin. Alla olevassa kuvassa 2 esitetään asfaltoinnin moduulit. Moduuliin A1 kuuluu kiviaineksen ja bitumin osto raaka-ainetoimittajalta. Moduuli sisältää kiviaineksen ja sideaineen kuljetuksen asfalttiasemalle kuorma-autolla. Moduuliin A2 kuuluu raaka-aineiden varastointi. Asfalttimassan valmistamiseen tarvittavat raaka-ainemateriaalit sekä polttoaine varastoidaan asfalttiaseman läheisyyteen. Kiviaines varastoidaan varastokasaan tai kuljetetaan suoraan vastaanottosiiloihin. Bitumi ja polttoaine varastoidaan tankkeihin. Asfalttimassan valmistus kuuluu moduuliin A3. Käytettäviä materiaaleja prosessoidaan tarvittaessa. Mahdollisen prosessoinnin jälkeen ne annostellaan tehtävälle massalle sopivan suhteituksen mukaan. Tämän jälkeen asfalttimassa sekoitetaan. Tätä vaihetta seuraa valmiin tuotteen mahdollinen varastoiminen. Tämän jälkeen valmis tuote kuljetetaan levitystyömaalle. Työmaalle kuljetus kuuluu moduuliin A4. (Peinado ym. 2011, s. 1040; Pöyry 2010, s. 29.) Levitystyömaalla massa levitetään ja tiivistetään (Rubio ym. 2012). Asfaltin levittäminen ja tiivistäminen kuuluvat moduuliin A5.



Kuva 2. Asfaltoinnin moduulit A1–A5

#### 3.1 A1 raaka-aineiden hankinta ja A2 raaka-aineiden varastointi ja kuljetus

Asfalttimassa koostuu karkeasta ja hienosta kiviaineksesta, filleristä sekä bitumisesta sideaineesta. Näiden lisäksi asfaltti voi sisältää lisäaineita. (SFS-EN 13108-8 2016, s. 6.) Päälysteissä käytetty kiviaines jaetaan kahteen luokkaan:

- sora- ja hiekka
- kalliokiviainekset.

Sora koostuu useista eri kivilajeista. Kalliokiviainekset louhitaan ja murskataan peruskalliosta, joka saadaan toiminnalle tarkoitettulta ottoalueelta tai esimerkiksi teollisuustonttien louheesta tai tielinjojen louheesta. (Pank 2011d, s. 11.) Kiviaines kuljetetaan murskaamisen jälkeen asfalttiasemalle. Asfalttiasemalla kiviaineslajikkeet varastoidaan varastokasoihin. Varastoimisessa huomioitavaa on se, etteivät eri lajikkeet saa sekoittua keskenään. Kiviaineksen kasaus suoritetaan 0,5–1 m kerroksittain. (Pank ry. 2011a, s. 2, 3, 13.)

Asfalttirouhe on asfalttimassan raaka-aineeksi sopivaa murskattua tai jyrskyttä asfalttia (Pank ry. 2011b, s. 39). Vanhasta tiestä jyrskitään asfalttia osittain tai kerroksittain (Zaumanis, Mallick ja Frank 2014, s. 240). Uudelleen käyttöön tulevaa asfalttia murskataan ja säilötään ennen uuteen massaan lisäämistä (West, Willis & Marasteanu 2013, s. 5). Asfalttirouhetta käsitellään kuten uutta materiaalia eli se varastoidaan kasoihin ja erotetaan muista materiaaleista. Jyrskyttä asfalttia prosessoidaan ja jaetaan eri lajikkeisiin. Prosessin jälkeen asfalttirouhe syötetään asfaltin valmistusprosessiin. (Zaumanis, Mallick ja Frank 2014, s. 240.)

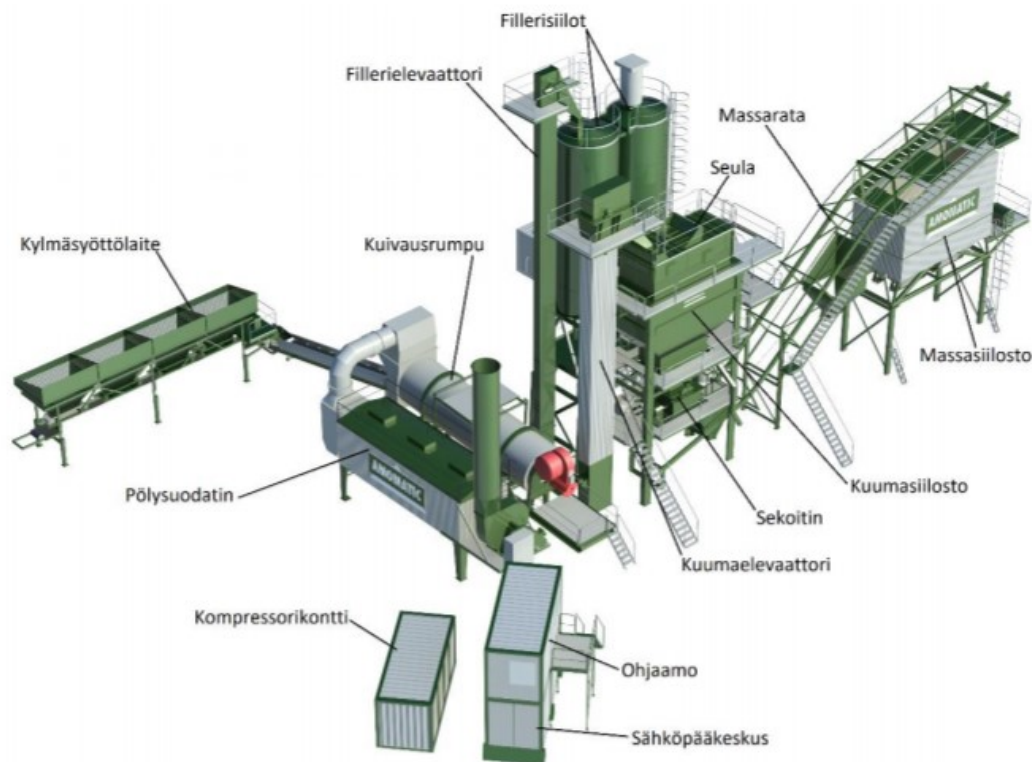
Asfalttimassa sisältää kahdesta eri lähteestä tulevaa hienoainesta: runkokiviaineksen mukana tulevaa hienoainesta ja erikseen lisättävää hienoainesta. Massan joukkoon lisätään mineraalikiiviaineksesta koostuvaa hienoainesta, joka on raekooltaan pienempää kuin 0,063 mm. Lisäksi asfalttimassassa on välilajitetta, joka on koostumukseltaan 0,063–2 mm. Aseman pölysuodattimesta saatavaa suodatinpölyä käytetään asfalttimassan täyteaineena. (Pank Ry. 2011d, s. 17.) Hienoaines säilytetään asfalttiasemalla lieriön muotoisessa täytejauhesäiliössä (Pank Ry. 2011a, s. 9).

Lisäaineita lisäämällä parannetaan asfalttipäällysteen toiminnallisia ominaisuuksia tai saavutetaan teknillisesti ja taloudellisesti optimaalinen päällyste. (Pank ry 2011b, s. 37.) Asfalttimassaan lisättäviä lisäaineita ovat kuidut, tartukkeet, luonnonasfaltit ja väriaineet (Pank ry. 2011d, s. 21). Lisäaineet kuljetetaan asfalttiasemalle ja ne varastoidaan siellä.

Bitumituotteita ovat tiebitumit, puhalletut bitumit, polymeerimodifioidut bitumit, kumi-bitumi, bitumiliuokset, bitumiemulsiot ja fluksi (Pank ry. 2011d). Asfalttipäällysteen sideaineena käytetään bitumia, polymeerimodifioitua bitumia, bitumiliuoksia tai bitumiemulsiota (Pank ry 2011b, s. 29). Bitumia valmistetaan maaöljyn jakotislauksen pohjatuotteesta. Bitumi on koostumukseltaan monimutkainen kemiallinen yhdiste. (Lehtimäki 2012, s. 13.) Se on seos, joka sisältää suuren määrän eri hiilivetyjä. Hiilivetyjen suurimolekyylisiä osia kutsutaan asfalteeneiksi. Asfalteenit ovat bitumin valmistamisen kannalta kriittisimmät komponentit. (Pank 2011d.) Bitumi ostetaan toimittajalta ja se kuljetetaan säiliöautolla asfalttiasemalle. Asfalttiasemalla bitumi siirretään sideainesäiliöön. Sideainesäiliö on lämpöeristetty säiliö, johon on liitetty kuumennuslaitteisto. Kuumennuslaitteisto on öljy-, kaasu- tai sähkölämmiteinen. Säiliöiden yhteydessä on siirtopumput ja -putkistot. (Pank ry. 2011a, s. 8, 9.) Asfaltissa käytetyn sideaineen tulee olla tasa-laatuista ja sideaineella tulee olla CE-merkintä. (Pank ry 2011b, s. 29.)

### **3.2 A3 Asfaltin valmistus**

Asfalttibetonien valmistamiseen käytetään Suomessa annosasemia sekä jatkuvatoimisia asfalttiasemia. Annosasemat ovat näistä kahdesta asematyypistä yleisempiä. Asfalttiasemat jaetaan kiinteisiin ja siirrettäviin asemiin. (Pank ry. 2011a, s. 1.) Kiinteällä asfalttiasemalla tarkoitetaan asfaltin valmistusasemaa, jossa asfaltin valmistuskalusto on sijoitettu kiinteästi asemapaikalle. Liikkuvalla asemalla tarkoitetaan asemaa, jonka asfaltin valmistukseen käytettävä laitteisto on mahdollista siirtää valmistuspaikalta toiselle. (Finlex 2012.) Asfalttiasemaa ohjataan käsikäyttöisesti, puoliautomaattisesti tai automaattisesti (Pank ry. 2011a, s. 2, 3, 13).



Kuva 3. Asfalttiaseman osat lukuun ottamatta bitumisäiliöitä (Amomatic)

Asfaltin valmistusprosessi alkaa siitä, että kiviaines siirretään varastokasasta asfalttiasemalle. Kiviainesta otetaan useasta eri kasan kiviaineskerroksesta. Varastokasoissa säilytettävä kiviaines siirretään asfalttiaseman tehoon ja kuljetusmatkaan mitoitettulla kauha-kuormaajalla syöttölaitteen siloihin. Syöttösilon alla on lamelli-, hihna- tai tärysyötin. Syöttölaitteet syöttävät lajiketta hihnakuljettimelle, jolla lajikkeet kuljetetaan kuivausrumpuun. Säännöstely hihnakuljettimelle perustuu syöttöaukkojen säätöön. (Pank ry. 2011a, s. 2-3, 13.)

Asfalttiasemalla kiviaines syötetään kuivausrumpuun, jossa kiviaines lämmitetään asfalttimassalle vaadittavaan lämpötilaan (Pank ry. 2011a, s. 1). Asfalttimassan lämpötila riippuu käytettävästä bitumista. Käytettävät lämpötilat esitetään alla olevassa taulukossa 6. (Pank ry. 2017, s. 35.) Kuuma asfalttimassa sekoitetaan ja levitetään yleensä 150 celsiusta suuremmassa lämpötilassa (Rubio ym. 2013 s. 1).

Taulukko 6. Asfalttinormien mukaiset maksimilämpötilat eri bitumeille

Bitumin luokka	Lämpötila (°C)
35/50	190
50/70	180
70/100	180
100/150	170
160/220	165
250/330	160
330/430	155
500/650	140

Kuivausrumpu koostuu varsinaisesta rummusta, pyöritys- ja kannatuslaitteista sekä polttimesta (Pank ry. 2011a, s. 5). Perinteisesti rummun polttimien polttoaineena käytetään öljyä, kaasua tai raskasta polttoöljyä (Amomatic 2018). Edellisten lisäksi biopolttoaineiden hyödyntäminen on mahdollista. Markkinoilla on tekniikoita, joiden avulla rummun polttimen käyttämää polttoainetta voidaan vaihtaa polttoaineesta toiseen. Vaihto tapahtuu ohjauspaneelista, jonka avulla ilman ja polttoaineen suhde säädetään sopivaksi valitulle polttoaineelle. (Benninghoven 2018.) Rummun toiminnassa on viisi vaihetta: täyttö-, kuivaus-, kuumennus-, lämmöntasaus- ja purkuvaiheet (Pank ry 2011a, s. 5). Pyörimisnopeutta säädetään taajuusmuuttajalla (Amomatic 2018). Rummun toimintaan sekä kiviaineksen ja savukaasujen lämpötilaan vaikuttavat kourujen sijoittaminen, kunto ja muoto sekä imurin ja polttimen säädöt. Kuivausrumpuun syötetään ilmaa, jonka mukana kulkeutuu hienoa kivipölyä. Myös myöhemmissä massan valmistuksen vaiheissa syntyy pölyä. Kivipöly erotetaan myöhempää käyttöä varten erillisellä polynpoistolaitteistolla. (Pank ry 2011a, s. 5, 12.)

Kuivausrummun jälkeen kuuma kiviaines seulotaan ja varastoidaan siiloihin. Sekoittajaan annostellaan siiloista oikeat määrät kutakin kiviaineslajiketta ja lisätään lisätäytejauhe eli kalkkifilleri ja syklonipöly. (Pank ry. 2011a, s. 1.) Täytejauhe kuljetetaan lieriösäiliöistä kuljettimella sekoittimeen (Pank ry. 2011a, s. 9). Kiviaineksen kuumaseulonta suoritetaan vähintään kolmeen lajitteeseen (Tiehallinto 2002, s. 16). Karkearakeisten SMA-massojen valmistamisen yhteydessä kiviaines kuumaseulotaan vähintään neljäksi lajitteeksi (Pank ry 2011c, s. 4). Sekoittimeen lisätään lämmitetty sideaine. Sekoituslämpötilaa tulee noudattaa. Levitysprosessilla ja kuljetusmatkalla on vaikutusta sekoituslämpötilaan. Massan sekoittamisen jälkeen valmis asfalttimassa pudotetaan suoraan kuljetusautoon tai se siirretään kuljettimen avulla kuumamassasiilon, josta se myöhemmin siirretään kuljetusautoon. (Pank ry. 2011a, s. 1, 11.)

Asfalttimassan joukkoon on mahdollista lisätä murskattua vanhaa asfalttipäällystettä eli asfalttirouhetta. Annosperiaatteella toimivalla asfalttiasemalla, jossa asfalttirouheelle ei ole erillistä annostelu- ja kuumennuslaitteistoa, saavutetaan normaalisti alle 30 % kierrätysaste (Pank ry. 2011c, s. 9). Asfalttimassan suhteutusta muuttamalla rouheprosenttia on mahdollista nostaa. Käytettävän rouheen kiviaines tulee tunnistaa ja rouhetta tulee käyttää oikeassa suhteessa verrattuna uuden kiviaineksen suhteutukseen. Lisäksi sideaine tulee uuttaa ja sen koostumus tarkistaa. Uutta sideainetta tulee lisätä massaansa sopivassa suhteessa (Zaumanis, Mallick ja Frank 2014, s. 237).

Markkinoilla on useita järjestelmiä, joilla rouhetta lisätään asfalttimassaan. Tällaisia menetelmiä ovat esimerkiksi rouheen lisääminen keskisyöttörengaasta, rouheen lisääminen suoraan asfalttimassaan ja rouheen lisääminen rinnakkaisrumpulla (Amomatic 2018b). Teoreettisesti rouheen määrää on mahdollista vastavirtakuivaajalla lisätä 100 %:iin. Käytännössä näin suuria uudelleenkäyttöprosentteja ei tällä hetkellä hyödynnetä. Seuraavat prosenttiosuudet ovat esimerkkejä valmistajan erilaisten kierrätysjärjestelmien maksimaalisista kierrätysprosentteista. Rinnakkaisrumpujärjestelmän avulla rouhetta on mahdollista lisätä noin 60 %. Välisyöttörengaalla maksimirouheprosentti on noin 40 %. Kylmänä maksimirouheprosentti on noin 25–40 % tekniikasta riippuen. (Ammann a.)

### 3.3 A4 Asfalttimassan kuljetus työmaalle ja A5 asfaltin levitystyömaan toiminnot

Moduuli A4 sisältää asfaltin kuljetuksen levitystyömaalle. Asfalttimassan kuljetus sisältää seuraavat vaiheet:

- asfaltin kuormaaminen asemalla
- kuljetus (Pank 2011e, s. 1.)

Asfalttimassa kuljetetaan asfaltin kuljetusautolla asfalttiasemalta asfaltointityömaalle (Vasama 2007, s. 25). Kuljetukseen käytetään asfalttimassan kuljetukselle sopivaa, lajitumista estävää pyöreäpohjaista lavaa (Pank 2018a, s. 1).

Moduuli A5 sisältää työmaatoiminnot eli asfaltin levityksen. Asfaltin levitys jaetaan kolmeen vaiheeseen:

- asfalttimassan purku kuljetusautosta levittimeen
- asfalttimassan levitys
- asfalttimassan tiivistys.

Asfalttimassa levitetään levittimellä. Levitintyyppinä ovat pyöräalusta- ja tela-alustalevittimet. Levitin koostuu traktori- ja palkkiyksiköistä. Levitys tulee suorittaa niin, ettei levitin pysähdy missään vaiheessa. Levittimille suositeltava nopeus on 4–9 metriä minuutissa (Pank 2018b). Levityksen jälkeen massa tiivistetään. Tiivistämisessä käytetään oikeanlaista jyräyskalustoa. Päälystyskapasiteetti, päälystetyyppi, päälystepaksuus, lämpötila ja tuulen määrä vaikuttavat siihen, millaisia ominaisuuksia jyriltä vaaditaan. Nämä määrittävät jyrrien lukumäärän, tyyppin ja painon. Jyräysmatka mitoitetaan massan lämpötilan ja jäähtymisen mukaan. Alla olevassa taulukossa 7 kuvataan olosuhteiden vaikutusta jyräämisnopeuteen eri asfaltin paksuuksilla. (Pank 2018c.)

Taulukko 7. Olosuhteiden vaikutus asfaltin jäähtymiseen (Pank ry 2018c)

<i>Ilman lämpötila (°C)</i>	<i>Tuulen nopeus (m/s)</i>	<i>Jäähtymisaika (155 °C–75 °C), kerros- paksuus 50 kg/m<sup>2</sup></i>	<i>Jäähtymisaika (155 °C–75 °C), kerros- paksuus 80 kg/m<sup>2</sup></i>	<i>Jäähtymisaika (155 °C–75 °C), kerros- paksuus 100 kg/m<sup>2</sup></i>
5	0	7,5	18	28
5	10	5	12	19
15	0	8,5	20	30
15	10	6	14	21
25	0	9,5	24	34
25	10	6,5	15	22

## 4 Hiilidioksidipäästöjen laskennan periaatteet ja vähentämisen menetelmät asfaltointiprosessissa

Tässä luvussa käsitellään päästölaskennan ja elinkaariarvioinnin periaatteita sekä kuvataan asfaltointiprosessissa syntyvät päästöt. Luvussa esitetään menetelmiä, joiden avulla päästöjä voidaan asfaltointiprosessista vähentää.

### 4.1 Elinkaariarviointi (LCA)

Elinkaariajattelu tarkoittaa koko tuotteen elinkaaren vaikutusten arviointia ekologisesta, ympäristöllisestä ja taloudellisesta näkökulmista arvioituna (Ympäristöministeriö 2018, s. 12). Elinkaariarviointi (LCA) on tapa arvioida projektin kokonaisympäristövaikutuksia (Eskola ym. 1999, s. 14). Elinkaariarvioinnin avulla selvitetään tuotteen valmistamiseen käytettävät resurssit (Suomen ympäristökeskus 2017, s. 1). Elinkaariarviointia hyödynnetään useassa yritystoiminnan osa-alueessa. Sen avulla huomioidaan ympäristövaikutukset hankinnassa, tuotteen käyttöönotossa ja tuotteen suunnittelussa. Elinkaariarvioinnilla tunnistetaan tuotteen ympäristövaikutukset ja arvioidaan vaikutuksien voimakkuutta. Elinkaariarvioinnilla kehitetään yrityksen tuotantoprosessia vähemmän energiaa kuluttavaksi ja tehostetaan resurssien käyttöä. (Suomen ympäristökeskus 2017, s. 2.)

Elinkaariajattelussa tuotteen elinkaarenvaiheet jaetaan osiin:

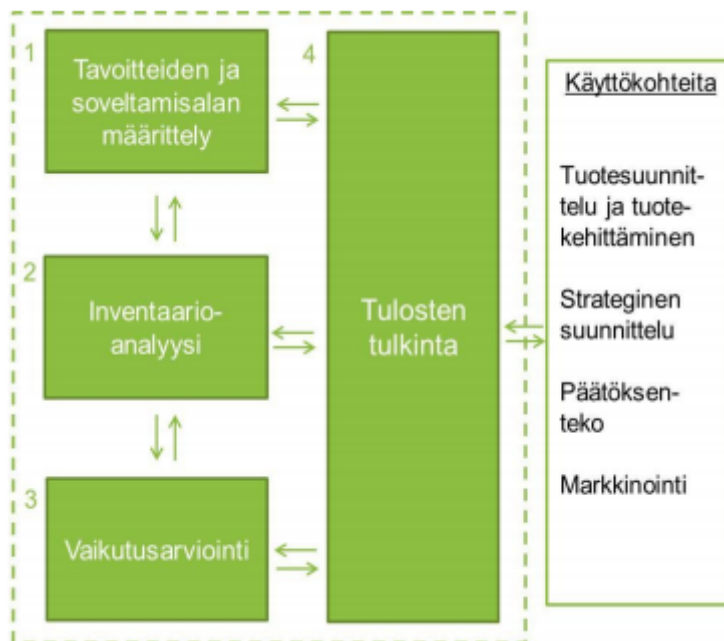
- raaka-aineiden hankkiminen
- kuljetukset
- tuotteen valmistaminen
- tuotteen käyttö
- tuotteen kunnossapito
- tuotteen käytöstä poisto (EN 15804 2013, s. 22, 28).

Laskennassa huomioidaan tuotteen elinkaari materiaalin hankinnasta ja tuotteen valmistamisesta käyttöönottoon ja lopulta tuotteen hävittämiseen. Tuotteen elinkaariarvioinnin avulla etsitään keinoja tuotteen ympäristövaikutuksen pienentämiseksi (SFS-EN ISO 14040 2006, s. 8, 22). Elinkaariarvioinnissa huomioitavia ympäristövaikutuksia ovat esimerkiksi ilmaston lämpeneminen, rehevöityminen ja happamoituminen (Pasanen ja Miihlumäki 2017, s. 11).

Elinkaarianalyysi koostuu useista vaiheista, jotka ovat tavoitteiden rajaaminen ja määrittely, inventaari sekä parannusmahdollisuuksien arviointi (Eskola ym. 1999, s. 14). Vaiheet ovat esitetty kuvassa 4. ISO 14040 standardi lisää viimeiseksi vaiheeksi tulkintavaiheen. Keskeisiä näkökohtia elinkaariarvioinnissa ovat:

- Koko tuotteen elinkaaren ympäristövaikutukset määritetään ja arvioidaan systemaattisesti.
- Elinkaariarvioinnin tarkkuus ja laajuus vaihtelevat projekteittain, jolloin elinkaariarvioinnin taso valitaan tarkasteltavalle projektille tarkoituksenmukaiseksi.
- Ennen elinkaariarvioinnin arviointia sovitaan luottamuksellisista ja käyttöoikeuksiin liittyvistä ehdoista.
- Niihin tutkimuksiin, joita käytetään julkiseen vertailuun, sovelletaan tiukempia vaatimuksia. Tällöin käytettyjen lähtöarvojen ja tulosten täytyy olla hyvin perusteltavissa.

- Elinkaariarviointiin ei ole olemassa yhtä, oikeaa menetelmää. Elinkaariarviointi voidaan suorittaa ISO 14040 standardin ja organisaation asettamien vaatimusten mukaisesti.
- Elinkaariarvioinnissa käsiteltävänä ovat potentiaaliset ympäristövaikutukset.
- Tutkimustapa on suhteellinen, jolloin elinkaariarviointi ei kerro todellisia tai tarkkoja ympäristövaikutuksia.
- Vaikutustenarvioinnin yhteydessä on mahdollista muodostaa kokonaiskuva tuotteen liittyvistä ympäristökysymyksistä.
- Yhden, yksiselitteisen vastauksen löytäminen ei ole tieteellisesti mahdollista. Laskennan tulokseen vaikuttavat arvovalinnat.
- Elinkaarianalyysin tulosten tulkinta tapahtuu järjestelmällisesti.
- Elinkaaren määrittämisessä käytetään iteratiivisia menetelmiä. (SFS-EN ISO 14040 2006, s. 8, 24.)



Kuva 4. Elinkaariarvioinnin vaiheet (SYKE 2017, s. 3)

Hiilijalanjäljeksi kutsutaan ilmaston lämpenemisen tarkkailuun keskittyvän elinkaariarvioinnin tulosta (Pasanen, Miilunmäki 2017b, s. 9.) Hiilidioksidin lisäksi elinkaariarvioinnissa voidaan huomioida muut kasvihuonekaasut. Muita kasvihuonekaasuja ovat metaani, dityppioksidi sekä tietyt halogenoidut hiilivedyt. (Tilastokeskus 2013.) Kasvihuonekaasujen vaikutusta verrataan toisiinsa laskemalla CO<sub>2</sub> -ekvivalenttipäästöjä, jolloin kasvihuonekaasun vaikutus suhteutetaan vastaamaan hiilidioksidista syntyviä päästöjä (Aulankoski ym. 2014, s. 16). Koko tuotteen elinkaaren kattavan arvioinnin lisäksi on mahdollista tehdä yksinkertaistettuja elinkaariarviointeja, jolloin laskenta keskittyy tiettyyn osaan tai tiettyyn päästöön (Ympäristö 2013).

## 4.2 Päästöjen laskenta ja kertoimet

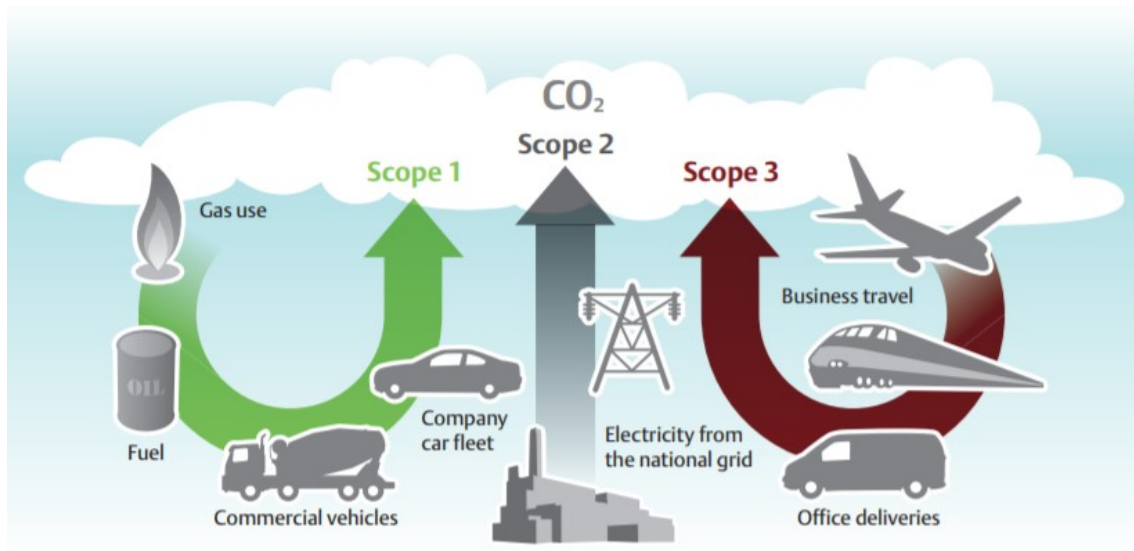
Päästöjä määritettäessä rajataan, minkä kokonaisuuden päästöt lasketaan. Yrityksen tuotamat päästöt jaetaan suoriin päästöihin, epäsuoriin päästöihin ja päästöihin, joihin yritys



ei tuotantoprosessissaan pysty vaikuttamaan. Kuvassa 5 esitetään yrityksen päästölähteet. Rakennusyrityksen päästölaskennassa seuraavien vaatimusten täytyy toteutua:

- kerättävä ja laskennassa käytettävä tieto on laskennan kannalta relevanttia
- laskenta kattaa yrityksen tuottamat hiilidioksidipäästöt kokonaan
- laskenta on johdonmukaista, jolloin rajaukset, menetelmät ja laskenta dokumentoidaan ja eri laskennan tulokset ovat vertailukelpoisia
- päästölaskenta on läpinäkyvää, jolloin tehdyt oletukset ilmoitetaan selkeästi
- kirjanpito ja laskentamenetelmät ovat kirjattu huolellisesti
- tietojen tarkkuus varmistetaan
- laskennan epävarmuustekijät minimoidaan.

Tulosten käyttäminen päätöksiä tukena edellyttää edellisten kriteerien toteutumista. (ENCORD 2012, s. 7.)



Kuva 5. Yrityksen päästölähteet jaoteltuna. Scope 1: suorat päästölähteet, Scope 2: epäsuorat päästölähteet ja Scope 3: päästölähteet, joihin yritys ei pysty vaikuttamaan (ENCORD 2012, s. 7)

Yrityksen hiilineutraaliteetin tavoittelun vaiheet ovat:

1. Suorien kasvihuonepäästöjen vähentäminen. Tässä vaiheessa vähennetään omista polttoainekattiloista tai ajoneuvoista syntyviä päästöjä.
2. Tuotannon epäsuorien, energiaperäisten kasvihuonepäästöjen vähentäminen. Nämä hiilidioksidipäästöt ovat peräisin esimerkiksi ostoenergiasta. (Ilmastopaneeli 2014, s. 13.) Ostoenergialla tarkoitetaan energiaa, joka hankitaan sähköjakeluverkosta, kaukolämpöverkosta, kaukojäähdytysverkosta, uusiutuvan polttoaineen energiasta tai fossiilisen polttoaineen energiasta (FINLEX 2017).
3. Kohtaan kaksi kuulumattomien päästöjen vähentäminen. Vaiheen kolme päästöjen syntymiseen yritys voi itse vaikuttaa.
4. Sellaisten päästöjen kompensointi, joita ei voida poistaa edellisissä vaiheissa 1–3. (Ilmastopaneeli 2014, s. 13.)

Päästöjen laskennan periaate on selvittää tuotantopanosten ja -suoritteiden määrät, käytetty energia sekä kuljetukset. Panoksella tarkoitetaan materiaaleja ja energiaa, jotka vie­dään prosessiin. Esimerkiksi raaka-aineet ja tuotteet ovat panoksia (Säynäjoki, Heinonen ja Junnila 2011 s. 9). Laskennassa huomioidaan kaikki materiaalivirrat prosessin sisään ja prosessista ulos, energiankulutus ja kuljetukset (Claro 2010, s. 3). Panokset määritetään jakamalla projekti rakennusosiin ja osittamalla rakennusosat panoksiksi. Panokset jaotellaan materiaali-, kuljetusajoneuvo- ja työkonapanoksiksi. Materiaalipanokset määritetään määrien ja valmistusmateriaalien mukaan ja kuljetuspanokset sekä työpanokset määrien ja konetyyppien mukaan. Panoksille ja suoritteille selvitetään päästökertoimet. Päästökerroin kuvaa työsuoritusyksikön aiheuttamia hiilidioksidipäästöä. Työpanos kerrotaan päästökertoimella, jolloin tulos on laskettavana olevan aktiviteetin aiheuttamat päästöt. Eri osa-alueiden päästöt summataan yhteen, jolloin saadaan koko prosessin aiheuttamat päästöt. (Aulankoski ym. 2014, s. 10, 15.)

Päästökerroin määrittää hiilidioksidipäästöjen määrän yksikköä kohden (Claro 2010, s. 4). Päästökertoimet ovat eri yksiköissä riippuen panoksesta. Esimerkiksi VTT:n LI-PASTO (2017), eli Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä, määrittää ajoneuvojen päästökertoimet muodossa grammaa hiilidioksidia per kilowattitunti ( $\text{g CO}_2/\text{kWh}$ ) ja grammaa hiilidioksidia per litra ( $\text{g CO}_2/\text{l}$ ). Tilastokeskus ilmoittaa polttoaineiden päästökertoimet muodossa tonnia hiilidioksidia per terajoule ( $\text{t CO}_2/\text{TJ}$ ) (Tilastokeskus 2018). Muita käytettyjä yksiköitä ovat esimerkiksi kilogrammaa hiilidioksidia per metri ( $\text{kg CO}_2/\text{m}$ ), kilogrammaa hiilidioksidia per kilogramma ( $\text{kg CO}_2/\text{kg}$ ), kilogrammaa hiilidioksidia per kuutio ( $\text{kg CO}_2/\text{m}^3$ ), kilogrammaa hiilidioksidia per neliö ( $\text{kg CO}_2/\text{m}^2$ ), kilogrammaa hiilidioksidia per tunti ( $\text{kg CO}_2/\text{h}$ ) ja kilogrammaa hiilidioksidia per kappale ( $\text{kg CO}_2/\text{kpl}$ ) (Aulankoski ym. 2014). Päästökertoimien arvoja käsitellään enemmän luvussa 5.

Rakennusprojektin hiilidioksidipäästöjä laskettaessa huomioidaan kaikkien projektilla käytettyjen koneiden ja tuotantolaitosten käyttämät polttoainemäärät polttoainetyypeit­tein. Polttoainemäärät ilmaistaan esimerkiksi yksiköissä kilowattitunti (kWh), kilo­gramma (kg), kuutio ( $\text{m}^3$ ) tai litra (l). Polttoaineenkulutuksen ilmoittaminen perustuu to­delliseen tietoon, kuten ostetun polttoaineen määrä. Jos tällaista tietoa ei ole saatavilla, käytetään arviota polttoaineenkulutuksesta. Arviointi perustuu esimerkiksi koneiden tai laitteiden tehoon, työaikaan ja koneen tehokkuuteen. Prosessia tukevien toimitilojen päästöt otetaan huomioon laskennassa. Erilaiset hajapäästöt, kuten ilmastointilaitteiden aiheuttamat päästöt määritetään. Päästölaskennassa huomioidaan toimitilojen sekä raken­nusprosessin sähkönkulutukset. Myös kaukolämpö ja ajoneuvojen polttoainekulutus ote­taan laskennassa huomioon. Laskennassa voidaan määrittää julkisen liikenteen päästöt, aliurakoitsijoiden aiheuttamat hiilidioksidipäästöt hankkeessa, jätteen aiheuttamat hiilidi­oksidipäästöt ja raaka-ainemateriaalien päästöt. Tärkeitä materiaalipäästöjä ovat bitumi­sista tuotteista ja sementin valmistuksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt. (ENCORD 2012, s. 25.)

