



Matias Saarinen

Kustannusvertailu päästövähennyskeinoista väylärakennustyömaalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka, infrarakentaminen

Insinöörityö

10.5.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Matias Saarinen
Otsikko:	Kustannusvertailu päästövähennyskeinoista väylärakennustyömaalla
Sivumäärä:	60 sivua + 7 liitettä
Aika:	10.5.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine:	Infrarakentaminen
Ohjaajat:	Lehtori Mika Räsänen Päsuunnittelija Risto Sell

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää päästövähennystoimien kustannuseroja, urakoitsijan roolia niissä sekä mahdollisuutta toimien vastattavuuteen. Teoreettisessa viitekehyksessä tarkasteltiin muodostuvaa hiilijalanjälkeä ja päästövähennystoimia. Teoreettisen viitekehysten pohjalta luotiin vertaileva tutkimus, jossa vertailtiin case-esimerkkien pohjalta merkittävimpiä päästövähennystoimia. Esimerkit koostuvat energialähteitten ja materiaalien vertailusta, jonka lisäksi yhdeksi tapaukseksi nostettiin tehokkaampaan suunnitteluun pohjautuva keino.

Tuloksista voidaan sanoa, että tehokas suunnittelu on kaikista kustannustehokkainta. Sähkökone nousee suurella käyttömäärällä tehokkaammaksi kuin uusiutuva diesel, mutta tämänhetkiselä kehitysasteella uusiutuva diesel on mahdollisempi vaihtoehto. Materiaaleista betoni oli päästövähennyksiltään kustannustehokkain.

Teoreettisen viitekehysten sekä vertailevan tutkimuksen pohjalta päästövähennykset voidaan jakaa kahteen kategoriaan, maksullisiin sekä maksuttomiin. Maksuttomia keinoja ovat monet suunnitellun aikana toteutettavat kiertotalouteen sekä energiatehokkuuteen sitoutuvat asiat. Maksulliset keinot liittyvät vihreämmän energian, vihreämpien materiaalien sekä mahdollisimman vähäpäästöisen koneen hankintaan.

Työn pohjalta on selvää, että taikatemput päästöjen vähennyksen ja esimerkiksi kilpailuedun tavoittelun suhteen ovat urakoitsijan näkökulmasta vähissä. Toki mainittujen "maksuttomien" toimien implementoiminen hankkeille on tärkeää jo yleisen kilpailukyvyn kannalta, mutta kyseiset keinot vähentävät ideaalitalanteessakin vain osan päästöistä. Väylärakentamisessa hankkeiden katteet ja marginaalit ovat pienet, joten tilaajalla on suuri vastuu ja valta tehdä hankkeista vähäpäästöisempiä suunnittelun ja kilpailutuksen avulla.

YIT:n väylärakentamisyksikön on kuitenkin hyvä valmistautua tuleviin toimiin hankkimalla asiantuntijuutta, kartoittamalla markkinatilannetta koneiden ja materiaalien osalta sekä kehittämällä vähäpäästöisen hankkeen mallia. Vähäpäästöiseen hankemalliin kuuluu hankekilpailutus vähempipäästöisine toimineen, rakentaminen sekä toimien seuranta mittarein ja dokumentaation avulla.

Avainsanat: kustannustehokkuus, päästövähennykset, väylärakentaminen

Abstract

Author: Matias Saarinen
Title: Cost Comparison of Emission Reduction Methods for Road Construction
Number of Pages: 60 pages + 7 appendices
Date: 10 May 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil Engineering
Professional Major: Infrastructure
Supervisors: Chief Designer, Risto Sell
Senior Lectuer, Mika Räsänen

The aim of the thesis was to chart the cost differences of emission reduction measures, to review how significant role the contractor plays in them and what is required to respond to the measures. In the theoretical framework, the resulting carbon footprint and emission reduction measures were examined. Based on the theoretical reference framework, a comparative study was formed, in which case examples were used to compare the most significant emission reduction measures. Case examples include alternative forms of energy, materials comparison and a case based on better design.

From the results, it can be stated that the design is the most cost-effective measure. Electricity is better than renewable diesel to a certain amount of use, but at the current level of development, a renewable diesel is more feasible option. Concrete is the most cost-effective of the materials.

Based on the theoretical framework and comparative study, emission reductions can be divided into two categories, paid and free. Free includes elements committed to the circular economy and energy efficiency. Paid ones are related to the machines, green energy and green materials.

It can be stated that magic tricks in terms of reducing emissions and, for example, the pursuit of an economic benefit are few and far between from the contractor's point of view. the implementation of the mentioned "free" activities for projects is already important for general competitiveness, but even in the ideal situation, the means in question reduce only a part of the emissions. Project margins in construction are small as public buyer has a significant responsibility and authority to make projects more emission-free through planning and bidding.

However, it is beneficial for YIT's road construction unit to prepare for future actions by acquiring expertise, charting the market situation in terms of machines and materials, and developing a low-emission project model. The low-emission project model includes project tendering, which includes activities with lower emissions, implementation of activities during the construction site, and monitoring of activities with documentation.

Keywords: cost efficiency, emission reductions, road construction

Sisällys

Käsitteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
2	Infrarakentamisen hiilijalanjälki	3
2.1	Hiilijalanjälki	3
2.1.1	Vähentämistoimenpiteiden kustannustehokkuus	3
2.2	Infrarakenteen elinkaari	4
2.3	Tuotevaihe	5
2.4	Rakentamisvaihe	7
3	Väylärakentamisen päästövähennyskeinot	9
3.1	Ajurit	9
3.2	Tilaajan rooli	11
3.2.1	Suunnitteluratkaisut	13
3.2.2	Hankintaprosessi	14
3.3	Urakoitsijan toimet	15
3.3.1	Materiaalit	16
3.3.2	Työmaatoiminnot	22
4	Vertaileva tutkimus	33
4.1	Tutkimuksen toteutus	33
4.2	Hiilijalanjäljen laskentaperiaate	34
4.3	Kustannusten laskentaperiaate	34
4.4	Mittaristo	35
4.5	Kohteet	35
4.5.1	Espoonlahden hanke	35
4.5.2	Linderintien hanke	36
4.6	Sähkökone	36
4.7	Uusiutuva diesel	37
4.8	Materiaalit	38
4.9	Kuljetukset	39
5	Tulokset	40
5.1	Sähkökone	40

5.1.1 Käytettävyys	41
5.2 Uusiutuva diesel	42
5.2.1 Käytettävyys	43
5.3 Materiaalit	44
5.3.1 Käytettävyys	45
5.4 Kuljetukset	46
5.4.1 Käytettävyys	48
5.5 Tulosten vertailu	49
6 Yhteenveto	52
Lähteet	54

Liitteet

Liite 1: Kulosaaren päästötön työmaa pilotti

Liite 2: Väyläviraston mahdolliset keinot hankintaan

Liite 3: Case-esimerkki 1 laskelmat

Liite 4: Case-esimerkki 2 laskelmat

Liite 5: Case-esimerkki 3 laskelmat

Liite 6: Case-esimerkki 4 laskelmat

Liite 7: Tulosten laskelmat

Käsitteet

Elinkaariarvio: Rakennuksen koko elinkaaren aikaista ympäristö- ja talouvaikutuksellista arviointia.

Hiilijalanjälki: Hiilijalanjälki on tuotteen tai palvelun aiheuttama ilmastokuorma, joka lasketaan sen tuottamisen, kuluttamisen ja hävittämisen aikana syntyvistä kasvihuonepäästöistä.

Päästövähennyskeino: Tapa vähentää CO₂e-päästöjä tuotteen tai rakenteen elinkaarella.

Väylähanke: Väylähankkeella tarkoitetaan tässä työssä tie- tai raiderakentamista.

1 Johdanto

1.1 Tausta

Ilmastonmuutos on megatrendi, joka uhkaa elämää maapallolla. Siihen liittyvää dystooppista uhkakuvaa vastaan toimiminen pitäisi olla ihmiskunnan asialistalla numero 1. Onneksi ihmiskunnan kiinnostus aihetta kohtaan on nousussa, kirjoittaja mukaan lukien. Sen pohjalta lähdinkin miettimään opinnäytetyöni aihetta ja nopeasti työn tilaajan, eli YIT:n kanssa aiheeksi muodostui kustannustehokkaiden tapojen etsiminen, millä vähennetään päästöjä väylärakennustyömaalla.

Aiheen valintaan YIT:n puolelta vaikutti tosiasia, että Suomen suurimpana ja merkittävänä pohjoiseurooppalaisena rakennusyhtiönä se on tuottamassa suurta osaa päästöistä, joko suorasti tai epäsuorasti. YIT haluaa olla vastuullinen yritys ja toimia päästöjä vähentävästi. Sen toimet ulottuvat 9 maahan ja liikevaihto on 2,4 miljardia euroa, joten vaikutusalueita löytyy. Vastuullisuuteen liittyvistä toimista näkyvin on liittyminen Science Based Targets -aloitteeseen, jonka pohjalta yhtiö sitoutuu aiempaa vahvempaan ilmastotyöhön. STBi on kansainvälinen, johtava ja vertailukelpoinen päästövähennystavoite, johon sitoutuminen on osoitus kestävästä kehityksestä YIT:n strategiassa.

Konsernin rakenne Suomessa jakautuu asumiseen, toimitiloihin ja infraan. Työ toteutetaan infraan, tarkemmin määriteltynä väylärakentamiseen kohdistuen.

Toisena merkittävänä tekijänä vaikutti väylärakentamisen kokonaisvaltainen tilanne. Väyläverkon omaa pitkälti julkiset tilaajat, jotka ovat tuomassa hankkeilleen päästövähennyksiin tähtääviä toimia. YIT:n pitää pystyä toimijana vastaamaan asetettuihin tavoitteisiin ja sen pohjaksi tarvitaan tutkimusta. Päästövähennyskeinojen kustannustehokkuuden arviointi on väylärakennustyömaiden kohdalla olematonta, jonka takia tutkimus toteutetaan.

Opinnäytetyön tutkimusosa perustuu määrälliseen tutkimukseen, jossa vertailaan päästövähennystoimia. Tutkimusosa perustuu kirjallisuuskatsauksen

pohjalta luotavaan teoreettiseen viitekehukseen, jossa tarkastellaan muodostuvia päästöjä sekä kyseisten päästöjen vähennystoimia. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, mistä päästövähennystoimenpiteet koostuvat, kuinka merkittävä rooli urakoitsijalla niissä on ja mitä toimiin vastaaminen vaatii.

Tämän pohjalta tutkimuskysymykseksi asetetaan:

- Kustannustehokkain keino vähentää hiilidioksidipäästöjä väylärakennustyömaalla?

Pääkysymyksen tueksi alakysymyksiksi asetettiin:

- Miten toteuttaa infraurakkakilpailun CO2 pisteytys ja kustannusvertailu?
- Miten valita keskeisimmät päästölähteet case-esimerkkeihin?
- Miten valita paras keino vähentää hiilidioksidipäästöjä per case-esimerkki?

Käsiteltävä aihe on laaja, joten päästövähennystoimenpiteitä pystytään käsittelemään hyvin pintapuolisesti. Tarkastelu kohdistuu väylärakennustyömaihin, josta rajataan vesiväylät pois. Urakoitsijan päästövähennyskeinoja käsitellään vain työmaanaikaisen toiminnan puolesta.

2 Infrarakentamisen hiilijalanjälki

Luvussa käsitellään hiilijalanjälkeä, sen vähentämistoimenpiteiden kustannustehokkuuden mittareiden arviointia sekä infrarakentamisesta muodostuvaa hiilijalanjälkeä. Luvussa käsitellään väylärakentamisen sijasta infrarakentamista, koska väylärakentamisen päästöistä ei ole tarpeeksi kattavia tietoja saatavilla.

2.1 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki on tuotteen tai palvelun aiheuttama ilmastokuorma, joka lasketaan sen tuottamisen, kuluttamisen ja hävittämisen aikana syntyvistä kasvihuonepäästöistä. (1.) Kasvihuonepäästöt käsittävät ilmakehässä olevat kaasumaiset yhdisteet, jotka lämmittävät maan pintaa sekä alailmakehää ja nostavat maan keskilämpötilaa. Lämmittävä vaikutus on seurausta siitä, että yhdisteet päästävät auringonsäteilyn maapallon ilmakehään, mutta absorboivat osan pois pyrkivästä lämpösäteilystä. Mitä enemmän maapallolla syntyy kasvihuonepäästöjä, sitä enemmän pois pyrkivää lämpösäteilyä jää ilmakehään (2). Yleisimmät kasvihuonekaasut ovat vesihöyry, hiilidioksidi, dityppioksidi, otsoni ja metaani. (3.)

Hiilijalanjälki ilmaistaan yleensä hiilidioksidiekvivalentteina. Hiilidioksidiekvivalentti määritellään kasvihuonepäästöjen yhteismitaksi, minkä avulla pystytään laskemaan kasvihuonekaasujen yhteisvaikutusta. Luvulla kuvataan massana syntyviä päästöjä ja sitä kuvataan tonneina, kilogrammoina tai grammoina. (4.)

Hiilijalanjäljen laskenta perustuu joko ISO 14040 tai ISO 14044 -standardiin. laskentaa määriteltäessä tulee ottaa huomioon mm. tavoitteet, rajaus, lähtötieto, toteutus sekä tulosten varmennettavuus. (5.)

2.1.1 Vähentämistoimenpiteiden kustannustehokkuus

Hiilijalanjäljen päästövähennystoimien kustannustehokkuuden arviointiin on olemassa monia keinoja ja käytettävät metodit riippuvat maasta, selvityksestä ja sektorista. Valtioneuvoston toteuttamassa tutkimuksessa, jossa tutkittiin

päästövähennystoimenpiteiden kustannustehokkuudenarvioinnin menetelmiä, todettiin, että ei ole olemassa yhtä ja oikeaa menetelmää arvioida päästövähennystoimenpiteiden kustannustehokkuutta. Laskentaoletukset ovat puutteellisia, mikä hankaloittaa lopputulosten vertailua ja laskennan kehittymistä. (6.)

Useimmiten hiilidioksidipäästöjen hinnoittelussa käytetään sosiaalisen kustannuksen menetelmää. Ongelmana on kuitenkin se, että päästöistä aiheutuvia sosiaalisia kustannuksia on hankala vertailla, koska ilmastonmuutos ja taloudelliset haitat ovat monitasoisia prosesseja, joissa ihmisen mieli on rajallinen. Päästön sosiaalinen kustannus ymmärretään kustannukseksi, joka perustuu nykyarvoon ja jonka haitta tapahtuu tulevaisuudessa. Tällä hetkellä voidaan kehittää mallinuksia, missä huomioidaan mm. ilmastoennusteet ja sosioekonomiset ennusteet. Yhtenäisyyttä toisi oletusarvo, jonka perusteella hiilidioksidipäästölle voitaisiin määriteellä tulevaisuudessa tapahtuva haitan suuruutta kuvaava rahallinen arvo ja jonka pohjalta suoritettaisiin vaihtoehtovertailua. (7.)

Tietynlaisena suhteuttajana toimii EU:n päästökauppa, jossa määritellään hinta päästötonnia kohtaan. Energiaviraston mukaan huutokauppojen selvityshintojen keskiarvo on ollut vuonna 2022 80,10 euroa/CO₂t (8). Kun vertailussa on useampia vaihtoehtoja, voidaan käyttää päästövähennystehokkuutta, jossa syntyneet kustannukset jaetaan potentiaalisella päästövähennyksellä. (7.)

2.2 Infrarakenteen elinkaari

Infrarakentaminen on varsin laaja kokonaisuus, johon kuuluvaksi voidaan määritellä kaikki muu rakennettu ympäristö, paitsi talonrakentaminen. Infra on jokaisen päivittäistä elämää ja sen tehtävänä on huolehtia maanpäällisten ja -alaisien rakenteiden kunnossapidosta, toimivuudesta, suunnittelusta ja rakentamisesta. infrarakentamiseen kuuluu tekniset verkostot, kaivosten avaukset, talonrakennusten perustus-, pohja- ja pihatyöt, maanalaiset rakenteet, tekniset verkostot sekä työn varsinainen aihe, eli väylät (9). Suomen väyläverkosto käsittää noin 454 000 kilometrin tieverkoston, noin 5926 kilometrin rataverkon sekä noin 20 200 kilometriä kattavat vesiväylät. Julkinen tieverkosto on väyläviraston ja

ELY-keskusten vastuualuetta, rataverkosto Väyläviraston ja julkisista vesiväylistä vastaa Väylävirasto. (10.)

Infrarakenteen elinkaari käsittää vaiheet raaka-aineiden tuottamisesta aina käytöstä poistamiseen (11, s. 8). Elinkaaren pohjautuvan elinkaariarvion pohjalta pystytään arvioimaan rakentamisen päästöjä niin, että siinä huomioidaan koko elinkaaren aikaiset päästöt yhtäaikaaisesti. Kuvassa 1 näkyy CEN/TC 350-standardin mukainen elinkaarimalli. Elinkaaren vaiheet jaetaan A1-A3 tuotevaihe, A4-A5 rakentamisenvaihe, B1-B7 käyttövaihe, C1-C3 elinkaaren loppuvaihe sekä D potentiaaliset hyödyt ja haitat. (11, s. 11.)

Elinkaaren vaihe														JU*		
A1–A3			A4–A5		B1–B7							C1–C3			D	
Tuotevaihe			Rakentamisvaihe		Käyttövaihe							Elinkaaren loppuvaihe			Potentiaaliset hyödyt ja haitat	
Raaka-aineiden hankinta	Kuljetus	Valmistus	Kuljetus	Rakentaminen ja asentaminen	Käyttö	Ylläpito	Korjaaminen	Uusiminen	Laaajamittainen korjaaminen	Energian käyttö	Veden käyttö	Purkaminen	Kuljetus	Käsittely	Loppusijoitus	Potentiaalinen kierrätys, uudelleenkäyttö, energiakäyttö
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B6	C1	C2	C3	C4	D
Arvio toteutuman pohjalta			Arvio toteutuman pohjalta		Skenaario							Skenaario			Skenaario	

Kuva 1. Elinkaaren vaiheet. (11, s. 11.)

2.3 Tuotevaihe

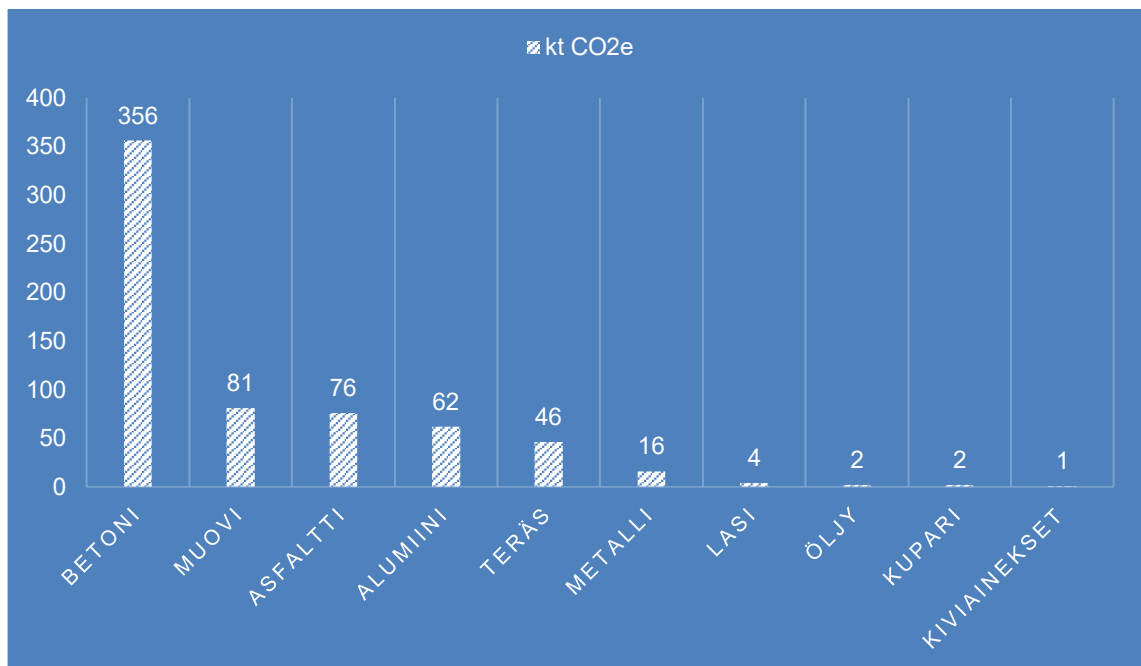
Tuotevaiheen päästöt muodostuvat materiaalin valmistusketjun päästöistä, eli raaka-aineen hankinnasta, kuljetuksista ja tuotteen valmistuksesta. Raaka-aineen hankinta ja kuljettaminen aiheuttavat päästöjä lähinnä energiaa

kuluttamalla. Materiaalien valmistamisen suurin päästö on yhtä lailla energian kulutus, jonka lisäksi materiaalien raaka-aineet tuottavat päästökertymää. (12, s. 17.)