### **4.3 Kuvaus asfaltin valmistuksessa syntyvistä hiilidioksidipäästöistä**

Asfaltin valmistuksen moduuleissa A1–A5 syntyy hiilidioksidipäästöjä. Raaka-ainema­teriaalien sekä valmiiden tuotteiden kuljetukset vapauttavat päästöjä. Kiviaineksen siirtä­miseen käytettävien pyöräkuormaajien, valmista massaa sekä raaka-aineita kuljettavien

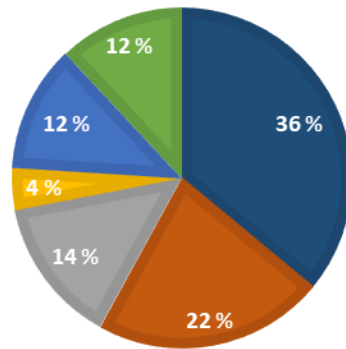
kuorma-autojen ja asfaltin levittämiseen käytettävien työkoneiden päästöt aiheutuvat polttoaineena käytettävistä keskiraskaista öljyistä eli dieselistä tai kevyestä polttoöljystä. Polttoaineen polttaminen asfalttiaseman rummussa vapauttaa hiilidioksidipäästöjä. (Peng et al. 2015.) Polttoaineena käytetään esimerkiksi raskasta polttoöljyä tai maakaasua. Polttimessa syntyvät hiilidioksidipäästöt riippuvat käytettävästä polttoaineesta eli polttoaineen lämpöarvosta sekä polttoaineen päästökertoimesta (Amomatic 2018). Hiilidioksidipäästöjä syntyy bitumin varastoinnista. Bitumia varastoidaan lämpimänä tankeissa, jotka toimivat sähköllä tai polttoaineella. Lämmitystavasta riippuen syntyy vaihteleva määrä hiilidioksidipäästöjä. Asfalttiaseman kylmäsyöttölaite, sekoitin, asfalttiaseman kuljettimet, vaa'at ja täryttimet toimivat sähköllä, jolloin niiden hiilidioksidipäästöt aiheutuvat sähköön käytöstä. (Peng et al. 2015.) Sähköstä syntyvien hiilidioksidipäästöjen määrään vaikuttaa se, mistä energialähteestä sähkö on tuotettu. Käytettäessä uusiutuvista energialähteistä saatavaa energiaa hiilidioksidipäästöjen määrä pienenee verrattuna esimerkiksi kivihieillä tuotettuun sähköön. (Keto 2010.)

Kuvaajassa 1 esitetään kokonaiskasvihuonepäästöjen jakautuminen asfaltointiprosessissa Skanska Industrial Solutions AB tuotannosta laskettuna eli Skanskan Ruotsissa sijaitsevilla asfalttiasemilla. Kuvaajassa 2 esitetään hiilidioksidipäästöjen jakautumisen asfaltointiprosessissa YIT Oyj:n mukaan Suomessa ja kuvaajassa 3 hiilidioksidipäästöjen jakautumista Carbon trustin mukaan Iso-Britanniassa. (2050 Consulting 2015, s. 8, Forstén 2017, s. 9 & Walch 2015.) Tuloksia vertailtaessa huomioitavaa on, että bitumi ja kiviaines toimitetaan työmaalle eri etäisyyksiltä. Kuljetusmatkat työmaalle ovat erilaiset asemista riippuen. Kiviaineksen kosteus, asfalttiaseman polttoaine, valmistuslämpötila ja ympäröivä lämpötila vaikuttavat hiilidioksidipäästöjen määrään. Kuvaajissa esitetyt tulokset on saatu eri asfalttimassoille, erilaisille asfalttiasemille ja eri asfalttivolyymeille.

Kuvaajista 2 ja 3 nähdään, että hiilidioksidipäästöjen kannalta asfaltin valmistuksen ja raaka-aineiden hiilidioksidipäästöt ovat suurimmat. Kuljetukset ja asfaltin levittäminen vapauttavat pienemmän määrän hiilidioksidipäästöjä. Kuvaajan 1 päästölaskennassa huomioidaan kiven murskaus. Skanskan laskennassa aseman energiankulutus on pieni verrattuna muihin toimintoihin. Tämä voi johtua siitä, että Skanskan laskenta huomioi kaikki kasvihuonepäästöt. YIT Oyj:n asfaltointiprosessin päästöt ovat 35–40 kg CO<sub>2</sub> valmistetulta asfalttitonnilta (Forstén 2017, s. 9) ja kuvaajan 3 hiilidioksidipäästöt ovat 69 kg CO<sub>2</sub> asfalttitonnilta (Walch 2015).

### KASVIHUONEPÄÄSTÖJEN JAKAUTUMINEN ASFALTIN VALMISTUKSEN ERI VAIHEISSA

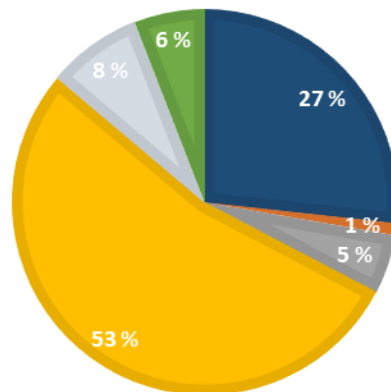
- Bitumi
- Energia
- Asfaltinlevitys ja tavarankuljetus
- Ostettu kiviaines
- Kiven murskaus
- Työkoneet



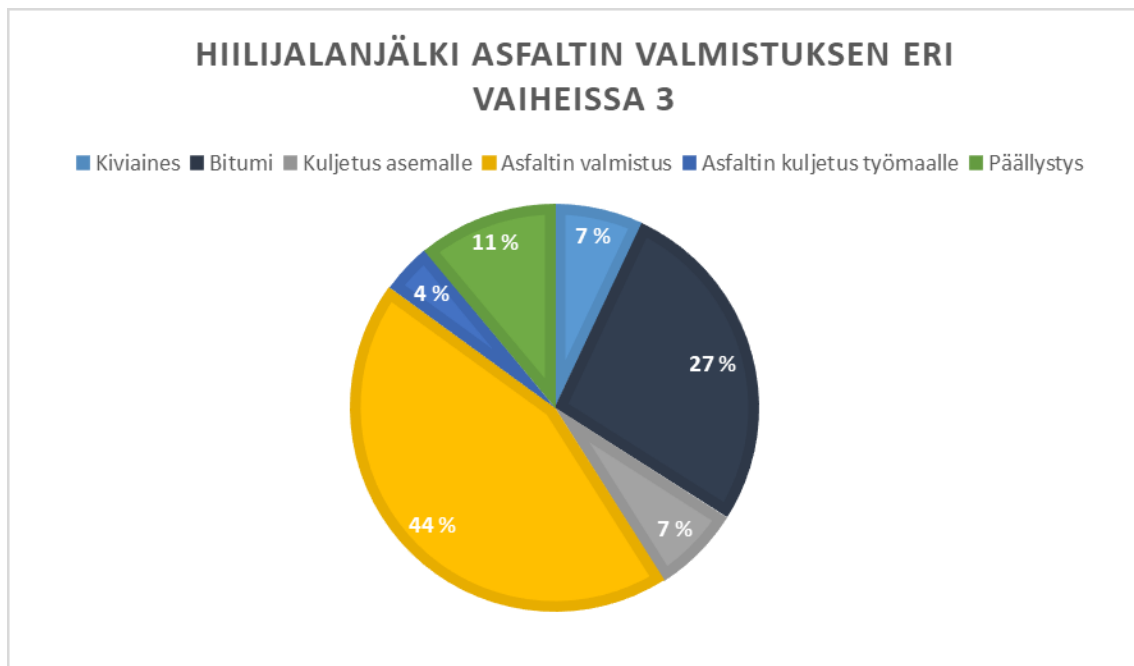
Kuvaaja 1. Kasvihuonepäästöt 2050 Consulting mukaan Ruotsissa (2050 Consulting 2015, s. 8)

### HIILIJALANJÄLKI ASFALTIN VALMISTUKSEN ERI VAIHEISSA 2

- Bitumi
- Kiviaineksen murskaaminen
- Kuljetukset
- Kiviaineksen kuljettaminen
- Asfaltin valmistaminen
- Levittäminen



Kuvaaja 2. Asfaltin hiilijalanjälki YIT Oyj Suomessa (Forstén 2017, s. 9)



Kuvaaja 3. Asfaltin hiilijalanjälki Carbon Trustin mukaan Iso-Britanniassa (Walch 2015)

#### 4.4 Ratkaisuja asfaltin valmistuksen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi

Tässä alaluvussa käsitellään moduuleiden A1–A5 hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen sopivia menetelmiä.

#### 4.5 Matalalämpöasfaltti

Matalalämpöasfalttia valmistetaan normaalia asfaltin valmistuslämpötilaa matalammassa lämpötilassa. Valmistuslämpötila on 110–140 celsiusta. Matalamman valmistuslämpötilan takia kiviaineksen ja bitumin kuumentamiseen tarvitaan pienempi määrä energiaa ja tuotettujen hiilidioksidipäästöjen määrä on pienempi. (Rubio 2013, s. 1.) Matalalämpöasfalttia ei voida valmistaa laskemalla bitumin lämpötilaa, koska bitumin viskositeetti on suuri alemmassa lämpötilassa. (Tujunen 2016, s. 8.) Matalalämpöasfaltissa käytetään kuumaalämpöasfaltin sideaineesta poikkeavaa sideainetta. Käytettäviä bitumityyppejä ovat modifioitu, ei-modifioitu ja vaahdotettu bitumi. (Rubio 2013, s. 1.)

Vaahdotusmenetelmä on matalalämpöasfaltin valmistusmenetelmistä taloudellisin ja eniten käytetty (Walch 2015, s. 12). Vaahdotettua bitumia valmistetaan lisäämällä vettä bitumin sekaan (Rubio 2013, s. 1). Bitumin viskositeetti laskee hetkellisesti (Tujunen 2016, s. 8). Bitumia vaahdotetaan ruiskuttamalla ennalta määrätty määrä vettä vaahdotussuuttimen kautta kuumennettuun bitumiin. Bitumin tilavuus kasvaa hetkellisesti, jolloin bitumi kerrostuu helpommin kiviaineksen ympärille. Osa höyrystä jää bitumiin vähentäen sideaineen viskositeettia ja helpottaen asfaltin tiivistämistä. Markkinoilla on vaahdottamiseen perustuvaa teknologiaa, jossa vettä ruiskutetaan bitumiin korkeassa paineessa. Järjestelmä integroidaan olemassa olevaan asfalttiasemaan. (Amomatic c.) VAW-Foam on vaahdotetun bitumin tuotemerkki. Sitä on testattu Ruotsissa ja Norjassa (D'Angelo ym. 2008, s. 15). Vaahdotusmenetelmä soveltuu parhaiten jatkuvatoimiselle asfalttiasemalle (Larsen ym. 2004 s. 643).

Epäsuorassa vaahdotusmenetelmässä bitumiin lisätään hydrofiilistä mineraalia, jonka seurauksena bitumin sekaan muodostuu vettä. Käytettyjä mineraaleja ovat zeoliitti –ryhmän mineraalit, koska ne sisältävät noin 20 % vettä. Vesi vapautuu mineraalista lämpötilan noustessa yli 100 celsiukseen. Veden vapautuminen aiheuttaa vaahtoutumiseffektin, jonka seurauksena asfalttimassan työstettävyys paranee 6–7 tunniksi tai siihen asti, kunnes lämpötila laskee alle 100 celsiukseen. Zeoliitti-ryhmän mineraaleilla asfalttimassan lämpötila laskee noin 30 celsiuksella. (EAPA 2015.) Zeoliitin käyttäytymisestä on tehty laboratoriotutkimuksia, joiden mukaan zeoliittia sisältävän massan ja perinteisen kuuma-asfaltin ominaisuudet vastaavat toisiaan. (Dubravsky, M., Mandula, J. 2015, s. 67.) Zeoliitin käyttäytymistä Pohjoismaissa tulee tutkia, koska zeoliitti absorboi itseensä kosteutta ympäristöstä, jolla voi olla vaikutusta asfaltin pakkaskestävyyteen. (Woszuk et al. 2017.) Toisessa epäsuorassa vaahdotusmenetelmässä kosteus lisätään asfalttimassaan hiekan avulla. Tässä tekniikassa kiviaines lämmitetään 30–160 celsiuksen lämpötilaan, jonka jälkeen kiviaineksen sekaan lisätään bitumi. Bitumi ja kiviaines sekoitetaan ja seokseen lisätään kylmää ja märkää hiekkaa. Tällä vaahdotusmenetelmällä asfalttimassan lämpötila pienenee 20–40 celsiusta. (D’Angelo ym. 2008, s. 15.)

Markkinoilla on useanlaisia lisäaineita, joiden avulla tuotannon lämpötilaa saadaan laskettua (Tujunen 2016, s. 8). Lisäaineen avulla sideaineen viskositeetti pienenee (Hamzah, Jamshidi ja Shahadan 2010, s. 1859). Lisäaineen lisääminen mahdollistaa pehmeämmän bitumin käytön. Tällöin viskositeettia lisätään myöhemmin vahalisäaineella (Tujunen 2016, s. 8). Orgaaniset lisäaineet toimivat yli 90 celsiuksisessa asfalttimassassa. Orgaaniset lisäaineet pienentävät asfaltin valmistusprosessin lämpötilaa 20–30 celsiuksella. Kemikaaliset lisäaineet toimivat rajapintana kiviaineksen ja bitumin välillä. Ne rajoittavat kitkavoimia aineiden rajapinnassa. Kemikaaliset lisäaineet toimivat 85–140 celsiuksen lämpötilassa ja ne laskevat asfalttimassan sekoituslämpötilaa 20–40 celsiuksella. (EAPA 2015.)

Tehdyt tutkimukset osoittavat, että valmistamalla matalalämpöasfalttia, asfaltin valmistusprosessin hiilidioksidipäästöt pienenevät. Eri tutkimuksissa hiilidioksidipäästöjen määrä on vähentynyt vaihtelevan määrän. Kiviaineksen tyyppi, matalalämpöasfaltin valmistusmenetelmä, lisäaineen määrä ja käytetty polttoaine vaikuttavat siihen, kuinka paljon hiilidioksidipäästöt pienenevät valmistamalla matalalämpöasfalttia (Hamzah, Jamshidi ja Shahadan 2010, s.1854). Tutkimuksen mukaan matalalämpöasfalttia valmistamalla hiilidioksidipäästöt pienenevät 58 % verrattuna kuuma-asfalttiin (Rubio 2013, s. 1859). Erilaisilla matalalämpöasfaltin valmistustekniikoilla hiilidioksidipäästöt pienenevät Norjassa 31,5 %, Italiassa 30–40%, Alankomaissa 15-30 % ja Ranskassa 23 % (D’Angelo ym. 2008, s. 9). Tutkimuksen mukaan lisäaineiden lisäämisellä syntyvän hiilidioksidin määrää voidaan vähentää 30–40 % (D’Angelo ym. 2008, s. 1). Yksi kokeellisesti testatuista lisäaineista on Sasobit. Tutkimuksen mukaan yhden prosentin lisäys Sasobit lisäainetta pienensi hiilidioksidipäästöjen määrää 3 % kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni (Hamzah, Jamshidi ja Shahadan 2010, s. 1854).

Osa tutkimuksista näyttää, että matalalämpöasfaltin valmistaminen ei pienennä hiilidioksidipäästöjä. Tutkimuksen mukaan perinteisen kuuma-asfaltin ja zeoliittimineraalin avulla valmistetun matalalämpöasfaltin ympäristövaikutukset ovat elinkaarijaksolla samanlaiset. Tutkimuksen mukaan asfaltin valmistusvaiheen ympäristövaikutuksia voidaan pienentää 14–15% prosenttia pienentämällä lämpötilaa. Kuitenkin zeoliitin hankinnan ympäristövaikutukset kasvattivat kokonaisympäristövaikutukset lähes samalle tasolle

verrattuna perinteiseen kuuma-asfalttiin. (Vidal et al. 2012.) Myös lisäaineiden valmistuksesta syntyy hiilidioksidipäästöjä. Tämä pienentää matalalämpöasfaltin hyötyjä. (Walch 2015, s. 12, 22.) Ulkomaalaisten tutkimustulosten soveltaminen Suomeen on haastavaa, koska suomalaiset sääolosuhteet ovat poikkeavat (Tujunen 2016, s. 3). Matalalämpöasfaltin valmistamisessa hyödynnetyt menetelmät ovat uusia, eivätkä yhtä tutkittuja verrattuna kuumavalmistukseen. (Walch 2015, s. 12, 22.)

Asfalttinormien mukaan lämpöasfaltin käyttö on mahdollista Suomessa. Matalalämpöasfaltti voi saada CE-merkinnän. Lisäaineiden käyttö asfalttimassassa tulee dokumentoida. (Tujunen 2016, s. 13.) Laboratorio- ja lyhytaikaisella kenttäkokeella saatiin tutkimustulos, jossa matalalämpöasfaltti vastasi laadullisesti kuumalämpöasfalttia ja oli osilta ominaisuuksiltaan parempaa. Matalalämpöasfaltti tiivistetään pienemmässä lämpötilassa. Matalalämpöasfalttimassaa voidaan kuljettaa pidempiä matkoja ja päästää liikenne nopeammin päällystetylle ajoradalle. (D'Angelo ym. 2008, s. 9, 10.) Matalalämpöasfaltin kuljetuksessa lämpötila ei saa laskea liian matalaksi, koska liian kylmän asfaltin tiivistäminen oikein ei ole mahdollista. Ilman lämpötila, tuulen nopeus ja asfalttimassan kerrospaksuus vaikuttavat matalalämpöasfaltin tiivistämiseen. Matalalämpöasfaltin valmistaminen mahdollistaa suuremman rouheprosentin ja matalalämpöasfaltin käyttö parantaa työntekijöiden työturvallisuutta verrattuna kuuma-asfalttiin. (D'Angelo ym. 2008, s. 9, 10.)

Vuonna 2016 matalalämpöasfalttia valmistettiin Suomessa 0,31 miljoonaa tonnia (EAPA 2018, s. 4). Matalalämpöasfaltin kustannukset jakautuvat kahteen osaan: polttoaineen kulutukseen sekä lisäaineiden ja aseman muutoksien kustannuksiin. Vaikka bitumin vaahdottaminen tuo säästöjä polttoaineenkulutuksessa, säästöt eivät kaikissa tapauksissa kata järjestelmän investoinnista aiheutuneita kustannuksia. (Walch 2015, s. 20.) Jos asfalttimassan valmistusvolyymit ovat tarpeeksi suuret ja bitumin vaahdottaminen on valmistettavalle massalle sopiva valmistustekniikka, on investointi jollain aikavälillä kannattava (Hujanen 2016, s. 22).

## 4.6 Kierrätysasfaltti

Asfaltin pääraaka-aineet bitumi ja kiviaines ovat uusiutumattomia luonnonvaroja. Tämä on tärkeä syy asfaltin kierrätyksen tutkimiselle (Heinonen 2017). Kierrätysasfaltti on käsiteltyä, työmailta purettua vanhaa asfalttipäällystettä, joka on uudelleenkäyttöön soveltuvaa ja, jota hyödynnetään uuden asfaltin valmistuksessa (EN 13108-8 2016, s. 6). Asfalttirouheen ominaisuudet riippuvat kierrätettävänä olevan, vanhan asfaltin asfalttityypistä, sideaineesta, iästä ja määrästä (Lehtimäki 2011, s. 23). Käytettävän rouheen tulee olla tasalaatuista ja paakutonta (Tiehallinto 2002, s. 15). Rouheen tyyppi ja ominaisuudet tutkitaan (Kuna, Airley & Thom 2016, s. 903). Kierrätysasfalttia hyödynnetään uuden massan valmistuksessa asfalttiasemalla tai remix-prosessissa (Miliutenko, Björklund ja Carlsson 2012). Vanhasta päällysteestä hyödynnetään kiviaines sekä sideaine. Kierrätysasfaltin valmistaminen vähentää epäsuoria hiilidioksidipäästöjä. (Walch 2015, s. 15.) Kierrätysasfalttia hyödynnetään tien sitomattomissa kerroksissa, tien pientareissa sekä asfalttimassassa (Zaumanis, Mallick ja Frank 2014, s. 231).

Kierrätysasfaltin käytöstä aiheutuu taloudellisia ja ympäristöllisiä hyötyjä. Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan asfaltin uusiokäytön tuottamat hiilidioksidipäästöt, eli muun muassa rouheen kuljetuksesta ja murskauksesta aiheutuvat päästöt, ovat pienemmät verrattuna

uusien materiaalien päästöihin (Miliutenko, Björklund ja Carlsson 2013). Rouhetta käytettäessä uuden bitumia ja kiviaineksen tarve pienenee. Kierrättämällä säästetään uusiutumattomia luonnonvaroja ja pienennetään hiilidioksidipäästöjen määrää. Samalla pienennetään asfaltointiprosessin energiakulutusta. (West, Willis & Marasteanu 2013, s. 5.) Tutkimuksen mukaan 30 % rouheen lisäys vähentää energian kulutusta 16 % ja hiilidioksidipäästöjä 20 % (Lee, Chou & Chen 2011, s. 2). Kierrättämisen kannattavuuteen vaikuttaa se, millainen on vanhan, kuoritun asfalttipäällysteen kuljetusmatka asfalttiasemalle (Miliutenko, Björklund ja Carlsson 2013).

Suomessa asfaltin uusiokäyttöä ja kierrätystä hyödynnetään paljon kansainvälisesti verrattuna (Heinonen 2017). Suomessa rouheen enimmäismäärät ovat 50 % kulutuskerroksissa ja 70 % muissa sidotuissa kerroksissa. Rouhe täytyy lämmittää, jos sen määrä on suurempi kuin 10 %. (Pank ry. 2011b, s. 39.) Lämmittämällä rouheen kosteus haihdutetaan ja sideaine pehmennetään (Lehtimäki 2011, s. 24). Kiviaineksen luokkavaatimuksen ollessa An14 tai An19 rouhetta on mahdollista lisätä tapauskohtaisesti enemmän (Pank ry. 2011b, s. 39). Vuonna 2016 kierrätettyä asfalttia hyödynnettiin Suomessa 1 150 000 tonnia (EAPA 2018, s. 6). Euroopassa hyödynnettävässä olevasta kierrätettävästä asfaltista hyödynnetään tällä hetkellä 47 % kuumamassaan tai matalalämpöasfalttiin (Zaumanis, Mallick ja Frank 2014, s. 231).

Rouheen määrän lisäämisen vaikutusta asfalttimassan laatuun on tutkittu. Perinteiseen asfaltin valmistusprosessiin kierrätysprosentin lisääminen on haastavaa: rouhe lisätään massan sekaan, jolloin uusi kiviaines lämmittää rouheen. Tällaisella tekniikalla valmistettuna rouheen määrän lisääminen vaatisi epärealistisen korkean lämpötilan. Rumpuasevilla rouhetta lisätään noin 50 % asti. Suuremman rouheprosentin lisäämiseen on kehitetty uusia menetelmiä, jolloin 100 % kierrätetystä materiaalista valmistetun asfaltin tuottaminen voi olla mahdollista. (Zaumanis, Mallick ja Frank 2014, s. 231.)

Kierrätysprosentin suureksi nostamiseen liittyy ongelmia. Rouheen lisäämisestä asfalttimassaan on olemassa useita tutkimuksia. Osa tutkimuksista näyttää, että oikein prosoidun rouheen lisäämisellä ei ole vaikutusta kierrätysasfaltin laatuun. Osa tutkimuksista toteaa, että rouheen lisääminen asfalttimassaan pienentää asfalttikerroksen elinikää. Kierrätysasfaltin elinikä on tutkimuksen mukaan noin 75 % rouheettoman asfaltin eliniästä (Miliutenko, Björklund ja Carlsson 2012.) Vanhentunut ja elastisuutensa menettänyt sideaine lisää asfalttimassan jäykkyyttä. Jäykkyys altistaa väsymismurtumalle ja päällysteen haurastumiselle matalassa lämpötilassa. Korkea kierrätysasfaltin osuus lisää bitumin nousua asfaltin pinnalle. Rouhepitoisuuden lisääminen parantaa päällysteen urautumiskestävyyttä. Väsymismurtumisen estämiseksi uusiomassaan lisättävät lisäaineet altistavat asfalttipäällystettä urautumiselle. Kierrätetystä asfaltista valmistettu asfalttipäällyste on vesitiiviimpi verrattuna uusista materiaaleista valmistettuun asfalttipäällysteeseen. (Zaumanis, Mallick ja Frank 2014, s. 235.) Vaikka rouhetta sisältävä asfalttipäällyste ei vastaisi kaikilta ominaisuuksiltaan uutta asfalttipäällystettä, on rouheen lisääminen silti perusteltua. Tutkimuksen mukaan asfaltin, joka sisältää 20 % asfalttirouhetta, tulee vastata laadultaan vähintään 80 % uuden asfaltin laatua. Tällöin rouheen käyttö on vielä kannattavaa, koska energiankulutus ja hiilidioksidipäästöt pienenevät (Lee, Chou & Chen 2011, s. 2).

Matalalämpöasfaltin valmistaminen suurentaa rouheprosenttia, koska massan tiivistäminen helpottuu viskositeetin pienenemisen vaikutuksesta. Kun uutta sideainetta ei kuumenteta yhtä kuumaksi kuin kuuma-asfaltissa, estyy uuden sideaineen vanhentuminen. Tämä



kompensoi kierrätysasfaltissa olevaa vanhentunutta bitumia. (D'Angelo ym. 2008, s. 10.) Suurempi rouheprosentti kompensoi matalalämpöasfaltin aiheuttamia lisäkustannuksia. (Walch, 2015, s. 12). Lisäaineita lisätään palauttamaan ikääntyneen sideaineen ominaisuuksia. Lisäaine muuttaa päällysteen rakoilukestävyyttä lähelle uudesta materiaalista tehtyä. (Zaumanis, Mallick ja Frank 2014, s. 235.) Elvyttimet ovat asfalttimassan lisäaineita. Niiden avulla pyritään palauttamaan bitumin ominaisuudet alkuperäiselle tasolle. Elvyttimet ovat pieniviskositeettisiä öljy- tai bitumimaisia yhdisteitä. (Lehtimäki 2012, s. 25.) Lisäaine ei saa pehmentää sideainetta liikaa ja lisäaineen tulee sekoittua sideaineeseen oikein (Zaumanis, Mallick ja Frank 2014, s. 235).

Remix-pintauksessa tien vanhaa päällystettä hyödynnetään uudessa päällysteessä. Remix-pintausta tehdään paikan päällä, jolloin vanhaa asfalttia ei kuljeteta asfalttiasemalle. (Pank ry. 2011f.) Pintauksessa vanhentunut asfaltti kuumennetaan sen ollessa vielä paikallaan, poistetaan, sekoitetaan uuden materiaalin kanssa ja levitetään. Remix-pintausta pienentää hiilidioksidipäästöjä enemmän kuin asfalttiasemalla tehtävä kierrätys. (Makowska et al. 2018.)

Tulevaisuudessa bitumia saatetaan hyödyntää uudelleen kierrätettävän asfaltin lisäksi bitumin muista käyttökohteista. Euroopan Unionin rahoittamassa ja Tanskassa suoritettussa LIFE+ -tutkimuksessa (Bank 2010) tutkittiin kattobitumin hyödyntämistä asfalttimassassa. LIFE+ -projektin johtopäätöksenä oli, että kattohuovasta saatua bitumia voidaan hyödyntää lähes kaikissa käyttökohteissa lukuun ottamassa lentokentän kiitorataa. Kattobitumi saa Tanskassa vaadittavat sertifikaatit. Suomalaisen tutkimuksen mukaan bitumikaterouhe sopii asfalttiin. Bitumikaterouheen käytöstä seuraa taloudellisia ja ekologisia hyötyjä. Uuden bitumin määrää asfalttimassassa pienenee ja kierrätysbitumi on kustannuksiltaan edullisempaa verrattuna uuteen bitumiin. Bitumikaterouhe lisää asfaltin jäykkyttä, mutta bitumikaterouhetta sisältävä asfalttimassa jämähtää ja lajittuu uutta asfalttimassaa helpommin. Sitä ei voida kuljettaa yhtä pitkiä matkoja kuin uutta asfalttimassaa. Bitumikaterouheen käyttöä on hidastanut suomalainen jätelainsäädäntö. (Heinonen 2017.) Tällä hetkellä Suomen markkinoilla on yritys, joka myy kattobitumista jalostettua bitumia.

## 4.7 Polttoaineenkulutukseen vaikuttavat tekijät

Polttoaineen poltolla tarkoitetaan polttoaineen hapetusta, joka tapahtuu erilaisilla poltto menetelmillä (Finlex 2011). Polttoaineen kulutus jakautuu asfalttiaseman kuivausrumussa seuraavasti lämmitettäessä 4 % kosteutta sisältävää kiviainesta:

- hyvin eristetyistä rummista aiheutuvat lämpöhäviöt 3 %
- palamiskaasut 7 %,
- kiviaineksen lämmittäminen 50 %
- kiviaineksen kuivaaminen 40 % (Ammann 2009, s. 9).

Asfalttiasemasta lämpöä poistuu säteilemällä, johtumalla ja kulkeutumalla. (Bražiūnas, Sivilevičius 2014.) Lämpötilan johtuminen aiheutuu lämpötilaerosta. Johtumisessa lämpöenergia pyrkii siirtymään korkeammasta lämpötilasta matalampaan lämpötilaan. Lämpöenergian johtumisesta syntyvä yksidimensioinen lämpövirta määritetään kaavalla yksi:

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (1)$$

jossa  $\lambda$  on lämmönjohtavuus ja  $\partial T/\partial x$  lämpögradientti. Konvektio aiheutuu pinnan ja pintaa ympäröivän nesteen tai kaasun välisestä lämpötilaerosta. Konvektion avulla tapahtuva lämpöenergian siirto määritetään kaavalla kaksi:

$$q = \alpha * (T_{pinta} - T_{ympäristö}), \quad (2)$$

jossa  $T_{pinta}$  on pinnan lämpötila,  $T_{ympäristö}$  on vallitseva ympäristön lämpötila ja  $\alpha$  on lämmönsiirtokerroin. Asfalttiaseman seinän läpi kulkeva lämpöteho (W) lasketaan kaavalla kolme:

$$Q = k * A * (T_{sisä} - T_{ulko}), \quad (3)$$

jossa  $A$  on seinän pinta-ala,  $k$  kokonaislämmönläpäisykyky  $T_{sisä}$  on lämpötila asfalttiaseman sisällä ja  $T_{ulko}$  on ulkona oleva lämpötila. Kokonaislämmönläpäisykyky  $k$  lasketaan kaavalla neljä:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_s} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{s_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_u}}, \quad (4)$$

jossa  $\alpha_{sisä}$  ja  $\alpha_{ulko}$  ovat sisä- ja ulkopintojen lämmönjohtavuuskertoimet,  $s_1 \dots s_n$  ovat materiaalikerroksien paksuudet ja  $\lambda_1 \dots \lambda_n$  ovat seinän eri kerrosten lämmönjohtavuusluvut. (Lampinen 1997, s. 22-24.) Säteily määritetään kaavalla viisi:

$$q = \varepsilon \sigma T^4, \quad (5)$$

jossa  $\varepsilon$  on emissiokerroin,  $\sigma$  on Boltzmanin vakio ja  $T$  on lämpötila (Lampinen, Kotiaho 2015).

Rummun polttimen kunnan jatkuva tarkkailu ja häiriöihin reagointi pienentää asfalttiaseman polttoaineenkulutusta. Polttimen toiminnan optimointi parantaa palamisprosessia ja polttoainetehokkuutta sekä pienentää tuotettujen hiilidioksidipäästöjen määrää (Clever 2011, s. 50, 52). Polttimen energiatase on:

$$polttoaineteho = polttimen\ hyötyteho + lämpöhäviöt + savukaasuhäviöt \quad (6)$$

(Lampinen 1997, s. 83). Kun lämpö- ja savukaasuhäviöt pienenevät, suurempi määrä polttoainetehosta kuluu kiviaineksen lämmittämiseen.

Polttoaineenkulutus ja kosteuden hallinta ovat toisistaan riippuvaisia (Clever 2011, s. 52). Korkean kosteusprosentin haihduttaminen kiviaineksesta vie enemmän energiaa kuin kiviaineksen lämmittäminen. Kiviaineksen kosteusprosentin alentaminen pienentää energiankulutusta merkittävästi. (Hujanen 2016, s. 13.) Kiviaineksen kosteusprosentti määritetään kaavalla seitsemän:

$$kosteusprosentti = \frac{kosteaa\ näyte - kuiva\ näyte}{kosteaa\ näyte} \times 100 \quad (7)$$

(Androjić, Alduk 2016, s. 1046). Kiviaineksen kosteusprosentti vaikuttaa aseman tuotantotehoon. (Zaumanis, Mallick ja Frank 2014, s. 235). Korkea kiviaineksen kosteusprosentti lisää aseman energiankulutusta lisäten hiilidioksidipäästöjen määrää (Peinado ym. 2011, s.1040). Kosteusprosentti pienenee säilöimällä kiviainekasat katoksen alla, käyttämällä päällystettyä ja kaltevaa säilytystasoa tai säilyttämällä kiviaines kartiomaisissa kasoissa. (Zaumanis, Mallick ja Frank 2014, s. 240.)

Rouheen kosteusprosentti on aseman tehoa rajoittava tekijä. Rouheen korkea kosteusprosentti vaikuttaa aseman polttoaineenkulutukseen (Zaumanis, Mallick ja Frank 2014, s. 235). Kosteusprosentti rajoittaa rouheen käyttöä valmistettavassa asfalttimassassa (West, Willis & Marasteanu 2013, s. 8). Rouheen kosteuden hallinta on erityisen tärkeää, koska rouhe lisätään asfalttimassaan kiviainesta myöhemmin. Tällöin rouhetta kuivatetaan vähemmän verrattuna uuteen kiviainekseen (Cleaver 2011, s. 52.) Rouheelle tyypillistä on, että se kerää paljon kosteutta. Vanha asfalttipäällyste ei saa olla märkää sitä murskatessa. Asfalttirouhe tulee suojata varastoinnin aikana. Rouheen kosteus heikentää bitumin ja kiviaineksen tartuntaa toisiinsa. (Lehtimäki 2011, s. 25.) Kosteuden minimoimiseksi vanha asfalttipäällyste murskataan käyttöpäivänä tai mahdollisimman lähellä käyttöpäivää. (Zaumanis, Mallick ja Frank 2014, s. 240.)