Rakennusteollisuus, ympäristöministeriö ja sidosryhmät toteuttivat vuonna 2020 kokonaisvaltaisen päästölaskennan vuoden 2017 rakennetun ympäristön hiilijalanjäljestä. Infrarakenteiksi laskettiin tiet, rautatiet, sähköverkko, kaukolämpöverkko ja vesijohtoverkko. Talojen perustusten päästöt liitettiin rakennuksiin, jonka lisäksi sillat sekä tieverkon vastaavat muut rakenteet jätettiin pois laskennasta. Oletettavaa on, että ainakin betonin ja teräksen päästöt olisivat korkeammat laskenta tapaa vaihtamalla. Tutkimus antaa kuitenkin suuntaa antavaa tietoa infrarakentamisen päästöistä. (13, s. 8.)

Tutkimuksen mukaan infrarakentamisen päästöt ovat olleet 1 402 tn CO₂-ekv. Näistä tuotevaihe, eli materiaalit, ovat muodostaneet suurimman osan. Kuvasta kaksi nähdään päästöjen jakautuminen eri materiaalien välillä, jotka ovat laskenta jakson aikana tuottaneet päästöjä. Materiaalien osuus on yhteensä ollut 648 tn CO₂-ekv. Tutkimuksen mukaan päästöjen aiheuttajina ovat olleet betoni, muovi, asfaltti, alumiini, teräs, metalli, lasi, öljy, kupari ja kiviainekset. Materiaaleista betoni on selvästi suuri päästöisin 356 tn CO₂-ekv päästöillään, jonka jälkeä jakauma on huomattavasti tasaisempi. Kuten todettu, teräs olisi laskentatapaa vaihtamalla luultavasti betonin jälkeä toisena. (13, s. 8.)

Taulukko 1. Infrarakentamisen tuotevaiheen hiilijalanjälki. (13, s. 8.)



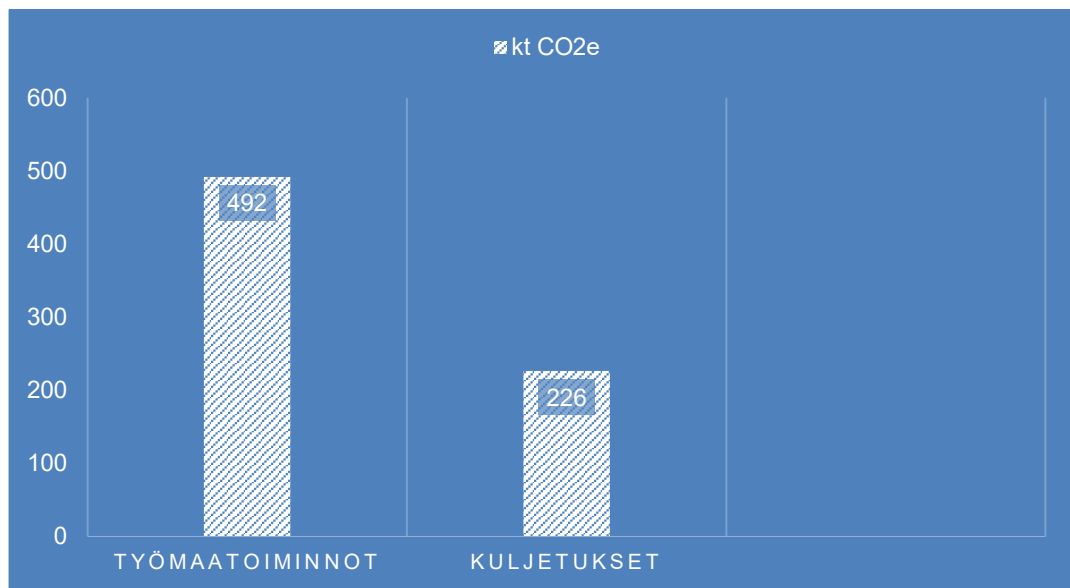
2.4 Rakentamisvaihe

Rakentamisen aikana päästöjä syntyy vaiheista A4 kuljetukset sekä A5 työmaatoiminnot. Kuljetukset sisältävät koneiden ja rakennustuotteiden kuljetukset. Työmaatoiminnot sisältävät maansiirron, varastoinnin, energiankäytön, jätehuollon ja väliaikaiset rakenteet. (12, s. 12.)

Kuljetusten päästöt muodostuvat käytetystä energiasta (12, s. 23). Työmaatoimintojen päästöt muodostuvat työmaan energiankäytöstä sekä jätehuollosta, johon lukeutuu käyttämättömät materiaalit. (12, s. 27.)

Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 raportin mukaiset päästökertymät kuljetuksille ja työmaatoiminnoille näkyvät kuvassa kolme. Laskennassa työmaatoimintojen päästöt ovat olleet 492 tn CO₂-ekv ja kuljetusten 226 tn CO₂-ekv. Työmaatoiminnot jäävät 156 tn CO₂-ekv materiaaleista, mutta ovat yli tuplasti kuljetuksiin nähden. Työmaatoimintojen laskelmiin ei sisällynyt jätehuoltoa. (13, s. 8.)

Taulukko 2. Infrarakentamisen rakentamisenvaiheen hiilijalanjälki. (13, s. 8.)



3 Väylärakentamisen päästövähennyskeinot

Luvussa käsitellään aluksi vähäpäästöisyyteen kiihdyttäviä ajureita, jonka jälkeen käsitellään väylärakentamisen päästövähennyskeinoja hieman tilaajan näkökulmasta ja enemmän urakoitsijan näkökulmasta.

3.1 Ajurit

Globaalisti

Yhdistyneet Kansakunnat johtavat globaalin ilmastonmuutoksen vastaista toimintaa. YK:lla on keskeinen rooli kansainvälisen ilmastopolitiikan tavoitteiden määrittäjänä. Ilmastotyön puitteet luotiin Rion ilmastokokouksessa vuonna 1992 ja sitä on jatkettu vuosittaisilla ilmastokokouksilla kansallisella tasolla. Ilmastotavoitteita on täydennetty velvoittavilla tekijöillä, kuten Kioton kokouksessa vuonna 1997 asetetuilla sitovilla päästötavoitteilla, jotka astuivat voimaan 2005. Vuonna 2015 laadittiin oikeudellisesti sitova Pariisin ilmastosopimus, jolla tavoitellaan maapallon keskilämpötilan rajoittamista 1,5 °C:een verrattuna esiteolliseen aikaan. (14.)

EU

Euroopan Unioni ohjaa yhteisesti koko alueen toimia sekä siihen kuuluvia jäsenmaita ilmastopolitiikallaan, jotta ilmastonmuutos saataisiin hallintaan. Toimet pohjautuvat Yhdistyneiden Kansakuntien solmimiin ilmastosopimukseen sekä pöytäkirjaan. Kokonaistavoitteena on olla ensimmäinen hiilineutraali maanosa vuoteen 2050 mennessä. Välitavoitteena on laskea kasvihuonepäästöjä 55 prosenttia vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 tasosta. (15.)

Euroopan Unionin ilmastopolitiikkaa ohjaillaan eurooppalaisen ilmastolain, päästökaupan, taakanjakosektorin, uusiutuvan energian lisäämisveloitteen ja EU:n sopeutumisstrategian avulla. Väylärakentamiseen kytkeytyy seuraavat tavoitteet:

- Päästökaupan toimet näkyvät erityisesti sähkön ja energiaintensiivisten rakennusmateriaalien ominaispäästöjen hinnan kautta.
- Taakanjakosektorin toimet vaikuttavat liikenteen, kuljetusten ja työ-koneiden päästöjen kautta. (13, s. 18.)

Valtakunnallisesti

Suomen ilmastopolitiikkaan keskeinen osa on kansallinen ilmastolaki, joka toimeenpantiin 1.7.2022. Uudessa ilmastolaissa on asetettu uudet päästövähennystavoitteet vuosille 2030 ja 2040, jonka lisäksi vuoden 2050 tavoitetta on päivitetty. (16.)

Päästövähennystavoitteet ovat kunnianhimoisia, sillä tavoitteena on saavuttaa verrattuna vuoden 1990 tasoon -60 prosentin päästövähennys vuoteen 2030 mennessä, -80 prosenttia vuoteen 2040 mennessä ja -90 prosenttia vuoteen 2050 mennessä. Lisäksi lakiin on kirjattu hiilineutraalisuustavoite vuodelle 2035. (16.)

Ympäristöministeriö vastaa Suomen rakentamisen ohjauksesta. Vuonna 2017 ministeriö laati vähähiilisen rakentamisen säädösohjauksen tiekartan, jonka perusteella suunnitellaan uusia ohjausmekanismeja vuoteen 2025 mennessä. Maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistuksen yhteydessä vuosina 2019–2024 kehitetään uutta säädösohjausta, luodaan yhteyksiä kaavoitukseen ja energiaohjaukseen, kehitetään rakennusten päästötietojen seuranta ja laajennetaan pilottihankkeita. Tavoitteena on kehittää kannusteita vähähiiliselle rakentamiselle ja luoda kestävämpi rakennuskanta. Päästöjen seuranta ja tilastointi ovat myös osa ohjausjärjestelmää. (13, s. 18.)

Toimiala

Ympäristöministeriö, Senaattikiinteistöt, HSY, Väylävirasto sekä Espoon, Vantaan, Turun ja Helsingin kaupungit ovat allekirjoittaneet Green Deal -sopimuksen vähentääkseen toimijoiden hankintayksiköiden työmailla syntyviä päästöjä. Mitä sopimus koskee, on toimijakohtaista, mutta esimerkiksi Helsingin

kaupungin kohdalla kaikkea kaupungin tilaamaa ja toteuttamaa rakentamista ja kunnossapitoa. (17.)

Sopimuksen tavoitteena on vähentää päästöjä portaittain. Sopimuksella sitoudutaan vähentämään mm. raskaan kaluston ja työkoneiden päästöjä päästöluokkavaatimuksella sekä lisäämään vaihtoehtoisia käyttövoimia. Sopimuksella on sitouduttu luopumaan fossiilista polttoaineista viimeistään vuonna 2025 ja siirtymään vuoteen 2030 mennessä vähintään 50 prosenttisesti sähköön, bio-kaasuun tai vetyyn työkoneissa ja kuljetusvälineissä. (17.)

3.2 Tilaajan rooli

Rakennusala on matalien katteiden ala, jossa tuotot perustuvat hankkeilta syntyvään tuottoon. Toimijoiden taloudelliset riskit ovat korkeat ja oletuksena on, että vähähiilisemmät vaihtoehdot ovat kalliimpia. Muutos vähähiilisemmäksi väylärakentamishankkeissa syntyy pitkälti väylän omistustahojen, eli väyläviraston ja kuntien toimien kautta. (13, s. 38.)

Tilaajien osoittama kunnianhimoinen tahtotila ja yhtenäinen päästöttömyyden painottaminen ohjaa koko sektoria. Päästöttömyyttä painotetaan viestimällä sidosryhmille tavoitteista ja konkreettisilla toimilla, kuten sitoutumalla Green Deal-sopimukseen. Lisäksi hankkeille tulee asettaa päästöttömyyteen tähtäävät tavoitteet. (18, s. 12.)

Kun päästövähennyksiin tähtäävä tavoite on asetettu, tulee sen konkretisoitua suunnittelun aikana. Suurimmasta osasta päästöjä päätetään suunnitteluvaiheessa, joten tehdyillä ratkaisuilla on merkittävä rooli (18, s. 14). Väylähankkeen ensimmäinen vaihe on esiselvitysvaihe, jossa mietitään hankkeen tarpeellisuutta ja ajoitusta sekä alustetaan vaihtoehtoisia toimenpiteitä. Esiselvitystä seuraa yleissuunnitteluvaihe, jolloin päätetään tien lähes lopullisesta sijainnista, tarvittavasta tilasta sekä liittymisestä muihin teihin. Tiesuunnitteluvaiheessa tarkennetaan tien sijainti ja määritellään vaaditut alueet tien rakentamiseksi.

Rakennussuunnitteluvaiheessa keskitytään rakenteiden mitoittamiseen ja ta-sauksen viimeistelyyn. (19.)

Hankeprosessien pohjana tulisi olla elinkaariarviointi, joka huomioi tuotteen elin-kaarivaikutukset raaka-aineiden hankinnasta käyttöön ja hävittämiseen asti. Sen pohjalta pystytään määrittelemään hiilidioksidipäästöt tietyn toteutusvaihto-ehdon koko elinkaarelle. Elinkaariarvioinnin perusteella voidaan vertailla toteu-tusvaihtoehtoja ja valita vähähiilisin vaihtoehto. Elinkaariarviointia tulisi käyttää jo rakentamispäätöksen yhteydessä ja jatkua tien linjauksen, sillan materiaalin ja muiden suunnitteluratkaisuiden osalta. Kokonaiskuvan kannalta tärkeitä suunnitteluratkaisuita käsitellään luvussa 3.2.1. (18, s. 14.)

Jotta elinkaariarviointia voidaan toteuttaa, tarvitaan alalle yhteiset laskentame-netelmät. Päästöjen laskentamenetelmien tulisi olla yhdenmukaisia, perustua standardoituihin menetelmiin ja käyttää ajantasaista sekä todennettua dataa. Väyläviraston tulee ylläpitää päästökerrointietokantaa, jota alan yritykset voivat helposti hyödyntää. Lisäksi tarvitaan läpinäkyviä laskelmia eri päästövähennys-toimien vaikuttavuudesta ja kustannus/hyöty -suhteesta, jotta päästövähennys-toimet voidaan kohdistaa erityisesti vaikuttavimpiin ja kustannustehokkaimpiin kohteisiin. Toimialan tulee myös vaikuttaa tilastoinnin parantamiseen rakennus- ja infrakantaan liittyen Suomessa. (13, s. 35.)

Hankintojen avulla julkiset tilaajat voivat ohjata toimintaa vihreämmäksi. Hankin-taprosessit tulee toteuttaa järkevästi, jotta pienemmätkin toimijat pystyvät vas-taamaan vaatimukseen. Hankintaprosessia on käsitelty enemmän luvussa 3.2.2. (20.)

Kuten mainittu, on myös tärkeää, että suuret julkiset tilaajat toimivat yhteis-työssä. Yhteistyötä tekemällä kasvaa vaikutusvalta, jonka myötä pystytään vai-kuttamaan markkinoihin tehokkaammin. Kun yhteistyöllä luodaan jatkumoa vih-reistä hankkeista, saavat urakoitsijat varmistuksen siitä, että kysyntä jatkuu. Urakoitsijat tarvitsevat ennakoitavuutta ja varmuutta ennen sitoutumista suu-rempiin hankintoihin. Maininnan arvoinen on myös avoimen

markkinavuoropuhelun ylläpito, jonka avulla pidetään kaikenkokoiset toimijat mukana toiminnassa. (21.)

3.2.1 Suunnitteluratkaisut

Suunnitteluratkaisuilla pystytään vaikuttamaan yli 90 prosenttiin hankkeella syntyvistä päästöistä. Moni päätöksistä on kauaskantoisia ja jotta rakennusvaiheessa pystytään tekemään päästövähennyksiä, tulee suunnittelussa tehdä ilmaston kannalta oikeita ratkaisuita. (20, s. 9.)

Suunnitteluratkaisuista merkityksellisin useimmissa tapauksissa on hankkeen massatalouden hallinta. Massatalouden hallinnalla tarkoitetaan hankkeiden aikana liikuteltavien massojen suunnittelua, joka perustuu huolellisiin pohjatutkimuksiin. Massatalouden tuntuvimmat päästövähennykset toteutetaan tien linjauksen ja tasauksen optimoinnilla. Tasauksen suunnittelussa pyritään siihen, että leikattava ja pengerrettävä massamäärä on tasapainossa. Tämän lisäksi massatalouden suunnittelussa tulisi huomioida ja vertailla seuraavia asioita:

- Penkereen perustamistapa kuten syvästabilointi
- Uusiomateriaalien käyttö
- Kevennysrakenteet
- Maaperässä olevan materiaalin parantaminen, kuten välppäys, massastabilointi, pelletointi tai kuivatus
- Poikkileikkaussuunnittelun luiskakaltevuudet ja vastapenkerreet
- Ylijäämämateriaalien käyttäminen esimerkiksi maisemoinnissa tai meluvälleissa
- Pohjaveden laskeminen tai nostaminen (22, s. 35.)

Massatalouden lisäksi ainakin seuraavat suunnittelussa huomioitavat asiat luovat hillittömämmän loppuratkaisun:

- rakennusmateriaaleina suositaan vähäpäästöisiä uusiomateriaaleja, kuten lähiseudun purkumateriaaleja ja ylijäämämaamassoja sekä teollisuuden sivuvirtoja.
- Käytössä olevia väyliä hyödynnetään mahdollisimman paljon.

- Suositetaan vähäpäästöisiä materiaaleja, jotka sijaitsevat lähellä työmaata.
- Mahdollistetaan uusiomateriaalien käyttö lupaprosessien osalta.
- Huomioidaan suunnittelussa huollettavuus, korjattavuus ja muunneltavuus.
- Minimoidaan ylläpidon rakentaminen. (18, s. 14.)

3.2.2 Hankintaprosessi

Hankintojen avulla voidaan hallita päästöjä, jotka muodostuvat energian ja materiaalikäytön myötä rakennushankkeessa. Hankintaprosessilla pystytään parantamaan urakoitsijan mahdollisuuksia tuottaa omalta osaltaan vihreämpi hanke. Ympäristöministeriön tuottamassa ympäristöoppaassa vihreä julkinen rakentaminen käsitellään toimia, joiden avulla mahdollistetaan päästövähennykset (20). Hankinnan vaiheet ovat karkeasti kuvattuna hankinnan suunnittelu, hankintavaihe, sopimusvaihe, käyttöönotto ja käytön aikaiset toimet. (20, s. 35.)

Päästövähennysten kannalta merkityksellisin on hankinnan toteutusmuodon valitseminen. Hankintalain pykälän §93 mukaan on määritetty, että hankkeisiin pitäisi valita kokonaistaloudellisesti edullisin tarjous. Kokonaishinnan määrittelynä voidaan käyttää halvinta hintaa, edullisimpia kustannuksia tai parasta hinta-laatusuhdetta. Tämän lisäksi jokaiselle muodolle voidaan määrittellä vähimmäisvaatimukset, tarjoajien tai ehdokkaiden joukko ja erityisehdot. (20, s. 44–45.)

Hankkeille voidaan asettaa soveltuvuuden vähimmäisvaatimukset, joiden perusteella voidaan sulkea toimijoita pois. Vähimmäisvaatimuksena voidaan esimerkiksi käyttää sertifioitua ympäristöjärjestelmää. Vähimmäisvaatimusten käyttäminen auttaa arvioimaan tarjoajan osaamista, joskin se rajaa joitakin toimijoita pois. (20, s. 42.)

Hankkeiden vähimmäisvaatimusten määrittelyllä linjataan hankkeen tärkeimmät tavoitteet. Hankkeen vähimmäisvaatimuksilla voidaan vaikuttaa suoraan hankkeen ympäristövaikutuksiin esimerkiksi rajaamalla fossiiliset polttoaineet pois. (20, s. 41.)

Kun hankintaa määritellään ja halutaan käyttää alhaisinta hintaa tai kustannuksia, mahdollisuudeksi nousee ympäristökriteereiden vähimmäisvaatimus. Monipuolisempi vaihtoehto on kuitenkin parhaan hinta-laatusuhteen käyttö. Kyseisessä hankintamuodossa on mahdollista käyttää laadullisia vertailupisteitä, jolloin hinta ei ole ainoa määräävä tekijä. Laatutekijät voivat olla tarkkoja ympäristökriteerejä esimerkiksi materiaalin elinkaari-vaikutuksista. (20, s. 45.)

Hankeprosessin mukaisten toimien toteuttamisesta saadaan varmistus sopimusehtojen kautta. Sopimusehdoissa voidaan määritellä todentamismenetelmät, jotka urakoitsijan tulee toteuttaa. (20, s. 45.)

Vuonna 2020 Helsingin kaupunki järjesti päästöttömän työmaan pilotin Kulosaaren puistotien rakentamiseksi. Kokonaistaloudellisesti edullisin tarjous valittiin parhaimman hinta-laatusuhteen pohjalta, laadun osuus oli 30 prosenttia ja hinnan 70 prosenttia. Lisäksi urakassa käytettiin vähimmäisvaatimuksia, jotka nähdään liitteestä 1. Toimet perustuvat pitkälti energian käytön säätelyyn, koneiden päästöluokkien säätelyyn sekä suunnitelmien laatimiseen. Laatu- ja ympäristövaikutuksella tavoiteltiin sähkökoneiden käyttöä, viidestä sähkökoneesta sai 100 pistettä, neljästä 80 pistettä ja niin edelleen. (23.)

Väylävirasto on tuomassa hankkeilleen kiertotaloutta tukevia vähähiilisiä hankintakriteerejä. Parhaiden hankintakriteerien löytämiseksi toteutettiin Motivan toimesta kehitystyö, jossa arvioidaan mahdollisia kriteereitä. Työn tuloksen löytää liitteestä 1. Kriteereissä korostetaan vahvasti kiertotalousosaamista ja siihen linkittyvää uusiokäyttöä. Lisäksi kriteereissä edellytetään hiilijalanjälkilaskentaa sekä vähäpäästöisempien materiaalien käyttöä. (24.)

3.3 Urakoitsijan toimet

Rakentamisvaiheessa konkretisoituu hankkeen aikaisemmassa vaiheessa tehdyt päätökset. Aina rakennettaessa syntyy energian ja materiaalien kulua, mikä mahdollistaa päästöjen synnyn. Päästöihin pystytään vaikuttamaan

kiertotaloudella, energiatehokuudella, vihreämmillä materiaaleilla, koneiden valinnalla sekä puhtaammilla energiavalinnoilla. (18, s. 16.)