Lämpötilan ja kiviaineksen kosteusprosentin laskeminen pienentää hiilidioksidipäästöjen määrää. 10 celsiusuksen pudotus lämpötilassa pienentää polttoaineenkulutusta noin 3–4 % ja jokainen 1 % pudotus kiviaineksen kosteudessa vähentää polttoaineen kulutusta noin 10 %. (Walch 2015, s. 20.) 1 % lisäys kosteusprosentissa lisää 0,6 m<sup>3</sup> maakaasun kulutusta tuotetulta asfalttitonnilta (Androjic & Alduk 2016, s. 1051). Lämpötilan laskeminen säästää bitumia lyhytaikaiselta vanhentumiselta. Bitumin ylikuumentaminen tulee estää, koska sen kevyimmät komponentit haihtuvat 160 celsiusuksen lämpötilassa. (Lehtimäki 2012, s. 21.)

#### **4.8 Kuljetukset ja työkoneet**

Asfaltin valmistusprosessiin kuuluu useassa vaiheessa suoritettavia kuljetuksia. A2 moduuliin kuuluvat kiviaineksen sekä bitumin kuljetukset asfalttiasemalle ja asfalttiaseman sisäiset kuljetukset. Asfalttiaseman alueella kiviainesta siirretään varastokasoista pyöräkuormaajalla aseman kylmäsyöttösiiloihin. A4 vaiheeseen kuuluu kuljetus kuorma-autolla asfalttiasemalta levitystyömaalle. (EN 15804 2013, s. 62.) Asfaltin kuljetusprosessissa massa-auto noudattaa työsykliä, joka voidaan jakaa viiteen eri osaan: asfalttimassan kuormaus ajoneuvoon asfalttiasemalla, ajoneuvon punnitseminen asemalla, massan kuljetus työmaalle, kuormauksen purku ja paluu asfalttiasemalle (Pekki 2017, s. 12).

Kuljetuksien päästöihin vaikuttavat ajoneuvon polttoainetyyppi, polttoaineen kulutus, kuljetusmatka, kuljetuskapasiteetin käyttöaste, kuljetettujen tuotteiden tilavuuspaino sekä tilavuuskapasiteetin käyttöaste (EN 15804 2013, s. 62). A4 moduulin kuljetukset asfalttiasemalta työmaalle optimoidaan niin, että ajoneuvossa on oikean kokoinen annos asfalttimassaa ja, että massan lämpötila laskee valmistuksen ja levityksen välillä mahdollisimman vähän.

Työkoneiden päästöt Suomessa vastaavat noin 10 % päästökaupan ulkopuolisista päästöistä. Tulevaisuudessa työkoneissa laajasti käytettävän kevyen polttoöljyn sekaan tullaan todennäköisesti lisäämään biopolttoainetta. Kaasun ja sähkön käyttö työkoneissa tulee kasvamaan. Tällä hetkellä tärkeimmät työkoneiden hiilidioksidipäästöjen vähennystoimet ovat verotuksen muuttaminen ja polttoaineen bio-osuuden lisääminen. (Ympäristöministeriö 2018b.)

Työkoneiden voimansiirrolla on suuri merkitys koneen polttoaineenkulutukseen. Hydraulinen voimansiirto kuormittaa moottoria 10–20 % ilman tehtävää työtä (Nylund, Söderena ja Rahkola 2016). Pyöräkuormaajan hyötysuhde on maksimissaan noin 40 %

(Nokka 2018). Työkoneiden päästöjen vähentäminen on mahdollista parantamalla moottorin energiatehokkuutta, hyödyntämällä vähähiilisiä polttoaineita, parantamalla ajoneuvon energiatehokkuutta sekä tehostamalla työkoneen käyttöä. Moottorin tehokkuutta parantamalla työkoneiden hiilidioksidipäästöt pienenevät maksimissaan noin 15 % ja hyödyntämällä uusiutuvia biopolttoaineita päästöt vähenevät 0–90 % riippuen korvaussuhteesta ja käytetyn biopolttoaineen ominaisuuksista. Työkoneen energiatehokkuuden parantamisella hiilidioksidipäästöt pienenevät maksimissaan noin 50 %. Energiatehokkuus paranee hybridisoinnilla, voimansiirron kehittämällä ja lämmönhallinnan kehittämällä. Työkoneen käyttöä tehostamalla hiilidioksidipäästöt vähenevät 35 %. Työkoneen käytön tehostamisella tarkoitetaan työkoneen käyttöä moottorille optimaalisella kierrosluvulla, joutokäynnin vähentämistä sekä koneohjauksen lisäämistä. Optimoinnin seurauksena polttoaineen kulutus pienenee sekä koneen tuottavuus suurenee. (Nylund, Söderena ja Rahkola 2016.) Hybriditekniikassa yhdistetään dieselmoottori sähköiseen käytötekniikkaan (Ishida, Higurashi 2015, s. 398). Hybridikäyttöinen pyöräkuormaaja tuottaa vähemmän hiilidioksidipäästöjä verrattuna dieselkäyttöiseen pyöräkuormaajaan. Korvaamalla dieselmoottorinen pyöräkuormaaja hybridimoottorisella työkoneella polttoainesäästö on 25–40 %. (Nokka 2018, s. 15.)

Suurimmat energiahäviöt kuorma-autoissa aiheutuvat moottorin häviöistä ja toiseksi suurimmat renkaista (Sabartova 2015, s. 1). Kuorma-auton renkaiden häviöihin vaikuttavat tekijät ovat:

- rengaspaine
- nopeus
- akselipaino
- renkaan tyyppi
- renkaan koko
- ulkolämpötila (Pacejka ja Bessenlik 2012).

## 4.9 Tuotannon optimointi ja hukan minimointi

Optimoitu tuotanto saavutetaan tarkastelemalla valmistusprosessia kokonaisuutena. Eräs tuotannon optimoinnin työkaluista on tuotannon hukan minimointi. Tuotannon hukalla tarkoitetaan työtä tai materiaalia, joka ei paranna tuotteen arvoa. (Howell 1999, s. 2.) Rakennushankkeen hukkaa ovat tuotannon viivästyminen, laadusta johtuvat kustannukset, huono työturvallisuus, uudelleen tekeminen, turhat kuljetukset, pitkät kuljetusmatkat, sopimattomat työskentelytavat ja huonolaatuiset laitteet. Suurin hukka rakennusprojektissa aiheutuu työajan ja materiaalien tehottomasta hyödyntämisestä (Santos, Powell 1999, s. 52). Hukkaa vähentämällä ja tuotantoprosessia optimoimalla pienennetään prosessin hiilidioksidipäästöjä, koska materiaalien menekki ja tuotantoaika arvioidaan tarkemmin (Howell 1999, s. 4).

Asfaltointiprosessia optimoidessa tarkastellaan koko tuotantoprosessia raaka-aineiden valmistuksesta työmaatoimintoihin eli standardin EN 15804 (2013) mukaisia moduuleita A1–A5. Näistä moduuleista löydetään ja poistetaan hukkaa. Optimoidussa asfaltin valmistusprosessissa massa-autoja on oikea määrä ja ne lähtevät oikea-aikaisesti, suunnitellut massan valmistusmäärät toteutuvat, työmaalla on levitettävää massaa sopivasti ja tavoiteltu työteho saavutetaan (Pekki 2017, s. 67). Valmistamisen optimoinnilla ja valmistusprosessien säädöillä saavutetaan merkittäviä asfaltointiprosessin lämmön alentumisia (Hujanen 2016, s. 22).

Levitettävien asfalttimassojen määrien huolellisella suunnittelulla varmistetaan asfaltti-aseman täsmällinen tuotannon suunnittelu. Jos tuotantoa ei suunnitella tarpeeksi huolellisesti, aiheutuu tuotantoon katkoksia (Pekki 2017, s. 43). Sisäisten ja ulkoisten massan siirtojen ja kuljetusmatkojen optimoinnilla pienennetään hiilidioksidipäästöjen määrää (Aulankoski ym. 2014, s. 33). Tuotannon viivästyemisestä ja jatkuvasta asfaltti-aseman uudelleen käynnistämisestä aiheutuva polttoaineenkulutuksen lisääntyminen on tutkimusten mukaan 20–35 % (Androjić, Alduk 2016, s. 1045). Ylimääräiset katkokset suurentavat hiilidioksidipäästöjä asemalla, koska asfaltti-aseman uudelleenlämmittämiseen kuluu energiaa ja aseman jäähtyessä menetetään lämpöä (Gustavsson, Larsson 2011, s. 10). Tuotannon tehokkuutta mitataan viivästyksien suhteella tuottavaan työhön. Tunnuslukuprosentti määritetään kaavalla:

$$\text{Tunnusluku asfaltti-aseman tuottavuudelle} = \frac{\text{Tuottava työ} - \text{viivästykset}}{\text{Tuottava työ}} \times 100 \% \quad (8)$$

(Androjić, Alduk 2016, s. 1047.) Suunniteltaessa tuotantoa huolellisesti kiviaineksen tilauksen ja bitumin määrien oikea-aikainen tilaaminen toteutuu, jolloin bitumin ja kiviainesten kuljetukset ja säilytettävät määrät optimoidaan. Tuotantoa suunnitteleamalla rouhetta murskataan oikea määrä ja oikeaan aikaan, jolloin rouheen kosteusprosentti ei kasva. Kuivausrumpua tulee käyttää maksimaalisella tuotantoteholla, koska säteilystä ja lämmönjohtumisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat samoja riippumatta asfaltti-aseman tehosta. Tuotantovolyymejä kasvattamalla polttoöljyn kulutus asfalttitonnia kohti pienenee. Tämä johtuu siitä, että rummun osien lämmittämiseen kuluu energiaa. (Gustavsson, Larsson 2011, s. 9, 10.)

Osalla asfaltti-asemista kuuman kiven kiviainessiilot tyhjennetään tuotantopäivän lopuksi. Lämmön kannalta hyödyllisempää on tyhjentää siilot seuraavana aamuna, jolloin kuumat kivet pitävät siilon osia lämpiminä. Energiaa ei tällöin kulu yhtä paljon asfaltti-aseman lämmittämiseen seuraavana päivänä. (Gustavsson, Larsson 2011, s. 9.) Kiviaineksen tulee olla tarpeeksi lämmintä, jotta oikea sekoituslämpötila saavutetaan. Kiviainesta ei kuitenkaan tule lämmittää liikaa, koska silloin energiaa käytetään ja bitumia vanhennetaan turhaan (Cleaver 2011, s. 52; Bražiūnas, Sivilevičius 2014.) Lämpötilan nostaminen 10 celsiusella lisää maakaasun kulutusta 0,935 kuutiometriä asfalttitonnia kohden (Androjić, Alduk 2016, s. 1051).

Asfaltti-asemalla on huono ekserginen hyötysuhde (Peinado 2011, s. 1048). Lämmityslaitteiston hukkalämpö on merkittävä aseman energiankulutusta kasvattava tekijä (Hujanen 2016 s.2 4). Tuotannonaikaisiin lämpöhäviöihin vaikuttavat asema, aseman eristys ja lämpötilaero valmistusprosessin lämpötilan ja ympäristön lämpötilan välillä (Harder, G. 2008, s. 4). 97 % asfaltti-asemalla kulutetusta energiasta käytetään asfalttirummussa (Julien et al. 2010, s. 162). Rummun eristäminen ja oikea toimivuus pienentävät hiilidioksidipäästöjä. Savukaasujen lämpötila on suuri energiatehokkuuden alentaja asfaltti-asemalla. Savukaasujen lämpötilaa ei voi laskea liikaa, koska silloin pölytalon lämpötila saavuttaa kastepisteen ja aseman suodattimien toiminta heikkenee. Savukaasujen lämpötilan tulee olla noin 80–120 celsiusista. Savukaasujen määrää säädetään muuttamalla kuivaimen kulmanopeutta. (Peinado 2011, s. 1048; Pöyry 2010, s. 33.)

Bitumitankin energiakulutuksen minimointi on tärkeää, koska bitumisäiliö kuluttaa jatkuvasti energiaa riippumatta asfaltti-aseman tehosta tai siitä, onko asfaltti-asema käynnissä

(Gustavsson, Larsson 2011, s. 26). Bitumi tulee säilyttää ja käsitellä pienimmässä mahdollisessa lämpötilassa. Bitumin lämpötilan ja viskositeetin suhde optimoidaan pumppaamista varten. Bitumitankkia lämmitetään kevyellä polttoöljyllä, sähköllä tai kaasulla. (Bražiūnas, Sivilevičius 2014.) Bitumitankin lämmittäminen sähköllä minimoi hiilidioksidipäästöjen määrän ja parantaa energiatehokkuutta (Gustavsson, Larsson 2011, s. 26). Bitumitankin eristyksen parantaminen pienentää energiankulutusta. Tankin lämpövuotoihin vaikuttavat bitumin ja ilman tilavuudet tankissa, bitumille tarvittava lämpötila, bitumitankin korkeus ja halkaisija, bitumitankin seinien materiaali ja paksuus, bitumin termiset ominaisuudet, ulkolämpötila ja tuulen nopeus. Bitumitankista lämpöä poistuu säteilemällä, johtumalla ja kulkeutumalla. (Bražiūnas, Sivilevičius 2014.) Näitä tekijöitä optimoimalla pienennetään energiankulutusta ja hiilidioksidipäästöjä.

Bitumisäiliö on yleisemmin eristetty 10, 20 tai 30 senttimetrin paksuisella eristekerroksella. Bitumitankin eristäminen 30 senttimetriä paksulla eristekerroksella pienentää huomattavasti hiilidioksidipäästöjä. Eristeet asennetaan niin, ettei kylmäsiltoja muodostu eristeen läpi. Bitumitankkien kannet, liitännät ja bitumipumput ovat usein eristämättömiä. Näistä syntyy lämpöhukkaa. Bitumitankin muodolla on merkitystä lämpöhäviöiden minimoimisessa. Pystytankeissa on vaakatankeja parempi hyötysuhde. Käytettäessä suuria bitumitankkeja pinta-alan suhde bitumin määrään minimoidaan. (Gustavsson, Larsson 2011, s. 26.)

## 5 Hiilidioksidipäästöjen laskenta

Tässä luvussa määritellään asfalttiaseman hiilidioksidipäästöt eri asfaltin valmistuksen moduuleille ja tarkastellaan saadun tuloksen luotettavuutta. Luvussa esitellään case-yrityksen asfalttiasemat.

### 5.1 Case-yrityksen asfalttiasemat

Skanska Industrial Solutions Oy:llä on kuusi kiinteää asfalttiasemaa eri puolella Suomea. Kiinteiden asemien sijainnit esitetään kuvassa 6. Skanska Industrial Solutions Oy:llä on kiinteiden asemien lisäksi liikkuvia asemia, joiden sijainnit vaihtelevat vuosittain.



Kuva 6. Skanskan asfalttiasemat Suomessa

Rovaniemellä sijaitseva asfalttiasema on otettu käyttöön vuonna 2017 ja sen valmistaja on AMMANN. Asema on malliltaan ABA 100-340 UNIBATCH ja asematyypiltään annosasema. Asematyypin maksimiteho on 100–340 tonnia tunnissa ja sekoittajan koko 1,7–4,3 tonnia (AMMANN b). Asfalttiaseman rummun maksimaalinen teho on noin 190 asfalttitonnia tunnissa. Aseman polttimen teho on 18 MW. Asemassa on kolme bitumisäiliötä, joita lämmitetään sähkövastuksilla. Sähkövastuksien teho yhdessä bitumisäiliössä on 22 kW. Asemassa on välisyöttörengas rouheelle ja maksimikierrätysprosentti on 40 %. Valmistettujen massojen rouhepitoisuuden keskiarvo on 23 %. Asemassa on viisi siloa, jolloin massaa voidaan valmistaa ennakoivasti. Aseman käyttämä polttoaine on raskas polttoöljy ja vuonna 2017 aseman polttoaineenkulutus oli noin 5,41 kg/asfalttitonni.



*Kuva 7. Rovaniemen asfalttiasema*

Skanska Industrial Solutions Oy:n Tornion asema on tyypiltään Hotmix 30. Se on an-  
nosasema, jota on alun perin käytetty liikkuvana asemana. Asema on otettu käyttöön  
vuonna 1985. Rouheprosentti on 20–30 % ja rouhe syötetään massaan kylmänä. Poltto-  
aineena käytetään raskasta polttoöljyä. Asemalla on kaksi dieselillä lämmitettävää bitu-  
mitankkia. Raskaan polttoöljyn tankki on sähkölämmitteinen. Rummun polttimen ras-  
kaan polttoöljyn kulutus Tornion asfalttiasemalla oli noin 7,7 kg/asfalttitonni. Kierrätys-  
asfalttia valmistettiin 20 % kaikesta asemalla valmistetusta asfalttimassasta.



*Kuva 8. Tornion asfalttiasema*

Skanska Industrial Solutions Oy:n Oulun asfalttiasema on rakennettu AMMANN:in liik-  
kuvasta asemasta. Aseman kierrätysosa on Benninghofelta. AMMAN:in osa on otettu  
käyttöön 1980-luvulla ja se on alun perin toiminut liikkuvana asfalttiasemana. Nykyisellä  
Oulun asfalttiasemalla on valmistettu keskimäärin 50 % rouhetta sisältävää asfalttia.  
Vuonna 2017 Oulun aseman raskaan polttoöljyn kulutus oli noin 7,73 kg/asfalttitonni.  
Kierrätysasfaltin määrä oli vuonna 2017 lähes 50 % valmistettavasta massasta. Asemalla  
on sähkölämmitteiset bitumisäiliöt.





Kuva 9. Oulun asfalttiasema

## 5.2 Lähtötietojen selvittäminen ja laskennan rajaus

Elinkaaren aikaiset hiilidioksidipäästöt rajataan koko elinkaaren sijaan koskemaan tiettyä osaa tuotteen elinkaaresta. Tässä päästölaskennassa huomioidaan moduulit A1–A5. Nämä moduulit sisältävät raaka-aineen valmistuksen, asfaltin valmistuksen, työmaatoimintojen ja kuljetuksien hiilidioksidipäästöt. Moduulit B1–D jätetään päästölaskennan ulkopuolelle. Kaikkien moduulien hiilidioksidipäästöjen määrittäminen antaisi tarkimman tuloksen.

Asfaltointiprosessin hiilidioksidipäästöjen laskennalle ei ole varmistettuja päästökertoimia eikä valtakunnallista ohjeistusta. Todennäköinen syy tähän on se, ettei asfaltin valmistus ole päästökaupan piirissä. Asfalttiaseman hiilidioksidipäästöt määritetään mittamalla tai laskemalla (Suomen ympäristökeskus 2005, s. 45). Tässä laskennassa hiilidioksidipäästöt määritetään laskemalla. Päästölaskennassa noudatetaan luvussa 4.2 määriteltyjä päästölaskennan perusteita. Laskentatapa on panospohjainen laskenta. Laskennan yhteydessä esitetään tarkemmat laskentakaavat jokaiselle panokselle.

Hiilidioksidipäästöjen laskennassa käytetään ensisijaisesti panoksen todelliseen määrään perustuvia arvoja ja panokselle nimenomaisesti määriteltyjä päästökertoimia. Jos todellisia tietoja ei ole saatavilla, käytetään kirjallisuudesta löytyviä arvoja. Asfalttiaseman rummun polttimen hiilidioksidipäästölaskennassa käytetään asfalttiasemalta päivittäin kerättävää tietoa asemalla valmistetusta asfalttimassamäärästä sekä aseman rummun polttoaineenkulutuksesta. Aseman sähkönkulutus määritetään sähkölaskun perusteella. Sähkölasku jaetaan asfalttitonneilla, jolloin saadaan sähkönkulutus asfalttitonnia kohden. Sähkön aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ilmoitetaan yhtenä lukuna, koska aseman osien ja bitumitankin sähkön kulutusta ei voida laskun perusteella erottaa toisistaan ja tarkempaa aineistoa aseman sähkönkulutuksesta ei ole saatavilla. Rummun polttoaineenkulutuksen arvona käytetään vuoden 2017 keskimääräistä tietoa. Keskiarvo kertoo päivittäistä lukua tarkemman tiedon asfalttiaseman toiminnasta.

Työkoneiden päästökerroin määritetään polttoaineenkulutuksen avulla. Arvion polttoaineenkulutuksesta tulee perustua koneiden ja laitteiden tehoon, työaikaan tai tehokkuuteen. Työkoneiden tarkka malli ja polttoaineenkulutus eivät aina ole tiedossa, jolloin työkoneiden hiilidioksidipäästöjen laskenta perustuu kirjallisuuslähteisiin. Massan keskimääräinen kuljetusmatka vaihtelee asemittain. Keskimääräinen kuljetusmatka lasketaan keskiarvona perustuen levityskohteiden etäisyyksiin asfalttiasemista. Bitumin ja kiviaineksen hiilidioksidipäästökertoimet perustuvat kirjallisuudessa esitettyihin arvoihin.

### 5.3 Asfaltin valmistusprosessissa syntyvät hiilidioksidipäästöt

Materiaalien hiilidioksidipäästöistä huomioidaan kiviaineksen ja bitumin valmistuksesta sekä kuljetuksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt. Laskennassa ei huomioida lisättäviä li-säaineita. Laskentaa yksinkertaistetaan olettamalla asfaltin koostuvan täysin uusista raaka-aineista. Asfalttimassan sideainepitoisuus vaihtelee massatyypin mukaan. Asfaltti-betonissa sideainepitoisuus on 5–7 % ja kiviaineksen osuus asfalttimassasta on 93–95 % (Hartikainen 2003, s. 96). Bitumiprosentiksi oletetaan 5 % ja kiviaineksen osuudeksi 95 %. Näitä arvoja on käytetty Liikenneviraston hiilidioksidipäästölaskelmissa ja Asfaltti-normien mukainen bitumiprosenttien keskiarvo on noin 5 %. (Aulankoski et al. 2014, s. 17; Pank ry 2011b, s. 49–76).

Murskeen päästökerroin on 2,5 kg CO<sub>2</sub> tuotetulta asfalttitonnilta. Tähän arvoon on otettu huomioon kuljetukset asfalttiasemalle. Bitumin päästökerroin on 9 kg CO<sub>2</sub> asfalttiton-nilta. (Aulankoski et al. 2014, s. 17.) Bitumin päästökertoimessa on otettu huomioon raa-kaöljyn uuttaminen, tuotteen kuljettaminen Eurooppaan, bitumin tuotanto ja varastointi. Päästökertoimen arvo on tehtaan portille -arvo eli arvossa otetaan huomioon bitumin kul-jetus asfalttiasemalle. (Eurobitume 2012.) Taulukossa 8 esitetään asfaltin raaka-aineiden valmistuksen ja kuljettamisen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt kilogrammoina asfalttiton-nia kohti. Raaka-aineet kuljetetaan kuorma-autoilla tai säiliöautolla asfalttiasemalle val-mistus- tai murskauspaikoilta.

Taulukko 8. Asfaltin raaka-aineiden hiilidioksidipäästöt

*Murskeen ja bitumin valmistamisen ja kuljettamisen hiilidioksidipäästöt bitumiprosentin ollessa 5 %*

<i>Bitumin päästöt</i>	9,0 kg CO <sub>2</sub> /asfalttonni
<i>Murskeen päästöt</i>	2,5 kg CO <sub>2</sub> /asfalttonni
<b><i>Hiilidioksidipäästöt</i></b>	<b>11,5 kg CO<sub>2</sub>/asfalttonni</b>

Kiviaines lämmitetään asfalttiaseman rummussa. Tällä hetkellä kaikilla Skanska Indust-rial Solutions Oy:n asfalttiasemilla käytetään polttoaineena raskasta polttoöljyä. Polttoai-neytyypin palamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt määritetään laskentakaavalla:

$$CO_2 - \text{päästöt} = \text{polttoaineenkulutus} * \text{lämpökerroin} * \text{päästökerroin} \quad (9)$$

(Naturvårdsverket 2018.)

Todellisen tuloksen saamiseksi hiilidioksidipäästöt kerrotaan hapettumiskertoimella (Suomen ympäristökeskus 2015, s. 45). Puupohjaisille polttoaineille sekä eläin- ja kasvi-rasvoille hapetuskerroimen arvo on 0,99. Fossiilisille polttoaineille hapetuskerroin on yleensä 1. (Tilastokeskus 2018.) Eri polttoaineiden lämpö- ja päästökertoimet on esitetty luvussa 6.3. Taulukossa 9 esitetään raskaan polttoöljyn aiheuttamat päästöt valmistettua asfalttitonnia kohden. Laskennassa oletetaan raskaan polttoöljyn rikkiprosentin olevan alle 0,5 %.

Taulukko 9. Raskaan polttoöljyn polttamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt

**Rummun polttimen aiheuttamat päästöt**

<i>Polttoaineenkulutus</i>	5,4*10 <sup>-3</sup>	polttoainetonni/asfalttitonni
<i>Päästökerroin</i>	77,0	tonnia CO <sub>2</sub> /TJ
<i>Tehollinen oletuslämpöarvo</i>	41,5	GJ/polttoainetonni
<i>Vapautuvat CO<sub>2</sub> päästöt</i>	3,2	tonnia CO <sub>2</sub> /polttoainetonni
<b><i>Hiilidioksidipäästöt</i></b>	<b>17,3</b>	<b>kilogrammaa/asfalttitonni</b>

Aseman ostosähköstä käytettävään päästökertoimeen vaikuttaa se, miten sähkö on tuotettu (Hippinen 2012, s. 8). Sähkölle on määritetty yleinen päästökertoimen arvo. Viiden vuoden keskiarvona laskettu, keskimääräinen sähkön päästökerroin on 164 kg CO<sub>2</sub>/MWh (Motiva 2018). Kaikilla Skanska Industrial Solutions Oy:n toimipaikoilla käytetään uusiutuvista energialähteistä tai ydinvoimalla tuotettua sähköä. Näistä lähteistä tuotetusta sähköstä ei synny hiilidioksidipäästöjä, jolloin päästökerroin on 0 kg CO<sub>2</sub>/MWh (Keto 2010). Hiilidioksidipäästöjä aiheutuu kuitenkin energian tuotantoketjussa materiaalien ja polttoaineiden hankinnasta, laitevalmistuksesta, kuljetuksista ja laitosten rakentamisesta ja purkamisesta (Vattenfall 2017). Taulukossa 10 esitetään sähkönkulutuksen aiheuttamat päästöt valmistettua asfalttitonnia kohden. Rovaniemen aseman sähköstä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat 0 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni.

Taulukko 10. Sähkönkulutuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt

**Sähkönkulutuksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt**

<i>Sähkön kulutus</i>	4,7	kWh/asfalttitonni
<i>Päästökerroin</i>	0,0	kilogrammaa/kWh
<b><i>Hiilidioksidipäästöt</i></b>	<b>0,0</b>	<b>kilogrammaa/asfalttitonni</b>

Asfaltointityömaalla toimivia työkoneita ovat jyrä, jyrsin sekä levittäjä. Jyrsimen päästöt rajataan laskennan ulkopuolelle. Asfalttiasemalla käytetty työkone on pyöräkuormaaja. Työkoneiden päästöt lasketaan VTT:n kehittämällä deterministisellä TYKO –työkoneiden laskentamallilla, joka on työkoneiden päästölaskentamalli. Laskenta perustuu työkoneen tekemän työn määrään (kWh/a) ja kulutukseen (g/kWh). Työkoneiden aiheuttamat päästöt määritetään kaavalla:

$$CO_2 - \text{päästöt} = \text{nimellisteho} * \text{käyttöteho} * \text{käyttöaika} * \text{päästökerroin} \quad (10).$$

(VTT 2016.)

Asfalttoinnin työkoneiden energiankulutukselle kilowattitunteina on määritetty oma kaavansa. Työkoneiden energiankulutus kilowattitunteina voidaan määrittää:

$$\text{energiankulutus} = \frac{\text{teho}}{\text{muuntokerroin}} * \frac{\text{päällystettävän tien pituus}}{\text{työkoneen nopeus}} * \frac{\text{tien leveys}}{\text{tien tehokas leveys}} * \text{ohituskertojen määrä} \quad (11).$$

(Vidal et al. 2013.)

Pyöräkuormaajan hiilidioksidipäästöt polttoainelitralla ovat 2655 g CO<sub>2</sub>/polttoainelitra (VTT lipasto 2017b). Rovaniemen pyöräkuormaaja kuluttaa vuorossa noin 200 litraa die-

seliä. Alla olevassa taulukossa 11 esitetään pyöräkuormaajan hiilidioksidipäästöt asfalttitonnilta. Laskenta perustuu pyöräkuormaajan keskimääräiseen polttoaineenkulutukseen ja päästökertoimen arvoon.

Taulukko 11. Pyöräkuormaajan hiilidioksidipäästöt asfalttitonnilta

**Pyöräkuormaajan hiilidioksidipäästöt**

<i>Polttoaineenkulutus</i>	200,0	polttoainelitra
<i>Päästökerroin</i>	2,7	kg CO <sub>2</sub> /polttoainelitra
<i>Hiilidioksidipäästöjen määrä</i>	531,6	kg
<i>Asfalttimassan määrä</i>	1048,2	asfalttitonnia
<b>Hiilidioksidipäästöt</b>	<b>0,5</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni</b>

Asfalttimassa kuljetetaan asfalttiasemalta massa-autolla levitystyömaalle. Kuorma-auton päästökerroin on 0,869 kg CO<sub>2</sub>/kilometri (Aulankoski et al. 2014, s. 17). Rovaniemen asfalttiasemalla valmistetaan asfalttimassaa Rovaniemen kaupungin alueella toimivalle levitysryhmälle sekä tiehankkeille. Asfalttimassan kuljetusmatkat vaihtelevat kuormittain. Kaudella 2018 Rovaniemen kaupungin alueella toimivan levitysryhmän levityskohdeiden etäisyys asfalttiasemasta oli keskimäärin 6,5 kilometriä. Rovaniemen kaupunkialueen lisäksi asfalttimassaa kuljetettiin muun muassa Sodankylän ja Kemijärven työmaille. Sodankylään on matkaa Rovaniemen asfalttiasemalta noin 130 kilometriä ja Kemijärvelle 90 kilometriä. Laskelmissa huomioidaan se, että työmaalta asfalttiasemalle ajettaessa kuorma on tyhjä. Tällöin kuorma-auton kuormauskapasiteetti pienenee 50 % maksimikapasiteetista.

Laskelmissa oletetaan, että kuljetus tapahtuu nuppikuorma-autoilla molemmille etäisyyksille. Kauempana sijaitseville työmaille kuljetetaan asfalttimassaa täysperävaunulla tai puoliperävaunulla. Nuppiautoon mahtuu noin 18 tonnia ja täysperävaunuajoneuvoon 41 tonnia asfalttimassaa. Kärrylistä kuorma-autoa ei käytetä lyhyemmällä kuljetusmatkalla, koska sen tyhjentäminen on hitaampaa irrotettavan kärryn takia. Kauemmaksi suuntautuvien kuljetusten hiilidioksidipäästöt ovat alla laskettua pienemmät täysperävaunulle, koska kuljetuksia tehdään vähemmän. Toisaalta päästökerroin täysperävaunulle on suurempi verrattuna nuppikuorma-auton hiilidioksidipäästöihin. Päästökertoimen arvot ovat erit täydelle ja tyhjälle kuormalle.

Taulukot 12 ja 13 kuvaavat kuljetusmatkan vaikutusta hiilidioksidipäästöihin. Työmaan sijaitessa asfalttiaseman läheisyydessä massan kuljetuksesta aiheutuvat päästöt ovat pienemmät verrattuna tilanteeseen, jossa työmaa on kaukana. Pidempi matka työmaalle kasvattaa polttoaineenkulutuksen lisäksi matka-aikaa. Matka-ajan piteneminen kasvattaa lämpöhäviöitä, jolloin massa lämmitetään asfalttiasemalla kuumemmaksi. Laskelma on yksinkertaistettu, eikä massan viilentymistä oteta huomioon.

Taulukko 12. Asfalttimassan kuljetus Rovaniemen kaupungin alueella

**Massan kuljetuksesta aiheutuvat päästöt lyhyt, nuppi**

Kuorma-auton päästökerroin	0,87	kg CO <sub>2</sub> /km
Kuljetusmatka	6,5	km
Lastaus	18,0	asfalttitonnia
<b>Hiilidioksidipäästöt</b>	<b>0,6</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni</b>

Taulukko 13. Massan kuljetus Rovaniemen asemalta Sodankylään

**Massan kuljetuksesta aiheutuvat päästöt, pitkä matka, nuppi**

Kuorma-auton päästökerroin	0,87	kg CO <sub>2</sub> /km
Kuljetusmatka	130,0	km
Lastaus	18,0	asfalttitonnia
<b>Hiilidioksidipäästöt</b>	<b>12,6</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni</b>

Taulukossa 14 esitetään levittimen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. Rovaniemen levittimen levitysteho on levitysrapporttien perusteella ollut vuosina 2017–2018 noin 900 neliometriä/tunnissa ja polttoaineenkulutus on ollut noin 14 litraa dieseliä/tunnissa. Näillä arvoilla laskettuna suuren levittimen polttoaineen kulutus on 0,016 litraa dieseliä/neliometri. Kirjallisuudesta saatu arvo asfalttilevittäjän kulutukseksi on 0,02 litraa dieseliä/neliometri. (Hagström 2011.) Arvot ovat suuruusluokaltaan samat. Laskelmassa käytetään kirjallisuudesta saatua päästökerrointa. Laskennassa oletetaan päällystelaatan massamäärän olevan 112,5 kg/m<sup>2</sup>. Tämä on Asfalttinormien (Pank ry. 2011b) mukainen massamäärä AB 16 päällysteelle. Polttoaineen lämpö- ja päästökertoimen arvoina käytetään Tiilastokeskuksen (2018) määrittämiä arvoja.

Taulukko 14. Levittimen hiilidioksidipäästöt asfalttitonnille kilogrammoina

**Levittimen hiilidioksidipäästöt**

Polttoaineenkulutus	0,02	polttoainelitraa/neliometri
Päällystelaatan massamäärä	112,5*10 <sup>-3</sup>	tonnia/neliometri
Polttoaineenkulutus (l) asfalttitonnilta	0,18	polttoainelitra/asfalttitonni
Polttoaineen oletustiheys	0,83	polttoainekilogramma/polttoainelitra
Polttoaineenkulutus (t) asfalttitonnilta	0,15	polttoainekilogramma/asfalttitonni
Tehollinen lämpöarvo dieselille	43,0	GJ/polttoainetonni
Energian määrä	6,3	MJ/asfalttitonni
Dieselin päästökerroin	65,5	tonnia CO <sub>2</sub> /TJ
<b>Hiilidioksidipäästöt</b>	<b>0,42</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni</b>

Jyrän polttoaineenkulutus on 0,018 l/m<sup>2</sup> (Hagström 2011). Asfaltointikausien 2017 ja 2018 historiatietojen mukaan iso jyrä kuluttaa 7 litraa dieseliä tunnissa. Työmaalla on yleensä kaksi isoa jyrää ja levitysteho on 900 neliometriä tunnissa. Yhden jyrän polttoaineenkulutus tunnissa on 0,0078 litraa/neliometri ja kahden jyrän polttoaineenkulutuksen

suuruusluokka on sama kirjallisuudesta saadun arvon kanssa. AB 16 asfalttimassan päällystelaatan massamäärä on keskimäärin 112,5 kg/m<sup>2</sup> (PANK ry 2011b, s. 53). Taulukossa 15 esitetään laskelma jyrän hiilidioksidipäästöistä. Laskelmassa arvoksi saadaan 0,37 kilogrammaa hiilidioksidia asfalttitonnilta. Polttoaineen lämpö- ja päästökertoimen arvoina käytetään Tilastokeskuksen (2018) määrittämiä arvoja.