Kiertotalous on talousmalli, joka eroaa perinteisestä lineaarisesta taloudesta siinä, että jatkuvan kasvun tavoittelun sijasta tavoitellaan materiaalien ja resursien kestäväää käyttöä. Kiertotaloudessa pyritään minimoimaan hukkaa ja jätettä sekä hyödyntämään olemassa olevia materiaaleja ja tuotteita mahdollisimman pitkään. Kiertotalouteen linkittyvät päästövähennyskeinot koostuvat massatalouden hallinnasta, etusijaisjärjestyksestä sekä uusiomateriaalien käytöstä. (25.)

Energiatehokkuus tarkoittaa joko energian vähentämistä tai parempaa tehokkuutta samalla energiamäärällä. Energiatehokkaiksi toimiksi voidaan laskea parempi projektinhallinta (tietomallit, työsuunnittelu, aikataulutus), työntekijöiden paremmat toimintatavat, materiaalien kuljetusmatkojen optimointi sekä koneiden valinta. (26.)

Rakentamisvaiheessa realisoituu suunnittelun aikana tehdyt toimet, eli suunnitelmat rakentuvat todeksi. Rakentamisvaiheessa realisoituu samoin myös kustannukset. Päästövähennystoimenpiteen yhteyteen on pyritty kuvaamaan keinoista muodostuvat kustannukset.

3.3.1 Materiaalit

Rakentamisessa käytettäviin materiaaleihin sitoutunut hiili tunnistetaan merkittäväksi tekijäksi hankkeiden elinkaarenaikaisissa päästöissä. Väylärakenteen materiaaleihin sitoutuneeseen hiileen ei pystytä enää rakentamisen jälkeen vaikuttamaan, kun esimerkiksi liikenteen päästöjä voidaan laskea sähköistämällä. Tästä syystä on erityisen tärkeää käyttää rakentamisessa keinoja, millä rakenteeseen sitoutuu mahdollisimman vähän hiiltä. (27.)

Väylähankkeissa käytetyin materiaali on maa-aines, joten siihen kytkeytyy suuri päästövähennyspotentiaali (28). Muita suuripäästöisiä materiaaleja ovat betoni, asfaltti ja rauta, jotka päätettiin käsitellä tässä luvussa. Tämän lisäksi käydään läpi uusiomateriaaleja.

Kustannuksista voidaan yleisesti mainita, että vähempipäästöiset materiaalit maksavat hiukan enemmän. World Business Council toteutti tutkimuksen, jossa vertaillaan vihreän rakennuksen eroa normaaliin. Vihreä rakennus oli kustannuksiltaan keskiarvallisesti noin 17 prosenttia korkeampi, kuin normaali rakennus. (29.)

Maa-aines

Maa-aines ei tuota korkeita tuotevaihe päästöjä, mutta siihen liittyvät toimet aiheuttavat. Päästöjä aiheuttavat koneiden ja kuljetuskaluston energiankäyttö, mitä saadaan laskettua jo mainitulla massatalouden hallinnalla. Massataloutta tulisi suunnitella mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, mutta usein hankkeiden ylijäämämassat jäävät urakoitsijan vastuulle.

Ylijäämämassa pitäisi pyrkiä käyttämään samaisella työmaalla joko suoraan rakenteessa tai välivarastoimalla. Useinkaan tämä ei ole mahdollista, jolloin vaihtoehtona on läheiset työmaat tai maankaatopaikat. Jos tämäkään ei onnistu, kasvaa päästöt ja kustannukset, koska maa joudutaan kускаamaan pitkän matkan päähän (30). Lisäksi seuraaviin toimin mahdollistetaan vähäisempää päästökertymää:

- Kaikkien käyttökelpoisten massojen käyttäminen oikein.
- Kelvottomien massojen leikkaaminen mahdollisimman vähän.
- Lajitteleva kaivuu.
- Vuodenaikojen vaikutuksen huomioiminen.
- Meno-paluu kuljetusten suosiminen. (22.)

Ylijäämäainesten käyttäminen väylän suodatinrakenteessa, jakavassa kerroksessa tai kantavassa kerroksessa on vaikeaa. Rakenteisiin menevän maa-aineksen tulee täyttää standardin SFS-EN 13242 vaatimukset, johon kuuluu mm.

tyyppitestaukset. Tämän lisäksi tulee läpäistä tuoteominaisuudet, jotka sisältävät mm. pesuseulonnan ja maksimirajan hienoainespitoisuudelle. Käytännössä käyttöä rajoittaa korkeat vaatimukset, minkä läpäiseminen perustuu laajoihin tutkimuksiin. Rakennusvaiheessa tutkimusten toteuttaminen ei ole ajan takia mahdollista. (31.)

Ylijäämämaiden käyttö rajautuu siis käytännössä rakennekerrosten ulkopuolelle. Vaikein käyttökohde on löytää saveille ja silteille, jotka ovat kantavuudeltaan heikkoja ja erittäin routivia. Mahdollisuudeksi jää materiaalin stabiloiminen, millä nostetaan maa-aineksen lujuutta. Moreenit ja vanhat rakennekerrosmateriaalit ovat helpommin käytettävissä, joskin niiden ongelmaksi muodostuu vaihteleva laatu ja rakeisuus. Mahdollisuudeksi nousee maa-aineksen jalostaminen, jolla esimerkiksi hienoaines saadaan pois. Käyttökohteita ovat erilaiset täytöt, kuten pengertäytöt ja meluvallit. Käyttöä tien rakennekerroksissa on mietitty ja vahvistustoimenpiteiden, kuten teräsverkon kanssa on saatu hyviä tuloksia. Käyttö ei kuitenkaan ainakaan vielä ole yleistynyt vakinaiseksi rakennusmateriaaliksi, vaikka pienemmän teknisen vaatimuksen omaavat rakenteet, kuten kevyen liikenteen väylät voisivat olla sopivia käyttökohteita. (37.)

Ylijäämäksi jääneiden maa-ainesten jatkokäyttöä vaikeuttaa tiukkojen teknisten ominaisuuksien lisäksi mahdollinen jätteen luokittelu. Siitä seuraa hallinnollinen menettely, vaikka ympäristökelpoisuus ja tekniset ominaisuudet kohtaisivat. (32, s. 9.)

Pilaantumaton ylijäämämaa-ainesta ei katsota jätteeksi, jos hyödyntäminen on varmaa ja suunnitelmallista, ilman merkittäviä muuntamistoimia joko samassa kohteessa tai muualla rakentamisessa. Muuntamistoimiksi ei luokitella murskaamista tai seulomista. Käyttökohteen tulee olla viimeistään kaivamisen aikana tiedossa, muulloin se voidaan varastoida vain toiminnanharjoittajalla, jolla on luvat kyseiseen maa-ainekseen. (32, s. 8–9.)

Jos pilaantumaton aines kuitenkin luokitellaan jätteeksi ja se halutaan käyttää ammattimaisesti tai laitospäisesti, tulee sille hakea ympäristölupa. Ympäristöluvasta myöntää AVI tai kunnan ympäristösuojeluviranomainen ja prosessiin voi

pahimmillaan mennä puoli vuotta. Tästä syystä olisikin tärkeää, että mahdollisia lupia haetaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jottei hankkeen aikataululle aiheudu vaivaa lupaprosessin hitauden takia. Suomessa on jo pidempään valmisteltu MASA-asetusta, jonka tarkoituksena on parantaa maa-ainejätteidien hyödyntämisprosessia. Asetuksen perusideana on yhdenmukaistaa ja sujuvoittaa lupamenettelyä sekä tarkentaa ylijäämämaiden hyödyntämisen pelisääntöjä. (32, s. 8–9.)

Urakoitsijan toimet massatalouden hallinnan osalta kehkeytyvät vähempään energiankäyttöön, mikä tarkoittaa automaattisesti pienempiä kustannuksia.

Betoni

Betonin tämänhetkiset päästövähennystoimenpiteet perustuvat pitkälti sementin korvaamiseen sekä fossiilisista polttoaineista luopumiseen (13, s. 12). Betonin suurin päästöaiheuttaja on pääraaka-aineena toimiva sementti, jonka korvaaminen uusiomateriaalilla vähentää mitattavia päästöjä jopa 60 %. Korvaavana aineena toimii teollisuuden sivuvirroista saatavat sideaineet, kuten masuuni-kuona. Useimmissa infrarakenteissa päästövähennyspotentiaalia rajoittuu 30 prosenttiin betonin p-luvun takia. (33.)

Teräs

Teräs on betonin ohella suuren huomion saanut materiaali. Tällä hetkellä teräksen valmistusprossista tekee vihreämpää valmistuksessa käytetyn energian vähentäminen, vähähiiliset polttoaineet, uusiutuva energia sekä kierrättäminen. (13, s. 12.)

Tällä hetkellä päästövähennyksiä saadaan ainakin SSAB:n Zero-teräksestä, joka tuotetaan käyttäen kierrätettyä terästä, uusiutuvaa energiaa ja biokaasua. Tuote on päästöiltään lähes hiilineutraali ja noin 300 euroa normaalia terästä kalliimpaa. (34.)

Tulevaisuudessa teräksen päästövähennystoimet tulevat perustumaan vetytelkistykseen, jonka tarkoituksena on luopua kokonaan fossiilisista polttoaineista (13. s.). SSAB on tuomassa vuonna 2026 markkinoille ensimmäisen fossiilivapaan teräksen, joka pohjautuu kyseiseen teknologiaan. (34.)

Asfaltti

Asfaltin päästövähennystoimenpiteet perustuvat kierrätykseen, alhaisempaan massan valmistuslämpötilaan sekä hiilineutraaliin polttoaineeseen. Asfaltti on 100 % kierrätettävissä oleva materiaali, joka voidaan uudelleenkäyttää jyrsimällä tai kuorimalla. Vanha asfaltti voidaan muuntaa asfalttirouheeksi, mikä pystytään sekoittamaan uuden asfaltin joukkoon. Tällä hetkellä uusiokäytön mahdollisuus kulutuskerroksissa on 50 % ja sidotuissa kerroksissa 70 %. (35.)

Normaalisti asfaltin tuotannossa lämpötila on 160–180 °C, mutta bitumia vaahdottamalla lämpötilaa saadaan laskettua jopa 40 °C. 30–40 °C:n lämpötilan lasku vähentää energian tarvetta noin 15–20 prosenttia. Säästetystä energiämäärästä voidaan suoraan laskea päästö- sekä kustannussäästöt, jotka ovat noin kilo polttoainetta tonnia kohden. Kierrätys ja polttoainekulutuksen vähenemällä voidaan saavuttaa noin 30 prosenttia pienemmät hiilidioksidipäästöt normaaliin tilanteeseen verrattuna. Vähempipäästöiset polttoaineet vähentävät päästöjä suoraan suhteessa käytettyyn määrään. (35.)

Suomessa on tarjolla matalalämpöasfalttia muutamien toimijoiden taholta. Yritykset eivät kuitenkaan halua kertoa tuotteidensa hintoja, joten kustannuksia ei ole saatavilla.

Muut materiaalit

Muihin materiaaleihin pätee pitkälti samat toimet, kuin betoniin, asfalttiin ja teräkseen. Uusiutuvan energian käyttäminen, energiatehokkuuden parantaminen ja tuotekehitys ovat yleispäteviä ja käytännössä ainoita mahdollisia toimia. Käytännön toimiin kuuluvat esimerkiksi biomuovin tuottaminen öljypohjaisen sijaan. (13, s. 12.)

Uusiomateriaalit

Uusiomateriaaleihin luokitellaan aines, joka korvaa luonnonmateriaaleja. Uusiomateriaaleja saadaan teollisuuden sivutuotteista, ylijäämämaista, purettujen rakenteiden materiaaleista sekä tapauskohtaisesti lievästi pilaantuneista maista. Uusiomateriaalien tutkimus ulottuu vuodelle 1970 ja ajan saatossa materiaalitarjonta on kasvanut. Tuotteistamisen ansiosta käytettävyys on yleistynyt infrarakentamisessa, mutta edelleenkin käyttö on suhteellisen vähäistä, koska neitseellisen kiviaineksen saatavuus ja halpa hinta eivät kannusta tuotteen käyttöön. Käyttöä rajoittaa tällä hetkellä myös tuotteiden paikallisuus, jonka vuoksi kuljetusten päästöt ja kustannukset saattavat nousta turhan korkeiksi. Tilaajan paine tehdä rakentamisesta kestävämpää tulee kuitenkin nostamaan tulevaisuudessa uusiomateriaalien käyttöä. Varsinkin tuotteistettujen materiaalien, jotka ovat vaahtolasimurske, betonimurske, masuunihiekka, ferrokromikuona ja kalsiitin rikastushiekka. Kyseisten tuotteiden etuna on se, että ne eivät kuulu MARA-asetuksen piiriin, eikä ne tarvitse ympäristölupaa. Listalta voidaan pois lukea betonimurske, joka vaatii molemmat. (36, s. 5–8.)

Kuvasta kaksi nähdään tuotteistettuja sekä tuotteistamattomien uusiomateriaalien yleisimpiä käyttökohteita. Tuotteistettujen uusiomateriaalien lisäksi käyttökelpoisia uusimateriaaleja ovat mm. puu- ja turvetuhka, sivukivet, asfalttirouhe ja rengasleike. Käyttökohteista suurin osa liittyy neitseellisen materiaalin korvaamiseen, kuten käyttö penkereissä tai murskeen korvaaminen. Kuvassa näkyvät käyttökohteet toimivat vain havainnollistavana esimerkkinä siitä, että käyttökohteita on useita. (13, s. 9.)

Esimerkkejä käyttökohteista	Esimerkkejä uusiomateriaaleista ja -tuotteista	Ohjeita, huomautuksia
Penkereet	Kaivosten sivukivet Kivihiilen lentotuhka Puu- ja turvetuhka Ylijäämämaat	Kuivat penkereet Kun penkereeltä ei edellytetä routimattomuutta
Luonnonhiekan korvaaminen	Kivihiilen pohjatuhka Leijupetihiekka Masuunihiekka Tuotteistettu ferrokromitai teräskuona	<i>InfraRYL 21110.1 Suodatinkerroksen materiaalit</i>
Luonnonmurskeen korvaaminen	Betonimurske Masuunikuonamurske Kappalekuona Teräskuonamurske Sivukivet Tuotteistettu ferrokromitai teräskuona	<i>InfraRYL 21210.1. Jakavan kerroksen materiaalit</i> <i>InfraRYL 21310.1.1 Kantavan kerroksen materiaalit</i>
Stabiloinnin sideaineena	Masuunihiekka Tuotteistettu teräskuona Lentotuhka	<i>InfraRYL 21322 Stabiloidut kantavat kerrokset</i>
Päällysteen valmistusmateriaalina	Tuhka Asfalttirouhe	<i>PANK, Asfalttinormit</i>
Kevennysrakenteissa, routaeristeenä	Vahtolasi Rengasleike Masuunihiekka Tuotteistettu teräskuona	<i>InfraRYL 18145 Vahtolasimurskepenkereet ja -rakenteet</i> Kevennysrakenteiden suunnittelu, <i>Liikenneviraston ohjeita 5/2010; 7.1 Vahtolasimurske</i>
Piha- ja ympäristörakenteissa	Puukivikomposiittituotteet Puumuovikomposiittituotteet	
Kasvualustamateriaalina, katteena	Kuorirouhe Kompositituotteet	
Salaojarakenteissa	Rengasleike	
Maisemointitäydyissä ja meluvalleissa	Rengasleike Kokonaiset renkaat	

Kuva 2. Uusiomateriaalien yleisimpiä käyttökohteita väylärakentamisessa. (13, s. 9.)

Uusiomateriaalien hinnoissa on paljon vaihtelua ja hinta riippuu pitkälti kuljetusmatkasta. Esimerkiksi joitakin kuonia saa vain pohjoisemmasta, koska teräs tehtaot sijaitsevat siellä. Lisäksi uusiomateriaalin käyttäminen on usein riippuvaista suunnitteluratkaisuista. Yleisesti voidaan sanoa, että uusiomateriaalin hinta on kilpailukykyinen esimerkiksi kiviainesta vastaan, jos kuljetusmatka saadaan pidettyä kohtuullisena.

3.3.2 Työmaatoiminnot

Työmaatoimintoihin sisältyy käytetty energia ja jätehuolto. Suurimmat päästöt energian käytöstä aiheutuvat suurista työkoneista, varsinkin kaivinkoneista sekä

kuljetuskalustosta. Siksi luvussa käsitellään keinoja varsinkin kyseisten toimien päästöjen laskemiseen. Lisäksi käsitellään jätehuoltoa.

Työkoneiden valinta

Koneen soveltuvuus on aina työmaakohtaista, joten niitä valittaessa tulee huomioida käyttötarpeet ja ympäristö. Hankkeissa, jossa maata pitää liikuttaa suurella volyyymilla ja tilaa ympärillä riittää, päästään suurella tela-alustaisella kaivinkoneella parhaimpaan lopputulokseen. Toisaalta taas ahtaassa kaupunkiympäristössä koneelta vaaditaan ketteryyttä ja kompaktiutta, jotta työ sujuu mahdollisimman häiriöttä. Kaivamisen lisäksi koneelta voidaan vaatia myös muita töitä, kuten liikennejärjestelyä, jolloin pyöreelementin kaivinkone on paras valinta. Tärkeintä konevalinnalla on löytää oikea balanssi käytetyn energian ja tehdyn työn suhteen. (37.)

Päästöluokitukset

Työkoneille on vuodesta 1997 lähtien ollut Euroopassa käytössä Stage-luokitus, joka säätelee työkoneiden pakokaasupäästöille enimmäisrajoitukset koneen moottoritehosta ja tyypistä riippuen. Taulukosta 1 nähdään, että rajoitukset koskevat ympäristölle ja terveydelle haitallisia päästöjä, jotka tiukentuvat asteittain. Päästörajoitukset koskevat häkää, hiilivetyä, typen oksideja sekä pienhiukkasia. Lisäksi luokasta 3 eteenpäin koneille on asetettu ammoniakkia koskeva päästörajoitus. Päästöjen lisäksi taulukko näyttää rajoituksen käyttöönottovuoden ja nettotehon, mitä rajoitukset koskevat. Kuvatut nettotehot rajattiin $56 \leq P \leq 560$ välille, vaikka osa rajoituksista koskee pienempiä ja suurempia koneita. (38.)

Stage-luokitus sääntelee ainoastaan koneiden lähipäästöjä, joten luokituksella ei varsinaisesti säädellä hiilidioksidipäästöjä. VTT:n arvion mukaan CO₂-rajarvon lisääminen Stage-luokitukseen vauhdittaisi esimerkiksi sähkökoneiden kehitystä. Luokituksen mukana on kuitenkin vähentynyt kasvihuonepäästöt lähipäästöjen ohessa, eli sitä voidaan pitää onnistuneena keinona. (39.)

Taulukko 3. Stage-luokkien päästörajoitukset. (38.)

Luokitus	Käytössä	Nettoteho kW	Hiilivety	Häkä	Typenoksidit g/kWh	Pienhiukkaset	Hiilivedyt ja Typenoksidit
Stage I	1/1999	130 ≤ P ≤ 560	5	1,3	9,2	0,54	
Stage I	1/1999	75 ≤ P ≤ 130	5	1,3	9,2	0,7	
Stage II	1/2002	130 ≤ P ≤ 560	3,5	1	6	0,2	
Stage II	1/2003	75 ≤ P ≤ 130	5	1	6	0,3	
Stage III A	1/2006	130 ≤ P ≤ 560	3,5			0,2	4
Stage III A	1/2007	75 ≤ P ≤ 130	5			0,3	4
Stage III B	1/2011	130 ≤ P ≤ 560	3,5	0,19	2	0,025	
Stage III B	1/2012	75 ≤ P ≤ 130	5	0,19	3,3	0,025	
Stage IV	1/2014	130 ≤ P ≤ 560	3,5	0,19	0,4	0,025	
Stage IV	10/2014	56 ≤ P ≤ 130	5	0,19	0,4	0,025	
Stage V	1/2019	130 ≤ P ≤ 560	3,5	0,19	0,4	0,015	
Stage V	1/2020	56 ≤ P ≤ 130	5	0,19	0,4	0,015	

Kuljetuskalustolle on käytössä saman tyyppinen luokitus. Euro-luokituksella säädellään samoja päästöjä kuin Stage-luokituksessa, pois lukien ammoniakkipäästöt. Taulukossa 4 nähdään, miten päästörajoitukset ovat nousseet pikkuhiljaa uusimman luokan ollessa vain murto-osa ensimmäisestä. (40.)

Taulukko 4. Euro-luokkien päästörajoitukset. (40.)

Luokitus	Käytössä	Häkä	Hiilivety	Typenoksidit g/kWh	Pienhiukkaset
Euro I	10/1992	4,5	1,1	8	0,36

Euro II	10/1998	4	1,1	7	0,15
Euro III	10/2000	2,1	0,66	5	0,1
Euro IV	10/2005	1,5	0,46	3,5	0,02
Euro V	10/2008	1,5	0,46	2	0,02
Euro VI	1/2013	1,5	0,13	0,4	0,01

Stage ja Euro luokkien hintaeroista on vaikea hahmotella tarkkoja summia, mutta ilmeistä on, että uudemmilla koneilla on korkeampi hinta. Stage VI ja Euro VI ovat tulleet vuosina 2014 ja 2013, joten kyseisistä koneista on tarjolla myös vanhempaa mallia. Stage V luokka tuli voimaan 2019, joten koneiden hinnat ovat luonnollisesti korkeammat.

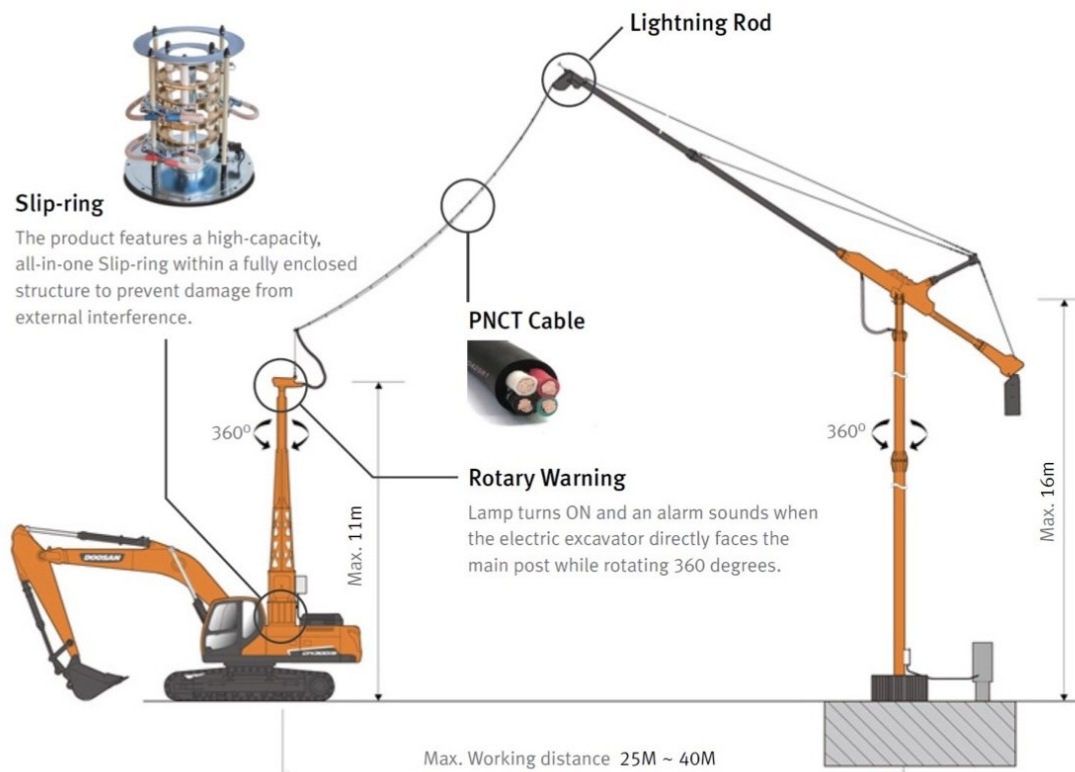
Energia

Jos energiankäytön päästöjä halutaan vähentää, on löydettävä fossiilittomia polttoaineita. Tällä hetkellä työmailla käytetään lähinnä dieseliin ja bensiiniin pohjautuvia polttoaineita, mutta tulevaisuudessa tullaan siirtymään sähköön, vettyyn, uusiutuva dieseliin sekä biokaasuun.

Täyssähköiset kaivinkoneet ovat myynnissä jo pienemmässä koossa ja vähitellen suuremmat, sähköiset koneet ovat murtautumassa markkinoille. Tulevaisuudennäkymää tarjosi konevalmistaja CAT, joka toi vuonna 2019 markkinoille 25-tonnisen kaivinkoneen, minkä työskentelyajaksi kerrottiin 5–7 tuntia (41). Muilla konevalmistajalla tuotteet ovat olleet testikäytössä ja koneisiin on lupailtu 5–8 tunnin käyttöaikoja, eli samaa luokkaa kuin 2019 julkaistulle CAT:n koneelle. On selvää, että lisää tutkimusta ja kehitystä tarvitaan. Juuri työpäivän mittaisen käyttöajan lisäksi koneilla on latausajat, jotka rajoittavat työskentelyä.

Vaihtoehtoisista ratkaisuista voidaan mainita ainakin Doosanin esittelemä 30-tonninen tela-alusteisen kaivinkone, mikä käyttää kolmea 130 kWh vaihdettavaa akkua. Vaihdettavuus tekee sen, että kone pystyy työskentelemään yhdellä sarjalla, kun toinen sarja latautuu käyttöä varten (42). Toinen innovaatio Doosanilta on dieselmoottori vaihdettuna sähkömoottoriin, joka on jatkuvasti kiinni sähkökaapelissa. Kuvassa kolme nähdään hahmotelma, miten kone voisi

käytännössä toimia. Työskentelyalue rajoittuu johdon myötä 25–40 metriin, joka rajoittaa huomattavasti koneen työskentelyä. (43.)



Kuva 3. Havainnollistus Doosanin prototyypikaivinkoneesta, joka perustuu sähkökaapeliin. (43.).

Sähköisiä kuorma-autoja on tullut markkinoille, joskin niissäkin toimintamatkat rajoittavat toimintaa. Scania vakuuttaa 40 tonnin kuormalla 350 kilometrin toimintamatkan ja 65 tonnin kuormalla 250 kilometrin toimintamatkan (44). Volvon kuorma-autolla 40:n tonnin kuormalla edettiin 345 kilometriä. (45.)

Vetyä pidetään tulevaisuuden polttoaineena, jonka takia sitä voidaan pitää mahdollisena voimana liikuttamaan työkoneita. Vetyyn perustuvassa polttokennomoottorissa paineistettu tai nesteytetty vety johdetaan polttokennoon, jonka jälkeen vety reagoi hapen kanssa, mikä vapauttaa elektronit ja synnyttää sähkön.

Polttokennojen reaktiona syntyy lämpöä ja vesihöyryä, eli prosessi on täysin päästötön. Vetykoneiden etu sähkökoneisiin on tankattavuus, polttokennokoneet voidaan tankata yhtä nopeasti kuin polttomoottoriautot (46). Vedyn yleisyys kuorma-autoissa on kokeiluasteella ja kaivinkoneissa ensimmäinen prototyyppi JCB:n toimesta on nähnyt päivänvalon. (47.)

Vetykoneille on vaikea arvioida hintaa, koska ne ovat vasta kehityspolkunsa alussa. Täyssähköisille kaivinkoneille on arvioitu valmistajien mukaan 50–100 prosenttia korkeampaa hintaa alkuvaiheessa, joidenkin arvioiden mukaan jopa kolminkertaista (48). Esimerkiksi CAT:n vuonna 2019 esittelemän koneen veroton hinta on ollut noin 570 000 €. Korkeat hankintahinnat tulevat taasoittumaan, kun tarjonta tulee nousemaan lähemmäs kysyntää. Sähköisille kuorma-autoille arvioidaan noin 2-kertaista hintaa. (49.)

Kunnes näin käy, on olemassa nopeampi ratkaisu laskea työmaiden päästöjä. Tämänhetkisistä päästövähennyskeinoista yleisimpänä voidaan pitää uusiutuvaa dieseliä. Uusiutuva diesel on biopohjainen polttoaine, jonka raaka-aineet pohjautuvat kasviöljyihin sekä erilaisiin jätteisiin ja tähteisiin. Koostumukseltaan se vastaa oikeastaan täysin dieseliä, eli se sopii diesel pohjaisiin kulkuneuvoihin täysin. Fossiiliin polttoaineisiin verrattuna uusiutuvan dieselin kerrotaan vähentävän päästöjä jopa 90 prosenttia. (50.)

Uusiutuvan dieselin lisäksi biokaasu koetaan yhdeksi nopeaksi ratkaisuksi puhtaan puhtaammasta energiasta. Biokaasu on hiilidioksidista ja metaanista koostuva luonnonkaasuseos, joka tuotetaan mädättämällä orgaanisia aineita, kuten biojätteitä. Biokaasu jalostetaan polttoaineeksi poistamalla hiilidioksidi ja muut epäpuhtaudet, jonka jälkeen nimitys voidaan muuttaa vastaamaan koostumusta, eli biometaaniksi. Uusiutuvan dieselin tavoin elinkaaren aikaiset päästöt vähenevät biokaasua käyttämällä 85–95 prosenttia fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. (51.)

Biokaasun hinta on 8.5.2023 Helsingissä 1,82 e/kg, eli 1,1,67 e/l. Verrattuna bensiiniin tai dieseliin hintaan, on hinta melkein 100 prosenttia halvempi (52).

Uusiutuvaan dieselin hinta on 7.5.2023 2.16 e/l. Samanaikaisesti 95 hinta on 1.96 e/l ja 98 2,06 e/l. (53.)

Lisälaitteet

Työkoneiden lisälaitteet ovat osaltaan luomassa energiatehokkaampaa hanketta. Hankkeen alussa luodut tietomallit saadaan yhdistettyä koneohjaukseen, jolloin kehittyneimmissä malleissa koneen kuljettaja saa jatkuvasti tietoa kauhan korkeusasemasta ja sijainnista senttimetrien tarkkuudella. Koneohjaus perustuu satelliittipaikannukseen, jossa kaivinkone saa tukiaseman tai verkkokorjauspalvelun tuottaman korjaussignaalin kautta jatkuvasti tietoa asemastaan. Koneenkuljettaja pystyy tarkkailemaan määriteltäviä kaivuutasoja koneeseen asennettavan näytön avulla, eikä työntekoon vaadita ulkopuolisia mittaajia. Koneohjausjärjestelmällä pystytään tehostamaan työkoneiden työntekoa huomattavasti, kun vältetään liikakaivuilta ja -täytöiltä. Tehokkuuden parantuminen vaatii oppimiskykyä ja koulutusta järjestelmän käyttöön, jotta siitä saadaan kaikki hyöty irti (37). Tietomallit ja koneohjaus 2010:7 tutkimuksen mukaan vertailtiin koneohjauksen hyötyjä ja huomattiin, että koneohjauksen avulla kaivinkoneen kapasiteetti kasvoi 30 %, puskutraktorin ja asfaltinlevittimen 0–20 % ja tiehöylän 90 %. Työkoneiden tehokkuuden kasvu vähentää suorasti hiilidioksidipäästöjä sekä kustannuksia (54). Vertailua koneohjauksen hinnasta ei löydy, mutta koneohjauksen hankinta hinnaksi on määritelty 30000 €. (55.)

Koneohjauksen lisäksi koneisiin on saatavilla etäseurantajärjestelmiä, joilla pystytään seuraamaan koneiden polttoainekulutusta ja työtapoja. Energiankulutuksen seuraaminen pystytään muuttamaan opettavaiseksi tiedoksi työntekijän suuntaan ja sen avulla työkoneen käyttäjä voi havainnollistamisen kautta saada uutta näkökulmaa työhönsä. Tämän lisäksi koneen tekemä seuranta auttaa jatkossa työnjohtoa, jonka velvoitteet energiankulutuksen seuraamisesta tulevat lisääntymään. (54.)

Energiatehokkaat toimintatavat

Paremmalla työsuunnittelulla vähennetään turhaa energiankäyttöä, vältetään jätteen syntymistä ja hukkamateriaaleja. Kun työvaiheet suunnitellaan optimaalisesti ja aikataulut on mahdollisimman tarkka, vähenee päästöt turhien toimien karsiutuessa. (13, s. 15.)

Lisäksi on tärkeää, että energian tehokas käyttö on koulutettu henkilöstölle ja massatalouteen kytkeytymättömät kuljetukset toteutetaan mahdollisimman tehokkaasti. (13, s. 15.)

Jätehuolto

Jätehuolto on jätevirtojen hallintaa, jota toteutetaan etusijaisjärjestyksen pohjalta. Kuvasta 4 nähdään etusijaisjärjestyksen periaate, mitä pitäisi käytettyjen materiaalien kohdalla noudattaa. Portaat etenevät jätteen määrän ja haitallisuuden vähentämisestä uudelleenkäyttöön, kierrätykseen, energiana hyödyntämiseen ja lopulta loppusijoitukseen. (32, s. 3.)



Kuva 4. Etusijaisjärjestyksen portaat parhaimmasta huonoimpaan. (32, s. 3.)

Ensimmäisen ja tärkeimmän kohdan, eli jätteen määrän ja haitallisuuden vähentäminen perustuu materiaalitehokkuuteen. Materiaalitehokkuuden perusajatus on, että tuotetaan vähemmästä enemmän ja säästetään samalla luontoa. Tavoitteena on mahdollisimman vähäinen raaka-aineiden ja materiaalien käyttö. (56.)

Materiaalitehokkuuden parantaminen toteutetaan työmailla kuvan joku mukaisesti. Jätteiden määrän vähentämisen voi jakaa kahteen kategoriaan, hankintoihin ja varastointiin. Hankinnan keinoihin kuuluu mahdollisimman tarkka määrälaskenta, esivalmistettujen komponenttien käyttäminen sekä tilausten ja käytön yhteinen harmonia. Varastoinnissa pitää kiinnittää huomiota siihen, että työmaalla säilytettävän materiaalin määrä pidetään matalana, varastointiaika lyhyenä, materiaalit toimitetaan suoraan kohteeseen, materiaalit siirretään oikeilla menetelmillä ja laitteilla sekä materiaalit suojataan oikein. (57, s. 30.)

Hankinnat	Varastointi
<ul style="list-style-type: none"> • Pyritään mahdollisimman tarkkaan määrälaskentaan • Tilataan mahdollisimman paljon esivalmistettuja komponentteja • Pyritään siihen, että tilaukset ja käyttö etenevät samassa tahdissa 	<ul style="list-style-type: none"> • Minimoidaan työmaalla säilytettävien materiaalien määrä • Pyritään mahdollisimman lyhyeen varastointiaikaan • Toimitetaan materiaalit suoraan työkohteeseen • Käytetään materiaalien siirtoihin oikeita siirtomenetelmiä ja -välineitä • Noudatetaan materiaalintoimittajan suojaus- ja varastointiohjeita • Varastoidaan materiaalit aina kuormalavojen tai aluspuiden varaan

Kuva 4. Materiaalitehokkuuden hallinta. (57, s. 30.)

Kun toimet jätteen määrän vähentämiseksi on tehty, keskitytään uudelleenkäyttöön. Uudelleenkäyttö tarkoittaa, että materiaali ei muutu missään vaiheessa jätteeksi, eli se käytetään uudelleen samaan tai johonkin muuhun käyttötarkoitukseen. Toimiin kuuluu muun muassa maamassojen uudelleenkäyttö, betonikaivon uudelleenkäyttö tai teräksen, esimerkiksi raiteiden uudelleenkäyttö. (32, s. 7.)

Jos materiaalia ei pystytä uudelleenkäyttämään, se pitää kierrättää. Kierrättäminen tarkoittaa asian hyödyksi käyttämistä uudessa asiayhteydessä (32, s. 1). Osa materiaaleista pystyään kierrättäminen työmaan sisäisesti. Esimerkiksi betoni voidaan murskata ja uudelleenkäyttää tai asfaltti jyrsiä ja uusiokäyttää. Jätteet voidaan toimittaa myös jatkokäsittelyyn, jossa ne kierrätetään.

Perusajatuksena on, että samaa jätelajiketta olevat jätteet kerätään yhteen ja kuljetetaan jatkokäsittelyyn. Jätteet on mahdollista kerätä ainakin jäteastioihin, keräysastioihin, vaihtolavoille, etukeräyssäiliöön tai puristimeen. Keräysvälineitä on erikokoisia, joka mahdollistaa keräysvälineen mitoittamisen jätteen määrän mukaan. (58.)

Työmaa-aluetta suunniteltaessa tulisi osoittaa jätteiden keräysalueet ja keräystapa. Käsittelyalue sijoitetaan helposti toteutettavaksi ja tyhjennysreitit huomioidaan. Jätelavat ja keräysastiat merkitään selkeästi ja valvotaan, ettei sinne päädy muita jätteitä. Työ- ja laatusuunnitelmiin merkitään jätehuoltoasiat ja nimeetään henkilö, joka vastaa jätehuollosta, erilliskeräyksen seurannasta, työntekijöiden ohjauksesta ja jätelavojen tyhjennyksestä. (32, s. 5–6.)

Tämän lisäksi on syytä kiinnittää huomiota seuraaviin asioihin:

- Ympäristötekniikan valvojan tulee ohjata pilaantuneiden maiden kiviä.
- Hyödynnä vanhat päälly- ja pintarakenteet.
- Järjestä jätelajikohtainen erilliskeräys muille rakennusmateriaaleille ja pakkausjätteille.
- Ehkäise ympäristöön kohdistuvaa roskaantumista.
- Kerää sosiaalitoimien yhdyskuntajätteet erikseen.
- Kerää vaaralliset jätteet, kuten öljy- ja kemikaalijätteet, tiiviisiin keräysastioihin ja toimita ne asianmukaiseen käsittelyyn tai loppusijoitukseen. (32, s. 5–6.)

Jos jätteitä ei saada kiertoon edellä olevin keinoin, tulee ne ohjata energiantuotantoon. Huonoin vaihtoehtoista on loppusijoitus, jossa jätteet päätyvät kaatopaikalle.

Jätehuollosta muodostuvat hyödyt voidaan muuttaa rahaksi, koska rakennusjäte on huomattavasti kalliimpi verrattuna muihin. Taulukosta 5 nähdään Lassila & Tikanojan toteuttama case paroc -vertailu kahdesta purkukohteesta. Jättemäärät ovat olleet suhteellisen samat, mutta kohde 2 on suuremmalla jättemäärällä päässyt pienempiin kustannuksiin. Kohteiden erot kiteytyvät rakennusjätteen kierrätykseen. Kohteessa 1 rakennusjätettä on syntynyt 61,34 tonnia, kun taas kohteessa kaksi 4,34 tonnia. Tutkimus osoittaa pitkälti sen, että toimiva jätehuolto on hankkeilla kannattavaa. (59.)

Taulukko 5. L&T:n toteuttama case paroc -jätehuollon hyödyistä. (59.)

	Kohde 1 (13200 Rm3)	Kohde 2 (14000 Rm3)
Vaihtolavojen tyhjennykset yht.	47	55
Jättemäärä yht. (t)	81,66	95,96
Rakennusjäte	61,34	4,34
Puujäte	19,54	31,5
Metallit	0,78	47,48
Betonijäte		12,64
Kustannukset yht	12035,15e	5249,74e

4 Vertaileva tutkimus

4.1 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus toteutetaan määrällisenä eli kvantitatiivisena tutkimuksena, jossa keskitytään kohteen kuvaamiseen ja tulkitsemiseen tilastojen ja numeroiden avulla. Tutkimukseen valitaan neljä case-esimerkkiä, joissa vertaillaan päästövähennystoimenpiteiden kustannustehokkuutta.

Case-esimerkkien on tarkoitus selvittää keskeisten päästövähennyskeinojen eroja. Case-esimerkeillä pyritään selvittämään ja havainnollistamaan myös sitä, että hankittaessa vihreämpiä kokonaisuuksia kustannukset nousevat korkeammiksi.

Tutkimukseen ei opinnäytetyön rajoissa saada mahdutettua kaikkia päästövähennystoimenpiteitä, joten joudutaan arvioimaan, minkä pohjalta pystytään havainnollistamaan lopputuloksen kannalta riittävän luotettavasti. Teoreettisen viitekehysten pohjalta opittiin, että energia on suurin päästöjen aiheuttaja, jonka lisäksi se on ollut elementtinä päästöttömät työmaat piloteissa. Tämän pohjalta vertailuun valittiin sähkömoottori verrattuna dieselmoottoriin ja uusiutuva diesel verrattuna dieseliin.

Energian lisäksi päästöjä aiheuttavat materiaalit, joita Väylävirasto on miettinyt hankekriteereikseen. Tämän pohjalta vertailukohteeksi valittiin materiaaleista koostuva vertailu, jossa vertaillaan vihreämpien materiaaleitten ja normaaleitten materiaalien välisiä eroja. Neljännessä vertailussa pyritään havainnollistamaan kiertotalouden mukanaan tuomia hyötyjä ja sitä, että osa päästövähennyskeinoista on kustannuksiltaan taloudellisesti hyödyllisiä. Vertailukohteena on erilaisten kuljetusvaihtoehtojen vertailu.

Case-esimerkkien pohjana toimii Linderintien ja Espoonlahden rakennushakkeet. Hankkeilta saadaan laskettua käyttömäärät, joiden pohjalta voidaan suorittaa vertailevaa tutkimusta. Käyttömäärät arvioidaan urakka-asiakirjoista ja ne ovat aina tasapuoliset vertailussa oleville kohteille. Käyttömäärien lähtötiedot

ovat kuvattuna laskentojen lähtötiedoissa. Laskentaan pyrittiin ottamaan esi-merkin mahdolliset toimet mukaan mahdollisimman kattavasti, lähtötiedoissa on kuvattuna tarkemmin, mitä toimia vertailussa huomioidaan.

4.2 Hiilijalanjäljen laskentaperiaate

Päästöistä laskettiin mukaan elinkaaren vaiheet A1-A5, eli materiaalien keräys, kuljetus ja valmistus, työmaan kuljetukset sekä työmaatoiminnot. Päästöt lasketaan One Click LCA-ohjelman avulla. One Click LCA on Bionova Oy:n kehittämä selainpohjainen pilvipalvelu. Käyttö perustuu siihen, että palveluun syötetään lasketut käyttömäärät, joka laskee päästökertoimien pohjalta tuloksen. One Click LCA omaa erittäin laajan päästökerroinkannan, jotka käyvät läpi kriittisen tarkastelun tullakseen lisätyksi ohjelmaan. (60.)