Taulukko 15. Jyrän aiheuttamat hiilidioksidipäästöt

**Jyrän hiilidioksidipäästöt**

<i>Polttoaineenkulutus</i>	0,018	polttoainelitra/neliometri
<i>Päällystelaatan massamäärä</i>	112,5	polttoainekilogramma/neliometri
<i>Polttoaineenkulutus (l) asfalttitonnilta</i>	0,16	polttoainelitra/asfalttitonni
<i>Polttoaineen oletustiheys</i>	0,83	polttoainekilogramma/polttoainelitra
<i>Polttoaineenkulutus (t) asfalttitonnilta</i>	0,13	polttoainekilogramma/asfalttitonni
<i>Tehollinen lämpöarvo dieselille</i>	43,0	GJ/polttoainetonni
<i>Energian määrä</i>	5,7	MJ/asfalttitonni
<i>Dieselin päästökerroin</i>	65,5	tonnia CO <sub>2</sub> /TJ
<b>Hiilidioksidipäästöt</b>	<b>0,37</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni</b>

Taulukossa 16 esitetään asfalttoinnin kokonaispäästöt. Asfalttimassan hiilidioksidipäästöt ovat 30,69 kilogrammaa asfalttitonnia kohden, kun kuljetusmatka on 6,5 kilometriä. Jos kuljetusmatka on 50 kilometriä, ovat hiilidioksidipäästöt 34,9 kilogrammaa asfalttitonnilta.

Taulukko 16. Yhteenveto hiilidioksidipäästöjen jakautumisesta Rovaniemen asfalttiasemalla

<b>Työvaihe</b>	<b>Case-yrityksen hiilidioksidipäästöt (kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni)</b>
<i>Bitumi</i>	9,0
<i>Asfaltin valmistaminen</i>	17,3
<i>Pyöräkuormaaja</i>	0,5
<i>Kuljetukset</i>	0,6
<i>Kiviaines</i>	2,5
<i>Asfaltin levittäminen</i>	0,8
<b>Hiilidioksidipäästöt yhteensä</b>	<b>30,7</b>

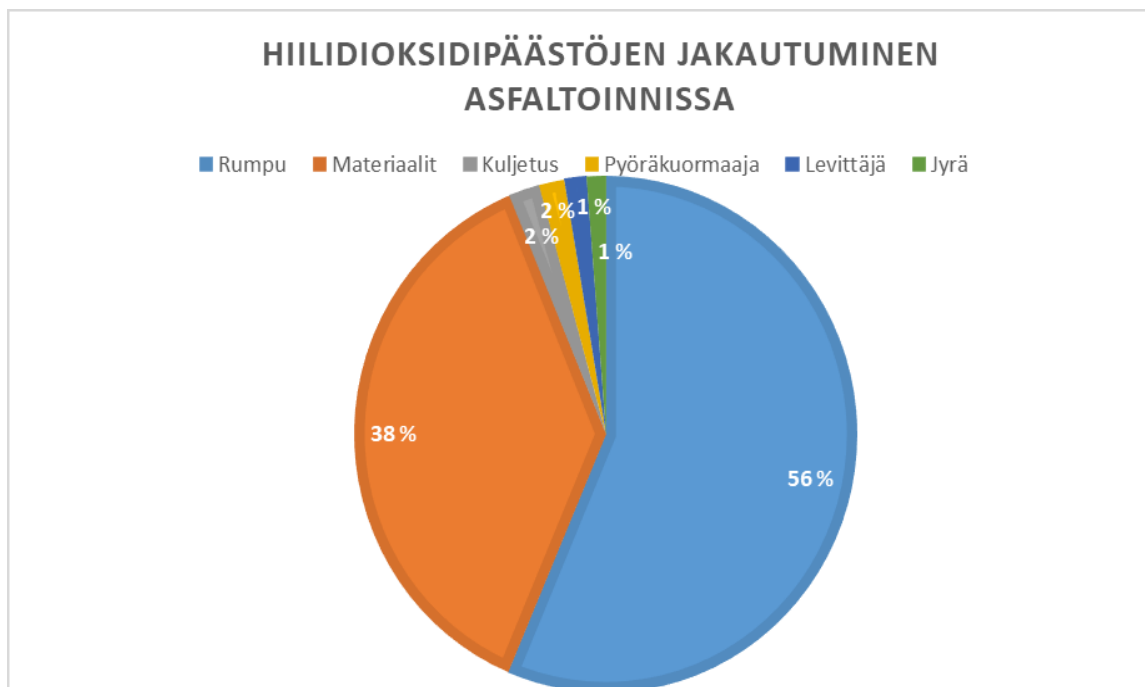
## 5.4 Hiilidioksidipäästölaskennan tuloksen analysointi

Liikennevirasto on laskenut asfalttimassan päästökertoimeksi 36 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni riippumatta asfalttityypistä. (Aulankoski et al. 2014, s. 17; Pank ry 2011b, s. 49–76.) YIT Oyj on laskenut hiilidioksidipäästöjen määräksi 35–40 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni ja Carbon Trust 69 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni (Forstén 2017, s. 9 ja Walch 2011). Rovaniemen hiilidioksidipäästölaskennan tulos on suuruusluokaltaan sama verrattuna Liikenneviraston ja YIT Oyj tekemien päästömääritysten tuloksiin.

Laskennan tulos kertoo päästöjen jakautumisen asfaltointiprosessissa. Laskentaa voidaan tarkentaa tulevaisuuden tutkimuksissa. Laskentatulosta parantaa tarkkojen konetyyppien

ja niiden polttoaineenkulutuksen hyödyntäminen. Raaka-aineiden hiilidioksidipäästöjen laskenta tarkentuu raaka-aineiden todellisilla kuljetusmatkoilla ja toimittajilta saaduilla tarkoilla päästökertoimilla. Polttoaineen kuljetuksen hiilidioksidipäästöjen tunteminen tarkentaa tulosta. Asfalttoinnin keskimääräisten päästöjen sijaan voidaan määrittää projektikohtaiset päästöt sekä tarkat päästöt jokaiselle massatyypille. AB-massojen asfalttityyppien päästökertoimissa ei ole merkittävää eroa. ABK-massojen bitumiprosentti on pienempi, joten niiden päästökertoimet ovat pienemmät (Pasanen, Miilunmäki 2017.)

Kuvaaja 4 esittää päästöjen jakautumisen asfaltointiprosessissa. Kiviaineksen lämmityksellä ja raaka-aineiden valmistamisella on suurimmat hiilidioksidipäästöt asfaltin valmistusprosessissa. Suurin hiilidioksidipäästöjen vähennyspotentiaali on näissä. Kuljetuksen vaikutus hiilidioksidipäästöihin on merkittävä kuljetusmatkan pidentyessä. Asfaltin levityksen aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen merkitys on vähäinen verrattuna asfalttiase-  
man kokonaispäästöihin.



Kuvaaja 4. Hiilidioksidipäästöjen jakautuminen asfaltin valmistuksessa ja levityksessä

Muiden case-yrityksen asfalttiasemien kokonaishiilidioksidipäästöt arvioidaan asfalttiasemien polttoaineenkulutuksen avulla. Materiaalien, kuljetusten ja työkonien arvoina käytetään samoja arvoja kuin Rovaniemen asfalttoinnin hiilidioksidipäästöjä määritettäessä. Taulukossa 17 on laskettu raskaan polttoöljyn käytöstä aiheutuneet hiilidioksidipäästöt asfalttitonnille ja asfalttoinnin kokonaispäästöt. Hiilidioksidipäästöjen määrät vaihtelevat paljon eri asfalttiasemilla. Ero vähiten ja eniten hiilidioksidipäästöjä tuottavien asfalttiasemien välillä on huomattava. Vähiten tuottava asfalttiasema kuluttaa raskasta polttoöljyä 3,5 kg/asfalttitonni ja eniten kuluttava asfalttiasema 8,6 kg/asfalttitonni. Erot asfalttiasemien hiilidioksidipäästöissä tarkoittavat sitä, että hiilidioksidipäästöjen vähennysmenetelmiä ja -tavoitteita tulee tarkastella asemakohtaisesti.

Taulukko 17. Hiilidioksidipäästöt case-yrityksen asfalttiasemilla ja asfaltoinnin kokonaispäästöt

Asema	Asfalttiaseman hiilidioksidipäästöt (kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni)	Asfaltoinnin hiilidioksidipäästöt (kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni)
Asema A	16,8	30,2
Asema B	16,7	30,1
Asema C	15,3	28,7
Asema D	22,7	36,1
Asema E	20,1	33,5
Asema F	27,6	41,0
Asema G	24,4	37,8
Asema H	24,0	37,4

Kirjallisuusosion perusteella tiedetään, että aseman polttoainekulutukseen vaikuttavat:

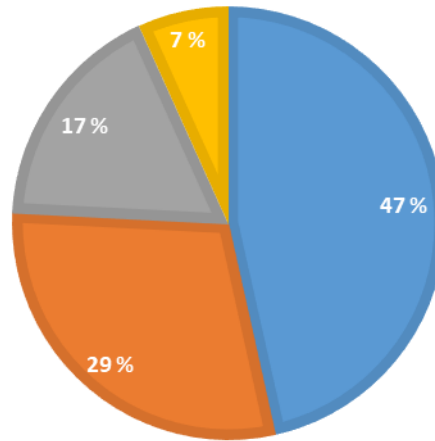
- kiviaineksen ominaislämpökapasiteetti (kiviaineksen lämmittäminen)
- asfalttiaseman tyyppi
- asfalttiaseman käynnistämiseen tarvittava polttoainemäärä
- valmistettava massa eli massatyypille vaadittava levityslämpötila
- massan kuljetusmatka
- rouheen määrä
- kiviaineksen murskaus aika
- kiviaineksen kosteusprosentti
- kiviaineksen tyyppi
- massan valmistusvolyymi
- ilman määrä
- lämpöhäviöt
  - rakennekerroksien paksuudet ja lämmönjohtavuus
  - tuulen nopeus
  - ulkolämpötila.

Asfalttiaseman polttoainekulutukseen voidaan vaikuttaa tiedettäessä päästöjen jakautuminen asfalttiasemalla. Skanska Industrial Solutions Oy :n laskelman tulos esitetään kuvaajassa 5. Laskelmassa oletetaan, että lämpötila asemapaikalla on 15 celsiusta ja massan lämpötila 150 celsiusta. Tuulen nopeudeksi oletetaan 10 m/s ja kiviaineksen kosteusprosentiksi 3 %. Aseman tuotantoteho on 100 asfalttitonnia/h. Polttoainetta kuluu kiviaineksen lämmittämiseen 3,4 l/asfalttitonni, kiviaineksessa olevan veden lämmittämiseen 2,14 l/asfalttitonni, lämpösäteilyyn 1,27 l/asfalttitonni sekä palamiseen tarvittavan ilman ja varailman lämmitykseen 0,51 l/asfalttitonni. (Skanska Industrial Solutions Oy 2018b.)



## POLTTOAINEENKULUTUKSEN JAKAUTUMINEN ASFALTTIASEMALLA

■ Kiviaineksen kuumennus ■ Kiviaineksen kuivaus ■ Lämpösäteily ■ Varailman lämmitys



*Kuvaaja 5. Hiilidioksidipäästöjen jakautuminen asfalttiasemalla*

Tulevissa tutkimuksissa polttoaineenkulutus tulee mitata asfalttiasemittain. Kiviaineksesta ja rouheesta tulee mitata säännöllisesti kosteusprosentit, jolloin saadaan kosteusprosentin osuus kokonaispäästöistä. Asfalttimassan valmistuslämpötilaa tulee mitata säännöllisesti. Tuntemalla asfalttimassan valmistuslämpötila, rouheen määrä, rouheen ja kiviaineksen kosteusprosentit sekä polttoaineenkulutus saadaan määritettyä polttoaineenkulutuksen jakautuminen asfalttiasemalla. Tällä tavoin hiilidioksidipäästöjen vähentäminen saadaan kohdistettua oikeisiin osiin valmistusprosessia.

## 6 Vähennystoimenpiteiden vaikutus hiilidioksidipäästöihin

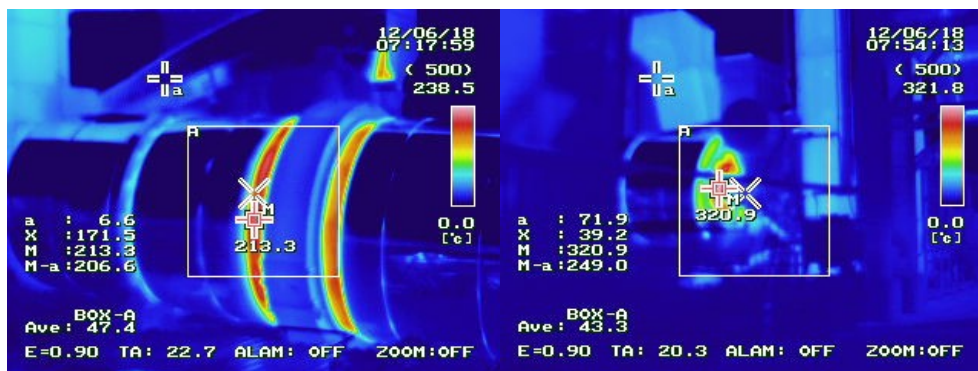
Luvussa 6 tutustutaan luvussa 5 esitettyjen hiilidioksidipäästöjen vähennystoimenpiteiden vaikutuksiin.

### 6.1 Lämpömittaukset asfalttiasemilla

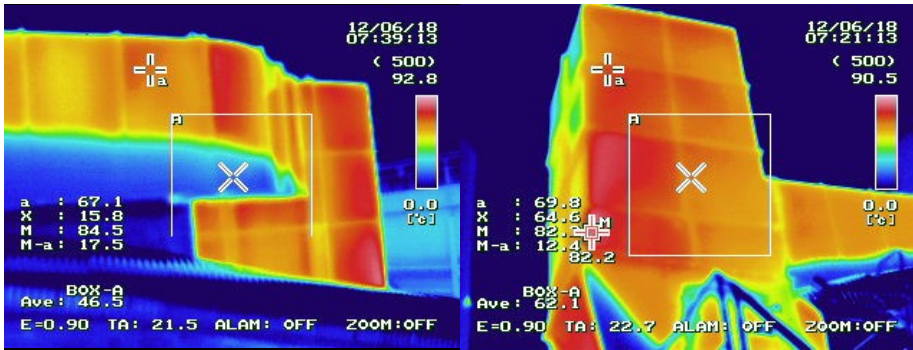
Tässä alaluvussa käsitellään lämpöhäviöiden muodostumista Skanska Industrial Solutions Oy:n Rovaniemen, Tornion sekä Oulun asfalttiasemilla. Lämpöhäviöitä mitattiin InfReC:in Thermo gear G100EX -lämpökameralla. Lämpötilakalibrointi tehtiin kameran automaattista lämpötilakalibrointia käyttämällä. Mittaushetkellä kamera oli optimaalinen asfaltin lämpötilan mittaamiselle, koska emissiivisyys oli määritetty asfaltille oikeaksi eli arvoon 0,9. Emissiivisyys on metalleille asfalttimassaa pienempi. Metallin hapettuminen vaikuttaa emissiivisyyden arvoon. Hapettuneelle teräkselle emissiivisyyden arvo on 0,8. Saadut lämpökamerakuvat eivät näytä oikein absoluuttista lämpötilaa. (Quinn Brewster 1992, s. 56 ja Optotherm 2018.) Kuvista näkyy asfalttiaseman osat, joissa lämpöhäviöitä syntyy.

Mittaukset suoritettiin 12–14.6.2018 peräkkäisinä mittauspäivinä. 12.6.2018 mittauksia tehtiin Rovaniemellä ulkolämpötilan ollessa 7 celsiusta, 13.6.2018 Torniossa ulkolämpötilan ollessa 10 celsiusta ja 14.6.2018 Oulussa ulkolämpötilan ollessa 17 celsiusta. Rovaniemellä oli mittaushetkellä tuulista, Oulussa poutaa ja Torniossa sateista. Mittaukset tehtiin käynnissä oleviin asfalttiasemiin. Oulun ja Rovaniemen asfalttiasemat olivat kuvausta ennen pidemmän aikaa käynnissä. Tornion aseman kuvaaminen aloitettiin 10 minuuttia massan valmistamisen aloittamisen jälkeen. Mittauksien parempaa analysointia varten massan valmistuslämpötila olisi tullut selvittää.

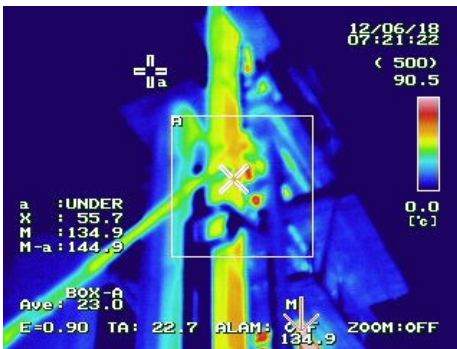
Kuvat 10–15 näyttävät lämpöhäviöt Skanska Industrial Solutions Oy:n Rovaniemen asfalttiasemalla. Kuvasta 10 nähdään, että Rovaniemen asfalttiaseman rummu on hyvin eristetty lukuun ottamatta metallisia renkaita. Renkaat ovat kylmäsiltoja. Rummussa lämpöhäviöitä syntyy polttimen ympärillä. Parantamalla rummun metallisten osien ja rummun pään eristystä, pienennetään asfalttiaseman hiilidioksidipäästöjä. Kuvassa 11 näkyvät asfalttiaseman pölyputken lämpöhäviöt. Kuvasta nähdään, että putken koko pinnasta aiheutuu lämpöhäviöitä. Kuvassa 12 näkyvät elevaattorin lämpöhäviöt ja kuvassa 13 siilojen lämpöhäviöt Rovaniemellä. Kuvassa 14 on esitetty pölytalon ja bitumitankkien lämpöhäviöt ja kuvassa 15 asfalttiaseman sekoittajan lämpöhäviöt.



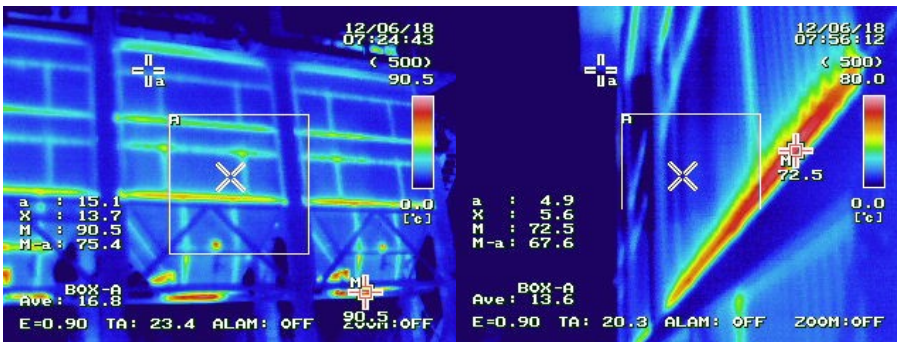
Kuva 10. Rovaniemen asfalttiaseman rummun lämpöhäviöt



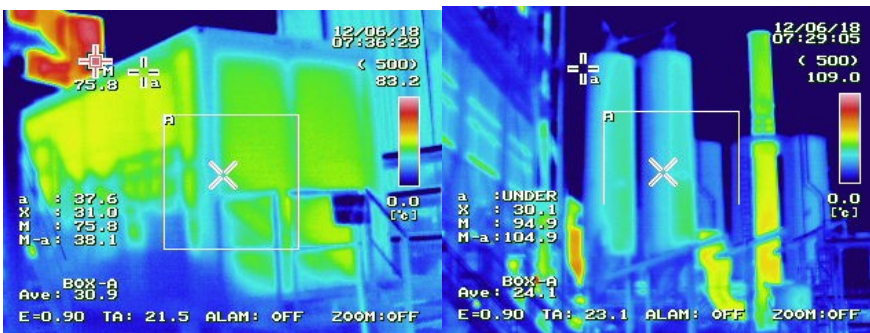
Kuva 11. Rovaniemen asfalttiaseman pölyputki



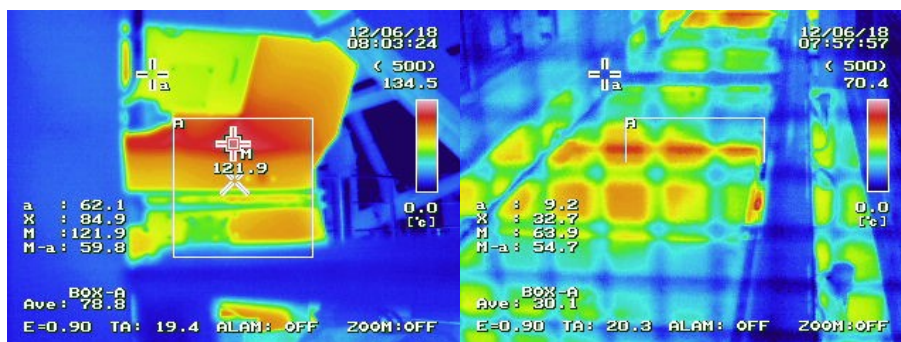
Kuva 12. Rovaniemen aseman elevaattorin lämpöhäviöt



Kuva 13. Rovaniemen aseman sillojen lämpöhäviöt



Kuva 14. Rovaniemen aseman pölytalon ja bitumitankkien lämpöhäviöt



Kuva 15. Rovaniemen aseman sekoittaja

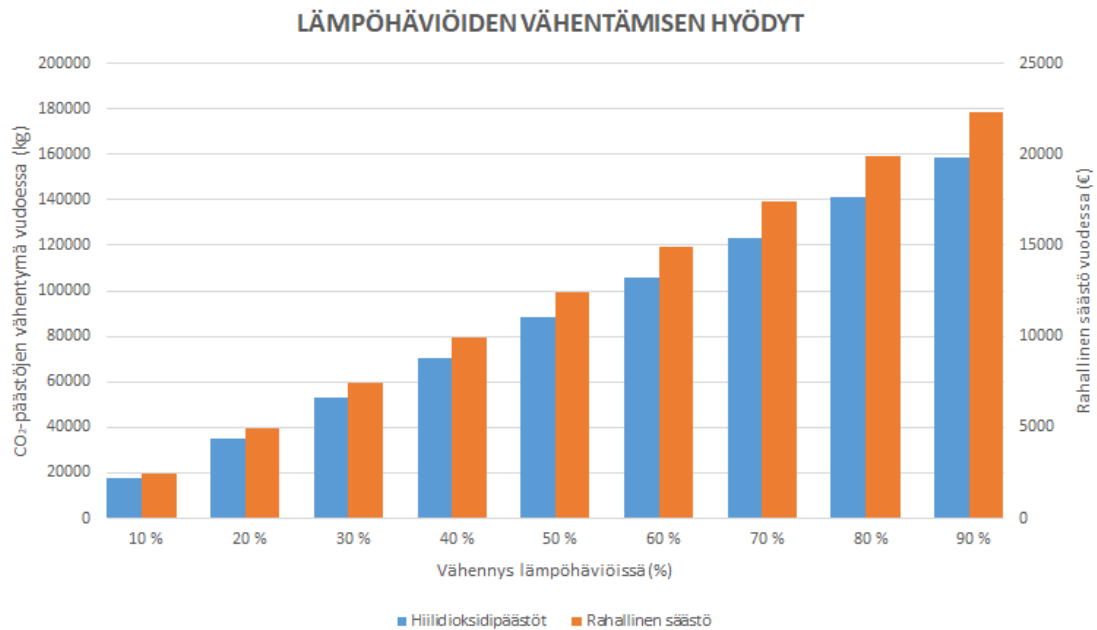
Oulun ja Kemin lämpökamerakuvat ovat tämän diplomityön liitteenä 1. Tornion aseman lämpökuvista nähdään, että Tornion asfalttiasema on kauttaaltaan huomattavasti eristetty verrattuna Rovaniemen asfalttiasemaan. Tornion asfalttiaseman rummun eristeen parantaminen vaatisi koko rummun eristämisen tai vaihtamisen. Tornion asfalttiasemalla huomattavia lämpöhäviöitä syntyy rummun lisäksi sekoittajasta ja avoimesta massan kuljettimesta. Tornion asemalla on avoimet lämpösiilot, jotka aiheuttavat asfalttimassan viilenymistä. Oulun asfalttiasemalla rouherumpu kuumenee huomattavasti. Merkittävintä lämpeneminen on rummun päässä lähellä rummun poltinta. Lämpöhäviöiden vähentämiseksi rouherumpu tulee eristää kauttaaltaan tai hankkia uusi rumpu. Oulun asfalttiaseman toisestakin rummusta aiheutuu lämpöhäviötä. Tässä rummussa suurimmat lämpöhäviöt aiheutuvat rummun keskellä olevista metallirenkaista. Oulun asfalttiaseman sekoittajasta, siloista ja elevaattorista aiheutuu merkittävä määrä lämpöhäviöitä.

Eri asfalttiasemilla suurimmat lämpöhäviöt esiintyvät samoissa kohdissa. Rovaniemen, Oulun ja Tornion asfalttiasemien merkittävimmät lämpöhäviöt muodostuvat asfalttiaseman rummussa. Merkittävä määrä lämpöhäviöitä syntyy lisäksi pölytalon putkistossa, sekoittajassa, elevaattorissa ja siilossa. Rovaniemen asema on kuvatuista asemista parhaiten eristetty. Tämä selittyy aseman iällä. Uudessa asemassa erityisesti rummun eristystä on parannettu.

Lämpöhäviöiden tunnistamisen jälkeen tutkitaan asfalttiaseman eristämisen vaikutusta asfalttiaseman polttoaineenkulutukseen. Eristettävän kohdan valintaan vaikuttavat hiilidioksidipäästöjen määrä suhteessa valmistusprosessiin, eristämisen hinta ja eristeiden asentamisen haastavuus. Elevaattori on muodoltaan yksinkertainen ja sen kuori ei liiku, jolloin sen eristäminen on todennäköisesti helpompaa verrattuna liikkuvien osien ja monimutkaisempien geometrioiden eristämiseen. Kun eriste on lisätty, kuvataan kohta uudelleen lämpökameralla ja mitataan polttoaineenkulutus, asfalttimassan valmistuslämpötila ja ulkolämpötila.

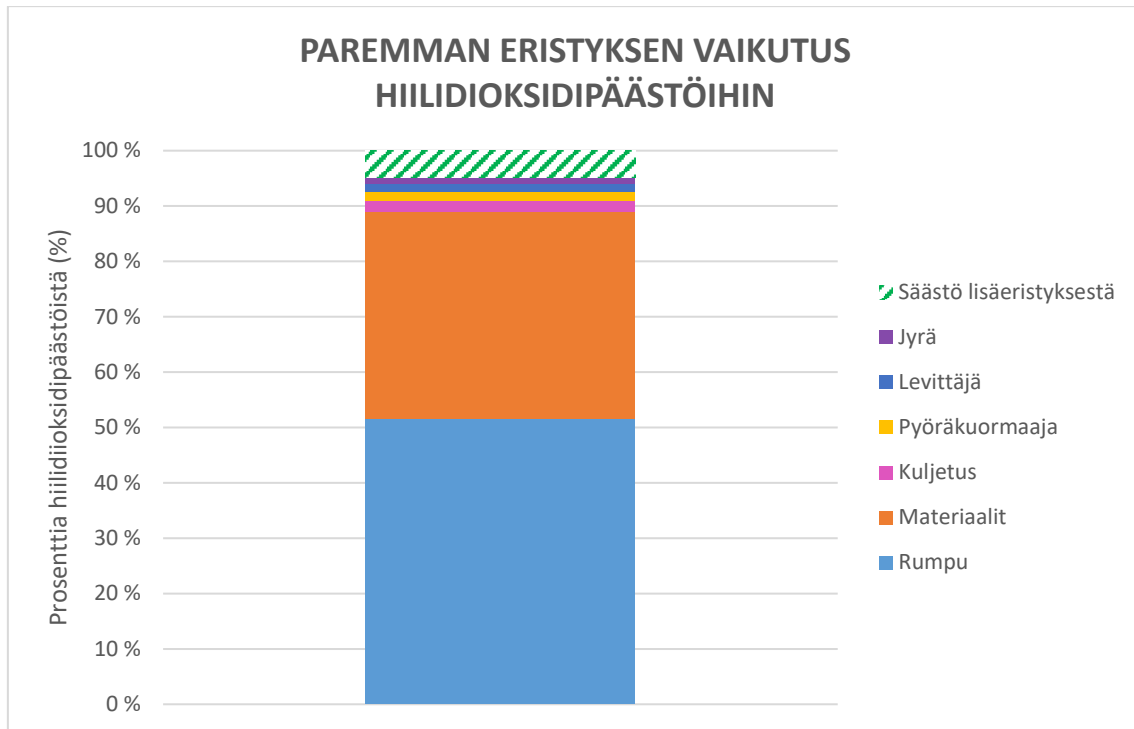
Asfalttiaseman eristämisen jälkeen sen polttoaineenkulutuksessa tapahtuvia muutoksia tutkitaan. Jos todetaan, että aseman eristäminen on kannattavaa, jatketaan eristämistä vaikeampiin ja kustannuksiltaan kalliimpiin kohtiin. Yksittäisen osan eristämällä ei välttämättä ole merkittävää vaikutusta asfalttiaseman polttoaineenkulutukseen ja suurempien vaikutusten aikaansaamiseksi tulee eristämisen olla systemaattista. Kaikkia lämpöhäviöitä on vaikeaa poistaa. Investoitaessa uusiin asfalttiasemiin tai sen osiin tulee huomiota kiinnittää eristykseen, jolloin myöhempi eristystarve pienenee.

Kuvaajassa 6 esitetään eristämisen vaikutus hiilidioksidipäästöihin sekä hintaan. 17 % asfalttiaseman hiilidioksidipäästöistä kuluu lämpöhäviöihin. Tällöin Rovaniemen asfalttiasemalla syntyy hiilidioksidipäästöjä 2,9 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni. Oletetaan, että asfaltin valmistusmäärä on 60 000 tonnia asfalttia kaudessa. Tällöin hiilidioksidipäästöjä syntyy 174 000 kg CO<sub>2</sub> koko kaudelta. Raskaan polttoöljyn hinnaksi oletetaan 0,45 euroa kilogrammalta. Tällöin lämpöhäviöihin kuluu 25 000 euroa kaudessa. 50 % vähennys lämpöhäviöissä pienentää hiilidioksidipäästöjä asfalttiasemalla 87 000 kilogrammalla ja 25 % pienemmät lämpöhäviöt aiheuttavat 45 000 kilogrammaa vähemmän hiilidioksidipäästöjä. Kuvaajassa 7 esitetään asfalttoinnin kokonaishiilidioksidipäästöjen jakautuminen, kun lämpöhäviöiden määrä pienenee 50 %. Rovaniemen asfalttoinnin kokonaishiilidioksidipäästöiksi saadaan 29,23 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonnilta. Pudotus on 4,8 % asfaltointiprosessin hiilidioksidipäästöistä, jolloin rummun hiilidioksidipäästöt pienenevät 8,5 %.



Kuvaaja 6. Lämpöhäviöiden pienentymisen vaikutus hiilidioksidipäästöihin sekä hintaan, kun polttoaineen kulutus on 5,4 kilogrammaa asfalttitonnilta, oletusmassamäärä on 60 000 asfaltttonnia kaudessa ja 17 % polttoaineesta oletetaan kuluvan lämpöhäviöihin

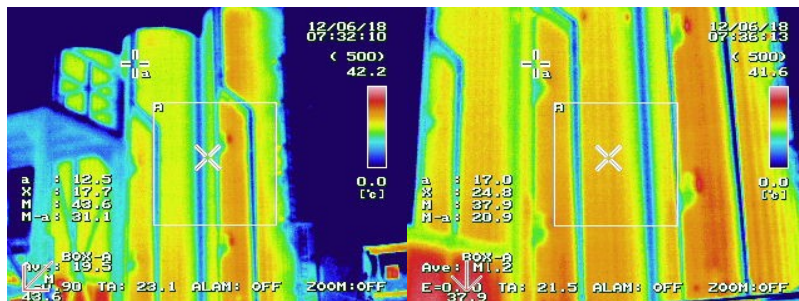




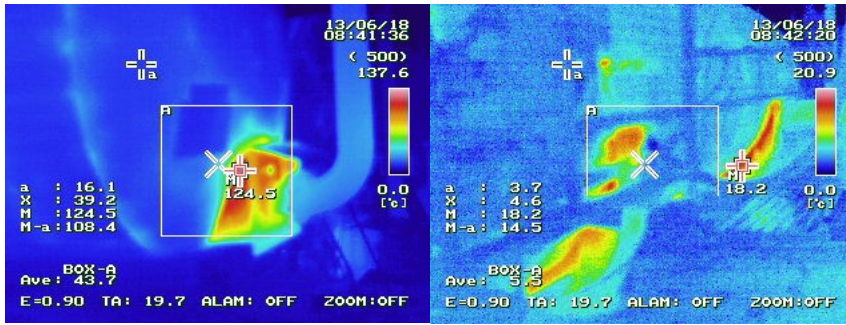
Kuvaaja 7. Hiilidioksidipäästöjen jakautuminen asfaltointiprosessissa, kun kokonaispäästöjen määrä on 29,23 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni ja lämpöhäviöiden oletetaan pienenevän 50 % niiden alun perin ollessa 17 % polttoainekulutuksesta

## 6.2 Bitumitankit

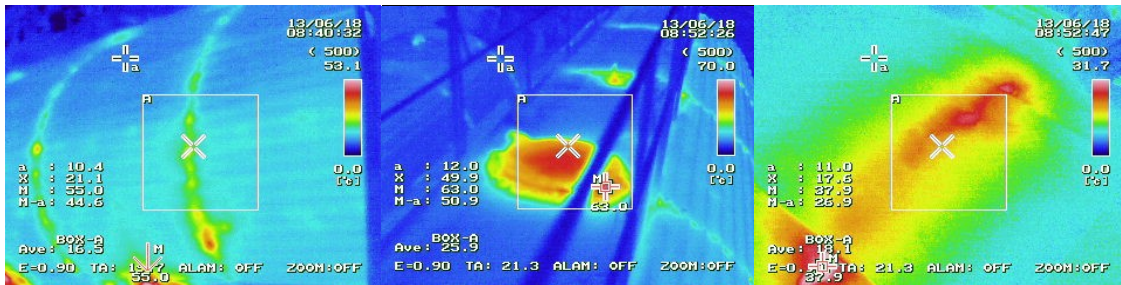
Kuvissa 16–19 näkyvät Skanska Industrial Solutions Oy:n asfalttiasemien bitumisäiliöiden lämpöhäviöt. Kuvat ovat otettu edellisessä luvussa 6.1 esitettyjen lämpömittauksien yhteydessä. Erityisesti eristämättömät kannet aiheuttavat lämpöhäviöitä. Myös bitumitankkien pinnalta siirtyy lämpöä. Rovaniemen bitumitankit ovat bitumitankeista parhaiten eristettyjä. Kaikkien case-yrityksen bitumitankkien kunnon ja eristyksen tarkistaminen on kannattavaa. Vanhoja bitumitankkeja eristämällä pienennetään asfalttiaseman hiilidioksidipäästöjä. Skanska Industrial Solutions AB on tutkinut Ruotsissa eristeiden vaikutusta. Nykyaikaisen 10 senttimetriä paksun eristeen lämpöhäviöt ovat 69 wattia/neliö ja nykyaikaisen 30 senttimetriä paksun eristeen lämpöhäviöt ovat 21 wattia/neliö (Gustavsson ja Larsson 2011).