4.3 Kustannusten laskentaperiaate

Kustannukset lasketaan esimerkkikohtaisten toteutuneiden toimien perusteella. Kustannustiedot kerätään Internet-lähteistä tai urakka-asiakirjoista. Internetlähteinä käytetään materiaalityömittajia ja konevuokraus yrityksen nettisivustoa. Kustannustietojen keräämisessä pyritään käyttämään mahdollisimman uutta tietoa ja keräämään keskiarvallisesti ainakin kahdesta kohteesta. Urakka-asiakirjasta kerättyä hintatietoa ei yhdistetä suoraan mihinkään hankkeeseen, jotta johtopäätösten vetäminen ei olisi mahdollista. Kustannusten panostiedoksi on kuitenkin pyritty muodostamaan mahdollisimman realistinen kuva vallitsevista hinnoista. Esimerkkikohteiden lähtötietoihin on kuvattu tieto kustannusten alkuperästä.

Kerättyjä kustannuksia käytetään panostietona, mikä kerrotaan tehtäväkohtaisella käyttömäärällä, mistä tulee lopputulos.

4.4 Mittaristo

Päästövähennystoimenpiteiden kustannustehokkuutta arvioidaan ensin esimerkkikohtaisesti vertaamalla normaalia toimintatapaa vihreämpään vaihtoehtoon. Vertailussa tarkastellaan kuinka paljon päästöt ovat vähentyneet suhteessa maksettuun kustannukseen. Tämän lisäksi jokaisessa esimerkissä mietitään toimenpiteen käytettävyyttä mahdollisten ongelmien, aikataulun ja laadun suhteen. Lopulta tiedot kerätään yhteen ja määritellään esimerkkikohtaisesti, kuinka monta euroa päästövähennystonnin hinta on, mistä johdetaan johtopäätökset.

4.5 Kohteet

Vertailevan tutkimuksen käyttömäärät saadaan Espoonlahden ja Karjaan hankkeilta. Espoonlahden hanke aloitettiin joulukuussa 2022 ja sen on tarkoitus valmistua elokuussa 2023. Hankkeen tilaajana toimii Espoon kaupunki ja pääuraakoitsijana YIT (61). Linderintien hanke alkoi huhtikuussa 2022 ja se valmistui joulukuussa 2022. Hankkeen tilaajana toimi Väylävirasto ja pääuraakoitsijana YIT (62.)

4.5.1 Espoonlahden hanke

Espoonlahden hankealue sijaitsee nimensä mukaisesti Espoonlahdessa. Hankkeeseen kuuluu Kipparinkatu ja Merenkulkijankatu, johon yhdistyy tonttikadut Kipparinkuja, Merikarhunkuja, Ruorimiehenkatu, Merenkulkijanpolku ja Ruorinkuja. Lisäksi hankkeeseen kuuluu Espoonlahdenpuiston, Kipparinpuiston ja Merenkulkijanpuiston kunnostuksia. Puistoissa tehdään mm. istutuksien uusimisia, pintojen uusimisia ja laatoituksia. (61.)

Kipparinkadulla ja Merenkulkijankadulla on tarkoitus uusia kunnallistekniikkaa sekä katupätkän käytettävyyttä. Maahan tullaan asentamaan noin 400 metriä hulevesilinjaa, jonka lisäksi kaukolämpöjohtoja sekä energia- ja

tietoliikennekaapeleita asennetaan noin kuuden kilometrin pituudelle. Uusi ajorata tulee olemaan kaksikaistainen, leveydeltään noin 6,50 metriä. (61.)

4.5.2 Linderintien hanke

Karjaan hanke sijaitsee Raaseporin kaupungissa, Mustion alueella. Hankkeen tarkoituksena oli muuttaa junaliikenteen tasoristeys alikulkusillaksi. Hankkeella tehtiin alikulkusilta, jonka lisäksi tienlinja kunnallistekniikkoineen muutettiin vastaamaan uutta alikulkua. Alikulkua siirtyi käyttämään kevytliikenne sekä ajoneuvoliikenne. (62.)

4.6 Sähkökone

Vertailukohteina ovat Kramer 5055e ja Kramer 5065. Kramer 5055e on sähköllä toimiva 4190 kiloinen pyöräkuormaaja. Akun volttimäärä on 80V ja ampeerituntien määrä on 416Ah, eli akun kapasiteetti on 33.28 kWh. Kramer 5065 on 60 litran polttomootorilla toimiva 3800 kiloinen pyöräkuormaaja. Kramer 5065 valittiin vertailuun, koska se on lähinnä Kramerin 5055e-mallia. (63; 64.)

Käyttömäärien lähtötiedot ovat Espoonlahden hankkeesta, jossa sähköinen pyöräkuormaaja on osana urakkaa. Pyöräkuormaajalla on tarkoitus toteuttaa tavaroiden siirtelyä paikasta toiseen sekä hoitaa muita pienen kokoluokan töitä. Vertailuun arvioitu päivittäinen käyttötarve on 40 kWh ja ajanjaksoksi 6,5 kuukautta, eli 130 työpäivää. Laskennallinen polttoaineenkulutus rinnastettiin vastaavan sähkön kulutukseen VTT:n antaman keskimääräisen kulutuksen (262 g polttoainetta/kWh) perusteella (65, s. 21). Polttoaineen tiheytenä käytetään 0,80 kg/l (66).

Kustannustiedot kerätään Cramolta, koska yrityksen nettivuokraamosta löytyy molemmat koneet. Energian hinnasta käytetään vuosien 2019–2022 keskihintaa. Keskihintaa käytetään, jotta saadaan hinnasta mahdollisimman realistinen kuva. Sähkön hinnasta käytetään energiaviraston arvonlisäverollista pörssisähkön spot-hintaa (67). Sähkön hintaan lisätään vuoden 2023 Caruna Oy Espoon

siirtomaksu ja ensimmäisen luokan sähköverot (68). Perusmaksua ei sisällytetä laskelmiin, koska se kuuluu työmaan normaaliin maksuun ilman sähkökäyttöistä konettakin. Dieselin keskimääräinen hinta saadaan autoalan tiedotuskeskuksen sivuilta. (69.)

4.7 Uusiutuva diesel

Vertailukohteina ovat diesel ja HVO uusiutuva diesel. Käyttömäärien lähtötiedot ovat lähtöisin Espoonlahden hankkeesta, jossa kuorma-autot ja kaivinkoneet suorittavat kadun ja kunnallistekniikan kunnostustöitä. Vertailuun sisältyy kuljetusten ja maanrakennustöiden suorittaminen. Laskennassa käytettävä leikatava massamäärä on 18000 m³tr ja massakertoimena käytetään soraa. Maa-aines kuljetetaan 21 kilometrin päähän. Täytettävä massamäärä on 11000 m³tr ja massakertoimena käytetään mursketta. Maa-aines tuodaan 2,5 kilometrin päästä. Käyttömäärien pohjana käytetään rakennustöiden menekit 2020 kertomia, jotka ovat seuraavat:

- kaivuutyö 0,012 h/m³tr, kaivukone 21–25 t
- kuljetus 1–3 km 0,210 h/kuorma
- kuljetus 15–25 km 0,870 h/kuorma
- liikennealueiden rakennekerrokset ja tiivistys 0,038 kone h/m³tr
- kuorma 12 m³tr (70, s. 32.)

Laskennassa käytetään kuorma-autoa ja kaivinkonetta. Hiilidioksidipäästöt muodostuvat kaivinkoneiden ja kuljetusten energiankäytöstä. Laskennassa käyttötunnit muutetaan litroiksi kertoimella 20 l/h (71). Laskelmassa ei huomioida kulutuksen nousua kumpaankaan suuntaan, koska se on hyvin pientä. Kustannukset pohjautuvat kuorma-autojen ja kaivinkoneiden käyttötunteihin. Kuorma-autojen tuntihintana käytetään 70 euroa ja kaivinkoneilla 80 euroa tunti. Uusiutuvan dieselin hinnaksi määräytyy 3,5 euroa korkeampi hinta kuin dieseliä käytettäessä. (76.)

4.8 Materiaalit

Materiaalivertailu toteutetaan asfaltin, katukiven ja betonin kohdalla. Asfalttiver-
tailussa kohdakkain ovat perusasfaltti sekä matalalämpöasfaltti. Asfaltointiin si-
sältyy asfalttibetoni, sidekerroksen asfalttibetoni ja kantavan kerroksen asfaltti-
betoni. Betonin kohdalla vertaillaan Ruduksen GWP.70 betonia normaaliin beto-
niin. Katukivien kohdalla vertaillaan reunakivien valmistusta Suomessa ja Kii-
nassa.

Asfaltti- ja katukivivertailun esimerkit tulevat Espoonlahden hankkeesta ja beto-
nivertailu Lindenintien hankkeesta. Vertailun määrät ja päästökertoimet ovat
seuraavat:

- AB: 13262 m², 0.047 kg CO₂e /kg. (74.).
- ABK: 7092 m², 0.045 kg CO₂e /kg. (74.).
- SMA: 6356 m², 0.052 kg CO₂e /kg. (74.).
- Valmisbetoni C35/45 P30: 275 m³, 330 kg CO₂e /m³. (74.).
- V220 reunakivi, ristipäähakattu, harmaa: 1456 mtr, 67.9 CO₂e /m.
(74.).

Vihreät päästökertoimet:

- Valmisbetoni C35/45 P30-GWP.70: 230 kg CO₂e /m³, (74.)
- Matalalämpöasfaltti: 20 prosenttia pienempi AB:n, ABK:n ja SMA:n
kohdalla. (35.).
- V220 reunakivi, ristipäähakattu, harmaa: 16,4 kg CO₂/m. (74.).

Kustannustiedot kerätään internet-lähteistä ja keskiarvallisesti urakka-asiakir-
joista. Matalalämpöasfaltin hintatietoja ei haluttu luovuttaa, joten kyseisen mate-
riaalin kohdalta vertailu jätetään toteuttamatta. Valmisbetoni C35/45 P30 tiedot
saatiin Ruduksen valmisbetoni hinnastosta (73). Valmisbetoni C35/45 P30-
GWP.70 hinta saatiin alalla toimivalta materiaalitoimittajalta, hinnaksi muodostui
5 prosenttia korkeampi kustannus (75). Katukivien kustannustiedot on johdettu
urakka-asiakirjoista. (76.)

4.9 Kuljetukset

Kuljetusten vertailussa lähtökohtana on 4 erilaista toteutusvaihtoehtoa maan poisvientiin. Lopputulokseksi saadaan erot kunnollisen ennakkosuunnittelun ja heikon ennakkosuunnittelun vaikutuksista kustannuksiin ja päästöihin

Lähtötiedot ovat Espoonlahden hankkeesta, joskin mikään vaihtoehdoista ei vastaa täysin toteutunutta massanhallintaa. Laskennassa käytettävä leikattava massamäärä on 18000 m³ktr ja täytettävä massamäärä on 11000 m³tr.

- Vaihtoehdossa 1 kaikki maat kuljetetaan Rudukselle 21 km päähän työmaalle ja täytöt tuodaan 10 kilometrin päästä.
- Vaihtoehdossa 2 maat kuljetetaan keskimäärin 10 kilometrin päähän työmaasta lähistöllä sijaitseviin hankkeisiin. Täyttöihin käytetään betonimursketta jakavassa kerroksessa 3000 m³tr. Betonimurske tuodaan läheiseltä hankkeelta 10 kilometrin päästä, loput täytöt tuodaan samasta paikasta kuin ensimmäisessäkin vaihtoehdossa.
- Vaihtoehdossa 3 Työmailla leikatuista vanhoista rakennekerroksista 3000 m³tr säilötään työmaalla ja käytetään lopulta pengertäyttöihin. Loput leikatusta materiaaleista kuljetetaan 10 kilometrin päähän työmaasta. Loput täytöt tuodaan samasta paikasta kuin ensimmäisessäkin vaihtoehdossa.
- Vaihtoehdossa 4 leikatuista rakennekerroksista 3000 m³tr käytetään ilman välivarastointia suoraan kohteessa. Loput leikatusta materiaaleista kuljetetaan 10 kilometrin päähän työmaasta. Loput täytöt tuodaan samasta paikasta kuin ensimmäisessäkin vaihtoehdossa.

Käyttömäärien laskenta toteutetaan rakennustöiden menekit 2020 kertoimilla.

Kertoimet ovat seuraavat:

- kaivuutyö 0,012 h/m³ktr, kaivukone 21–25 t
- kuljetus 0–1 km 0,105 h/kuorma
- kuljetus 1–3 km 0,210 h/kuorma
- kuljetus 3–6 km 0,330 h/kuorma
- kuljetus 6–15 km 0,540 h/kuorma
- kuljetus 15–25 km 0,870 h/kuorma
- liikennealueiden rakennekerrokset ja tiivistys 0,038 kone h/m³tr
- kuorma 12 m³itd

Lisäksi maamassojen kertoimiksi valittiin:

- sora 1,32
- murske 1,52 (74.)

Laskennassa käytetään lähtökohtaisesti 2 kuorma-autoa sekä 2 kaivinkonetta, joiden tuntihinnat vastaavat esimerkissä kaksi esiteltyjä tuntihintoja. Päästölaskennassa huomioidaan maamassojen valmistamisen päästöt, kaivuun päästöt, pois kuljetuksen päästöt, täyttämisen päästöt sekä täytöt. Kustannuksissa on huomioitu maamassojen kustannukset, kuljetuskaluston kustannukset sekä työ-koneiden kustannukset. Vaihtoehdossa 3 on huomioitu varastoidun maan kuormaaminen takaisin kyytiin.

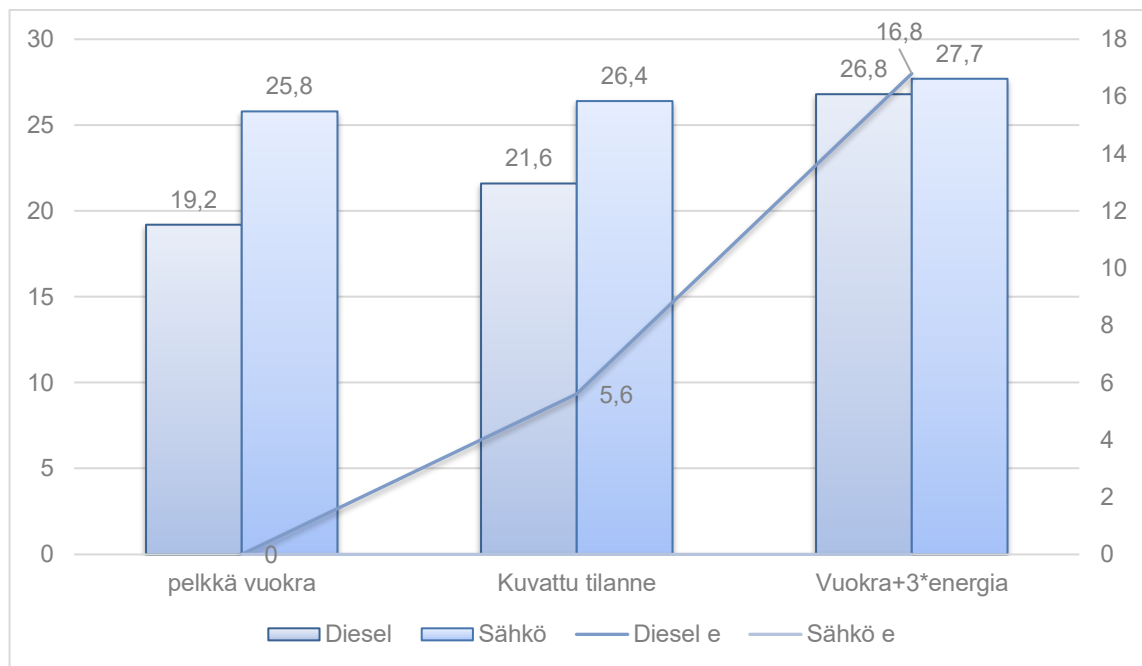
5 Tulokset

5.1 Sähkökone

hiilidioksidipäästöjen ja kustannusten laskelmat löytyvät liitteestä 3. Laskelman yhteenvetona saadaan taulukko 6. Taulukosta nähdään vasemmalla olevasta palkista koneiden pelkkä vuokrahinta, jossa kustannusero on 26 prosenttia dieselmoottorin hyväksi. Keskimmaisessä palkissa on havainnollistettuna lähtötietojen mukainen tilanne. Kyseisessä tapauksessa energian hinta tasoittaa tilanetta ja kustannusero on pienentynyt 18 prosenttiin. Oikealla sijaitsevassa palkissa on kuvattuna tilanne, jossa koneen vuokrahinta on pysynyt samana, mutta käyttömäärä kolminkertaistunut. Kyseenomaisessa tilanteessa kustannusero on enää 3 prosenttia.

Tämän lisäksi kuvaan on havainnollistettu päästöjen kertymää eri skenaarioissa. Sähkämoottorisen koneen päästöt ovat luonnollisesti nollassa, kun taas dieselmoottorisen koneen päästöt nousevat ensin 5,6 hiilidioksiditonniin ja kolminkertaistuu 16,8 hiilidioksiditonniin.

Taulukko 6. Sähkökone vertailu.



Vertailun pohjalta nähdään, että vuokrauskustannus on 6600 euroa edullisempi diesel vaihtoehdolle. Toisaalta taas energiakustannukset ovat kuvatussa tilanteessa 1800 euroa matalammat sähkökoneen eduksi. Päästöt ovat luonnollisesti matalammat sähkökoneen kohdalla. Tuloksesta voidaan vetää johtopäätös, että tarpeeksi korkeilla käyttöasteilla sähkökone käy loppupeleissä halvemmaksi kuin dieselkäyttöinen kone, kunhan käyttöasteet ylittävät kuukausittain maksettavan korkeamman vuokraushinnan.

5.1.1 Käytettävyys

Laadullisesti sähkökoneen ja dieselkoneen välillä on vaikea nähdä eroavaisuuksia, kunhan käytetään tarpeeksi laadukkaita koneita. Aikataulullisesti tilanne on eri. Vertailunkohteina olleet pyöräkuormaajat ovat infratyömaan vakiokalustoa tavaroiden siirtelyä varten, eli käyttö on ajoittaista. Käyttöajan ollessa noin 3 tuntia, pystytään koneella tekemään keskeytymätöntä työtä, ja koneesta on hyötyä. Täyteen lataus kestää 230 V pistokkeella kestää noin 7 tuntia. Verraten dieselmoottoriseen koneeseen, jossa tankki kestää kokopäivän, ilman

käyttökatkoja. Jos töitä tehtäisiin sähkökuormaajalla kokopäiväisesti, pitäisi niitä olla työmaalla vähintään kolme, mikä nostaisi kustannuksia suuresti.

Jos työmaat halutaan sähköistää myös kaivinkoneiden osalta, tulee akkuteknologian kehittyä. Ratkaisuna voisi esimerkiksi toimia teoriaosuudessa käsitellyt vaihdettavat akut tai suuremmat akut, mutta kehitystyö on kesken.

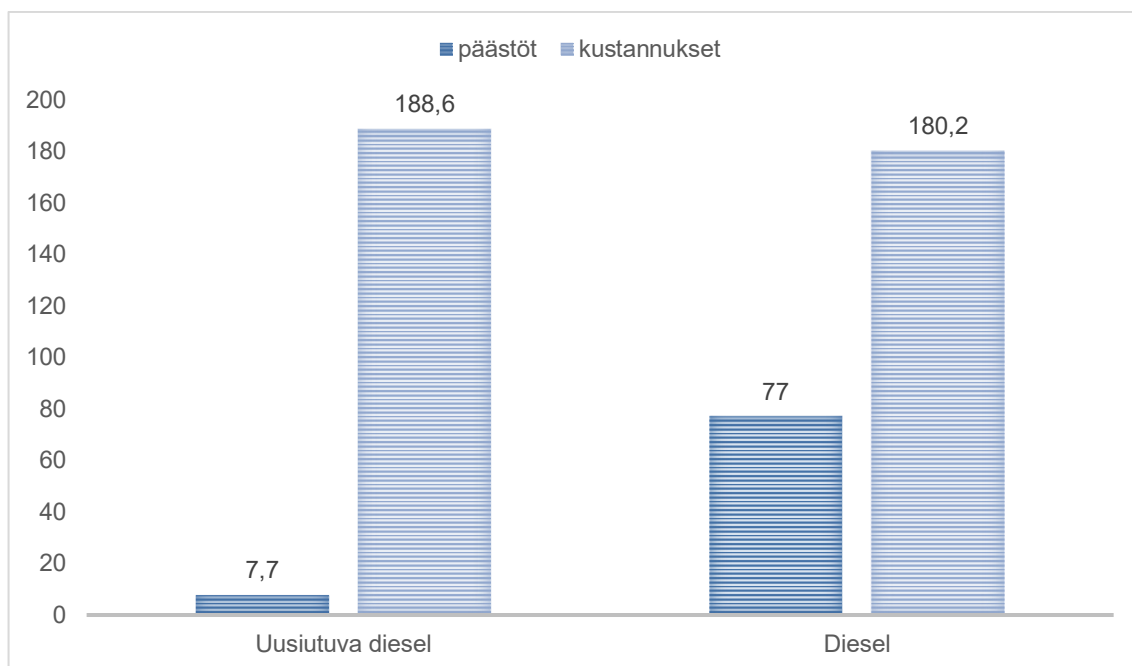
Toiseksi ongelmaksi nousee sähkön riittävyys. Yksittäinen kone ei vaadi työmaalle välttämättä erityisjärjestelyitä latauspaikkojen suhteen. Tulevaisuuden osalta asia tulee mutkistumaan, sillä sähköistymisen jatkuessa, kasvaa tarvittavan energian määrä. Käyttöliittymiltä tullaan vaatimaan paljon sähköä, jos työmaalla on esimerkiksi kolme 20-tonnista kaivinkonetta.

Kustannusten suhteen tilanne tulee olemaan luultavasti kuvatusen kaltainen, eli ostohinta on korkeampi, mutta käytetyn energian hinta tasoittaa tilannetta.

5.2 Uusiutuva diesel

Hiilidioksidipäästöjen ja kustannusten laskelmat löytyvät liitteestä 4. Uusiutuvan dieselin ja dieselin vertailu nähdään taulukossa 7. Dieselin kustannukset ovat 180 156 euroa ja päästöt ovat 77 t CO₂e. Uusiutuvan dieselin kustannukset ovat 4.3 % suuremmat, mutta päästöt ovat 90 % pienemmät.

Taulukko 7. Uusiutuva diesel vertailu



5.2.1 Käytettävyys

Uusiutuvan dieselin hyvä puoli on se, että se soveltuu tankattavaksi kaikkiin dieselmoottoihin ilman muutostoimenpiteitä. varastoinnissa työmaalla ei pitäisi olla mitään eroa, eli johtopäätöksenä voidaan vetää, ettei vaikutuksia laatuun tai aikatauluun ole olemassa. Ongelmat kietoutuvat uusiutuvan dieselin riittävyteen. Erilaisia liikennepolttoaineita kuluu koko maailmassa noin 320 kertaa niin paljon, kuin nykyisin syntyy uusiutuvaa dieseliä. Pelkästään maailman lentoliikenteen polttoaineen kulutus ennen koronaa oli yli 30 kertaa nykyisen uusiutuvan dieselin tuotannon suuruista. Arvioiden mukaan raaka-ainepotentiaaliksi arvioidaan vuoteen 2030 mennessä noin 40 miljoonaa tonnia. On kuitenkin todettava, että uusiutuvan dieselin eteen tehdään merkittävää tutkimusta, jotta raaka-ainepohjaa ja riittävyttä saataisiin lisättyä.

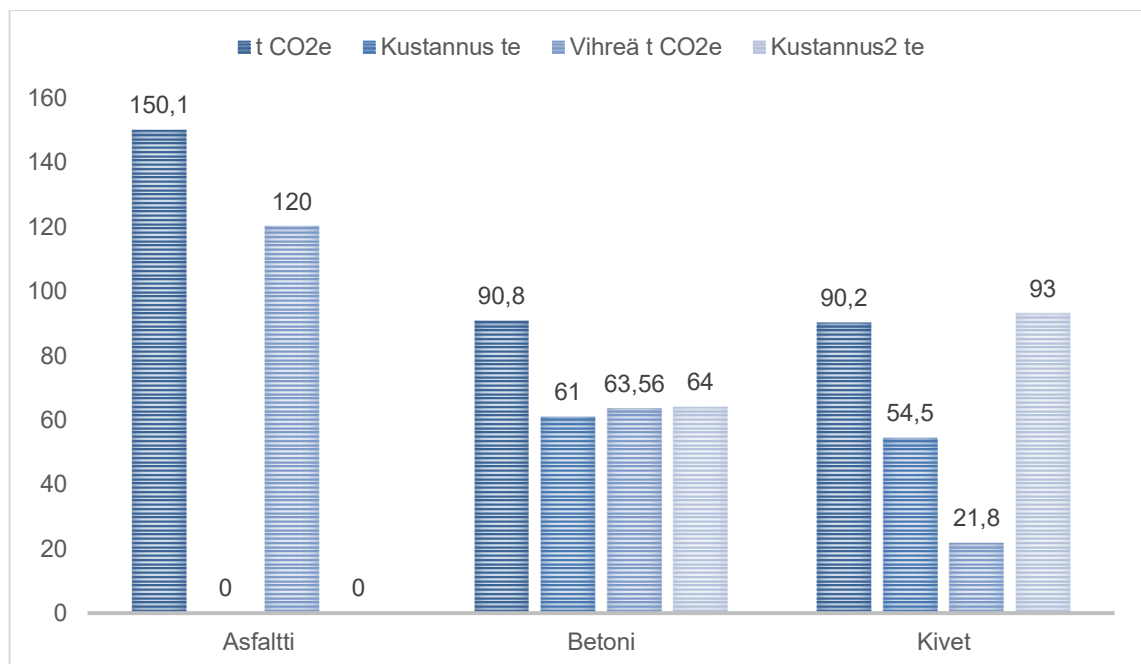
Uusiutuvan dieselin lisäksi vaihtoehtoisia energiavaihtoehtoja ovat biokaasu ja vety. Biokaasun on arvioitu vähentävän hiilidioksidipäästöjä noin 90 prosenttia ja vedyn 100 prosenttia, jos se tuotetaan päästöttömällä sähköllä. Kyseisiä

käyttövoimia omaavia koneita ei Suomen markkinoilta vielä löydy, joten niitä ei voitu nostaa mukaan opinnäytetyöhön.

5.3 Materiaalit

Hiilidioksidipäästöjen ja kustannusten laskelmat löytyvät liitteestä 5. Taulukosta 8 nähdään asfaltin, betonin ja katukivien päästö- ja kustannuserot. Asfaltin kohdalla kustannuksia ei ollut saatavilla, mutta päästöjen voidaan sanoa vähentyneen 17,9 hiilidioksiditonnia. Betonin päästöt ovat vähentyneet 27,2 t CO₂e, kun samaan aikaan kustannukset ovat nousseet 5 prosenttia 61000 eurosta 64000 euroon. Katukivien päästöt ovat vähentyneet 76 prosenttia 90,2 t CO₂e:sta 21,8 t CO₂e:n. Kustannukset ovat nousseet 41 prosenttia 54500 eurosta 93000 euroon.

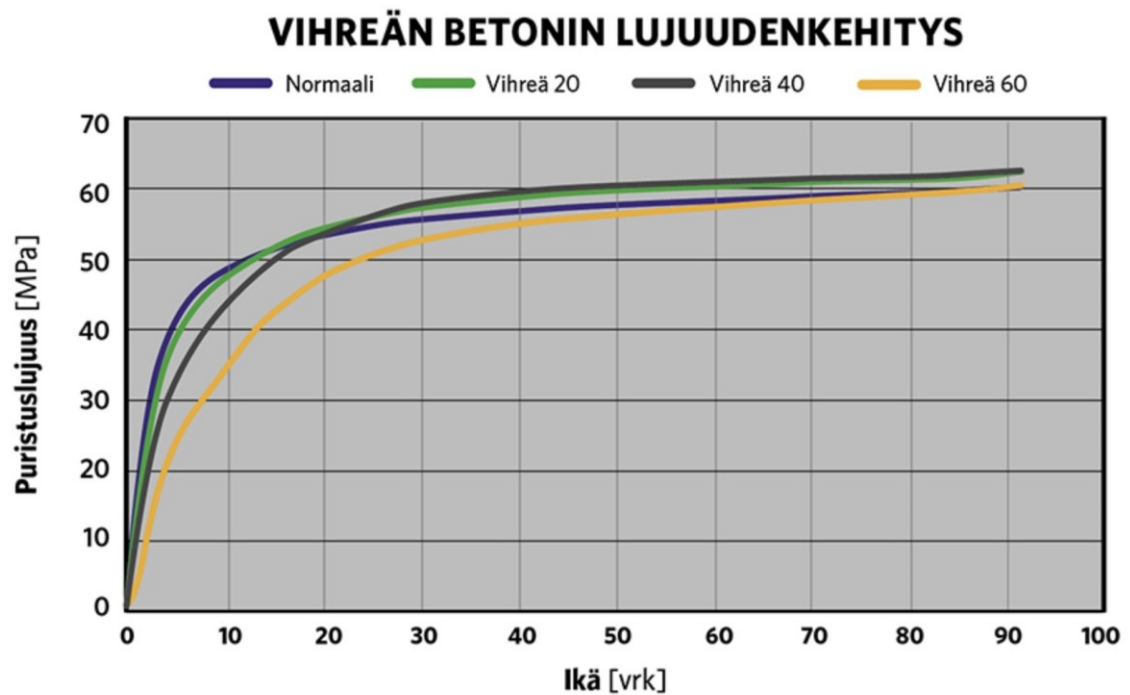
Taulukko 8. Materiaalivertailu.



5.3.1 Käytettävyys

Vihreämpi vaihtoehto materiaalien kohdalla ei vaikuta tuotteen laatuun. Vihreä betoni saattaa olla loppulujuudeltaan jopa parempi kuin normaali vaihtoehto. Aikataulun kohdalla tilanne on hieman erilainen. Vihreä asfaltti tai vihreämmät katuriepat eivät vaikuta työmaan aikatauluun, mutta vihreämmän betonin kohdalla aikataulua mutkistaa pidempi lujuudenkehitys. Kuvalla viisi demonstroidaan normaalin betonin ja vihreän betonin lujuudenkehitystä. Vaihtoehtoina ovat vihreä 20, vihreä 40 ja vihreä 60, luku kuvaa, kuinka paljon vaihtoehdolla on mahdollista laskea hiilidioksidipäästöjä. Kuvasta nähdään, että mitä enemmän betonissa on vaihtoehtoista sideainetta, sitä enemmän lujuudenkehitys hidastuu. Vihreä 20 ja 40 etenevät suhteellisen samalla linjalla aina 20 päivään saakka, kunnes lujuudenkehitys jopa nopeutuu normaaliin betoniin nähden. Vihreä 60 kehittyy muita hitaammin, kunnes lopulta 60 vuorokauden jälkeen saavuttaa normaalin betonin.

Hitaampi lujuudenkehitys voi olla ongelmallista työmaalle, jossa työmaan kehitys on kiinni valettavan kohteen puristuslujuuden kehittymisestä. Hitaamman kuivumisajan suoria ja epäsuoria kustannuksia on vaikea ottaa laskennassa huomioon, koska on aina tilannekohtaista, kuinka paljon se vaikuttaa työmaan valmistumisaikaan. Hitaamman lujuuskehityksen kanssa on mahdollista toimia, kunhan se osataan ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa.

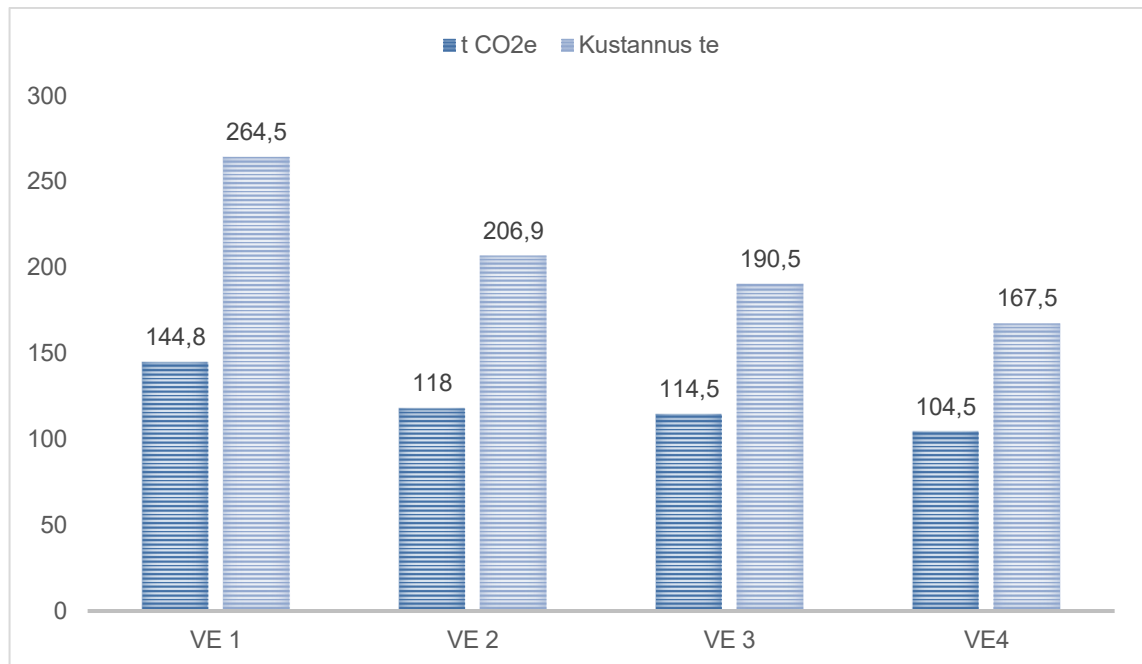


Kuva 5. Betonin lujuudenkehitys.

5.4 Kuljetukset

Hiilidioksidipäästöjen ja kustannusten laskelmat löytyvät liitteestä 6. Taulukosta 9 nähdään kuljetusten laskennan tulokset. Vaihtoehto 1 on päästöiltään 144,8 tuhatta hiilidioksidiekvivalenttia ja kustannuksiltaan 264,5 tuhatta euroa. Vaihtoehtojen 2 päästöt ovat 118 tuhatta hiilidioksidiekvivalenttia ja kustannukset 206,9 tuhatta euroa. Vaihtoehtojen 3 päästöt ovat 114,5 tuhatta hiilidioksidiekvivalenttia ja kustannukset 190,5 tuhatta euroa. Vaihtoehtojen 4 päästöt ovat 104,5 tuhatta hiilidioksidiekvivalenttia ja kustannukset ovat 167,5 tuhatta euroa.

Taulukko 9. Kuljetusten vertailu.



Tuloksista nähdään, että vaihtoehtojen välillä on selkeä ero sekä päästöissä että kustannuksissa. Vaihtoehdon 1 ja 2 välillä on selkein ero molempien mittausten kohdalla, jonka jälkeen kehitys on tasaisempaa. Suurimman eron ensimmäisen vaihtoehdon kohdalla muodostaa 21 kilometrin pois kuljetetun maan kustannuksia ja päästöjä nostava vaikutus. Toisen vaihtoehdon päästöjä laskeva vaikutus on uusiomateriaali, joka laskettiin työssä hiilineutraaliksi materiaaliksi. Betoroc-betonimurskeesta voitaisiin käyttää jopa hiilinegatiivista kerrointa, eli tuote on sekä hiilinegatiivinen että halvempi verrattuna normaaliin murskeeseen. Vaihtoehdoissa kolme ja neljä tulokset olivat luonnollisesti parempia, koska käytetty neitseellinen materiaali ja kuljetettu energiamäärä on pienempi. Toisin sanoen vaihtoehtojen päästöt ja kustannukset laskevat sitä mukaan, mitä vähemmän vaihtoehdon kohdalla käytetään energiaa ja neitseellistä materiaalia.

Vaihtoehdoissa 2,3 ja 4 on pienet erot, koska käytetty esimerkki määrä on suhteellisen pieni. Luonnollisesti erot olisivat kasvaneet suuremmiksi, jos 3000m³tr:n määrää olisi nostettu. Kuitenkin tuloksista nähdään ero, mikä massataloudella voidaan saada aikaan kustannusten ja päästöjen osalta.

5.4.1 Käytettävyys

Toteutuksen suhteen vaihtoehto 1 on helpoin, koska siinä on vähiten toteutettavia toimia. Maan poistovienti pidentää aikataulua verrattuna muihin vaihtoehtoihin, joskin laadullisesti ongelmia ei lähtökohtaisesti ole. Vaihtoehdossa kaksi toteutus toimii kuten ensimmäisessä, tosin uusiomateriaalin kanssa pitää olla tarkkana, että kaikki tulee rakenteeseen. Hieman suurempi asia on mara-asetus, mikä pitää ottaa huomioon hanketta suunniteltaessa.

Vaihtoehdossa 3 maan varastointi aiheuttaa lisätoimia. Ensinnäkin on harvinaista, että kaupunkialueilla maa saataisiin varastoitua. Jos se kuitenkin onnistuu, tulee ottaa huomioon jätelaki. Pilaantumaton ylijäämämaata ei luokitella jätteeksi, jos hyödyntäminen on varmaa ja suunnitelmallista, ilman merkittäviä muuntamistoimia joko samassa kohteessa tai muualla rakentamisessa. Jos maa-aines joudutaan luokittelemaan jätteeksi, tulee hakea ympäristölupaa hyvissä ajoin. Kun luvat ovat kunnossa ja materiaali on tarkoituksellista kierrättää rakenteeseen, tulee sen koostumusta seurata kaivettaessa tarkasti. Esimerkiksi pengertäytettä koskee määritelmä, jonka mukaan materiaaliksi kelpaa hiekka tai sitä karkeampirakenteinen tiivistettävissä oleva materiaali. Toisena muutostekijänä on varastoitava materiaali, mitä varten tarvitaan ylimääräinen työkone. Asia pitää ottaa huomioon laskennassa ja varata ajanjaksolle esimerkiksi suurempi pyöräkuormaaja tai pyrkiä käyttämään mahdollista pyöräalusteista kaivinkonetta.

Samoin kuin vaihtoehdossa kolme, on suhteellisen harvinaista, että maa saataisiin käytettyä suoraan rakenteessa. Toki työmaita voitaisiin suunnitella kyseisen tavan mukaisesti, mutta se olisi suoraan aikataulusta pois. Esimerkin mukainen keino vaatii kaksi erillistä kaivuu kohdetta, jossa vaiheet täsmäivät täydellisesti. Huomattavasti todennäköisempi ja helpompi vaihtoehto on lähistöllä sijaitseva työmaa, jossa tarvitaan maa-ainesta. Tämän vuoksi maa-ainesten optimointi työmaiden välillä on erityisen tärkeää.

5.5 Tulosten vertailu

Tulosten yhteenvedon laskenta löytyy liitteestä 7. Kaaviosta 10 nähdään yhteen vedettynä laskennan tulokset. Kuvassa toimille on laskettu päästövähennyspotentiaali euromääräisesti, eli kuinka paljon potentiaalinen säästetty hiilidioksiditonni on maksanut euromääräisesti.

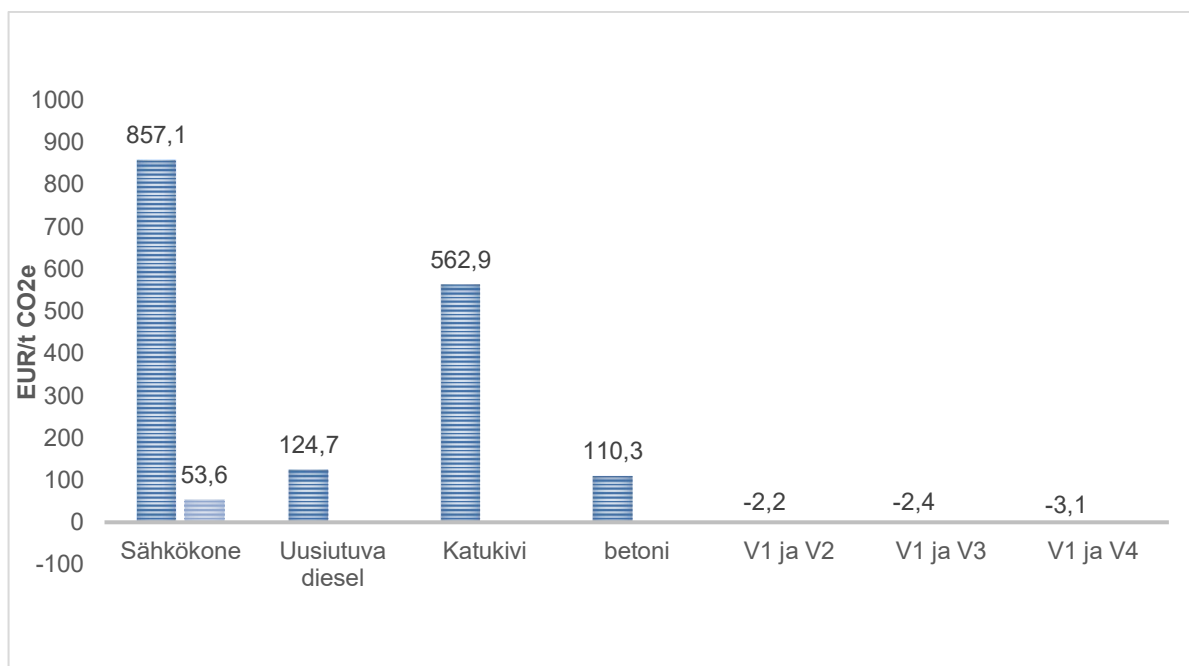
Kuljetusten kohdalla vaihtoehtoja vertailtiin vaihtoehto ykköseen, jonka tuloksena saatiin päästövähennyspotentiaali toiselle, kolmannelle ja neljännelle vaihtoehdolle. Kuljetusvaihtoehto neljä omaa määrällisesti parhaimman päästövähennyspotentiaalin, kun rahaa säästyy 3100 euroa per tuhat hiilidioksidiekvivalenttia. Kolmannen vaihtoehdon tulos on toisena säästään 1900 euroa per tuhat hiilidioksidiekvivalenttia ja toinen vaihtoehto kolmantena säästään 1300 euroa per tuhat hiilidioksidiekvivalenttia.