Kuva 16. Rovaniemen asfalttiaseman bitumitankit



Kuva 17. Tornion aseman bitumitankin lämpöhäviöitä



Kuva 18. Tornion aseman bitumitankin lämpöhäviöitä



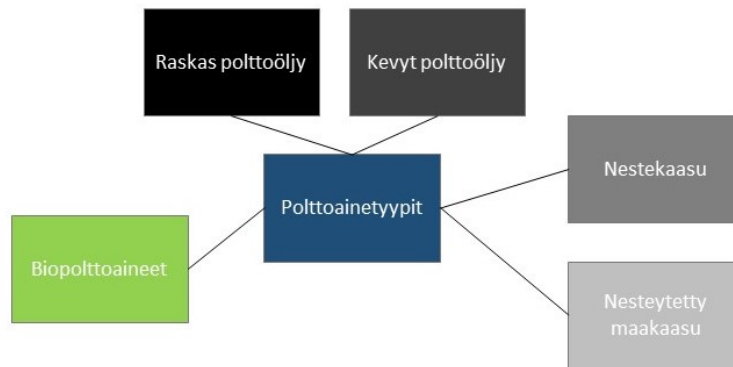
Kuva 19. Oulun aseman bitumitankin lämpöhäviöt

Osa bitumisäiliöistä lämmitetään sähköllä ja osa polttoaineella. Polttoainelämmitteisten bitumitankkien korvaaminen sähkölämmitteisillä bitumitankeilla pienentää asfalttiaseman hiilidioksidipäästöjä, koska sähkön päästökerroin on 0 kg CO<sub>2</sub>/kWh. Bitumia tulee lisäksi säilyttää bitumityypille optimaalisessa lämpötilassa.

Bitumitankkien lämpöhukan määrä ja eristeen tarve on mahdollista minimoida investoimalla suurempiin bitumitankkeihin pienempien bitumitankkien sijaan. Oletetaan, että bitumille tarvitaan säilytystilaa 100 kuutiota. 100 kuutioisen bitumitankin säde on 2,1 metriä ja korkeus 7,2 metriä. Tällöin kokonaispinta-ala on 123 neliometriä. Kahden bitumitankin koot ovat 50 kuutiota kummankin. Yhden tankin säde on 1,8 metriä ja korkeus 4,9 metriä. Kahden bitumitankin yhteispinta-ala on 152 neliometriä. Suuremman bitumitankin pinta-ala verrattuna tilavuuteen on pienempi kuin kahden pienemmän bitumitankin yhteenlaskettu tilavuus suhteessa tankkien yhteenlaskettuun pinta-alaan. 30 senttimetrin paksuisella eristeellä lämpöä häviää 100 kuution tankista 2583 watin teholla ja kahdesta 50 kuution tankista 3193 watin teholla.

### 6.3 Polttoainetyypit

Asfalttiasemalla polttoainetta poltetaan aseman rummun polttimessa. Aseman polttoaineenkulutus aiheuttaa suurimmat hiilidioksidipäästöt koko asfaltointiprosessissa. Asfalttiaseman rummun polttoaineen vaihtaminen on tehokas tapa pienentää asfalttiaseman hiilidioksidipäästöjä. Kuvassa 20 näytetään asfalttiasemalle soveltuvia polttoaineita.



Kuva 20. Asfalttiasemaan soveltuvia polttoaineita

Polttoaineiden aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen laskeminen perustuu polttoaineenkulutuksen, päästökertoimen sekä hapettumis- tai muuntokertoimien tuntemiseen (Suomen ympäristökeskus 2005, s. 13). Muutettaessa palava materiaali tuote- ja materiaalivirrasta energiavirraksi, käytetään muutoksessa polttoaineen alempia lämpöarvoja (EN 15804 2013, s. 48). Polttoaineiden päästöjen laskemiseen tarvitaan polttoaineenkulutus, polttoaineen lämpökerroin sekä polttoaineelle määritetty päästökerroin (Naturvårdsverket 2018).

Suomessa Tilastokeskus julkaisee vuosittain polttoaineluokituksen, josta ilmenevät hiilidioksidipäästökertoimet ja lämpöarvot käyttökattilassa. Taulukossa 18 näkyvät valitut päästökertoimet. BIO-liitteellä tarkoitetaan sitä, että kyseessä on biopolttoaine, jonka päästöjä ei lasketa Suomen kasvihuonekaasujen kokonaismäärään. (Tilastokeskus 2018.)



Taulukko 18. Polttoaineiden päästökertoimet ja teholliset lämpöarvot Tilastokeskuksen mukaan

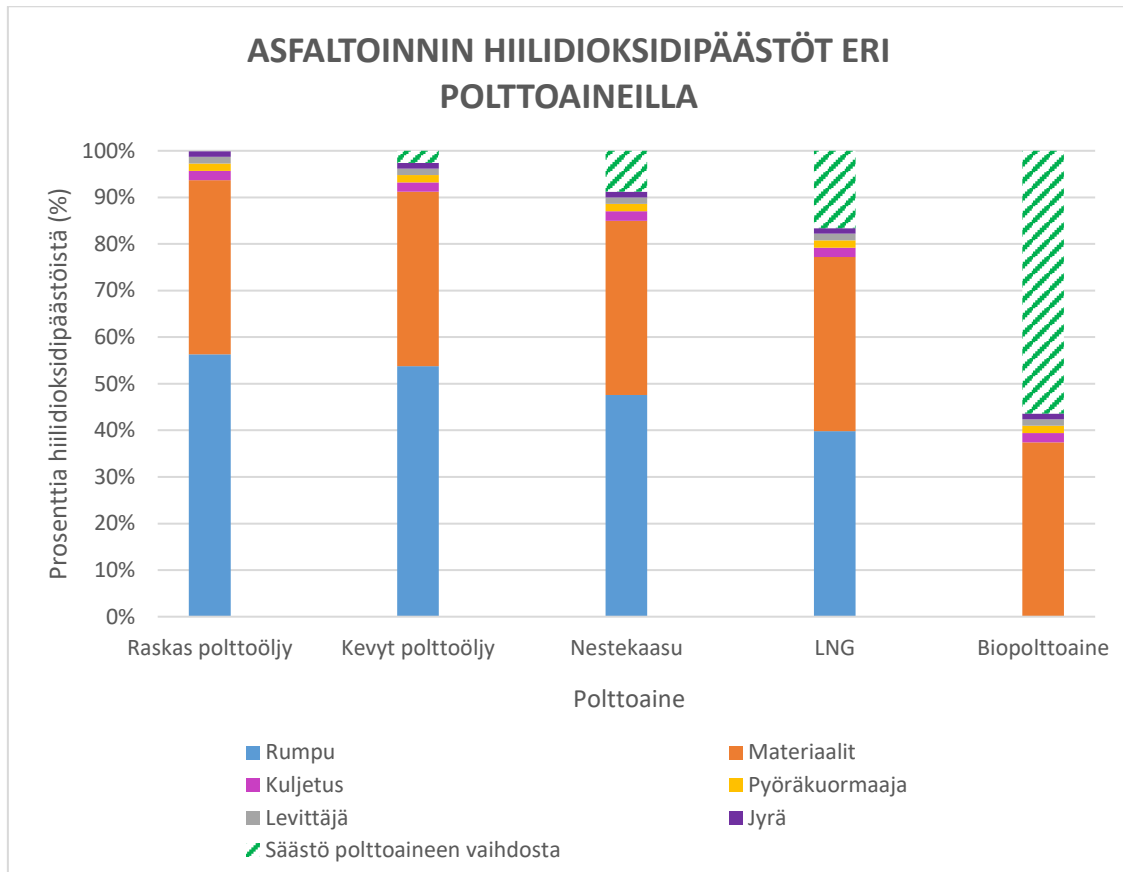
<b>Polttoaine</b>	<b>Yksikkö</b>	<b>Päästökerroin (tonnia CO<sub>2</sub>/TJ)</b>	<b>Tehollinen (alempi) ole- tuslämpöarvo käyttökä- tilassa (GJ/(t. tai m<sup>3</sup>))</b>
Dieselöljy (11% bio-osuus)	t	65,5	43,0
Kevyt polttoöljy (vähärikkinen/rikitön)	t	73,5	43,0
Raskas polttoöljy (rikki<0,5%)	t	77,0	41,5
Raskas polttoöljy (rikki<0,1%)	t	76,1	42,1
Nesteytetty maakaasu (LNG)	t	55,8	49,3
Maakaasu	1000 m <sup>3</sup>	55,3	36,5
Jalostamokaasu	t	54,0	50,0
Nestekaasu	t	64,9	46,3
Eläinrasvat (BIO)	t	75,0	37,0
Kasviöljyt ja –rasvat (BIO)	t	72,0	37,0
Kaatopaikkakaasu (BIO)	1000m <sup>3</sup>	56,1	17,0
Jätevedenpuhdistamon biokaasu (BIO)	1000m <sup>3</sup>	56,1	23,0
Teollisuuden biokaasu (BIO)	1000m <sup>3</sup>	56,1	28,0
Biometaani ja synteettinen biokaasu (BIO)	1000m <sup>3</sup>	56,1	36,0
Biopolttoöljy (BIO)	t	75,0	38,5
Bionestekaasu (BIO)	t	65,0	46,2
Kutterilastut, hiontapöly tms. (BIO)	t	109,6	17,0
Puutähdehake, murske (BIO)	t	109,6	10,5
Puupelletit ja briketit	t	109,6	17

Alla olevassa taulukossa 19 kuvataan eri polttoaineiden aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. Tällä hetkellä Rovaniemen asfalttiaseman polttoaineen kulutus on 5,41 kg/asfalttitonni, joka vastaa energiana 218,6 MJ/asfalttitonni. Taulukossa esitetään hiilidioksidipäästöt asfalttitonnia kohti eri polttoainetyypeillä. Raskas polttoöljy vapauttaa tutkittavista polttoaineista eniten hiilidioksidipäästöjä. Hiontapölyn ja muiden puupohjaisten jätteiden päästökertoimet ovat suuria (Tilastokeskus 2018). BIO-polttoaineiden päästökerroin on nolla, koska niistä ei aiheudu fossiilisia hiilidioksidipäästöjä.

Taulukko 19. Hiilidioksidipäästöt asfalttitonnille eri polttoainetyypeillä

<b>Polttoainetyyppi</b>	<b>Hiilidioksidipäästöt kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni</b>
Raskas polttoöljy	17,3
Maakaasu (LNG)	12,5
Kevyt polttoöljy	16,5
Kasviöljy (BIO)	0,0 (16,2)
Bionestekaasu (BIO)	0,0 (14,6)
Jalostamokaasu	12,1
Nestekaasu	14,6
Hiontapöly (BIO)	0,0 (24,6)
Kaatopaikkakaasu (BIO)	0,0 (12,6)

Kuvaajassa 8 esitetään Rovaniemen asfaltoinnin kokonaispäästöjen muutos ja jakautuminen eri polttoaineilla. Jos vuosittainen massan valmistusmäärä on 60 000 tonnia, raskaan polttoöljyn vaihtaminen maakaasuun pienentää hiilidioksidipäästöjä 306 tonnia. Prosentuaalisesti Rovaniemen asfaltoinnin kokonaispäästöt pienentyvät 16,6 %. Vaihtaminen nestekaasuun pienentää hiilidioksidipäästöjä 186 tonnia. Maakaasu on nestekaasua parempi vaihtoehto. Maakaasu (LNG) tuottaa vähiten hiilidioksidipäästöjä fossiilisista polttoaineista. BIO-merkittyyä polttoaineita polttamalla asfalttiaseman hiilidioksidipäästöt laskevat nollaan pienentäen 56,4 % koko asfaltointiprosessin hiilidioksidipäästöjä. Lämpöarvoltaan parhaat biopolttoaineet ovat metanoli, kasviöljyt, eläinrasvat, biokaasut ja biopolttonesteet.



Kuvaaja 8. Hiilidioksidipäästöjen jakautuminen korvaavilla polttoaineilla: kevyt polttoöljy (29,9 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni), nestekaasu (28,0 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni), LNG maakaasu (25,9 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni) ja biopolttoaine (13,4 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni)

Rajoittavia tekijöitä polttoaineen vaihdossa ovat polttoaineen hinta, saatavuus, biopolttoaineiden riittävä puhtaus, energiaverotus ja investoinnit uusiin kattiloihin. Investoiminen uusiin laitteistoihin on kallista. Korvaamalla raskas polttoöljy fossiilisilla polttoaineilla ei saavuteta lopullisia päästötavoitteita. Biopolttoaineiden päästökertoimien ja energiaverotuksen mahdolliset muutokset vaikuttavat investointeihin. Sijainti vaikuttaa nestekaasun, maakaasun ja biopolttoaineiden saatavuuteen. Maakaasun hinta on kilpailukykyinen maakaasuverkon läheisyydessä. Nesteytetyn maakaasun ja nestekaasun hinnat ovat kilpailukykyisemmät jakeluterminaaleja lähellä sijaitsevilla asfalttiasemilla. Pitkät kuljetusmatkat kasvattavat hintaa ja kuljetuksen hiilidioksidipäästöjä. Biopolttoaineet tulee hankkia

asfalttiaseman läheisyydestä. Biopolttoaineiden lämpöarvot ovat usein huonompia fossiiliin kaasuihin ja öljyihin verrattuna, jolloin tarvittava määrä on suurempi. Biopolttoaineiden tarkastelu tulee tehdä asemapaikoittain.

Raskas polttoöljy sisältää hiilen lisäksi rikkiä, typpeä, vanadiinia ja nikkeliä, joilla on negatiivisia ympäristövaikutuksia (Neste 2018). Raskaan polttoöljyn vaihtaminen toiseen polttoaineeseen pienentää rikestä, typestä, vanadiinista ja nikkelistä syntyviä ympäristövaikutuksia. Esimerkiksi nesteytetty maakaasu ei sisällä ollenkaan rikkiä ja sen käyttö pienentää typen päästöjä huomattavasti verrattuna raskaaseen polttoöljyyn (Gasum 2018). Jatkotutkimuksissa on suositeltavaa tarkastella ja vertailla eri polttoaineiden ympäristövaikutuksia laajemmin.

Polttoaineet vapauttavat hiilidioksidin lisäksi muita kasvihuonekaasuja, kuten metaania ja dityppioksidia, jotka otetaan CO<sub>2</sub>-ekvivalenttipäästölaskenta huomioon CO<sub>2</sub>-ekvivalenttikertoimilla (Ilmasto-opas b). Tilastokeskuksen (2018) Polttoaineluokitus ilmoittaa polttoaineiden hiilidioksidipäästökertoimet. Iso-Britanniassa (GOV.UK 2017) valtion määrittämät päästökertoimet esitetään sekä hiilidioksidipäästöinä, että CO<sub>2</sub>-ekvivalenttipäästöinä. Iso-Britannian valtiolliset päästökertoimet hiilidioksidille poikkeavat Tilastokeskuksen päästökertoimista. Alla olevassa taulukossa 20 esitetään Iso-Britannian valtion määrittämät CO<sub>2</sub>- ja CO<sub>2e</sub> päästökertoimet sekä Tilastokeskuksen (2018) määrittämät päästökertoimet eri polttoaineille. Kaikki Iso-Britannian valtion määrittämät CO<sub>2</sub>-ekvivalenttipäästökertoimien ja CO<sub>2</sub>-päästökertoimen arvot ovat samat kymmenesosan tarkkuudella. Hiilidioksidi on vaikutuksiltaan tärkein kasvihuonekaasu. Jos Rovaniemen asfalttiaseman hiilidioksidipäästöt oltaisiin laskettu CO<sub>2</sub>-ekvivalenttipäästöinä, ei laskennan tulos olisi muuttunut merkittävästi. Käyttämällä Iso-Britannian päästökertoimia Rovaniemen asfalttiaseman CO<sub>2</sub>-ekvivalenttipäästöt ovat 17,47 CO<sub>2e</sub>/asfalttitonni ja hiilidioksidipäästöt 17,42 CO<sub>2</sub>/asfalttitonni. Ero on 0,3 %. Tarkimman tuloksen saamiseksi tulee tutkia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttipäästöjä pelkkien hiilidioksidipäästöjen sijaan. Mahdollista on, että tulevaisuudessa päästöjen laskenta tulee keskittymään CO<sub>2</sub>-ekvivalenttipäästöihin hiilidioksidipäästöjen sijaan.

*Taulukko 20. Iso-Britannialaiset päästökertoimet CO<sub>2</sub>- ja CO<sub>2</sub>-ekvivalenttipäästöille sekä CO<sub>2</sub>-päästökertoimet Tilastokeskuksen mukaan (GOV.UK 2017 ja Tilastokeskus 2018)*

<i>Polttoainetyyppi</i>	<i>CO<sub>2e</sub>-päästökerroin (kg/kg) (Iso-Britannia)</i>	<i>CO<sub>2</sub>-päästökerroin (kg/kg) (Iso-Britannia)</i>	<i>CO<sub>2</sub>-päästökerroin (kg/kg) (Tilastokeskus)</i>
<i>Raskaspolttoöljy</i>	3,23	3,22	3,20
<i>LNG</i>	2,81	2,81	2,8
<i>LPG</i>	2,94	2,94	3,00
<i>Diesel</i>	3,10	3,07	2,82

## 6.4 Kierrätysasfaltti

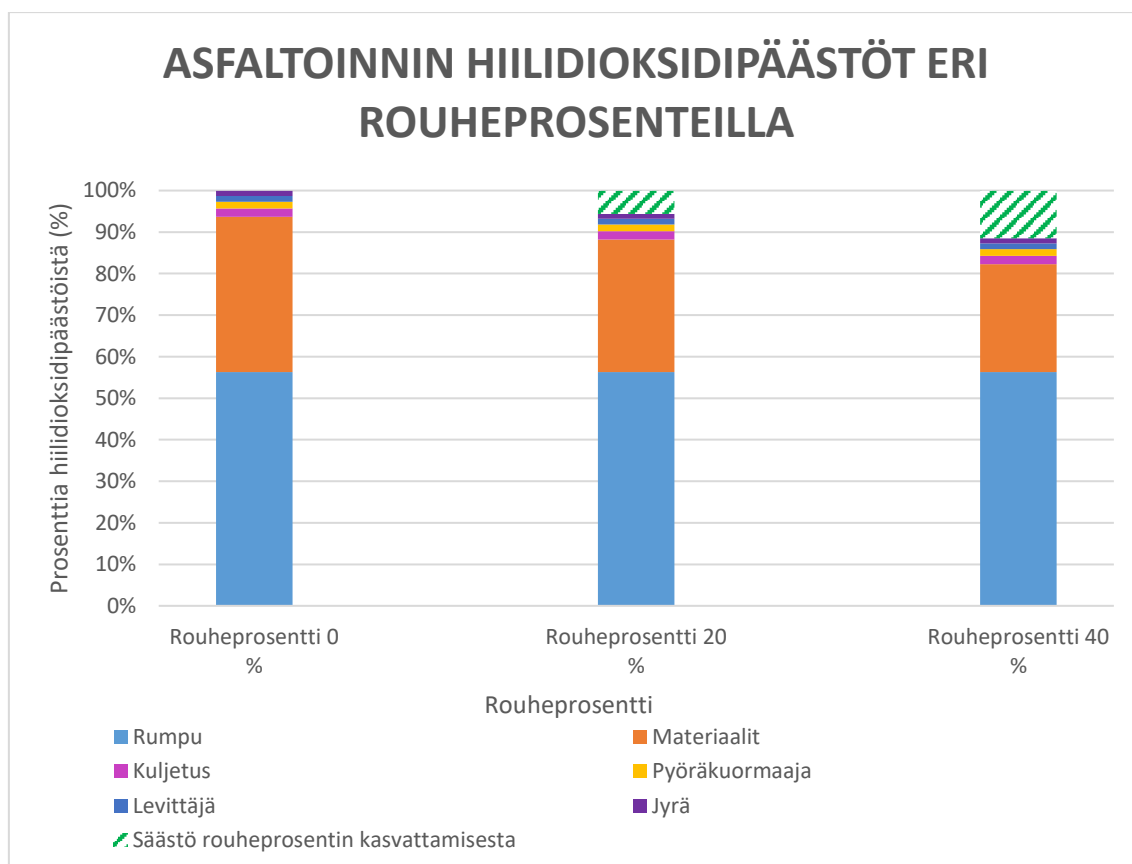
Materiaalien osuus asfalttoinnin kokonaispäästöistä on 38 %. Vuonna 2016 kierrätysasfaltin määrä oli 20 % asfaltin kokonaistuotannosta (EAPA 2016). Rovaniemen asfalttiasemalla valmistettiin rouhetta sisältävää asfalttimassaa vuonna 2017 noin 15 % kokonaistuotannosta ja rouheprosentti kierrätetylle asfalttimassalle oli noin 25 %. Rovaniemellä rouhe syötetään valmistusprosessiin välisyöttörenkaasta.

Rouheesta voidaan hyödyntää uudelleen kiviaines ja bitumi. Hiilidioksidipäästöiltään merkittävämpi näistä kahdesta on bitumi, jonka päästökerroin on 9 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni. Kiviaineksen päästökerroin on 2,5 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni. Rouheen bitumiprosentti ei korvaa määrältään prosenttiosuutensa mukaista bitumimäärää. Kierrätysasfaltin rouheosuudelle tulee lisätä uutta bitumia. Lisättävä bitumimäärä voidaan laskea, mutta tarkka määrittäminen on monimutkaista ja vaatii kattavat lähtötiedot. Tarvittavan bitumin määrään vaikuttaa esimerkiksi rouheen rakeisuus. (Stimilli, Virgili ja Canestari 2015.)

Välisyöttörenkaalla rouhetta voidaan käyttää maksimissaan 40 %. Rinnakkaisella rummulla suurempi kierrätysprosentti on mahdollinen. Taulukossa 21 lasketaan, millaiset asfalttoinnin hiilidioksidipäästöt ovat kierrätysprosentin ollessa 20 % ja 40 %. Rouheen bitumiprosentiksi oletetaan 5 %. Laskelmassa rouhetta elvytetään lisäämällä uutta bitumia 0,5 %. Rouheen kuljetusmatka on 20 kilometriä. Kuvaajassa 9 näytetään rouheen lisäämisen vaikutukset asfalttoinnin kokonaispäästöihin Rovaniemen asfalttiasemalla. Lisättäessä asfalttimassaan 20 % rouhetta, saadaan materiaalien hiilidioksidipäästöiksi 9,8 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni. Materiaalien hiilidioksidipäästöt laskevat 15 % verrattuna alkuperäisiin materiaalien hiilidioksidipäästöihin ja koko prosessin hiilidioksidipäästöt laskevat 5,5 %. Lisättäessä 40 % rouhetta asfalttimassaan ovat raaka-aineiden hiilidioksidipäästöt 8 kilogrammaa asfalttitonnilta. Raaka-aineiden hiilidioksidipäästöjen määrä pienenee 2,5 kilogrammaa, joka tarkoittaa 30 % muutosta raaka-ainemateriaalien hiilidioksidipäästöissä. Kokonaishiilidioksidipäästöt vähenevät 8,1 %.

Taulukko 21. Hiilidioksidipäästöt asfalttitonnilta, kun asfalttimassa sisältää rouhetta 20 % tai 40 %

<b>Asfaltin määrä</b>	<b>1000,0 kg</b>	<b>1000,0 kg</b>
Rouheen määrä	20,0 %	40,0 %
Rouheen bitumipitoisuus	5,0 %	5 %
Tarvittava elvytin bitumi	0,50 %	0,5 %
Neitseellisen kiviaineksen osuus	80,0 %	60 %
Bitumin osuus	5,0 %	5,0 %
Kiviaineksen osuus	95,0 %	95,0 %
Bitumin päästökerroin	9,0 kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni	9,0 kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni
Kiviaineksen päästökerroin	2,5 kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni	2,5 kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni
Hiilidioksidipäästöt rouheen kuljetusmatkan ollessa 10 km	0,4 kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni	0,8 kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni
Hiilidioksidipäästöt rouheosuudelle	0,18 kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni	0,36 kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni
Hiilidioksidipäästöt neitseellinen bitumi	7,2 kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni	5,4 kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni
Hiilidioksidipäästöt neitseellinen kiviaines	2,0 kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni	1,5 kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni
<b>Hiilidioksidipäästöt raaka-aineille</b>	<b>9,8 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni</b>	<b>8,0 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni</b>



Kuvaaja 9. Rouheprosentin ollessa 20 %, kokonaispäästöt ovat 29 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni ja rouheprosentin ollessa 40 %, kokonaispäästöt ovat 27,2 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni. Kuvaajasta nähdään rouheprosentin vaikutus asfalttoinnin kokonaishiilidioksidipäästöihin

Edellisessä laskennassa ei huomioitu sitä, että rouheen lisääminen nostaa aseman polttoaineenkulutusta. Rouheen kosteusprosentti on Raumalla ja Rovaniemellä tehtyjen mitausten perusteella suurempi verrattuna kiviaineksen kosteusprosenttiin. Aihetta käsitellään enemmän seuraavassa luvussa 6.5. Bitumin lämmönjohtavuus on noin 15 kertaa pienempi verrattuna bitumin lämmönjohtavuuteen. Bitumin lämmönjohtavuus on 0,17 W/mK ja kiviaineksen 2,56 W/Mk. (Pellinen, Makowska 2018.) Tämä aiheuttaa sen, että rouheen lämmittäminen vaatii enemmän lämpöenergiaa verrattuna neutraalisen kiviaineksen lämmittämiseen.

Lämpökapasiteetilla tarkoitetaan sitä määrää energiaa, joka tarvitaan kappaleen lämpötilan nostamiseen yhdellä celsiuksella. Lämpötilan vaikutusta lämpökapasiteettiin tutkittiin koostumukseltaan kiviaineksen kaltaisille materiaaleille. Lämpökapasiteetin arvo nousi lämpötilan kasvaessa. Jos oletetaan kiviaineksen lämpökapasiteetin käyttäytyvän samoin, kiviaineksen ominaislämpökapasiteetin arvon kasvu nostaa asfalttiaseman polttoaineenkulutusta. (Miettinen 2008, s. 11.) Tällöin kiviaineksen lämmitys vaatisi enemmän energiaa suurissa lämpötiloissa. Lämpötilan vaikutus kiviaineksen ominaislämpökapasiteettiin vaatii lisätutkimuksia.

Lisättäessä rouhetta kylmänä prosessiin lämmitetään rouhe kuumentamalla uusi kiviaines korkeaan lämpötilaan. Sama tehdään osin silloin, jos rouhe lisätään välisyöttörenkaasta. Lämmitettäessä rouhetta neutraaliseen kiviainekseen varastoidulla lämpöenergialla, kulutetaan enemmän polttoainetta verrattuna tilanteeseen, jossa rouhe lämmitetään erikseen tai käytetään ainoastaan uutta kiviainesmateriaalia. Käytettäessä toista rumpua, uuden kiviaineksen lämpötilaa ei tarvitse nostaa yhtä paljon. Rinnakkainen rumpu parantaa aseman tuotantotehoa ja mahdollistaa suuremman rouheprosentin. Toisaalta rinnakkaisesta rummista syntyy hiilidioksidipäästöjä synnyttäviä lämpöhäviöitä.

Rouheen käytöllä saavutetaan ympäristö- ja kustannusetuja. Hiilidioksidipäästöt ja muut ympäristövaikutukset vähenevät, kun vanha asfaltti ei päädy jätteeksi. Tulevaisuudessa tulee arvioida kattavammin kestävyyseroja kierrätysasfaltin ja uuden asfaltin välillä. Kierrätysasfaltin kestävyyttä tulee peilata kustannussäästöihin ja hiilidioksidipäästöihin. Vaikka kierrätysasfaltti olisikin laadultaan huonompaa, on sitä silti kannattavaa käyttää, jos säästö valmistusvaiheen hiilidioksidipäästöissä ja kustannuksissa on tarpeeksi suuri.

## 6.5 Kosteuden vaikutus polttoaineen kulutukseen

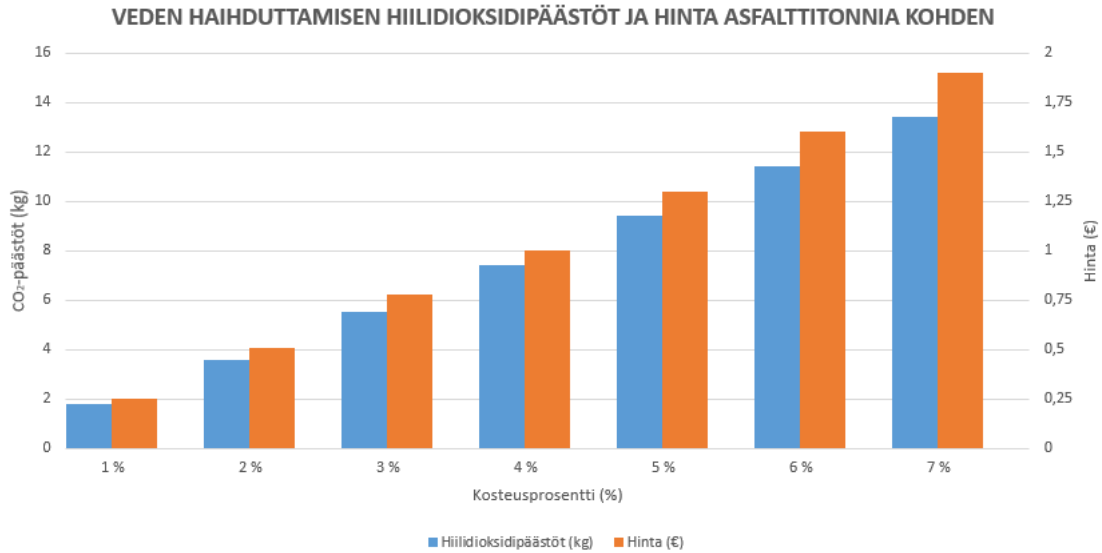
Veden lämmittämiseen ja höyryttämiseen tarvittava energia lasketaan kaavalla:

$$Q = m_v c_v \Delta T + m_v r, \quad (12)$$

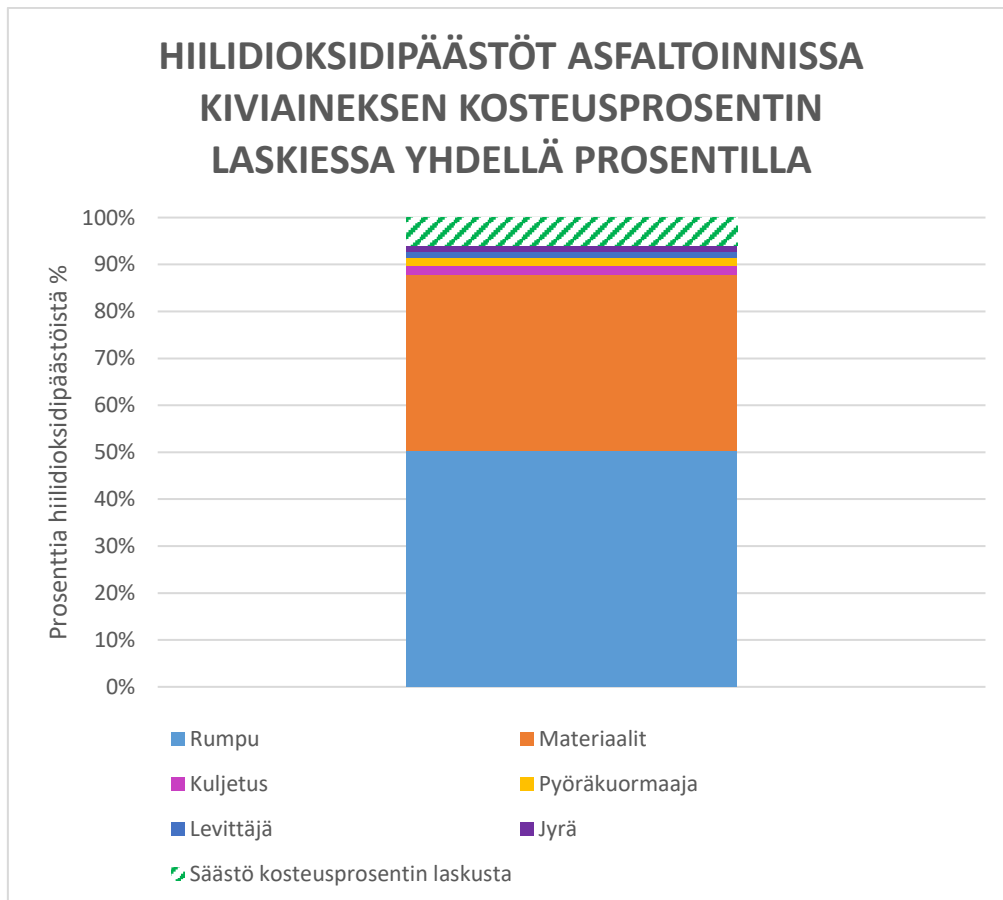
jossa  $m_v$  on veden massa,  $c_v$  on veden ominaislämpökapasiteetti,  $\Delta T$  on lämpötilan muutos ja  $r$  on veden ominaishöyrytyslämpö. Veden ominaislämpökapasiteetin arvo on 2,09 kJ/(Kg\*K) ja veden ominaishöyrytyslämpö on 2260 kJ/kg. Veden höyrytyspiste on 100 celsiusta eli 373,15 Kelviniä. (Karkela et al. 2005.)

Kuvaajassa 10 esitetään kosteusprosentin vaikutus hiilidioksidipäästöjen määrään ja kustannuksiin. Laskenta on tehty yhdelle asfalttitonnille, jossa kiviaineksen määrä on 95 % ja bitumin määrä 5 % asfaltin kokonaismassasta. Ulkolämpötilan oletetaan olevan 12,5 celsiusta, joka on Rovaniemen ulkolämpötilan keskiarvo (Liikennevirasto 2018). Kun

oletetaan, että kiviaines lämmitetään 100 celsiukseen, saadaan lämpötilaeroksi 87,5 celsiusta. Oletetaan asfalttiaseman tuotantomääräksi 60 000 tonnia asfalttia vuodessa. Yhden prosentin muutos kiviaineksen kosteusprosentissa vähentää hiilidioksidipäästöjä 111 tonnilla ja kustannuksia 15 600 eurolla. Kuvaajassa 11 esitetään vaikutus kosteusprosentin 1 % laskulle. Asfalttoinnin kokonaispäästöt pienenevät 6 %.



Kuvaaja 10. Kosteusprosentin vaikutus kustannuksiin ja hiilidioksidipäästöihin



Kuvaaja 11. Kiviaineksen kosteusprosentin pienenemisen vaikutukset asfalttoinnin hiilidioksidipäästöihin, kun hiilidioksidipäästöt asfalttitonnilta ovat 28,9 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni

Skanska Industrial Solutions Oy tutkii kiviaineskasojen ja rouheen kosteusprosentteja asfalttiasemillaan. Alla olevassa taulukossa 22 esitetään kiviaineksen ja rouheen kosteusprosentteja Rovaniemen ja Rauman asfalttiasemilla. Kosteusprosenttien eroja selittävät sademäärä, ulkolämpötila ja murskausajankohta. Oletetaan keskimääräiseksi kosteusprosentiksi Rovaniemellä 2,5 %, jolloin kosteudesta johtuvia hiilidioksidipäästöjä syntyy 4,56 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni. Tämä on noin 25 % polttoaineen kokonaiskulutuksesta Rovaniemen asfalttiasemalla.

Taulukko 22. Kiviaineksen ja rouheen kosteusprosentteja Rovaniemen ja Rauman asfalttiasemilla

<i>Tutkimus- aika</i>	<i>Asema</i>	<i>Näytetyyppi</i>	<i>Näytteiden määrä</i>	<i>Keskiarvo kos- teudelle (%)</i>	<i>Vaihteluväli kosteus- prosentille (%)</i>
2017	Rauma	rouhe	12	2,45	1,21-3,46
2016	Rauma	rouhe	24	2,76	1,51-3,84
2015	Rauma	rouhe	14	2,7	1,57-4,16
2010	Rauma	rouhe	18	1,79	0,29-3,37
2018	Rauma	0-8 mm	1	1,86	-
2018	Rauma	0-11 mm	1	0,78	-
2017	Rovaniemi	rouhe	27	4,71	-
2017	Rovaniemi	rouhe	25	3,44	-

Kiviaineksen kosteusprosenttia hallitaan peittämällä kiviainekasat tai varastoimalla ne kartiomaisesti kaltevalle ja asfaltoidulle tasolle. Murskauksen ajoittaminen mahdollisimman lähelle rouheen tai kiviaineksen käyttöä pienentää kiviaineksen kosteusprosenttia. Rovaniemen asfalttiaseman rouhekasat kosteusprosenttia on pyritty pienentämään sekoittamalla rouhetta pyöräkuormaajan kauhalla. Rovaniemellä tehdyn kosteusmittauksen mukaan rouheen kosteusprosenttia voidaan sekoittamalla pienentää suurimmillaan 2 prosenttia (Rovaniemen kaupunki 2017).

Kuva 21 on Tornion asfalttiasemalta. Kuvassa kiviainekasat ovat kartiomaisia. Kuvassa 22 on Rovaniemen ja Oulun asfalttiasemilla sijaitsevat rouhekasat. Näiden rouhekasojen muoto pitäisi olla kartiomaisempi, jolloin vesi ja lumi eivät pääse kertymään kasan päällä oleviin kuoppiin ja imeytymään kasan sisään. Kartiomaisesta kasasta vesi valuu kiviainekasan reunoja pitkin maahan. Rouhekasat ovat suuria, koska niitä murskataan asemalla 1–2 kertaa vuodessa ja asfalttiasemalla käytetään osittain edellisenä vuonna murskattua rouhetta. Rouheen ajallisesti tiheämpi murskaaminen pienentää kasojen kokoa ja asfaltin valmistuspäivän kosteusprosenttia. Pienemmän kasan kartiomaista muotoa on helpompi ylläpitää.





*Kuva 21. Kiviainekasvoja Tornion asfalttiasemalla*



*Kuva 22. Rouhekasat Rovaniemen ja Oulun asfalttiasemilla*

Skanska Industrial Solutions Oy:llä ei ole käytössä telttoja kiviaineksille. Jotta teltan todelliset hyödyt saataisiin selvitettyä, tulee tehdä kokeita teltan vaikutuksista kiviaineksen kosteusprosenttiin. Laskennassa hyödynnetään Ruotsissa saatuja tutkimustuloksia teltan vaikutuksesta kiviaineksen kosteusprosenttiin. Skanska Industrial Solutions AB on vuonna 2009 tutkinut kiviaineksen kosteusprosenttia Norrköpingissä. (Gustavsson ja Larsson 2011, s. 16.) Norrköpingin asfalttiaseman sijainti on esitetty kuvassa 23. Asema sijaitsee etelämpänä verrattuna Skanska Industrial Solutions Oy:n asfalttiasemiin. Tarkat mittauspäivämäärät, ulkolämpötilat, mittauksen suorittamistekniikat ja murskausajat eivät ole tiedossa.



Kuva 23. Norrköpingin asfalttiaseman sijainti kartalla

Taulukko 23. Norrköpingin asfalttiaseman sademäärät ja ulkolämpötilat

<i>Kuukausi</i>	<i>Sademäärä (mm)</i>	<i>Ulkolämpötila (°C)</i>
<i>Toukokuu</i>	50	11
<i>Kesäkuu</i>	25	13
<i>Heinäkuu</i>	100	17
<i>Elokuu</i>	75	16

Skanska Industrial Solutions AB:n suorittamassa kokeessa mitattiin eri fraktioiden kosteusprosentteja. Tutkimuksessa verrattiin teltassa säilytettävää 0–2 mm kiviainesta peittämättömään kiviainekseen. Maksimikosteusprosentti oli 7,8 % (peittämätön kasa) ja minimaalinen arvo 0,5 % (telta). Keskiarvo teltassa olleelle 0–2 mm kiviainekselle oli 0,78 % ja peittämättömälle kiviaineelle 2,33 %. Ero peitetyn ja peittämättömän kasan välillä oli 1,83 %. Kiviaineslajikkeiden 2–4 mm, 4–8 mm ja 8–11 mm kosteusprosentteja kassassa mitattiin. Maksimaalisten ja minimaalisten arvojen erot olivat 5,15–3,8 %. (Gustavsson ja Larsson 2011, s. 16.) Karkeampi kiviaines sitoo huonommin kosteutta verrattuna hienorakeisempaan kiviainekseen. Hienorakeisemman kiviaineksen kosteuden tarkkailulla on suurempi vaikutus polttoaineen kulutukseen ja hiilidioksidipäästöjen määrään. AB16 -asfalttimassa voidaan suhteuttaa seuraavasti:

- 0–2 mm lajiketta 35 %
- 2–4 mm lajiketta 13,5 %
- 4–8 mm lajiketta 17 %
- 8–11 mm lajiketta 14,5 %
- 11–22 mm lajiketta 20 % (Pank ry. 2011b, s. 52).

Lajikkeet 4–8 mm ja 8–11 mm eivät olleet tutkimuksessa teltan alla ja lajikkeen 11–22 mm kosteusprosenttia ei tutkittu. Tutkimuksessa lajikkeiden keskiarvojen kosteusprosentit olivat seuraavat:

- 0–2 mm lajikkeen 1,45 %
- 4–8 mm lajikkeen 1,16 %
- 8–11 mm lajikkeen 0,79 %. (Gustavsson ja Larsson 2011, s. 16.)
- 11–22 mm lajikkeen kosteusprosentiksi oletetaan 0,5 %.

Seuraavissa laskentaesimerkeissä tutkitaan teltan vaikutusta aseman polttoaineenkulutukseen ja hiilidioksidipäästöihin. Taulukon 24 laskelmassa mikään kasoista ei ole teltan alla. Suhteutus tehdään ylempänä esitettyjen Pank ry:n prosenttiosuuksien mukaan. Kosteusprosenttien painotettu keskiarvo on 1,42 %. 0–2 mm lajikkeen kosteusprosentti on 2,33 %. Muille lajikkeille käytetään ylempänä esitettyjä kosteusprosenttien keskiarvoja. Taulukosta 26 nähdään, että kiviaineksen kosteusprosentin ollessa 1,42 % hiilidioksidipäästöjen määrä asfalttitonnilta on 2,5 kilogrammaa ja kustannus 0,36 euroa asfalttitonnilta. 60 000 asfalttitonnin tuotantomäärällä tämä tarkoittaa 150 tonnia hiilidioksidia ja 21 600 €.

Taulukko 24. Veden haihduttamiseen vaadittava energia kosteusprosentin ollessa 1,42 %

<i>Selite</i>	<i>Määrä</i>
<i>Valmistettava massamäärä</i>	1000,0 kg
<i>Bitumiprosentti</i>	5,0 %
<i>Kiviaineksen määrä</i>	950,0 kg
<i>Kiviaineksen kosteusprosentti</i>	1,42 %
<i>Veden määrä kiviaineessa</i>	13,7 kg
<i>Lämpötila alussa</i>	12,5 C°
<i>Loppulämpötila</i>	100,0 C°
<i>Veden haihduttamiseen tarvittava energia</i>	33,5 MJ
<i>Raskaan polttoöljyn lämpöarvo</i>	42,1*10 <sup>3</sup> MJ/polttoainetonni
<i>Raskaan polttoöljyn päästökerroin</i>	7,6*10 <sup>-5</sup> t CO <sub>2</sub> /MJ
<i>Polttoaineen menekki</i>	0,8 kg
<i>Hiilidioksidipäästöt</i>	2,5 kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni
<i>Kustannus</i>	0,36 €/asfalttitonni

Taulukossa 25 lasketaan kosteuden hiilidioksidipäästöt, kun 0–2 mm lajike on peitetty ja sen kosteusprosentti on 0,78 %. Muiden lajikkeiden kosteusprosenttien arvoille käytetään aiemmin ilmoitettuja keskiarvoja. Tällöin AB16-asfalttimassan kosteusprosentiksi saadaan 0,88 %. Hiilidioksidipäästöt tippuvat 1,6 kilogrammaan ja kustannus laskee 0,22 euroon asfalttitonnilta. Peittämällä 0–2 mm kiviainekasa tuotetaan 0,9 kilogrammaa vähemmän hiilidioksidipäästöjä ja säästetään 0,14 euroa asfalttitonnilta verrattuna taulukon 24 laskelmaan. 60 000 asfalttitonnin vuosituotannolla tämä tarkoittaa 54 tonnin hiilidioksidipäästöjen vähentymistä ja 8 400 euron vuosittaisia säästöjä. Polttoaineen hinnaksi oletetaan 0,45 euroa kilogrammalta.

Taulukko 25. Veden haihduttamiseen vaadittava energia kosteusprosentin ollessa 0,88 %

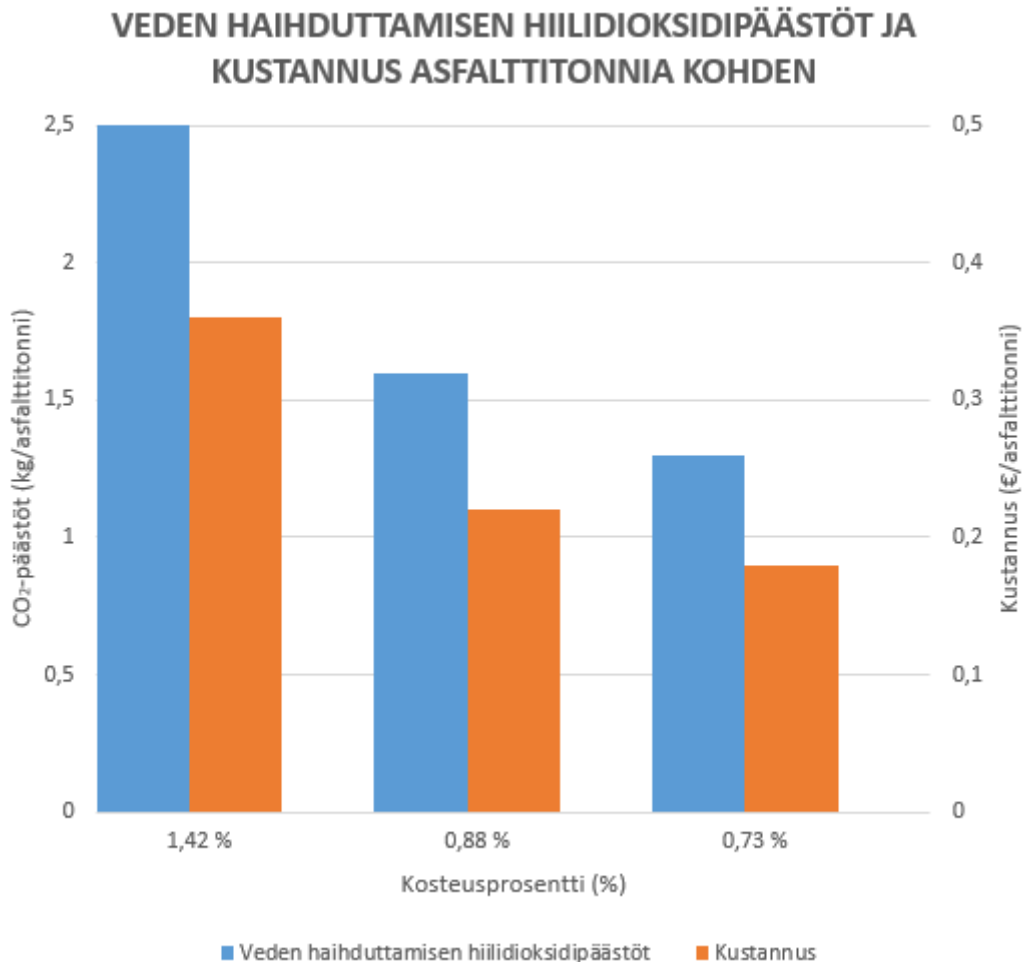
<i>Selite</i>	<i>Määrä</i>
<i>Valmistettava massamäärä</i>	1000,0 kg
<i>Bitumiprosentti</i>	5,0 %
<i>Kiviaineksen määrä</i>	950,0 kg
<i>Kiviaineksen kosteusprosentti</i>	0,88 %
<i>Veden määrä kiviaineessa</i>	8,4 kg
<i>Lämpötila alussa</i>	12,5 C°
<i>Loppulämpötila</i>	100 C°
<i>Veden haihduttamiseen tarvittava energia</i>	20,6 MJ
<i>Raskaan polttoöljyn lämpöarvo</i>	42,1*10 <sup>3</sup> MJ/polttoainetonna
<i>Raskaan polttoöljyn päästökerroin</i>	7,6*10 <sup>5</sup> t CO <sub>2</sub> /MJ
<i>Polttoaineen menekki</i>	0,489 kg
<i>Hiilidioksidipäästöt</i>	1,6 kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni
<i>Kustannus</i>	0,22 €/asfalttitonni

Taulukko 26 kuvaa tilannetta, jossa 0–8 mm kiviainekoot ovat teltan alla. 2–8 mm lajikkeen kosteusprosentin oletetaan pienenevän 0,78 %:iin. Todennäköisesti 2–8 mm lajikkeen kosteusprosentti on tätä arvoa pienempi, koska kiviaines on karkeampaa. Painotettu kosteusprosentti suhteutetulle kiviainekselle on 0,73 %. Hiilidioksidipäästöt ovat 1,3 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni ja kustannukseksi 0,18 € asfalttitonnilta. Erotus peittämättömiin asfalttikasoihin on 1,2 kg CO<sub>2</sub> ja 0,18 € asfalttitonnilta. 60 000 asfalttitonnin tuotantomäärällä tuotetaan 72 tonnia vähemmän hiilidioksidipäästöjä ja saavutetaan 10 800 € kustannussäästö.

Taulukko 26. Veden haihduttamiseen vaadittava energia kosteusprosentin ollessa 0,73 %

<i>Selite</i>	<i>Määrä</i>
<i>Valmistettava massamäärä</i>	1000 kg
<i>Bitumiprosentti</i>	5,0 %
<i>Kiviaineksen määrä</i>	950,0 kg
<i>Kiviaineksen kosteusprosentti</i>	0,73 %
<i>Veden määrä kiviaineessa</i>	7,0 kg
<i>Lämpötila alussa</i>	12,5 C°
<i>Loppulämpötila</i>	100,0 C°
<i>Veden haihduttamiseen tarvittava energia</i>	17,1 MJ
<i>Raskaan polttoöljyn lämpöarvo</i>	42,1*10 <sup>3</sup> MJ/polttoaine.t
<i>Raskaan polttoöljyn päästökerroin</i>	7,6*10 <sup>5</sup> t CO <sub>2</sub> /MJ
<i>Polttoaineen menekki</i>	0,4 kg
<i>Hiilidioksidipäästöt</i>	1,3 kg CO <sub>2</sub> /asfalttitonni
<i>Kustannus</i>	0,18 €/asfalttitonni

Kuvaajassa 12 esitetään laskentaesimerkkien vaikutukset kustannukseen ja hiilidioksidipäästöjen määrään. Rovaniemellä tehdyt mittaukset kiviaineksen kosteusprosentista osoittavat, että kiviaineksen kosteusprosentit ovat todennäköisesti suuremmat kuin ylempänä esitetyt kosteusprosentit. Tällöin teltan hyödyt ovat suuremmat (Rovaniemen kaupunki 2017). Jatkotutkimuksena tulisi tutkia teltan vaikutusta rouheen ja Suomessa käytettävien lajikkeiden kosteusprosentteihin.



Kuvaaja 12. Teltan vaikutus kustannukseen ja hiilidioksidipäästöihin

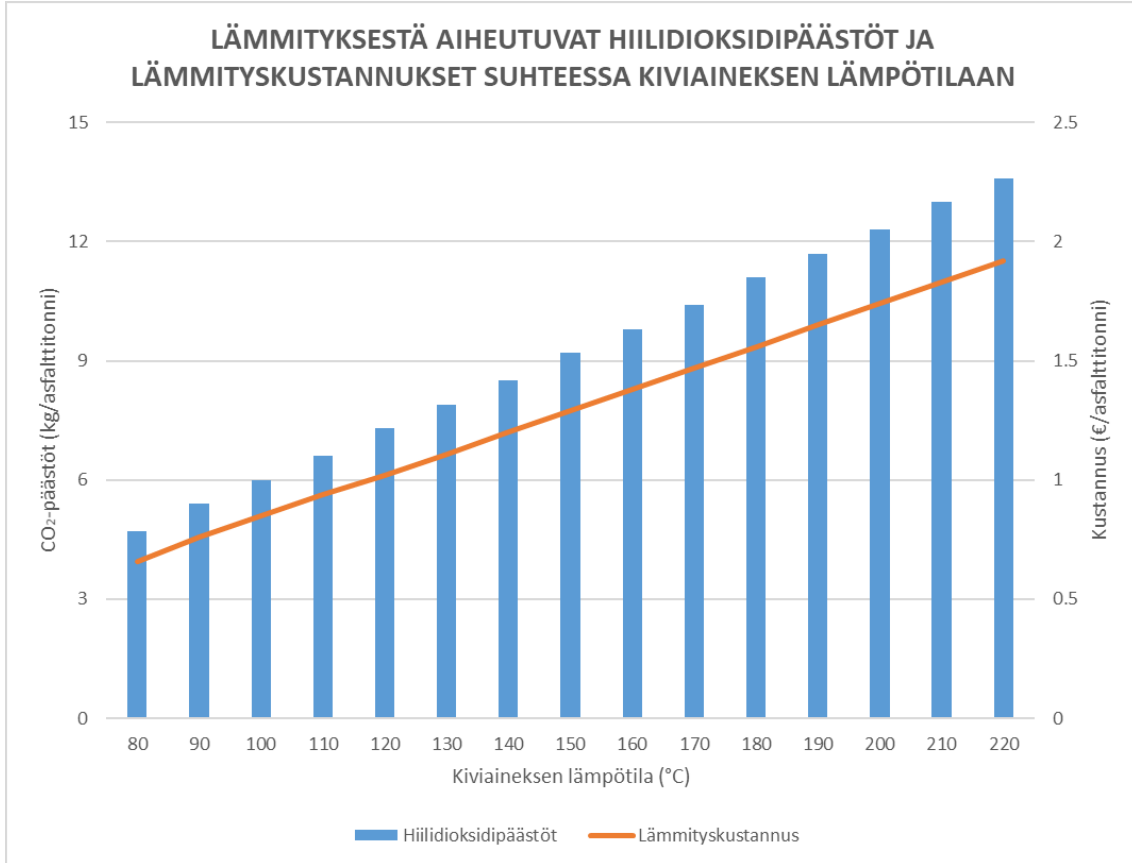
## 6.6 Asfaltin lämpötilan laskeminen

Kiviaineksen lämmittämiseen käytetty energia voidaan määrittää kaavalla:

$$Q = cm\Delta T, \quad (13)$$

jossa  $Q$  on kiviaineksen lämmittämiseen kuluva energian määrä ( $J$ ),  $c$  on kiven ominaislämpökapasiteetti ( $J/(K/kg)$ ),  $m$  kiviaineksen massa ja  $\Delta T$  on lämpötilan muutos ( $K$ ) (Harder ym. 2008, s. 3). Kiviaineksen ominaislämpökapasiteetti on  $0,865 \text{ kJ/kgK}$  (Aalto 2012, s. 21). Kiviaineksen ominaislämpökapasiteetin arvoon vaikuttaa käytettävä kiviaines. Ominaislämpökapasiteetin arvo kasvaa lämpötilan kasvaessa. (Miettinen 2008, s. 11.) Tämä tarkoittaa sitä, että lämmittämiseen tarvittavan energian määrä jokaisen celsiusen

kasvattamisen jälkeen on edellistä suurempi. Kiviaineksen yllämmittäminen lisää polttoainenkulutusta ja hiilidioksidipäästöjä enemmän kuin kaavalla 13 saadaan tulokseksi. Oletetaan, että kiviaineksen lämpötila ennen lämmittämisen aloittamista on 12,5 °C. Kuvaajassa 13 esitetään kiviainestonnin lämmittämiseen kuluva energia eri lämpötiloihin lämmitettäessä.



Kuvaaja 13. Kiviaineksen kuumennuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ja kustannukset

Rovaniemen asfalttiaseman massan lämpötilaa mitataan säännöllisesti. Taulukossa 27 esitetään tuloksia Rovaniemen asemalla tehdyistä valmiin asfalttimassan lämpötiloista. Keskimääräiseksi valmistuslämpötila on noin 165 celsius. Kuvaajasta 13 nähdään, että 950 kg kiviaineksen kumentaminen 165 celsiusen lämpötilaan vapauttaa 10,1 kg hiilidioksidipäästöjä.

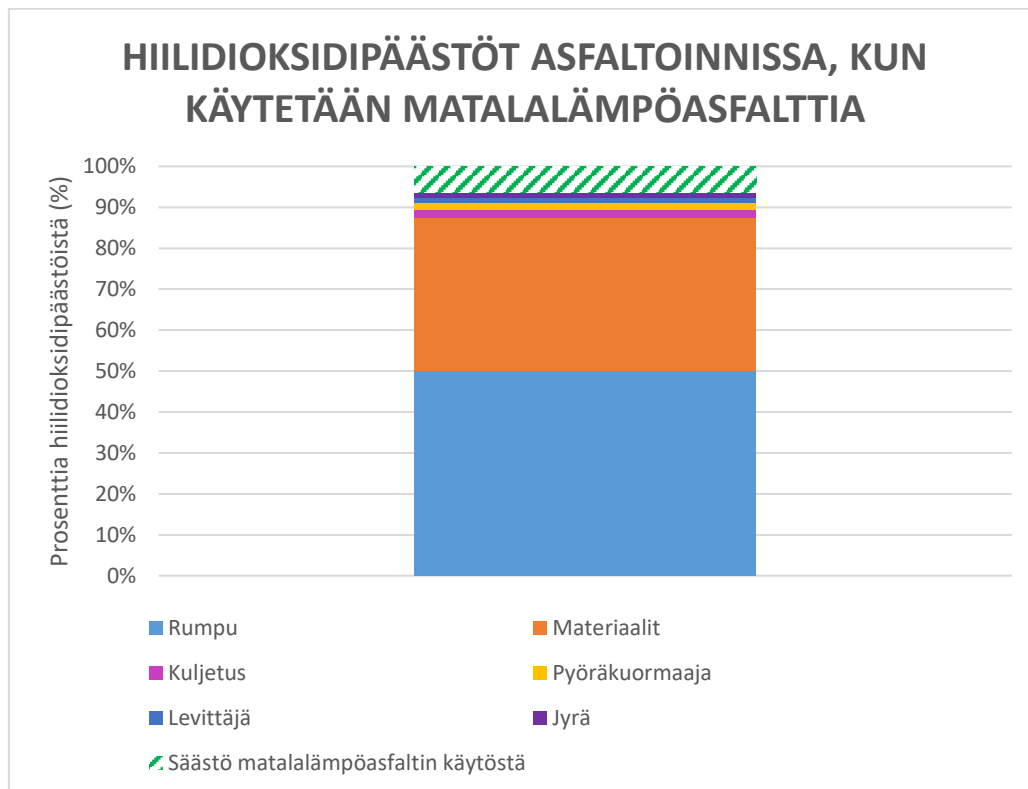
Taulukko 27. Asfalttimassan lämpötilamittausten tuloksia

Mittauspäivä	Massatyypä	Näytteiden määrä	Lämpötila	Keskihajonta
Syksy 2016 (14.7-2.10)	AB11	12	159	17
Syksy 2016 (24.10-4.11)	AB11	-	179	7
Syksy 2017	AB11	16	163	6
Kesä 2016 (31.5-22.6)	AB16	51	164	8
Kesä 2016 (22.6-6.7)	AB16	28	158	9
Syksy 2016 (14.10-31.10)	AB16	9	140	4
Syksy 2016 (7.7-7.10)	AB16	50	153	10

Valmistuslämpötilan laskeminen pienentää polttoainenkulutusta ja hiilidioksidipäästöjä. Bitumiluokalle 35/50 sopiva massan lämpötila on 160–200 celsiusta (Pank ry 2011b, s. 46). Kuumentamalla kiviaines minimilämpötilaan maksimilämpötilan sijaan vapautuu 2,66 tonnia vähemmän hiilidioksidipäästöjä asfalttitonnilta. 60 000 asfalttimassatonnin vuosittaisella tuotannolla vapautetaan 160 tonnia vähemmän hiilidioksidipäästöjä ja säävutetaan 18 000 euron kustannussäästö, kun raskaan polttoöljyn hinnaksi oletetaan 0,45 euroa kilogrammalta.

Skanska Industrial Solutions Oy:n Pohjois-Suomessa käyttämät bitumityypit ovat 100/150 ja 160/220. Asfalttinormien 2017 mukaan maksimilämpötila 100/150 –bitumille on 170 celsiusta ja 160/220 bitumille 165 celsiusta (Pank ry. 2017, s. 35). AB11-asfalttimassaa käytetään kevyen liikenteen väylillä sekä levähdys- ja pysäköintialueilla (PANK 2011b). AB11-massatyyppiä valmistetaan kaupunkialueelle. Rovaniemen AB11-massatyyppin valmistuslämpötilat ovat lähellä maksimaalista lämpötilaa. Optimoimalla asfalttimassan lämpötilaa ja välttämällä turhaa kiviaineksen lämmittämistä pienennetään hiilidioksidipäästöjen määrää ja säästetään lämmityskustannuksissa.

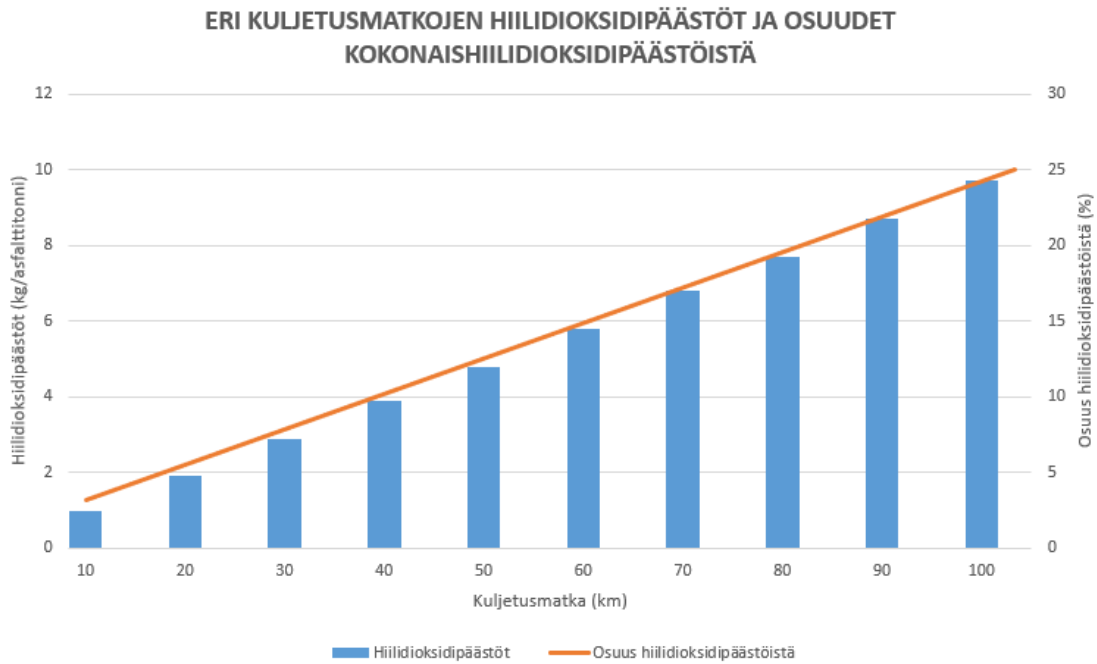
Matalalämpöasfaltin lämpötila on noin 20–30 celsiusta normaalia asfalttia pienempi (YIT 2018, NCC 2018). Oletetaan raskaan polttoöljyn hinnaksi 0,45 euroa/kilogrammaa, levitystavoitteeksi 60 000 asfalttitonnialämpötilan ja lämpötilan alenemaksi 30 celsiusta. Tällöin vuosittaiset hiilidioksidipäästöt vähenevät 114 tonnia ja kustannussäästö on 16 200 euroa. Kuvaajassa 14 esitetään hiilidioksidipäästöjen jakautuminen laskettaessa valmistuslämpötilaa 30 celsiuksella. Kokonaispäästöiksi saadaan 28,8 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni. Asfaltointiprosessin kokonaispäästöt laskevat 6,2 % ja asfalttiaseman rummun hiilidioksidipäästöt 11 %.



Kuvaaja 14. Hiilidioksidipäästöjen jakautuminen asfaltointiprosessissa kokonaispäästöjen ollessa 28,8 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonnia ja lämpötilan aleneman ollessa 30 celsiusta

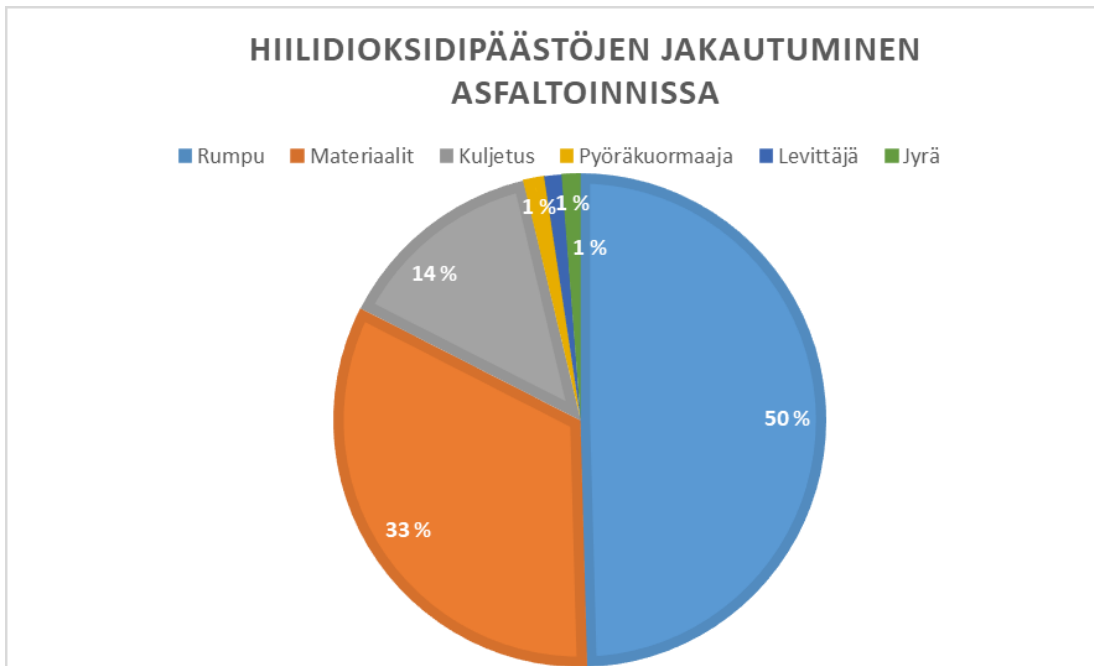
## 6.7 Ajoneuvot

Kuvaajassa 15 näytetään kuljetusten hiilidioksidipäästöjen määrä ja hiilidioksidipäästöjen osuus asfaltin valmistuksen kokonaispäästöistä. Kuljetusautona on nuppiauto, johon mahtuu 18 tonnia asfalttimassaa. Kuljetusmatkalla on suuri vaikutus kuljetuksen päästöihin. Esimerkiksi 40 kilometrin kuljetusmatkan osuus kokonaispäästöistä on 11,4 % asfalttoinnin kokonaispäästöistä ja 60 kilometrin 16,1 %. Todellisuudessa jonkin kuljetusmatkan jälkeen ei ole kannattavaa kustannuksellisesti ja tuotannon kannalta kuljettaa asfalttia nuppiautolla. Kuvaajassa 16 näytetään hiilidioksidipäästöjen jakautuminen asfaltointiprosessissa kuljetusmatkan ollessa 50 km.