Sähkökoneen 40 kWh päivittäinen käyttömäärä nousee korkeimmaksi hinnaltaan, kun tuhannen hiilidioksidiekvivalentin säästö maksaa 857,1 euroa. Kuvioon on laskettu mukaan myös esimerkin mukainen trendi, jolle hinnaksi tulee huomattavasti alhaisempi 53,6 euroa per hiilidioksidiekvivalentti. Eli parhaimmassa tapauksessa sähkökone olisi ollut kuljetusten jälkeen joukon paras toimi määrällisesti. Uusiutuvan dieselin kohdalla päästövähennystehokkuus on 124,7 euroa per tuhat hiilidioksidiekvivalenttia.

Katukivien tuominen Kiinasta kustantaa niin vähän, että päästövähennystoimenpiteen hinta nousee 562,9 euroon per hiilidioksidiekvivalentti. Betonin kohdalla hinta on noin viidesosa katukivestä, 110,3 e/t CO₂e.

Jos tuotteita vertaa päästökaupan 80,10e/t CO₂e, listalta nousee paremmaksi kuljetukset ja sähkökoneen ihannetapaus.

Taulukko 10. Laskennan tulokset yhteen vedettynä.



Lukuja katsomalla voidaan vetää johtopäätös, että joukosta kuljetukset ovat monessa suhteessa paras toimi. Kuljetusten esimerkki pohjautuu massanhallintaa, mikä pitäisi olla määriteltynä jo suunnitteluvaiheessa. Energiavaihtoehtoista uusiutuva diesel on helppo ja tällä hetkellä oikeastaan ainoa vaihtoehto suurempien koneiden kohdalla vähentää päästöjä. Sähkökone voi tietyllä käyttömäärällä päihittää uusiutuvan dieselin, jos käyttömäärät ovat korkeat. Hieman ongelmallisesti useiden sähkökoneiden akut eivät salli korkeita käyttömääriä vielä. Betoni on hieman uusiutuvaa dieseliä tehokkaampi, vaikka molempien kustannukset nousevat esimerkissä 5 prosenttia, ja betonin päästövähennyspotentialiaali on 30 prosenttia uusiutuvalla dieselillä sen ollessa 90 prosenttia. Tämä aiheutuu siitä, että betonin päästöt suhteessa kustannuksiin on huomattavasti korkeammat kuin uusiutuvalla dieselillä.

Toimien käytettävyyttä on vaikea suhteuttaa laskennalliseen muotoon. Käytettävyyden suhteen (aikataulu, laatu, ongelmat) asfaltti ja katukivet ovat parhaimmat, koska tuotteista ei aiheudu työmaalle minkäänlaista vaivaa, eikä tuotteisiin liity ongelmia. Uusiutuva dieseliä on aikataulun ja laadun suhteen samassa kategoriassa katukivien ja betonin kanssa, mutta tuotteen saatavuus voi nousta

jossakin vaiheessa ongelmaksi. Vihreä betoni on laadun ja ongelmattomuuden suhteen normaalin betonin tasolla, mutta puristuslujuuden saavuttaminen voi nousta aikataulullisesti joissakin tapauksissa ongelmaksi. Sähköiseen koneeseen pätee sama kuin betoniin, eli aikataulullinen viivästys laskee käytettävyyttä.

Tulokset toimivat ainoastaan havainnollistavana esimerkkinä ja tarkoituksena oli esittää eroja tuotteiden välillä. Väylätyömaat ovat laaja kokonaisuus ja tarkempi tarkastelu vaatisi useamman skenaarion.

Teoreettisen viitekehyksen sekä vertailevan tutkimuksen pohjalta päästövähennykset voidaan kuitenkin jakaa kahteen kategoriaan, maksullisiin sekä maksuttomiin päästövähennystoimenpiteisiin. Tällä tarkoitetaan sitä, että joudutaanko päästövähennyksen toteuttamiseksi maksamaan ylimääräistä, jotta päästöjä saadaan laskettua. Maksuttomia keinoja ovat monet kiertotalouteen, materiaali-tehokkuuteen sekä energiatehokkuuteen sitoutuvat asiat. Kiertotaloudesta ja materiaali-tehokkuuden toimista voidaan mainita massatalouden hallinta sekä etusijaisjärjestys. Energiatehokkaita toimia ovat parempi projektinhallinta (tietomallit, työsuunnittelu, aikataulutus...), työntekijöiden paremmat toimintatavat sekä koneiden ja kuljetusmatkojen optimointi.

Maksullisiksi keinoiksi voidaan luokitella vihreämmät materiaalit, koneisiin liittyvät toimet (päästöluokat, lisälaitteet, vaihtoehtoiset energiamuodot) sekä uusiutuvat polttoaineet (diesel, kaasu). Vihreämpi sähkö on kalliimpaa verrattuna normaaliin sähkөөn ja sähköinen kone vertautuu kalliimmaksi hankintahinnaltaan kuin polttomoottorinen kone. Uusiomateriaalien käyttö hankkeella pohjautuu usein suunnittelussa tehtyihin toimiin ja sen hinnallinen vertailu voi olla vaikeaa.

Luvussa 2.2.2 käsiteltiin hankekilpailutusta ja kerrottiin suunniteltuja hankintakriteereitä. Vertailevassa tutkimuksessa oli mukana kaksi kohtaa Helsingin päästöttömät työmaat konseptista ja kolme kohtaa Väyläviraston miettimistä täsmällisistä hankekohteista. Helsingin päästöttömät työmaat konseptissa pisteitä sai sähkökoneista ja fossiilittoman polttoaineen käytöstä. Väylävirastolla matalalämpöasfaltista, katukivien valmistuksen ja kuljetuksen CO₂-päästöalituksesta

sekä sementin valmistuksen CO₂-päästöalituksesta. Jakoa käyttämällä huomataan, että toimet vaativat yritykseltä panostuksia rahallisesti.

6 Yhteenveto

Jos katsotaan puhtaasti tutkimuskysymystä, vastaus vertailevan tutkimuksen pohjalta olisi kohta 4, massatalouden hallinta. Tulosta ei voida pitää kauhean luotettavana, koska tutkimuksen kohteet olivat rajalliset ja kustannustietoja kerättiin lyhyeltä ajanjaksolta. Jo yksittäisen toimen sisäinen hajonta kustannuksissa saattaa olla todella laajaa ja muuttua kuukauden jälkeen aivan toiseksi. Jos kysymykseen haluttaisiin vakuuttava vastaus, pitäisi tutkimuksen kohteena olla jokainen päästövähennyskeino ja kustannustiedoista pitäisi olla huomattavasti laajempi otanta. Se olisi vaatinut huomattavasti laajempaa tutkimusta, joka ei välttämättä vastaa opinnäytetyön laajuutta.

Työ osoittaa kuitenkin sen, että päästövähennyskeinoja on saatavilla, toisaalta myös sen, että taikatemput päästöjen vähennyksen ja esimerkiksi kilpailuedun tavoittelun suhteen ovat vähissä. Toki mainittujen ”maksuttomien” toimien implementoiminen jokaiselle hankkeelle on tärkeää jo yleisen kilpailukyvyn kannalta ja näin pitkälti toimitaankin. Maksulliset keinot ovat yritykselle kalliimpia ja taloudellisesta näkökulmasta katsottuna tällä hetkellä perusteettomia. Tulevaisuuteen katsottaessa on kuitenkin tärkeää, että keinoista on kartoitettu toimijoita sekä mahdollisia hintaeroja. Vaatimuksia on jo käytössä/tulee käyttöön, joten on tärkeää pysyä tilanteen päällä.

Maksuttomat ja maksulliset keinot luovat kokonaisuuden, joka on ainakin teoreettisella tasolla suhteellisen yksinkertainen asia. Parhaimmaksi ja kustannustehokkaimmaksi keinoksi voidaan nostaa ihmisten asiantuntijuus, jota voidaan hyödyntää moneen. Tärkein kohde on hankekilpailutuksista vastaavat ihmiset, jotka tulevat tulevaisuudessa vastaamaan hankkeille asetettuihin vaatimuksiin. On tärkeää, että he hallitsevat kauttaaltaan päästövähennystoimenpiteet ja osaavat määrittää hankekohtaisesti parhaimmat toimet ja vastata hankekilpailutuksen vaatimuksiin mahdollisimman kustannustehokkaasti.

Työtä tehtäessä tuli nopeasti selville, että suuri vastuu päästöjen vähentämisessä on suunnittelulla. Monet suunnitteluratkaisut vaikuttavat rakentamisvaiheen mahdollisuuksiin vähentää päästöjä. On hankemallista kiinni, pääseekö YIT vaikuttamaan suunnitteluratkaisuihin. Jos pääsee, on mahdollisuudet laajat ja asiantuntijuutta tulee löytyä, jos ei, joudutaan tyytymään siinä tehtyihin ratkaisuihin.

Ainakin Helsingin kaupunki ja Väylävirasto ovat avoimesti käyneet markkina- vuoropuhelua harkitsemistaan keinoista, ja ne ovat osittain realisoituneet kokeilujen muodossa. Ko. luvussa on käyty läpi harkittuja keinoja, ja ne vaikuttavat selviltä ja suhteellisen helpoilta vastattavaksi. Väylävirasto peräänkuuluttaa enemmän asiantuntijuutta, kun taas Helsingin kaupungilla on selvät vähimmäisvaatimukset koneiden ja energian suhteen. Vaatimukset saattavat vaihdella jonkin verran, mutta kokonaisuudessaan tulevat pysymään samassa muodossaan, kun ne lopulta otetaan käyttöön.

On tärkeää, että vihreämpiin hankkeisiin siirrytään järkevästi ja vähitellen. Vihreämissä hankkeissa on kuitenkin monta muuttujaa, mihin yritysten pitää tottua. Yrityksenä YIT:n pitää pystyä muovaamaan väylärakennushankkeille malli, jonka avulla vihreät hankkeet pystytään toteuttamaan mahdollisimman päästötömästi, kustannustehokkaasti sekä vaivattomasti. Muutoksia hankkeille tulevat muodostamaan jo mainittujen lisäksi ainakin dokumentointi, mikä vaatii työnjohdolta lisäponnisteluita.

On myös mainittava, että ilmaston hyväksi tehdyt toimet ovat periaatteessa mitaamattoman arvokkaita tulevaisuutemme kannalta. Jokainen ilmaston hyväksi tehty toimi vähentää riskiä uhkakuvien toteutumiselta. Oli keinot maksullisia tai maksuttomia on tärkeää, että käsitellyjä toimia otetaan käyttöön, ja saadaan päästövähennyksiä aikaan.

Lähteet

- 1 Fortum. 2020. Mikä on hiilijalanjälki ja miten pienennät sitä? Verkkoaineisto. < <https://yhdedssa.fortum.fi/mika-on-hiilijalanjalki-ja-miten-pienennat-sita>>. 24.11.2020. Luettu 24.1.2023.
- 2 Ilmatieteen laitos. Kasvihuoneilmiö ja ilmakehän koostumus. Verkkoaineisto. Ilmasto-opas. <<https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/kasvihuoneilmiö-ja-ilmakehan-koostumus>>. Luettu 24.1.2023
- 3 Ilmatieteen laitos. Kasvihuonekaasut lämmittävät. Verkkoaineisto. Ilmasto-opas. < <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/kasvihuonekaasut-lammittavat>>. Luettu 24.1.2023
- 4 OptiWatti. 2019. Hiilijalanjälki-mitä siitä pitää tietää? Verkkoaineisto. <<https://www.optiwatti.fi/hiilijalanjalki-mita-siita-pitaisi-tietaa/>>. 5.3.2019. Luettu 27.1.2023
- 5 Siitonen, Sari. 2022. Miten hiilijalanjälki lasketaan? Verkkoaineisto. Openco2. <<https://www.openco2.net/fi/artikkelit/miten-hiilijalanjalki-lasketaan>>. 13.6.2022. Luettu 27.1.2023.
- 6 Kauko, Maiju; Semkin, Nikita; Lyyra, Satu; Tontti, Minna; Rantanen, Noora; Nousiainen, Aura; Kämäräinen, Kaisa & Patronen, Jenni. 2019. päästövähennystoimenpiteiden kustanustehokkuusarvioinnin menetelmät ja käyttökohteet. Helsinki: Valtioneuvoston Kanslia.
- 7 Kivi, Elias. 2021. Pohjanvahvistusmenetelmät Suomessa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Aaltodoc-tietokanta.
- 8 Energiavirasto. Päästökaupan huutokauppatulot 511 miljoonaa euroa. Verkkoaineisto. <<https://energiavirasto.fi/-/paastokaupan-huutokauppatulot-511-miljoonaa-euroa>>. 20.12.2022. Luettu 3.2.2023
- 9 Rakennusteollisuus. 2023. Infrarakentaminen. Verkkoaineisto. < <https://www.rt.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuvio-pankki/Infrarakentaminen/>>. 4.4.2023. Luettu 5.2.2023
- 10 Väylävirasto. 2022. Tieverkko. Verkkoaineisto. < <https://vayla.fi/vaylista/tieverkko>>. 4.8.2022. Luettu 5.2.2023.

- 11 Liikennevirasto. 2017. Infrahankkeiden EN-standardeja noudattava ympäristöarviointi. Kuopio: Kopiojyvä.
- 12 Kuittinen, Matti. 2019. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 13 Gaia Consulting Oy. 2020. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035. Loppuraportti. Helsinki: Rakennusteollisuus.
- 14 Ympäristöministeriö. Kansainvälinen ilmastopolitiikka. Verkkoaineisto. <<https://ym.fi/kansainvalinen-ilmastopolitiikka>>. Luettu 5.2.2023.
- 15 Ympäristöministeriö. Euroopan unionin ilmastopolitiikka. Verkkoaineisto. <<https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka>>. Luettu 5.2.2023.
- 16 Ympäristöministeriö. Suomen kansallinen ilmastopolitiikka. Verkkoaineisto. <<https://ym.fi/suomen-kansallinen-ilmastopolitiikka>>. Luettu 6.2.2023.
- 17 HNRy. Miten työmaa voi olla täysin fossiiliton? Verkkoaineisto. <<https://hnry.fi/paastottomat-tyomaat-kestavien-hankintojen-green-deal-sopimus/>>. Luettu 10.2.2023.
- 18 Green Building Council Finland. 2021. Kestävä infra. Verkkoaineisto. <<https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2021/09/Kestava-infra-maari-telma-2021-1.pdf>>. Luettu 15.2.2023.
- 19 Väylävirasto. 2023. Hankkeiden suunnittelun vaiheet. Verkkoaineisto. <<https://vayla.fi/suunnittelu-rakentaminen/hankkeiden-suunnittelu/hankkeiden-suunnittelun-vaiheet>>. Luettu 16.2.2023
- 20 Kuittinen, Matti; Le Roux, Simon. 2017. Vihreä julkinen rakentaminen. Ympäristöopas 2017. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 21 HNRy. Miten urakkakilpailutuksella voidaan edistää päästövähennyksiä ja resurssiviisautta. Verkkoaineisto. <<https://hnry.fi/miten-urakkakilpailutuksella-voidaan-edistaa-paastovahennyksia-ja-resurssiviisautta/>>. Luettu 18.2.2023.
- 22 Myllymäki, Tuula. 2014. Tieshanke geotekninen massatalouden hallinta. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Aaltodoc-tietokanta.
- 23 HNRy. Helsingin päästöttömän infratyömaan pilotti: Kulosaaren puistotie pyöräilykaduksi. Verkkoaineisto.

- https://business.vantaa.fi/sites/default/files/document/Helsingin_paastotoman_infratyomaan_pilotti.pdf>. Luettu 20.2.2023.
- 24 Motiva Oy. 2022. Väylärakentamisen vähähiilisiä kiertotalousratkaisuja tukevien hankintakriteerien koonti ja kehitystyö -hankkeen loppuraportti. Verkkoaineisto. https://www.motiva.fi/files/19878/Vaylarakentamisen_vahahiilisia_kiertotalousratkaisuja_tukevien_hankintakriteerien_koonti_ja_kehitystyö_hankkeen_loppuraportti_2022.pdf>. 14.4.2022. Luettu 22.2.2023.
- 25 Euroopan parlamentti. 2015. Mitä kiertotalous on ja miksi sillä on merkitystä. Verkkoaineisto. < https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/economy/20151201STO05603/mita-kiertotalous-on-ja-miksi-silla-on-merkitysta?&at_campaign=20234-Economy&at_medium=Google_Ads&at_platform=Search&at_creation=RSA&at_goal=TR_G&at_audience=kiertotalous&at_topic=Circular_Economy&at_location=FI&gclid=Cj0KCQjwu-KiBhCsARIsAPztUF387YUWkg44yU-Sl-XltxXz5HuDJ5SiuRVDqp9pgu4jTZWCJCG3J6joaAvj2EALw_wcB>. 5.4.2023. Luettu 28.1.2023.
- 26 26 Energiavirasto. Energiatehokkuus. Verkkoaineisto. < <https://energiavirasto.fi/energiatehokkuus>>. Luettu 1.2.2023.
- 27 Huomo, Reetta; Juvonen, Hanna-Mari. 2021. Ilmastoviisaalla suunnitellulla voidaan vähentää lähes kolmasosa urakan aikaisista päästöistä. Verkkoaineisto. < <https://helsinginilmastoteot.fi/ilmastoviisaalla-suunnitellulla-voidaan-vahentaa-lahes-kolmasosa-urakan-paastoista/>>. 7.4.2021. Luettu 20.2.2023.
- 28 Tilastokeskus. 2021. Mineraalien ja maa-ainesten louhinta kasvatti kotimaista materiaalien. Verkkoaineisto. < https://www.stat.fi/til/kanma/2020/kanma_2020_2021-11-18_tie_001_fi.html>. 18.11.2021. Luettu 1.3.2023.
- 29 The sustainabilist. 2020. Samar Hamad. Is it affordable to build green?. Verkkoaineisto. < <https://thesustainabilist.ae/is-it-affordable-to-build-green/>>. 6.6.2023. Luettu 20.2.2023.
- 30 CircHubs. 2018. Maa- ja kiviainekset. Verkkoaineisto. < <https://circ-hubs.fi/tietopankki/maa-ja-kiviainekset/>>. 5.3.2018. Luettu 7.2.2023.
- 31 Infraryl. 2022. 21100 suodatinrakenteet. Rakennustieto Oy.
- 32 2019. Infrarakentamisen jätehuolto ja materiaalitehokkuus. RT103063. Rakennustieto Oy.

- 33 Rudus. Vihreä betoni. Verkkoaineisto. <https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/vihrea-betoni>>. Luettu 2.3.2023.
- 34 Räisänen, Perttu. 2023. SSAB lisää kierroksia terästuotannon päästöjen vähentämisessä – Yhtiö tavoittelee liki miljardin euron tulosparannusta. Arvopaperi. Verkkoaineisto. <https://www.arvopaperi.fi/uutiset/ssab-lisaa-kierroksia-terastuotannon-paastojen-vahentamisessa-yhtio-tavoittelee-liki-miljardin-euron-tulosparannusta/ee970380-25fb-4482-a8ff-b1d401cb3f22>>. 29.3.2023. Luettu 2.3.2023.
- 35 Väänänen, Sara; Thompson, Liisa-Maija. Mitä tarkoitetaan vihreällä asfaltilla. Suomen tieyhdistys. Verkkoaineisto. <https://www.tieyhdistys.fi/tie-jalliikenne/artikkelit/mita-tarkoitetaan-vihrealla-asfaltilla/>>. Luettu 4.2.2023.
- 36 Forsman, Juha; Dettenborn, Taavi; Suikkanen, Tuomas; Harju, Lari; Järkkä, Heidi; Kivimäki, Juha; Teittinen, Tuuli; Koivulahti, Marjo; Lahtinen, Pentti. 2020. UUSIOMATERIAALIT KAUPUNKIEN INFRARAKENTAMISSESSA - KÄSIKIRJA. Uuma3-hanke. Ramboll: Espoo
- 37 Tuusjärvi, Antti. 2021. ympäristövaikutusten kartoitus ja päästöjen vähentäminen infrahankkeessa. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 38 Dieselnet. EU: nonroad engines. Verkkoaineisto. <https://dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>. Luettu 17.2.2023.
- 39 Markkanen, Johanna; Lauhkonen, Arttu. 2021. Työkoneiden päästöjen perusennuste ja sähköistymisen vaikutus päästöihin. VTT. Helsinki: Ympäristöministeriö
- 40 Dieselnet. Cars and light trucks. Verkkoaineisto. <https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php>. Luettu 19.2.2023.
- 41 Marcia Doyle. 2021. Meeting Customer Demands, This Cat Dealer Opted to Produce Its Own Electric Excavator. Equipment World. Verkkoaineisto. <https://www.equipmentworld.com/technology/article/15065356/cat-dealer-produces-its-own-electric-excavator>. 4.5.2021. Luettu 22.2.2023.
- 42 Staad. Doosan DX300LC. Verkkoaineisto. <https://www.staad-group.com/new/electric/doosan-dx300lc-electric/>. Luettu 22.2.2023.
- 43 Doosan. Electric excavator system. Verkkoaineisto. https://www.doosan-infracore.ru/assets/files/pdf/en_electiric-excavator.pdf. Luettu 22.2.2023.
- 44 Scania. Sähkökuorma-auto. Verkkoaineisto. <https://www.scania.com/fi/fi/BEV.html>. Luettu 23.2.2023

- 45 Volvo. 2022. Volvon raskas sähkökuorma-auto testissä: loistotulokset sekä toimintamatkassa että energiankulutuksessa. Verkkoaineisto. <https://www.volvotrucks.fi/fi-fi/news/press-releases/2022/jan/volvos-heavy-duty-electric-truck-is-put-to-the-test-excels-in-both-range-and-energy-efficiency.html>. 1.4.2022. Luettu 23.2.2023.
- 46 Motiva. 2020. Polttonennoautot. Verkkoaineisto. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/polttonennoautot. 4.8.2020. Luettu 24.2.2023.
- 47 JCB. 2020. JCB LEADS THE WAY WITH FIRST HYDROGEN FUELLED EXCAVATOR. Verkkoaineisto. <https://www.jcb.com/en-gb/news/2020/07/jcb-leads-the-way-with-first-hydrogen-fuelled-excavator>. 1.7.2023. Luettu 24.2.2023.
- 48 Hankintakeino. 2022. Miten julkisilla hankinnoilla voidaan edistää sähköisten työkonien käyttöönottoa rakennustyömailla? Verkkoaineisto. <https://www.hankintakeino.fi/fi/ajankohtaista/blogikirjoitukset/miten-julkisilla-hankinnoilla-voidaan-edistaa-sahkoisten>. 31.8.2022. Luettu 25.2.2023.
- 49 Lähdetluoma, Markku. 2022. Raskaan liikenteen sähköistyminen on alkanut – sähkökuorma-auton ohjaamossa voi lähes kuulla linnun laulun. Yle. <<https://yle.fi/a/3-12480266>>. 9.6.2022. Luettu 25.2.2023.
- 50 Motiva. 2020. Uusiutuva diesel. Verkkoaineisto. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/energialahdet/uusiutuva_diesel. 2.3.2022. Luettu 26.2.2023.
- 51 Motiva. 2022. Biokaasu. Verkkoaineisto. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/biokaasu. 6.8.2022. Luettu 26.2.2023.
- 52 Gasum. 2023. Maa- ja biokaasun hinnat tankkausasemilla. Verkkoaineisto. <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tankkaushinnat/>. Luettu 26.2.2023.
- 53 cleanfi. 2023. Polttoaineiden hinnat ja ennuste tulevasta hinnasta (per litra). Verkkoaineisto. http://cleanfi.fi/data/documents/dieselin_hinnan_muodostuminen.pdf. 7.5.2023. Luettu 7.5.2023.
- 54 Tekes. 2010, Tietomallit ja koneohjaus katuhankkeissa. Väliraportti. Oulun kaupunki; Tampereen kaupunki.
- 55 Pitenius. Tommi. 2019. 3D-koneohjaus alkaa olla arkea maansiirtokoneissa. Nettikone. Verkkoaineisto.