Kuvaaja 15. Kuljetusmatkan vaikutus hiilidioksidipäästöihin ja asfalttoinnin kokonaispäästöihin





Kuvaaja 16. Hiilidioksidipäästöjen jakautuminen asfaltointiprosessissa kuljetusmatkan ollessa 50 km

Kuljetukset vaikuttavat massan valmistuslämpötilaan. Kuljetuksissa huomioitavia tekijöitä ovat:

- massan levityslämpötila
- sääolosuhteet
- kuljetusmatka
- kuljetusaika
- odotusaika työmaalla
- massamäärä
- kuljetusauton eristys.

Edelliset muuttujat optimoimalla polttoaineen kulutus asfalttitonnia kohti pienenee. Asfalttimassan viilentymistä on mahdollista selvittää koejärjestelyllä, jossa asfalttimassan lämpötilaa mitataan asfalttiasemalla ennen kuljetusta sekä levityksen yhteydessä. Lisäksi ulkoilman lämpötila ja muut sääolosuhteet, kuten tuuli ja sade kirjataan. Kuljetusmatkan pituus sekä kuljetukseen kulunut aika selvitetään. Näiden lähtötietojen avulla saadaan selvitettyä, kuinka monta celsiusta asfalttimassan lämpötila laskee matkan, nopeuden, ulkolämpötilan ja massamäärän muuttuessa.

Asfalttimassan kuljetus hankitaan usein aliurakoitsijalta, jolloin vaikutusmahdollisuudet käytettävään polttoaineeseen ja kuljetusauton tyyppiin tai kuntoon ovat omaan kalustoon verrattuna huonommat. Kuorman peittämistä peitteellä tulee vaatia aliurakoitsijalta. Kuorman peittäminen vähentää asfalttimassan viilenemistä, jolloin asfalttimassan valmistuslämpötila on pienempi. Erityisen suuri merkitys asfalttimassan kunnollisella suojaamisella on sadesäällä. Peittäminen on tärkeää erityisesti suurilla nopeuksilla. Jos massa-auton nopeus on 80 km/h ja ulkolämpötila 10 celsiusta, vastaa ajoviiman vaikutus sitä, että lämpötila olisi auton seisoessa paikallaan -4 celsiusta (Vasama 2007, s. 25). Tilaajien vaatimukset massa-autojen kunnosta vaikuttaisivat siihen, että massa-autojen kunto olisi parempi ja hiilidioksidipäästöjen määrä pienempi.

Kun asfaltin lämpötila ei laske kuljetuksen aikana, vähenee jyräyksen tarve. Tämä pienentää työkoneiden hiilidioksidipäästöjä. Massa-autojen eristyksen parantaminen ja säännöllinen kunnossapito pienentävät hiilidioksidipäästöjä. Kuljetusauton kokoa optimoimalla pienennetään päästöjä. Tulevissa tutkimuksissa tulee selvittää, milloin nuppiauton vaihtaminen täysiperävaunuautoon on kannattavaa. Kuljetuksen optimoinnissa tavoitteena on pitää massan lämpötila mahdollisimman korkeana ja varmistaa, ettei turhia ajoja tule. Odotusajan minimointi työmaalla vähentää asfalttimassan viilenemistä. Biodieselin ja muiden biopolttoaineiden käyttöä lisäämällä pienennetään ajoneuvojen päästöjä.

Työkoneet ovat yrityksen omia, jolloin niiden päästöihin on helpompi vaikuttaa verrattuna kuljetusautojen hiilidioksidipäästöihin. Toisaalta työkoneiden osuus hiilidioksidipäästöistä oli yhteensä ainoastaan noin 4 % asfaltointiprosessin kokonaispäästöistä. Asfaltoinnissa käytettävien työkoneiden käyttämän polttoaineen vaihtomahdollisuus tulee selvittää. Nykyisin kaikki työkoneet toimivat dieselillä, jolloin työkoneiden aiheuttamat päästöt pienenevät suurentamalla bio-osuuden määrää dieselistä. Työkoneiden polttoaineen kulutus pienenee välttämällä tyhjääkäyntiä ja turhaa liikettä sekä tehostamalla työkoneen käyttöä. Lisäksi työkoneiden kuntoa tarkkailemalla ja huolto-ohjelmia noudattamalla pienennetään hiilidioksidipäästöjä.

Investoitaessa uuteen pyöräkuormaajaan tulee huomioida työkoneen aiheuttamat päästöt. Työkonevalmistajat ovat huomanneet tarpeen ympäristöystävällisille työkoneille ja markkinoilla on saatavilla hybridipyöräkuormaajia. Esimerkiksi Hitachi, John Deere ja Volvo tarjoavat hybridipyöräkuormaajia. Nämä valmistajat mainostavat hybridipyöräkuormaajien vähentävän merkittävästi työkoneiden polttoaineenkulutusta ja hiilidioksidipäästöjä. Polttoaineenkulutuksen on arvioitu vähenevän 35–50 % ja hiilidioksidipäästöjen 25–30 % verrattuna normaaliin dieselkäyttöiseen pyöräkuormaajaan. (Hitachi 2018, John Deere 2018, Volvo 2017.) Pyöräkuormaajien päästöt asfaltointiprosessissa ovat 1,65 % asfaltin valmistuksen kokonaispäästöistä, jolloin investointi hybridipyöräkuormaajaan ei vähennä merkittävästi asfaltoinnista syntyviä kokonaispäästöjä. Jos polttoaineenkulutus pienenee 30 %, tarkoittaa tämä 60 000 tonnin vuosittaisella asfalttimassamäärällä 21 tonnia vähemmän hiilidioksidipäästöjä ja pyöräkuormaajan päästöjen osuus pienenee 1,16 %: iin.

## 6.8 Tuotannon optimointi ja hukan minimointi

Jatkuva parantaminen ja tuotannon optimointi vähentävät asfaltoinnista aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä. Iso-Britanniassa on kehitetty PAS 2080 -ohjeistus, joka on tarkoitettu infrastruktuurin hiilidioksidipäästöjen hallintaan. Ohjeistus on laajalti käytetty Iso-Britanniassa. Menetelmän hyödyntämisen vaiheita ovat toiminnan mittaaminen, parantaminen ja oppiminen. (Pasanen, Miilunmäki 2017.) Nämä ovat lähtökohtana, kun tavoitteena on toiminnan kehittäminen tehokkaammaksi ja ympäristöystävällisemmäksi.

Tuotannon optimointi asfalttiasemilla aloitetaan oman tuotannon mittaamisella. Skanska Industrial Solutions Oy mittaa toimintaansa laajasti tuottavuuden näkökulmasta. Mitattavia tuotannon osa-alueita ovat esimerkiksi asfalttiaseman tuotantoteho, asfalttiaseman polttoaineenkulutus ja päivittäiset tuotantomäärät. Lisäksi työkoneiden ja kuorma-autojen liikettä seurataan osalla case-yrityksen työmaista. Tätä mitattua tietoa hyödynnetään tuotannon suunnittelussa. Tuotantoa voitaisiin tarkkailla nykyistä paremmin reaaliaikaisen tiedon avulla. Esimerkiksi aseman reaaliaikainen polttoaineenkulutuksen seuranta

auttaa aseman työntekijöitä seuraamaan ja samalla vaikuttamaan aseman polttoaineenkulutukseen. Polttoaineenkulutuksen jatkuvan seurannan avulla opitaan, miten eri tekijät vaikuttavat polttoaineenkulutukseen. Tutkittavia tekijöitä ovat kiviaineksen tai rouheen kosteus, rouheen määrä, polttimen kunto, valmistuslämpötila ja asfalttiaseman tuntiteho sekä ulkoilman lämpötila. Skanska Industrial Solutions AB:llä Ruotsissa on käytössä aseman energiankulutusta mittaavia laitteita. Näiden laitteiden avulla mitataan energiankulutusta asfalttitonnia kohden (Gustavsson, Larson 2011).

Tärkeitä hukkatyyppejä hiilidioksidipäästöjen vähentämisen näkökulmasta ovat materiaalien hukka, turhat kuljetukset, pitkät kuljetusmatkat, tuotannon viivästyminen sekä huonolaatuiset koneet ja laitteet. Aikataulusuunnittelun laiminlyöminen aiheuttaa hukkaa. Suunnittelemalla tuotannon toiminta hyvin vältytään tuotannon keskeytyksiltä. Asfalttiasemalla tuotannon keskeyttäminen aiheuttaa sen, että asfalttiaseman osat viilenevät ja aseman uudelleenlämmittäminen kuluttaa energiaa. Tuotannon suunnittelulla varmistetaan, että asfalttimassaa ei valmisteta liian suurta määrää. Tällöin vältetään materiaali- ja polttoainehukkaa. Asfalttiasemalla olevat lämpösiiloja käyttämällä tuotantoa ei tarvitse keskeyttää turhaan. Lämpösiilojen tulee olla hyvin eristettyjä, jotta asfalttimassa ei kylmene.

Asfalttiaseman tuotantoteho tulee kasvattaa maksimiinsa, koska asfalttiaseman toimintaan kuluu koko ajan sama määrä energiaa. Tuotantovolyymin vaikutus asfalttiaseman polttoaineenkulutukseen nähdään case-yrityksen polttoaineseurannasta. Liikkuvien asemien päivittäiset polttoaineenkulutukset ovat keskiarvollisesti pienempiä verrattuna kiinteiden asemien polttoaineenkulutuksiin. Ero eniten ja vähiten kuluttavan asfalttiaseman välillä on 56 %. Liikkuvilla asfalttiasemilla päivittäiset asfalttimassavolyymit ovat suuret. Päälystystyömaa sijaitsee lähellä liikkuvaa asfalttiasemaa ja asfaltointiryhmän tuntiteho on korkea. Asfalttimassa ei ehdi viilentyä kuljetuksen aikana, jolloin massan lämpötilaa ei nosteta yhtä korkeaksi kuin asfalttiasemilla, joiden asfalttimassa kuljetetaan kauaksi.

Hukkaa työmaalla aiheuttavat pitkät kuljetusmatkat, turhat kuljetukset ja huonolaatuiset koneet ja laitteet. Kuljetuskertojen määrän optimoiminen pienentää hukkaa. Työkoneiden ja massa-autojen liikkeiden ja ajotavan selvittämiseen on markkinoilla GPS-paikantimia. Koneiden liike voidaan optimoida tuntemalla sen normaali toiminta. Asfalttiasemalla rummun polttimen kunnan säännöllisellä tarkastuksella ja säätämällä hallitaan polttoaineenkulutusta.

## 7 Edellytykset menetelmien käyttönotolle

Asfaltin valmistuksen ympäristövaikutukset eivät ole hankintaperusteena väylähankkeissa. Urakoitsijan ei tarvitse ilmoittaa hiilidioksidipäästöjään urakan yhteydessä. On kuitenkin mahdollista, että kaudella 2019 hiilidioksidipäästöt tullaan huomioimaan. Hiilidioksidipäästöjen huomioiminen pakottaa ja kannustaa alan yrityksiä ottamaan käyttöön ja kehittämään menetelmiä hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Kuitenkin ne yritykset, jotka ovat jo etukäteen kehittäneet prosessiaan ympäristöystävällisemmäksi, saavat kilpailuetua muihin yrityksiin verrattuna.

Ruotsissa ja Norjassa urakoitsijoiden tulee määrittää tietyn rajan ylittävien urakoiden hiilidioksidipäästöt. Norjassa hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen ja työntekijöiden työturvallisuuden parantamiseen on kannustettu bonusjärjestelmällä (Vegvesen 2011). Norjassa on vuonna 2018 testattu hankintamallia, jossa tiettyjen laatuun tai ympäristöön liittyvien menetelmien sijoittaminen työmaalle huomioidaan. Tällöin tietyn järjestelmän omistaminen miinustaa urakkasummaa, jolloin menetelmää käyttävän yrityksen on helpompi saada urakka. Jos menetelmää ei käytä tai omista, tulee tarjoukseen sanktioprosentti. Huomioitavia asioita ovat esimerkiksi bitumin vaahdotusjärjestelmä ja teltat kivainekselle. (Statens vegvesen 2018.) Suomessa pilotoitiin kesällä 2018 hankintamallia, jossa hiilidioksidipäästömuuttujien ilmoittamisesta annettiin bonus. Tällaiset hankintamallit kannustavat yrityksiä huomioimaan hiilidioksidipäästöt ja investoimaan vähäpäästöisiin menetelmiin.

Raaka-ainemateriaalien osuus asfaltin rakennusvaiheen aikaisista päästöistä on suuri. Asfaltin kierrättämällä pienennetään hiilidioksidipäästöjä ja syntyvän jätteen määrää. Rouheen enimmäispitoisuudet ovat rajoitettu suhteellisen pieniksi monissa hankkeissa Suomessa. Jotta raaka-ainemateriaalien hiilidioksidipäästöt laskisivat, tulisi sallittavien kierätysprosenttiosuuksien nousta. Tutkimusten tulisi antaa varmempia tuloksia siitä, miten kierrätetty asfaltti laadullisesti käyttäytyy suhteessa uuteen asfalttiin. Matalalämpöasfaltin valmistusta lisäämällä voidaan suurentaa rouheprosenttia. Skanska Industrial Solutions AB on toteuttanut asfaltointiprojekteja, joiden rouheprosentit ovat olleet selvästi suurempia verrattuna Skanska Industrial Solutions Oy:n rouheprosentteihin. Eräässä Skanska Industrial Solutions AB:n hankkeessa rouhepitoisuus oli 70 % ja toisella 80 %. Ensimmäisessä projektissa ekvivalenttipäästöjä vähennettiin 62 % ja jälkimmäisessä 41 % verrattuna uusista materiaaleista valmistettuihin vastaaviin päällysteisiin. Ensimmäisessä projektissa asfalttiasemalla käytettiin uusiutuvaa polttoainetta. (Skanska AB 2014 ja 2017.)

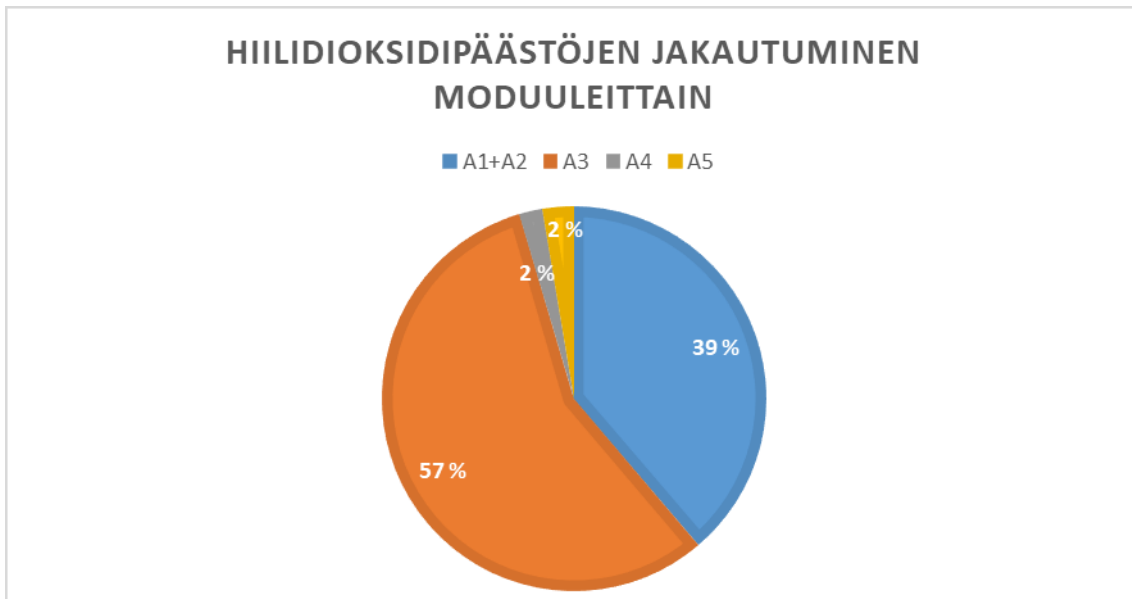
Tällä hetkellä jätteiden hyödyntäminen vaatii ympäristöluvan ja on hyvin säädeltyä. Lisäksi jätteen verotusta koskeva 3 vuoden säilyttämiseen liittyvä sääntö kasvattaa urakoitsijan riskiä jäteaineiden vastaanottamisessa. Selvityksen mukaan ympäristölupien käsittelyaika esimerkiksi vuonna 2015 oli keskimäärin 17,2 kuukautta (Attila 2017). Lyhyemmällä käsittelyprosessilla tai sillä, ettei ympäristölupaa vaadittaisi tiettyjen jätteiden hyödyntämiselle, voitaisiin vähentää jätteen määrää. Jätteiden helpompi käyttönotto kannustaa yrityksiä hyödyntämään jättemateriaaleja enemmän.

Tällä hetkellä raskas polttoöljyn käyttö kivaineksen lämmittämisessä on kannattavaa sen halvemman hinnan sekä Suomen energialainsäädännön takia. Jotta vähemmän hiilidioksidipäästöjä vapauttavista polttoaineista tulisi kannattavia, raskaan polttoöljyn hinnan tulee nousta, verotuksen muuttua biopolttoaineita suosivammaksi tai raskaan polttoöljyn

käyttö kieltää. Hiilidioksidipäästöjen ottaminen hankintaperusteeksi tekee vähäpäästöisempien polttoaineiden käytöstä kannattavampaa. Jos asfalttiasemat otettaisiin päästökaupan piiriin, tekisi se raskaasta polttoöljystä vähemmän houkuttelevaa. Norjalaisilla asfalttiasemilla ei käytetä raskasta polttoöljyä ja sen käyttö on kokonaan kielletty Oslon seudulla. Ruotsalainen lainsäädäntö kannustaa verohelpotuksin käyttämään biopolttoaineita. Ruotsissa ja Norjassa fossiilisten polttoaineiden verotus on kiristynyt viime vuosina. (Skatteverket c & d 2018 ja Regjeringen 2018.) Siirtyminen Norjan ja Ruotsin kaltaisiin järjestelmiin kannustaisi asfalttialan yrityksiä Suomessa siirtymään ympäristöystävällisempiin polttoaineisiin.

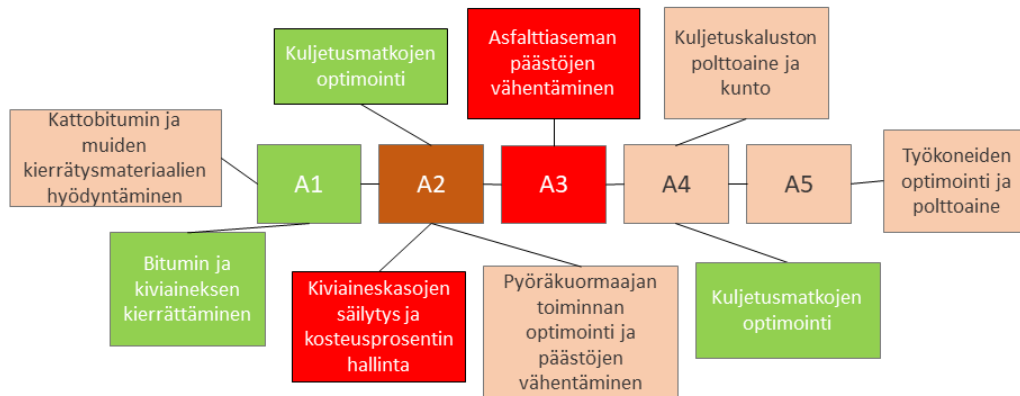
## 8 Johtopäätökset

Kuvaajassa 17 esitetään hiilidioksidipäästöjen jakautuminen moduuleittain Rovaniemen asfalttiasemalla asfalttimassan kuljetusmatkan ollessa 6,5 kilometriä. Suurimmat hiilidioksidipäästöt aiheutuvat moduulista A3 eli asfalttiaseman hiilidioksidipäästöistä ja moduuleista A1 ja A2 eli raaka-aineiden kuljettamisesta, valmistamisesta ja varastoinnista sekä asfalttiaseman sisäisistä kuljetuksista. Päästöjä pienennetään eniten keskittymällä moduulien A1–A3 hiilidioksidipäästöjen pienentämiseen. Moduulien A4 ja A5 vaikutukset ovat pieniä verrattuna A1-A3 moduulien hiilidioksidipäästöihin.



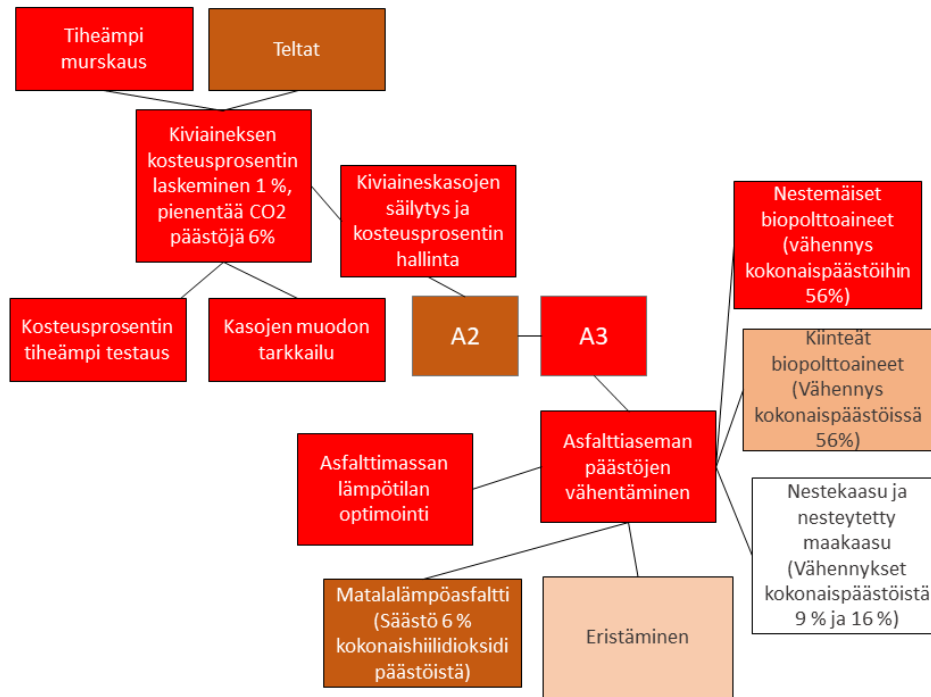
Kuvaaja 17. Hiilidioksidipäästöjen jakautuminen asfaltointiprosessissa moduuleittain

Kuvassa 24 esitetään väreillä asfaltointiprosessin moduulit ja toimenpiteet. Punainen väri kuvaa toimenpiteitä, joiden tutkimukseen ja käyttöön tulee tällä hetkellä keskittyä. Tällaisia ovat asfalttiaseman hiilidioksidipäästöjen vähentäminen sekä kiviaineksen varastoinnin toimenpiteet. Vaaleanpunaisella on esitetty toimenpiteet, joiden merkitys on tulevaisuudessa suurempi. Vihreällä on esitetty toimenpiteet, joiden vaikutukset ovat tiedossa ja, joihin ei tällä hetkellä voida merkittävästi vaikuttaa. Esimerkiksi rouheen lisäämisen edut ja tekniikka tunnetaan hyvin. Rouheprosenttia kasvatetaan sitten, kun hankkeiden tilaajat sallivat suuremman rouheprosentin. Tämä vaatii tarkempia koetuloksia rouheen laadusta.



Kuva 24. Asfalttoinnin moduulien ja niiden toimenpiteiden luokittelu. Punainen väri kuvaa niitä asfaltointiprosessin osia, joihin päästöjen vähentämisessä keskitytään tällä hetkellä. Vaaleanpunainen väri kuvaa toimenpiteitä, joihin keskitytään tulevaisuudessa. Vihreä väri kuvaa toimenpiteitä, joihin ei tällä hetkellä voida vaikuttaa merkittävästi. Vihreät toimenpiteet tunnetaan hyvin

Alla olevassa kuvassa 25 esitetään suositus moduulien 2 ja 3 toimenpiteiden toteutusjärjestyksestä. Kuvasta 25 nähdään, että kiviaineksen kosteusprosentin mittaamiseen, murskausaikojen suunnitteluun ja kiviainekasan muotoon kiinnitetään välittömästi huomiota. Kiviaineksen ja rouheen kosteusprosenttien mittausten perusteella tehdään päätös teltoihin investoinneista. Telttojen investoinnit tehdään lähivuosina, jos ne jatkotutkimuksien perusteella ovat kannattavia. Huomiota kiinnitetään välittömästi asfaltin valmistuslämpötilan optimointiin. Investointikustannukset jatkuvalla polttoaine- ja lämpötilaseurannalle selvitetään ja käyttöä pilotoidaan lähivuosina. Matalalämpöasfaltin valmistusta pilotoidaan ensi asfaltointikaudella ja sitä aletaan valmistaa lähivuosina. Nestemäisten biopolttoaineiden sopivuus, hinta ja saatavuus selvitetään ja niiden käyttöä pilotoidaan. Kiinteiden biopolttoaineiden käyttöön siirrytään tulevaisuudessa. Seuraavan 10 vuoden aikana siirrytään kokonaan pois fossiilisista polttoaineista. Nesteytetyn maakaasun tai nestekaasun käyttöön ei siirrytä, koska ne eivät 10 vuoden perspektiivillä tarkasteltuna vähennä hiilidioksidipäästöjä tarpeeksi. Asfalttiaseman eristäminen on menetelmistä tehottomin. Sen tutkimiseen ja eristeiden parantamiseen kiinnitetään tarvittaessa huomiota myöhemmin vuosina.



Kuva 25. A2 ja A3 moduulien suositeltujen toimenpiteiden luokittelu. Punaisempi ja tummempi väri kuvaa toimenpiteitä, joita toteutetaan heti. Vaaleammat värit kuvaavat toimenpiteitä, jotka toteutetaan tulevaisuudessa

Päästötavoitteiden saavuttamiseksi tulee eri menetelmiä hyödyntää samanaikaisesti. Esimerkiksi pienentämällä kiviaineksen kosteusprosenttia 1 %, laskemalla valmistuslämpötilaa 30 celsiuksella ja lisäämällä 40 % kierrätysasfalttia, pienentyvät asfaltoinnin kokonaispäästöt 7,2 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni. Asfaltoinnin kokonaispäästöt pienenevät 24 %. Kustannussäästö on 0,58 e/asfalttitonni, kun polttoaineen hinnaksi oletetaan 0,45 e/polttoainekilogramma. 60 000 tonnin vuosituotannolla tämä tarkoittaa 432 tonnia vähemmän hiilidioksidipäästöjä ja 34 800 euron kustannussäästöjä. Kierrätysprosentin lisääminen pienentää asfaltin valmistuksen kustannuksia. Eristäminen, kosteusprosentin laskeminen ja asfaltin valmistuslämpötilan laskeminen pienentävät asfalttiaseman polttoaineenkulutusta ja polttoainekustannuksia. Menetelmillä on kustannuksien kannalta erityisen suuri merkitys vaihdettaessa kalliimpaan polttoaineeseen. Vaikka biopolttoaineiden laskennalliset hiilidioksidipäästöt ovat 0 kg CO<sub>2</sub>/asfalttitonni, vapautuu niiden käyttämisestä hiilidioksidia. Biopolttoaineiden kulutusta on pyrittävä pienentämään. Jatkotutkimuksena eri menetelmien investointikustannukset ja takaisinmaksuajat tulee selvittää, jolloin menetelmien järkevyyttä on mahdollista arvioida kustannusnäkökulmasta paremmin.



## Lähteet

2050 Consulting. (2016). Konsekvensanalys klimatneutralitet Skanska Sverige VG Asfalt & Betong. 42 s.

Aalto, M. (2012). Rakennuksen lämmitys aurinkolämmöllä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. s. 37+4.

Ammann. (2009). CO2 Reduction on Asphalt Mixing Plants Potential and Practical Solutions.

Ammann. a. Recycling. Luettu: 12.6.2018. Saatavilla: <https://www.ammann-group.com/en/technology/recycling>.

Ammann. b. ABA 100-340 UNIBATCH. Luettu: 12.6.2018. Saatavilla: <https://www.ammann-group.com/en/plants/asphalt-plants/batch-asphalt-mixing/aba-100-340-unibatch>.

Amomatic. (2018). Kuivausrummut. Luettu: 23.5.2018. Saatavilla: <https://www.amomatic.com/fi/koneet-ja-varaosat/kuivausrummut>.

Amomatic. (2018b). Asfaltin kierrätys. Luettu: 23.5.2018. Saatavilla: <https://www.amomatic.com/fi/teknologia/asfaltin-kierratys/>.

Amomatic. c. AmoFoam. Luettu: 6.6.2018. Saatavilla: <https://www.amomatic.com/fi/teknologia/amofeam>.

Amomatic. d. Modulaarisuus. Luettu: 21.6.2018. Saatavilla: <https://www.amomatic.com/fi/tietoa-meista/modulaarisuus>.

Androjic, I. ja Alduk, Z. (2016). Analysis of energy consumption in the production of hot mix asphalt (batch mix plant). Canadian Journal of Civil Engineering. S. 1044–1051.

Aulankoski, A., Montin P., Lydman P. ja Häyrinen, K. (2014). Panospohjaisen CO2 -laskennan pilotointi väylähankkeessa. Liikenneviraston selvityksiä. Vol: 18. 37+12 s. ISBN 978-952-255-443-7.

Attila, M. (2017). Ympäristölupamenettelyn pullonkaulat ja kesto. Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön raportteja. 43 S. Vol: 5. ISBN: 978-952-11-4727-2.

Bank, K. (2010). From Roof to Road - Innovative recycling of bitumen felt roofing material. Euroopan Komissio. Luettu: 7.8.2018.

Bražiūnas, J. ja Sivilevičius, H. (2014). Heat Transfer and Energy Loss in Bitumen Batching System of Asphalt Mixing Plant. ISBN 978-609-457-640-9.

Claro, E. (2010). Towards Low-Carbon Transportation Infrastructures. Bulletin FAL. Vol: 286.

Cleaver, L. (2011). Optimizing Your Asphalt Plant. The Asphalt Contractor. S. 50, 52-54, 56.

D'Angelo, J., Harm, E., Bartoszek, J., Baumgardner, G., Corrigan, M., Cowsert, J., Harman, T., Jamshidi, M., Jones, W., Newcomb, D., Prowell, B., Sines, R. ja Yeaton, B. (2008). Warm-Mix Asphalt: European Practice. American Trade Initiatives.

Department of energy and climate change. (2009). Guidance on carbon neutrality. Luettu 15.5.2018. Saatavilla: <https://www.waddensea-forum.org/images/archive/co2/carbon%20neutrality%20guidance.pdf>.

Dure, G. ja Zubeck, H. (2009). Cold Regions Pavement Engineering. ASCE press. ISBN 978-0-07-160088-0.

Dubravsky, M., Mandula, J. (2015). Modified Asphalt Binder with Natural Zeolite for Warm Mix Asphalt. S. 61–68. Vol:10.

Elinkeinoelämän keskusliitto. (2015). Yhteinen ilmasto vaatii globaalin ilmastopolitiikan ja hiilen hinnoittelua. Luettu: 19.7.2018. Saatavilla: <https://ek.fi/mita-temme/energia-liikenne-ja-ymparisto/energia/pariisin-ilmastosopimus/>.

ENCORD. (2012). Construction CO2 e Measurement Protocol. Luettu: 31.7.2018. Saatavilla: [http://www.encord.org/wp-content/uploads/2012/06/ENCORD\\_CO2e\\_Protocol.pdf](http://www.encord.org/wp-content/uploads/2012/06/ENCORD_CO2e_Protocol.pdf).

Energiavirasto. (2018). Päästökauppa. Luettu: 3.7.2018. Saatavilla: <https://www.energiavirasto.fi/yleista-paastokaupasta>.

Eskola, K. (2018). Ympäristöasioiden huomioiminen päällystehankintojen kehittämisessä. 2 s.

Eskola, P., Mroueh, U., Juvankoski, M. ja Ruotoistenmäki, A. (1999). Maarakentamisen elinkaariarviointi. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 111+18 s. ISBN 951-38-5446-9.

Eurobitume. (2012). Life cycle inventory: bitumen. 56 s. ISBN 2-930160-26-8.

Euroopan komissio. Ilmastonmuutoksen seuraukset. Luettu: 19.6.2018. Saatavilla: [https://ec.europa.eu/clima/change/consequences\\_fi](https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_fi).

Euroopan Unioni. (2012). Valtiontuki. Luettu: 4.6.2018. Saatavilla: [http://ec.europa.eu/competition/consumers/government\\_aid\\_fi.html](http://ec.europa.eu/competition/consumers/government_aid_fi.html).

European Asphalt Pavement Association. (2018). Asphalt in figures 2016. Versio 22-01-2018. 8 s. Luettu: 30.5.2018. Saatavilla: [http://www.eapa.org/userfiles/2/Asphalt%20in%20Figures/2016/AIF\\_2016.pdf](http://www.eapa.org/userfiles/2/Asphalt%20in%20Figures/2016/AIF_2016.pdf).

European Asphalt Pavement Association. (2015). Warm Mix Asphalt. Luettu 25.5.2018. Saatavilla: <http://www.eapa.org/promo.php?c=202#a>.

Eurooppa-neuvosto. (2018). Pariisin ilmastopöytäkirja. Luettu: 19.7.2018. Saatavilla: <http://www.consilium.europa.eu/fi/policies/climate-change/timeline/>.

Eurooppa-neuvosto. (2017). Päästökauppajärjestelmän uudistus – neuvosto vahvisti sopimuksen Euroopan parlamentin kanssa. Luettu: 3.7.2018. Saatavilla: <http://www.consilium.europa.eu/fi/press/press-releases/2017/11/22/reform-of-the-eu-emissions-trading-system-council-endorses-deal-with-european-parliament/>.

Finlex. (2017). Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. 1048/2017. Luettu: 17.7.2018. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171048>.

Finlex . (2017b). Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Luettu: 8.8.2018. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843>.

Finlex. (2016). Laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista. 29.12.2016/1397. Luettu 22.5.2018. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161397?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=ymp%C3%A4rist%C3%B6>.

Finlex. (2013). Laki biopolttoaineista ja bionesteistä. 7.6.2013/393. Luettu: 3.7.2018. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130393>.

Finlex. (2012). Valtioneuvoston asetus asfalttiasemien ympäristönsuojeluvaatimuksista. 846/2012. Luettu: 18.7.2018. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120846>.

Finlex. (2012b). Valtioneuvoston asetus jätteistä. 19.4.2012/179. Luettu: 8.8.2018. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2012/20120179>.

Finlex. (2011). Päästökauppalaki. 8.4.2011/311. Luettu: 3.7.2018. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110311>.

Finlex. (2011b). Jätelaki. 17.6.2011/646. Luettu: 7.8.2018. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646>.

Finlex. (1999). Maankäyttö- ja rakennuslaki. 5.2.1999/132. Luettu 23.5.2018. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L1P1>.

Finlex. (1994). Laki nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta. 29.12.1994/1472. Luettu 23.5.2018. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19941472>.

Forstén, L. (2017). Low-Emission Pavement Solutions. Lemminkäinen Infra Oy. 21 s.

Gasum. (2018). Nesteytetyn maakaasun kysyntä kasvaa Pohjoismaiden merenkulussa. Luettu: 24.10.2018. Saatavilla: [https://www.gasum.com/gasum-yrityksena/medialle/uutiset/2018/skangas\\_1000\\_bunkrausta/](https://www.gasum.com/gasum-yrityksena/medialle/uutiset/2018/skangas_1000_bunkrausta/).

GOV.UK. (2017). Greenhouse gas reporting: conversion factors 2017. Luettu: 23.10.2018. Saatavilla: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2017>.

Gustavsson, E ja Larsson, O. (2011). Räkna med energiförluster. Förslag på energibesparingsåtgärder vid asfalttillverkning från energigruppen. Skanska AB.

Hagström, M., Illman, J., Peola, A., Vanhanen, J. ja Gilbert, I. (2011). Tien- ja radanpidon hiilijalanjälki. Liikennevirasto. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. 100 s. ISBN 978-952-255-700-1.

Harder, G., LeGogg, Y., Loustau, A., Martineau, Y., Heritiern B. ja Romier, A. (2008). Energy and environmental gains of warm and half-warm asphalt mix: quantitative approach. 20 s.

Hartikainen, O. (2003). Tietekniikan perusteet. Viides painos. 171 s. Yliopistokustannus/Otatieto. ISBN 951-672-336-5.

Hamzah, M., Jamshidi, A. ja Shahadan Z. (2010). Evaluation of the potential of Sasobit to reduce required heat energy and CO<sub>2</sub> emission in the asphalt industry. Journal of Cleaner Production 18. S. 1859–1865.

Heinonen, A. (2017). Kierrätysasfaltin markkinakelpoisuuden edellytysten luominen – Demokohteena bitumikatetta (kattohuopaa) sisältävä asfaltti. Aalto-yliopisto. Diplomityö. 100+31 s.

Hippinen, I. (2012). Yksittäisen kohteen CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO<sub>2</sub> –päästökertoimet. Motiva Oy. 13s. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/files/6817/CO2-laskenta\\_yksittainen\\_kohde.pdf](https://www.motiva.fi/files/6817/CO2-laskenta_yksittainen_kohde.pdf).

Hitachi. (2018). ZH210-5 Hybrid. Luettu: 12.9.2018. Saatavilla: <https://www.hitachicm.eu/machinery/excavators/medium-excavators/zh210-5-hybrid/>.

Howell, G. (1999). What is lean construction. 10s.

Hujanen, P. (2016). Matalalämpöasfaltti – selvitys vaahdotusmenetelmän käytöstä. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Ilmatieteenlaitos. (2018). Lämpötila- ja sadetilastoja vuodesta 1961. Luettu: 25.7.2018. Saatavilla: <http://ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961>.

Ilmasto-opas. Hiilidioksidi ja hiilen kiertokulku. Luettu: 19.6.2018. Saatavilla: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/1e92115d-8938-48f2-8687-dc4e3068bdbd/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku.html>.

Ilmasto-opas. b. Globaalit päästöt. Luettu: 23.10.2018. Saatavilla: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/42433dde-827f-485e-9fa9-45b49fbfa317/globaalit-paastot.html>.

Ishida, K ja Higurashi, M. (2015). Hybrid Wheel Loaders Incorporating Power Electronics. Hitachi Review Vol: 64. No. 7. S. 398–402.

John Deere. (2018). K-Series loaders. Luettu: 12.9.2018. Saatavilla: <https://www.deere.com/assets/publications/index.html?id=d861a139#1>.

Jullien, A., Gaudefroy, V., Ventura, A., de la Roche, C., Paranhos, R. ja Moneron, P. (2010). Airborne Emissions Assessment of Hot Asphalt Mixing: Methods and Limitations. Road Materials and Pavement Design. S. 149-169. ISSN 14680629.

Karkela, L, Meriläinen, P., Parkkila, I., Kervinen, M. ja Seppänen, R. (2005). Maol taukukset. Otava. s.167. ISBN-10: 951-1-20607-9.

Keto M. (2010). Energiamuotojen kerroin. Raportti Ympäristöministeriölle. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu. 104 s.

Kuna, K., Airey, G. ja Thom, Nick. (2016). Mix design considerations of foamed bitumen mixtures with reclaimed asphalt pavement material. International Journal of Pavement Engineering, 18:10. S.902-915. ISSN: 1029-8436.

Lampinen, M. (1997). Termodynamiikan perusteet. Otatieto. 182 s.

Lampinen, M ja Kotiaho, V. (2015). Johdatusta lämmönsiirto-oppiin. Kurssin oppimateriaali. 18s.

Larsen, O., Moen, Ø., Robertus, C. ja Koenders, B. (2004). Warm foam asphalt production at lower operating temperatures as an environmental friendly alternative to HMA. 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress Vienna 2004 – Paper 137. S. 641-650.

Lee, N., Chou, C. ja Chen K. (2011). Benefits in Energy Savings and CO2 Reduction by Using Reclaimed Asphalt Pavement.

Lehtimäki, H. (2012). Asfalttirouheen elvyttäminen kyveillä öljytuotteilla. Diplomityö. Aalto-yliopisto. 105+43 s.

Liikennejärjestelmä.fi. (2017). Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt. Luettu 14.5.2018. Saatavilla: <http://liikennejarjestelma.fi/ymparisto/paastot-ilmaan/liikenteen-kasvihuonekaasupaastot/>.

Liikennevirasto. (2016). Kestävämpää liikennettä ja väylänpitoa – Katse kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Liikenneviraston julkaisut. 64 s. ISBN 978-952-317-331-6.

Liikennevirasto. (2017). Liikenneviraston ympäristöohjelma 2017-2020. Liikenneviraston toimintalinjoja 2/2012. 33+18 s. ISBN 978-952-317-446-7.

Lovdata. (2001). Forskrift om svovelinnhold i ulike oljeprodukter. Luettu: 21.9.2018. Saatavilla: <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2001-10-08-1206>.

Makowska, M., Huuskonen-Snicker E., Alanaatu, P, Aromaa, K., Savarnya, A., Pellinen, T. ja Das, A. (2018). Incorporating the transverse profile of the wearing course into the control of the hot in-place recycling of asphalt concrete. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol:356.

Miettinen, E. (2008). Thermal conductivity and characteristics of copper flash smelting flue dust accretions. TTK. ISBN 978-951-22-9562-3. 97 s.

Miliutenko, S. (2012). Life Cycle Impacts of Road Infrastructure – Assessment of energy use and greenhouse gas emissions. Lisensiaatintyö. Department of Urban Planning and Environment. Royal Institute of Technology. 41 s. ISBN 978-91-7501-259-9.

Miliutenko, S., Björklund, A. ja Carlsson, A. (2012). Opportunities for environmentally improved asphalt recycling: the example of Sweden. KTH Royal Institute of Technology. Journal of Cleaner Production. S.156–165.

Motiva. (2018). CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. Luettu: 2.7.2018. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto\\_suomessa/co2-laskentaohje\\_energiankulutuksen\\_hiilidioksidipaastojen\\_laskentaan/co2-paastokertoimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet).

Naturvårdsverket. (2018). Beräkna dina klimatutsläpp. Luettu: 6.6.2018. Saatavilla: <https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Luft-och-klimat/Berakna-dina-klimatutslapp/>.

NCC. (2018). Ympäristöystävälliset polttoaineet - raivaamme tietä uusiutuvalle energialle. Luettu: 19.8.2018. Saatavilla: <https://www.ncc.fi/kestava-kehitys/kestavan-kehityksen-viitekehys/vastuullisia-konsepteja/ymparistoystavalliset-polttoaineet/>.

Neste. (2018). Neste-raskas polttoöljy LS 180. Tuotetiedot. Luettu: 24.10.2018. Saatavilla: <https://www.neste.com/fi/puhtaammat-ratkaisut/tuote-ja-kayttoturvallisuustiedotteet>.

Nokka, J. (2018). Energy Efficiency Analyses of Hybrid Non-Road Mobile Machinery by Real-Time Virtual Prototyping. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Väitöskirja. 70 s. ISBN 978-952-335-193-6.

Norwegian petroleum. (2018). Emissions to air. Saatavilla: <https://www.norskipetroleum.no/en/environment-and-technology/emissions-to-air/>.

Nylund, N-O., Söderena, P. ja Rahkola, P. (2016). Työkoneiden CO<sub>2</sub> päästöt ja niihin vaikuttaminen. VTT. Tutkimusraportti. 18 s.

Optotherm. (2018). Emissivity in the Infrared. Luettu: 24.9.2018. Saatavilla: <https://www.optotherm.com/emiss-effects.htm>.

Pank ry. (2018a). Kuljetus. Luettu: 30.7.2018. Saatavilla: <http://pank.fi/tekniset-vaatimukset/muut-julkaisut/opinnaytteet-ja-muut-selvitykset/asfalttialan-oppimateriaali-asko>.

Pank ry. (2018b). Levitys. Luettu: 30.7.2018. Saatavilla: <http://pank.fi/tekniset-vaatimukset/muut-julkaisut/opinnaytteet-ja-muut-selvitykset/asfalttialan-oppimateriaali-asko>.

Pank ry. (2018c). Tiivistys. Luettu: 30.7.2018. Saatavilla: <http://pank.fi/tekniset-vaatimukset/muut-julkaisut/opinnaytteet-ja-muut-selvitykset/asfalttialan-oppimateriaali-asko>.

Pank ry. (2017). Asfalttinormit 2018. 122 s. ISBN 978-952-99985-2-4.

Pank ry. (2011a). 4.Asfalttimassan valmistus. Luettu: 16.5.2018. Saatavilla: [pank.fi/file/901/b3-asfaltit-ja-niiden-laatuvaatim.pdf](http://pank.fi/file/901/b3-asfaltit-ja-niiden-laatuvaatim.pdf). 20 s.

Pank ry. (2011b). Asfalttinormit 2011. 118s. ISBN 978-952-99985-1-7.

- Pank ry (2011c). 3. Asfaltit ja niiden ja laatuvaatimukset. Luettu: 21.5.2018. Saatavilla: [pank.fi/file/901/b3-asfaltit-ja-niiden-laatuvaatim.pdf](http://pank.fi/file/901/b3-asfaltit-ja-niiden-laatuvaatim.pdf).
- Pank ry (2011d). Raaka-aineet. Luettu: 30.7.2018. Saatavilla: [www.pank.fi/file/900/b2-raaka-aineet.pdf](http://www.pank.fi/file/900/b2-raaka-aineet.pdf).
- Pank ry. (2011e). Kuljetus. Luettu: 30.7.2018. Saatavilla: [pank.fi/file/902/b4-asfmassan-valmistus.pdf](http://pank.fi/file/902/b4-asfmassan-valmistus.pdf).
- Pank ry. (2011f). Muut päällysteet. Luettu: 17.9.2019. Saatavilla: [pank.fi/tekniset-vaatimukset/pank-menetelmat/pank-6-muut-menetelmat](http://pank.fi/tekniset-vaatimukset/pank-menetelmat/pank-6-muut-menetelmat).
- Pasanen, P. ja Miilunmäki N. (2017). Energiankulutusta ja kasvihuonekaasupäästöjä vähentävien vaatimusten kehittäminen päällystehankinnoissa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. Liikennevirasto. Vol: 43. 41+4s. ISBN 978-952-317-453-5.
- Pasanen, P. ja Miilunmäki N. (2017b). Infrahankkeiden EN-standardeja noudattava hiilijalanjälki- ja elinkaariarviointi. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. Liikennevirasto. Vol:20. s. 39+ 17. ISBN 978-952-317-386-6.
- Peinado, D., Vega, M., Garcia-Hernando, N. ja Marugan-Cruz, C. (2011). Energy and exergy analysis in an asphalt plant's rotary dryer. *Applied Thermal Engineering*. S.1039–1049.
- Pekki, P. (2017). Lean-ajattelun hyödyntäminen asfaltin tuotantoketjun hukan vähentämisessä. Aalto-yliopisto. Diplomityö. 88s.
- Peng, B., Cai, C., Yin, G., Li, W. ja Zhan, Y. (2015). Evaluation system for CO2 emission of hot asphalt mixture. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. S. 116–124.
- Pöyry. (2010). Lemminkäinen Infra Oy. Tuusulan asfalttitehtaan kehittäminen - Ympäristövaikutusten arviointiselostus. YVA-selostus. Luettu: 25.6.2018. 135 s. Saatavilla: [www.ymparisto.fi/download/noname/%7B9F3339EA-3664-4548-BE5F.../42352](http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B9F3339EA-3664-4548-BE5F.../42352).
- Quinn Brewster, M. (1992). *Thermal Radiative Transfer and Properties*. John Wiley & Sons. 547 s.
- Rovaniemen kaupunki. (2017). Rouhekasa Varastokenttä Alakorkalon Asema Kosteusmääritys. Päällyste- ja kiviaineslaboratorio.
- Rubio, M., Moreno Fernando., Martinez-Echevarria M., Martinez, G. ja Vazquez, J. (2013). Comparative analysis of emissions from the manufacture and use of hot and half-warm mix asphalt. *Journal of Cleaner Production* 41. 6 s.
- Rypdal K., Paciornik, N., Eggleston, S., Goodwin, J., Irving, W., Penman, J., ja Woodfield M. (2006). Introduction to the 2006 guidelines. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 12 s. Vol: 1. Saatavilla: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1\\_Volume1/V1\\_1\\_Ch1\\_Introduction.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_1_Ch1_Introduction.pdf).
- Sabartova, Z. (2015). Mathematical modelling for optimization of truck tyres selection. Lisensiaatintyö. Chalmers University of Technology ja University of Gothenburg. 32 s.

Santos, Powell. (1999). Potential of poka-yoke devices to reduce variability in construction. S. 51–62.

Seppälä, J., Alestalo, M., Ekholm, T., Kulmala, M ja Soimakallio, S. (2014). Hiilineutraalisuuden tavoittelu – mitä se on missäkin yhteydessä. Ilmastopaneeli. Saatavilla: <http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/Hiilineutraalisuuden%20tavoittelu%20-%20mit%C3%A4%20se%20on%20miss%C3%A4kin%20yhteydess%C3%A4.pdf>.

SFS-EN 13108-8. (2016). Asfalttimassat. Materiaalivaatimukset. Osa 8: Uusioasfaltti. Suomen standardisoimisliitto sfs.

SFS-EN 15804. (2014). Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. 2.painos. Suomen standardisoimisliitto sfs. 95.s

SFS-EN ISO 14040. (2006). Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. 2 painos. Suomen standardisoimisliitto sfs. 48s.

SFS-EN ISO 14001. (2015). Ympäristöjärjestelmät. Vaatimukset ja niiden soveltamisohjeita. 3 painos. Suomen standardisoimisliitto sfs. 82s.

Skanska AB. (2017). Cirkulär asfalt (Miljötopp 16). Grönt referensprojekt.

Skanska AB. (2014). Cirkulär asfalt (Miljötopp 11). Grönt referensprojekt.

Skanska Industrial Solutions Oy. (2018a). Carbon neutral 2050. Ympäristöohjelma. Power Point.

Skanska Industrial Solutions Oy. (2018b). Carbon neutral 2018.

Skanska Industrial Solutions Oy. (2018c). Polttoainetalous.12 s.

Skanska (2017). Skanska Asfaltti Oy:n uusi nimi on Skanska Industrial Solutions Oy. Luettu: 15.5.2018. Saatavilla: <https://www.skanska.fi/tietoa-skanskasta/media/uutiset/211403/Skanska-Asfaltti-Oy-n-uusi-nimi-on-Skanska-Industrial-Solutions-Oy>.

Skanska. (2018). Vårt mål om klimatneutralitet 2050. Luettu: 14.5.2018. Saatavilla: <https://www.skanska.se/om-skanska/hallbarhet/gront-byggande/klimatneutralitet/>.

Skanska (2018b). Skanska in brief. Luettu: 20.6.2018. Saatavilla: <https://group.skanska.com/about-us/skanska-in-brief/>.

Skanska. (2018c). Skanska lyhyesti. Luettu: 20.6.2018. Saatavilla: <https://www.skanska.fi/tietoa-skanskasta/skanska-suomessa/skanska-lyhyesti/>.

Skatteverket. 2018. Biogas och vegetabiliska oljor m.m. som förbrukas för uppvärmning. Luettu: 4.6.2018. Saatavilla: <https://www.skatteverket.se/foretagochorganisationer/skatter/punktskatter/energiskatter/energiskatterpabranslen/biobransleforuppvarmning.4.361dc8c15312eff6fd13f17.html>.

Skatteverket. 2018a. Statligt stöd. Luettu: 4.6.2018. Saatavilla: <https://www.skatteverket.se/foretagochorganisationer/skatter/statligtstod.4.361dc8c15312eff6fd139ef.html>.



Skatteverket. 2018b. Skattesatser på bränslen och el under 2018. Luettu: 4.6.2018. Saatavilla: <https://www.skatteverket.se/foretagochorganisationer/skatter/punktskatter/energiskatter/skattesatserochvaxelkurser.4.77dbcb041438070e0395e96.html>.

Skatteverket. 2018c. Lägre skatt för industriell verksamhet. Luettu: 4.6.2018. Saatavilla: <https://www.skatteverket.se/foretagochorganisationer/skatter/punktskatter/energiskatter/verksamhetermedlagreskatt/industriellverksamhet.4.18e1b10334ebe8bc80002009.html>.

SMHI. (2009). Juli 2009 - Temperatur och nederbörd. Luettu: 23.7.2018. Saatavilla: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/manadens-vader-och-vatten-sve-rige/juli-2009-temperatur-och-nederbord-1.6280>.

Stimilli, A., Virgili, A. ja Canestari, F. (2015). New method to estimate the “re-activated” binder amount in recycled hot-mix asphalt. Road Materials and Pavement Design. Vol:16. S. 443–459.

Statens vegvesen. (2018). Forsøk med andre tildelingskriterier enn laveste pris.

Statens vegvesen. (2014). Miljøeffekter og energireduksjon ved asfaltarbeid. Statens vegvesens rapporter. No: 319.

Suomen ympäristökeskus. (2017). Tietoa elinkaariarvioinnista (LCA) ja elinkaariklinik-katoimintamallista pk-yrityksille. 4 s.

Suomen ympäristökeskus. (2005). Päästötietojen tuottamismenetelmät. Energiatuotanto. 103 s.

Säynäjoki, A., Heinonen, J. ja Junnila, S. (2011). Asuinalueen rakentamisessa syntyvien hiilipäästöjen hybridi LCA-mallinnus. Aalto-yliopiston julkaisusarja: tiede + teknologia 1/2011. 55 s. Aalto-yliopisto. ISBN 978-952-60-4022-6.

Tiehallinto. (2002). Päällysteet. Tierakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. 29 s. ISBN 951-726-836-X.

Tilastokeskus. (2018). Polttoaineluokitus. Luettu: 24.5.2018. Saatavilla: [https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.html](https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html).

Tilastokeskus. (2013). Kasvihuonekaasut ja ilmastonmuutos. Suomen virallinen tilasto (SVT). ISSN:1797-6049. 2003, Kasvihuonekaasut ja ilmastonmuutos. Luettu 17.5.2018 Saatavilla: [http://www.stat.fi/til/khki/2003/khki\\_2003\\_2005-05-31\\_kat\\_001.html](http://www.stat.fi/til/khki/2003/khki_2003_2005-05-31_kat_001.html).

Trafi. (2018). Raskaan polttoaineen kielto arktisilla vesillä eteni. Luettu: 13.8.2018. Saatavilla: [https://www.trafi.fi/trafi/ajankohtaista/6105/raskaan\\_polttoaineen\\_kielto\\_arktisilla\\_vesilla\\_eteni](https://www.trafi.fi/trafi/ajankohtaista/6105/raskaan_polttoaineen_kielto_arktisilla_vesilla_eteni).

Tujunen, R. 2016. Perinteisten asfalttibetonipäällysteiden korvaamismahdollisuudet matalalämpöasfaltilla Helsingissä osana kasvihuonepäästöjen vähentämistä. Aalto Yliopisto. Diplomityö. 87+40s.

Tulli. (2015). Valmisteverotuksen ohje 21. Energiaverotus. 17s.

Valtionvarainministeriö. (2018). Energiaverotus. Luettu: 23.5.2018. Saatavilla: <http://vm.fi/energiaverotus>.

Vasama, T. (2007). Päälystystyön tuotannonohjauksen parantaminen lean-ajattelun ja automaation avulla. Diplomityö. Aalto-yliopisto. 110 s.

Vattenfall. (2017). Vattenfallin myymän sähkön alkuperä vuonna 2017. Luettu: 18.9.2018. Saatavilla: <https://www.vattenfall.fi/vattenfall-ja-ymparisto/sahkon-alkuperä/>.

Vegvesen. (2011). Norwegian WMA project – Low Temperature Asphalt 2011. Main report. Saatavilla: [https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning+og+utvikling/Avsluttede+FoU-program/Varige+veger/Rapporter/\\_attachment/1337373?\\_ts=154611d3240&fast\\_title=Norwegian+WMA+project+%E2%80%93+Low+Temperature+Asphalt+2011](https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning+og+utvikling/Avsluttede+FoU-program/Varige+veger/Rapporter/_attachment/1337373?_ts=154611d3240&fast_title=Norwegian+WMA+project+%E2%80%93+Low+Temperature+Asphalt+2011).

Vero. (2018a). Nestemäisten polttoaineiden verotaulukot. Luettu 23.5.2018. Saatavilla: [https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/tietoa-yritysverotuksesta/valmisteverotus/valmisteverolajit/nestemaiset\\_polttoaineet/nestemaisten\\_polttoaineiden\\_verotauluk/](https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/tietoa-yritysverotuksesta/valmisteverotus/valmisteverolajit/nestemaiset_polttoaineet/nestemaisten_polttoaineiden_verotauluk/).

Vero. (2018b). Polttoaineiden verottomuus teollisuuskäytössä. Luettu 23.5.2018. Saatavilla: <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/63665/polttoaineiden-verottomuus-teollisuusk%C3%A4yt%C3%B6ss%C3%A4/>.

Vidal, R., Moliner, E., Martinez, G. ja Rubio M. (2013). Life cycle assessment of hot mix asphalt and zeolite-based warm mix asphalt with reclaimed asphalt pavement. Resources, Conservation and Recycling. Vol:74. S. 101–114.

Volvo. (2017). LX1 prototype hybrid wheel loader delivers around 50% fuel efficiency improvement during customer testing. Luettu:12.9.2018. Saatavilla: <https://www.volvo.com/united-states/en-us/about-us/news/2017/lx1-prototype-hybrid-wheel-loader/>.

VTT Lipasto. (2017a). Työkoneiden keskimääräinen päästö ja energia tehonkäyttöä kohden Suomessa vuonna 2016. Luettu: 25.6.2018. Saatavilla: [http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/muut/tyokoneet/tyokoneet\\_teho.htm](http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/muut/tyokoneet/tyokoneet_teho.htm).

VTT Lipasto (2017b). Työkoneiden keskimääräinen päästö ja energia polttoainelitraa kohden Suomessa vuonna 2016. Luettu: 25.6.2018. Saatavilla: [http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/muut/tyokoneet/tyokoneet\\_litra.htm](http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/muut/tyokoneet/tyokoneet_litra.htm).

VTT TYKO. (2016). Laskentajärjestelmän kuvaus. Luettu: 25.6.2018. Saatavilla: <http://lipasto.vtt.fi/tyko/index.htm>.

Väätäinen, N. (2018). Koneohjaus tasausjyrsinnässä. Luettu: 20.6.2018. Saatavilla: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/143391/Vaatainen\\_Niko.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/143391/Vaatainen_Niko.pdf?sequence=1).

Walch, J. (2015). A study on Lower Temperature Asphalts Commercialisation in the UK. Carbon Trust. 62 s.

West, R., Willis, J. ja Marasteanu, M. (2013). Improved mix design, evaluation, and materials management practices for hot mix asphalt with high reclaimed asphalt pavement content. 217 s.

World Resources Institute ja World Business Council for Sustainable Development. (2004). A Corporate Accounting and Reporting Standard. The Greenhouse Gas Protocol. 116 s. ISBN 1-56973-568-9.

Woszuk, A., Zofka, A., Bandura, L. ja Franus, W. (2017). Effect of zeolite properties on asphalt foaming. Construction of building materials. Vol:139. S. 247–255.

Ympäristö. (2018). Ympäristölupa. Luettu: 8.8.2018. Saatavilla: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi\\_luvat\\_ja\\_ymparistovaikutusten\\_arviointi/Luvat\\_ilmoitukset\\_ja\\_rekisterointi/Ymparistolupa](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa).

Ympäristö. (2013). Elinkaariarviointi, jalanjaljet ja panos-tuotosmalli. Luettu: 29.5.2018. Saatavilla: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Tuotesuunnittelu\\_ja\\_tuotteet/Elinkaariarviointi\\_jalanjaljet\\_ja\\_panostuotosmalli](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Tuotesuunnittelu_ja_tuotteet/Elinkaariarviointi_jalanjaljet_ja_panostuotosmalli).

Ympäristöministeriö. (2018). Keskustelupaperi maankäyttö- ja rakennuslain uudistamisen suuntaviivoiksi. 15 s.

Ympäristöministeriö. (2018b). Työkoneiden päästöt alas. Luettu: 19.6.2018. Saatavilla: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Ilmastonmuutoksen\\_hillitseminen/Kohti\\_nollapaastoja\\_\\_blogi\\_ilmastonmuutoksesta/Tyokoneiden\\_paastot\\_alas\(46797\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kohti_nollapaastoja__blogi_ilmastonmuutoksesta/Tyokoneiden_paastot_alas(46797)).

Ympäristöministeriö. (2017). Valtioneuvoston selonteko keskipitkän aikavälin ilmasto-politiikan suunnitelmasta vuoteen 2030. Ympäristöministeriön raportteja 21/2017. 146 s. ISBN PDF: 978-952-11-4748-7.

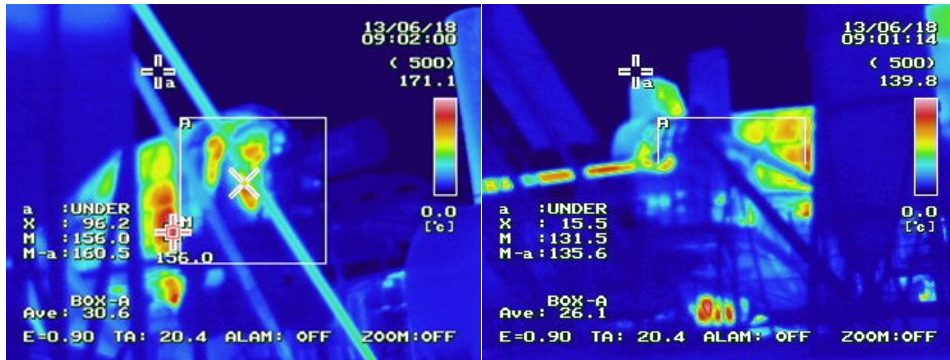
Ympäristöministeriö. (2017b). Pariisin ilmastopöytäkirja. Luettu: 19.6.2018. Saatavilla: <http://www.ymparisto.fi/pariisi2015>.

Zaumanis, M., Mallick, R. ja Frank, R. (2014). 100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis. S. 230-245.

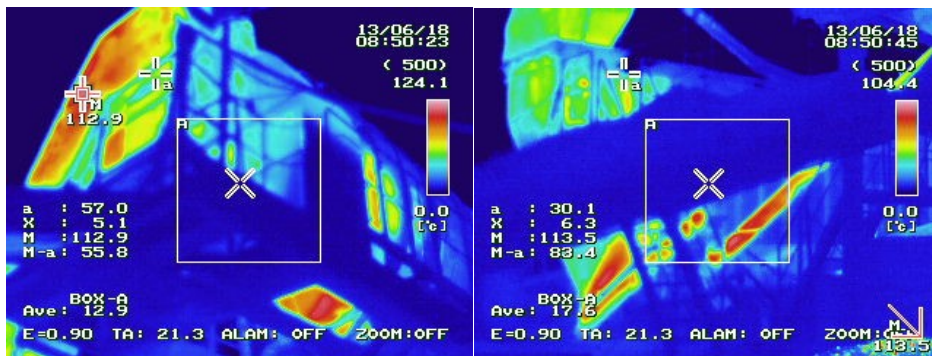
# **Liitteet**

Liite 1 – Oulun ja Tornion lämpökamerakuvat

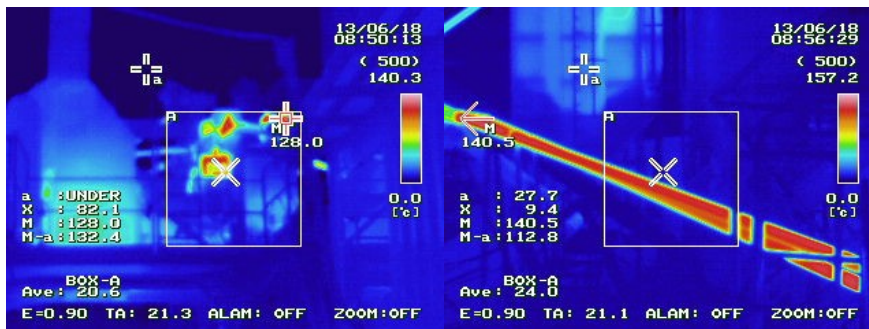
Liite 1 – Oulun ja Tornion lämpökamerakuvat



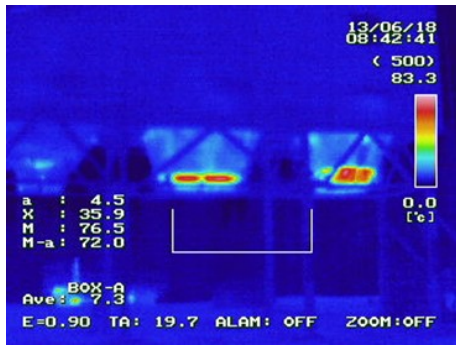
Kuva 26. Tornion asfalttiaseman rummun lämpöhäviöt



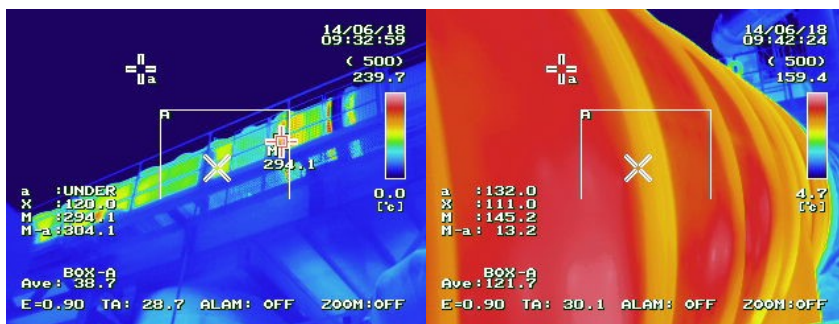
Kuva 27. Tornion asfalttiaseman pölytalon putken lämpöhäviöt



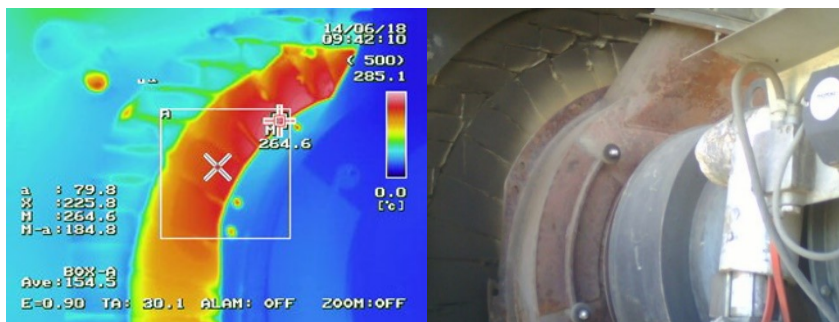
Kuva 28. Tornion asfalttiaseman lämpöhäviöitä



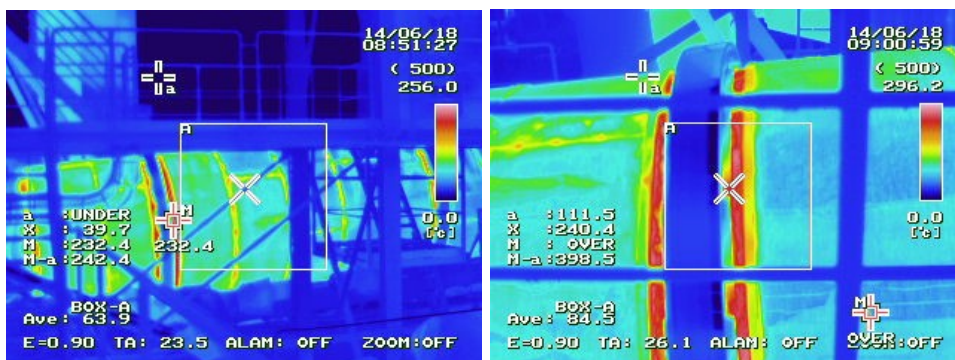
Kuva 29. Tornion aseman siilojen lämpöhäviöt



Kuva 30. Rouheen lämmittämiseen käytettävä rumpu Oulussa



Kuva 31. Rouherummin osia

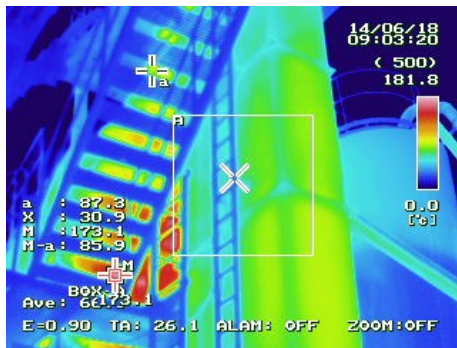


Kuva 32. Oulun asfaltiaseman rummun lämpöhäviöt

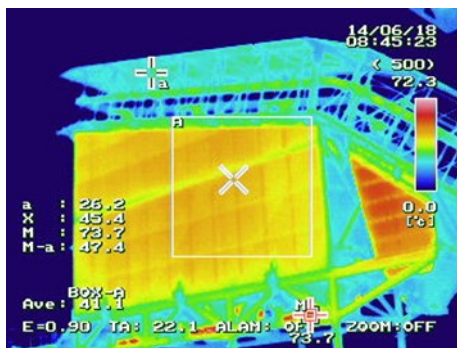




Kuva 33. Oulun aseman lämpöhäviöitä



Kuva 34. Oulun aseman elevaattorin lämpöhäviöt



Kuva 35. Oulun asfalttiaseman siilon lämpöhäviöt