- https://www.nettikone.com/artikkeli/3d_koneohjaus_alkaa_olla_arkea_maansiirtokoneissa>. 24.6.2019. Luettu 27.2.2023.
- 56 Motiva. 2022. Materiaalitehokkuus. Verkkoaineisto. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/materiaalitehokkuus>. 8.9.2023. Luettu 28.2.2023.
- 57 Turpeinen, Sampsa. 2018. Infrarakennustyömaan mittari. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Trepo-Tampereen yliopiston julkaisuarkisto.
- 58 L&T. Rakennustyömaa kierrätys ja jätehuolto. Verkkoaineisto. <https://www.lt.fi/fi/yritysasiakkaat/palvelut/kierratyspalvelut-ja-jatehuolto/kierratys-ja-jatehuolto/rakennustyomaan-kierratys-ja-jatehuolto>. Luettu 1.3.2023.
- 59 Kempainen, Laura. RAKENNUSLIIKKEIDEN 2020 KIERRÄTYSTAVOITE 70%. Verkkoaineisto. L&T. < https://www.oamk.fi/c5/fi-les/2615/1194/4523/Laura_Kempainen_LT_Rakennusliikkeiden_kierratystavoite_2020.pdf>. Luettu 1.3.2023
- 60 One Click LCA. Verkkoaineisto. < https://www.oneclicklca.com/fi/?utm_source=google&utm_medium=paidsearch&utm_campaign=FI&utm_content=brand&gclid=Cj0KCQjwu-KiBhCsARIsAPztUF2V-67_2ZMqQ0GmCrE0rCTliA3rkCVIJYgma0tmrfsWkIMX_qXMOFwaAk-ZeEALw_wcB>. Luettu 12.2.2023.
- 61 Espoo. Kipparinkatu, Merenkulkijankatu, Kipparintori, Kipparinaukio, Kipparinpuisto. Verkkoaineisto. < <https://www.espoo.fi/fi/hankkeet/kipparinkatu-merenkulkijankatu-kipparintori-kipparinaukio-kipparinpuisto>>. Luettu 5.3.2023.
- 62 Väylävirasto. 2022. Raaseporin Mustion uusi Linderintie avautuu liikenteelle joulukuun alussa. Verkkoaineisto. < <https://vayla.fi/-/raaseporin-mustion-uusi-linderintie-avautuu-liikenteelle-joulukuun-alussa>>. 5.12.2022. Luettu 5.3.2023.
- 63 Cramo. Verkkoaineisto. < https://www.cramo.fi/fi/category/maanrakennuskoneet_pyorakuormaajat_pyorakuormaajat-nelipyoraohjatut--4ws-/product/pyorakuormaaja-sahkokayttoinen--5tn-4wd-kramer5055e>. Luettu 5.3.2023.
- 64 Cramo Verkkoaineisto. < https://www.cramo.fi/fi/category/maanrakennuskoneet_pyorakuormaajat_pyorakuormaajat-nelipyoraohjatut--4ws-/product/pyorakuormaaja--4-tn-kramer5065>. Luettu 5.3.2023.

- 65 Hälikkä, Juha; Matilainen Teemu. 2020. Hämeentien CO2-päästölaskenta ja ilmastoviisaat tarkastelut. Kaupunkiympäristön aineistoja 2020:30. Helsinki: Helsingin Kaupunki.
- 66 Työterveyslaitos. 2022. Dieselöljy. Verkkoaineisto. < <https://ova.ttl.fi/dieseloljy>>. 21.4.2022. Luettu 6.3.2023.
- 67 Energiavirasto. Sähkön hintatilastot. Verkkoaineisto. < <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>>. Luettu 7.3.2023.
- 68 Caruna. Sähkön siirron hinnat. Verkkoaineisto. < <https://caruna.fi/tuotteet-ja-palvelut/kotiin-ja-kiinteistoon/sahkonsiirron-hinnasto>>. Luettu 7.3.2023.
- 69 Autoalan tiedotuskeskus. Tilastot. Verkkoaineisto. < https://www.aut.fi/tilastot/verotus_hintakehitys_ja_liikennemenot/bensiinin_ja_dieselin_hintakehitys>. Luettu 7.3.2023.
- 70 Talonrakennusteollisuus RY. 2020. Rakennustöiden menekit 2020. Verkkoaineisto. Ratu. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 71 Kivimäki, Petri. 2018. Uusi keksintö vähentää dieselpolttoaineen kulutuksen puoleen – viikossa yksi työkone säästää jopa 800 litraa dieseliä. Yle. Verkkoaineisto. < <https://yle.fi/a/3-10011490>>. 8.18.2018. Luettu 9.3.2023.
- 72 Väylävirasto. 2022. Infrarakentamisen päästötietokanta. Verkkoaineisto. < <https://co2data.fi/infra/>>. 12.12.2022. Luettu 1.4.2023.
- 73 Rudus. Verkkoaineisto. <https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni>. Luettu 3.4.2023.
- 74 Rakennustieto. Verkkoaineisto. <https://www.rt.fi/globalassets/infra/jasenpalvelu/sahkoiset-julkaisut/tyomaakansio/massakertoimet.pdf>. Luettu 9.4.2023.
- 75 Rakennusalla toimiva materiaalin toimittaja. Puhelinkeskustelu 1.3.2023
- 76 Urakka-asiakirja YIT:n tietokannasta

Liite 1 Helsingin kaupungin päästötön työmaa pilotti

Helsingin kaupungin päästötön työmaa kilpailutus vähimmäisvaatimukset.

1. Urakoitsijalla on voimassa oleva kolmannen osapuolen todentama sertifioitu ympäristötoimintasuunnitelma (esim. RALA:n ympäristöjärjestelmäsertifikaatti tai vastaava) toiminnan ympäristövaikutusten pienentämiseksi ja raskaan kuljetuskaluston energiatehokkuuden pienentämiseksi, sekä rutiinit näiden seurannalle ja raportoinnille.
2. Työmaakoneiden tulee täyttää vähintään STAGE IV -luokan vaatimukset. Työmaakoneilla tarkoitetaan seuraavia:
 - • pyöräkuormaajat
 - • kaivukuormaajat
 - • pienkuormaajat
 - • pyöräalustaiset kaivukoneet
 - • tela-alustaiset kaivukoneet
 - • kurottajakuormaajat
 - • traktorit
 - • valssiyrät
 - • tiehöylät
 - • monitoimikoneet
 - • nosturit
 - • trukit
3. Urakoitsijan käyttämän raskaan kuljetuskaluston tulee täyttää vähintään EURO VI -luokan päästövaatimukset.
4. Kaikkien työkoneiden tulee olla joko sähköisiä tai niiden ja urakoitsijan käyttämän raskaan kuljetuskaluston käyttämän polttoaineen tulee olla ei-fossiilista alkuperää. Hyväksyttäviä (ei-fossiilisia) polttoaineita ovat biokaasu, vety, etanoli (esim. ED95) ja EN 19540 standardin mukainen uusiutuva HVO-diesel tai uusiutuva moottoripolttoöljy.
5. Työmaalla käytettävän sähkön tulee olla tuotettu uusiutuvilla energialähteillä ja sähkön alkuperästä tulee esittää todistus.
6. Työmaan lämmitystarpeet on toteutettava kaukolämmöllä, fossiilivapailta biopolttoaineilla tai uusiutuvilla energianlähteillä tuotetulla sähköllä.
7. Työmaan kaikkien pienkoneiden (teho ≤ 4 kW) tulee olla sähkökäyttöisiä.

Lisäksi kohteessa kallion irrotus suoritetaan joko kiilaamalla tai ns. etanadynamiitilla.

Urakoitsijan tulee laatia työmaan ympäristösuunnitelma ja hyväksyttää se rakennuttajalla ennen sopimuksen allekirjoittamista. Työmaan ympäristösuunnitelmassa määritellään toimintatavat, joiden avulla ehkäistään negatiivisten ympäristövaikutusten toteutuminen ja ohjataan työmaan toimintoja ympäristöystävälliseen toimintatapaan.

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

Liite 2 Väyläviraston mahdolliset keinot hankintaan

Motivan toteuttama tutkimus- ja kehitystyö vähähiilistä kiertotalousratkaisuista hankekilpailutukseen.

Vähähiilistä kiertotaloutta edistävät väylärakentamisen hankintakriteerit	Todentaminen
1. Uusiomateriaaliosaaminen maarakentamisessa Suunnittelijalla/rakennusurakan toteuttajalla tulee olla uusiomateriaaliosaamista. Esimerkiksi osaamista uusiomateriaalien käyttömahdollisuuksien arvioinnista ja uusiomateriaalirakenteiden suunnittelusta/toteutuksesta.	Referenssit
2. Kiertotalousosaaminen infrarakentamisessa Suunnittelijalla/rakennusurakan toteuttajalla tulee olla kiertotalousosaamista. Tarjoajalla on oltava suunnitelma kiertotalouden huomioinnista, esim siltarakenteissa tai ratarakenteissa.	Kuvaus siitä, miten yritys ottaa hankkeissa huomioon kiertotalouden mahdollisuudet.
3. Uusiomateriaalien käyttömahdollisuuksien selvittäminen Selvitys rakennuskohteessa hyödynnettävistä materiaaleista/massoista, uusiomateriaalien käyttömahdollisuuksista ja kohteesta poistettavista muualla hyödynnettävistä materiaaleista.	Suunnittelijan/urakoitsijan laatima selvitys
4. Kiertotalousselvitys Toimittajalta edellytetään tarkastelua hankkeen kiertotalousmahdollisuuksista. (uusiomateriaalien hyödyntämistä laajempi selvitys, ml. Kiertotalouden liiketoimintamallit, jakamistalouden tarjoamat mahdollisuudet) Vähimmäisvaatimus.	Suunnittelijan/urakoitsijan laatima selvitys
5. Ympäristösuunnitelma Urakoitsijalta edellytetään kuvausta ympäristösuunnitelmasta, joka sisältää tarkastelun kiertotalouden ja vähähiilisyden edistämismahdollisuuksista. Tarjouspyynnössä määritellään, mitä ympäristösuunnitelman tulee sisältää. Vähimmäisvaatimus/sopimusehto	Urakoitsija laatinut kyllä/ei
6. Urakassa tulee käyttää tilaajan olemassa olevat kivet tai kiviaines Urakkaohjelmaan täydennetään käytössä olevat vanhat esim. reuna- ja katukivet ja osoite, missä ne sijaitsevat. Vähimmäisvaatimus.	Urakoitsijan vakuutus
7. Uusiomateriaaliosuus kokonaisuutena tai tietyssä rakenteessa XX % Vähimmäisvaatimus xx % osuus tai pisteytys. (Käytännössä usein käytetään muodossa: Hankkeessa sallitaan uusiomateriaalien käyttö xx rakenteissa.)	Suunnittelijan/urakoitsijan laatima selvitys

Kuva 6. Motivan toteuttama tutkimus- ja kehitystyö vähähiilistä kiertotalousratkaisuista hankekilpailutukseen. Kohdat 1-7. (24).

8. Täsmällisempiä uusiomateriaalien käyttöä lisääviä materiaali- tai kohdekohtaisia kriteereitä:	
8.1. Purkubetonimurskeen uusiokäyttö Betonimurskeen käyttö tilaajan tai urakoitsijan materiaalista. Vähimmäisvaatimus	Urakoitsijan vakuutus
8.2. Rakennushankkeessa edellytetään sementin ja/tai runkoaineen korvaamista uusiomateriaaleilla. (esim infrabetonilaatoissa, betoniporsaisissa, betonista tehdyissä kiveyksissä) Vähimmäisvaatimus	Urakoitsijan vakuutus
8.3. Päällysteen uusiomateriaaliosuus Vähimmäisvaatimus xx % osuus tai pisteytys	Asfalttiaseman tuotantoraportit
8.4. Rakennusmateriaalin kierrätettävyyksivaatimus	Toimittajan vakuutus tai kuvaus, miten materiaali on kierrätettävissä.
9. Hiilijalanjäljen laskenta materiaaleille ja hankkeelle	
9.1. Rakennushankkeen hiilijalanjäljen laskenta Hankkeen suunnittelussa edellytetään hiilijalanjäljen laskentaa eri materiaalivalinnoille (uusiomateriaalit vrt. neutraaliset materiaalit) niiden valmistuksen ja kuljetusmatkojen aiheuttamat päästöt huomioiden. Vähimmäisvaatimus	Tilaajan määrittämän laskentamallin käyttäminen.
9.2. Rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen laskeminen/ilmoittaminen: Suunnittelijalta /urakoitsijalta edellytetään kohteessa käytettävien merkittävempien materiaalien valmistuksen ja kohteeseen kuljettamisen aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen laskentaa/ilmoittamista. Vähimmäisvaatimus tai pisteytys	Ympäristötuoteseloste tai tilaajan määrittelemä tuoteryhmän laskutapa

Kuva 7. Motivan toteuttama tutkimus- ja kehitystyö vähähiilistä kiertotalousratkaisuista hankekilpailutukseen. Kohdat 8–9. (24).

10. Täsmällisempiä materiaaliikohtaisia kriteereitä tai vähimmäisvaatimuksia rakennusmateriaalien hiilijalanjäljelle:	
10.1 Urakoitsijaa edellytetään käyttämään matalalämpöasfalttia (WMA).	Asfalttiaseman tuotantoraportti valmistuslämpötilasta.
10.2. Käytetyn suurlujuusteräksen valmistuksessa syntyneet päästöt tulee olla alle XX kg CO ₂ /teräskilo.	Standardin mukaan laadittu ympäristötuoteseloste EPD. (Urakoitsija on velvollinen pitämään kirjaa ja todistamaan tuotteen laatuominaisuudet ja ympäristö ympäristövaikutukset)
10.3. Käytetylle teräkselle tulee olla tehtynä tyyppin III EPD tarkastelu.	Standardin mukaan laadittu ympäristötuoteseloste EPD. (Urakoitsija on velvollinen pitämään kirjaa ja todistamaan tuotteen laatuominaisuudet ja ympäristö ympäristövaikutukset)
10.4. Sementin valmistuksen CO ₂ -päästöjen tulee alittaa XX kg CO ₂ /kg.	Standardin mukaan laadittu ympäristötuoteseloste EPD. (Urakoitsija on velvollinen pitämään kirjaa ja todistamaan tuotteen laatuominaisuudet ympäristöympäristövaikutukset)
10.5. Katukivien valmistuksen ja kuljetuksen CO ₂ -päästöjen tulee alittaa XX CO ₂ /kg.	Ympäristötuoteseloste tai tilaajan määrittelemä tuoteryhmän laskutapa
10.6. Vähähiilinen betoni BY-Vähähiilisyysluokitus 13.11.2021. Rakenteeseen valitaan betoni vähähiilisyysluokan mukaan.	Valmistajat laskevat BY:n laskurilla vähähiilisyysluokan.
10.7. Vähähiilinen syvästabiloinnin uusiosideaine Luokitus kehitteillä UUMA4-ohjelmassa.	Todentaminen kolmannen osapuolen verifioimalla EPD-ympäristöselosteella?
10.8. Edellytetään hiiltä sitovien materiaalien (kuten puurakenteet) käyttöä rakenteissa, joissa se mahdollista.	Urakoitsijan laatima kuvaus tai vakuutus.

Kuva 8. Motivan toteuttama tutkimus- ja kehitystyö vähähiilistä kiertotalous ratkaisuihin hankekilpailutukseen. Kohdat 10.1-10.8.. (24).

Vähähiilistä kiertotaloutta edistävät väylärakentamisen hankintakriteerit	Todentaminen
11. Dokumentaatio rakennuskohteessa käytetyistä materiaaleista Rakennusmateriaali-kohtainen tarkka dokumentaatio, esim materiaalin luokittelutiedot. Vähimmäisvaatimus/sopimusehto	Urakoitsijan vakuutus

Kuva 9. Motivan toteuttama tutkimus- ja kehitystyö vähähiilistä kiertotalous ratkaisuihin hankekilpailutukseen. Kohta 11. (24).

Vähähiilistä kiertotaloutta edistävät väylärakentamisen hankintakriteerit	Todentaminen
12. Ajoneuvojen ja työkoneiden kriteerit:	
12.1. Ajoneuvojen päästöluokat vaatimuksena (Euro -luokat): Vähentävät ajoneuvojen tuottamia haitallisia pakokaasupäästöjä joista merkittävimpänä hiukkaspäästöt. Eivät vähennä hiilidioksidipäästöjä. Voidaan käyttää vähimmäisvaatimuksena, laatupisteinä tai bonusperusteena. Yleensä käytetty vähimmäisvaatimuksena ja vuonna 2021 vaatimuksena esimerkiksi Euro IV – Euro VI.	Urakoitsijan toimittama kalustoluettelo ja työmaakokoukset
12.2 Työkoneiden päästöluokat vaatimuksena (Stage -luokat): Vähentävät työkoneiden tuottamia haitallisia pakokaasupäästöjä joista merkittävimpänä hiukkaspäästöt. Eivät vähennä hiilidioksidipäästöjä. Voidaan käyttää vähimmäisvaatimuksena, laatupisteinä tai bonusperusteena. Yleensä käytetty vähimmäisvaatimuksena ja vuonna 2021 vaatimuksena esimerkiksi Stage IIIB - Stage V.	Urakoitsijan toimittama kalustoluettelo ja työmaakokoukset
14. Fossiilivapaat käyttövoimat vaatimuksena: Vaatimus toteutuu tällä hetkellä pääosin nestemäisillä fossiilivapailla polttoaineilla (ns. uusiutuva diesel ja polttoöljy). Vähentävät kaluston hiilidioksidipäästöjä ja joiltain osin myös haitallisia pakokaasupäästöjä. Eivät pääosin edellytä investointeja uuteen kalustoon. Saatavuudessa alueellista eroa ja kalliimpaa kuin fossiiliset polttoaineet. Todentaminen haastavaa.	Urakoitsijan toimittama kalustoluettelo ja pistotarkastukset polttoaineen kuormakirjoista/ostotositteista.
15. Sähköisten koneiden edistäminen: Koneet eivät tuota suoria pakokaasupäästöjä tai kasvihuonekaasupäästöjä. Koneiden saatavuus vielä hyvin pientä ja painottuu kooltaan ja infrarakentamisessa suoritteiltaan pieneen kalustoon. Käytetty pisteytyksenä tai osana laajempaa fossiilivapauden vaatimusta.	Urakoitsijan toimittama kalustoluettelo ja työmaakokoukset
16. Kaasukäyttöisten koneiden ja ajoneuvojen edistäminen: Vähentää kaluston hiilidioksidipäästöjä ja joiltain osin myös haitallisia pakokaasupäästöjä. Edellyttää investointeja uuteen kalustoon ja saatavuus toistaiseksi työkoneissa hyvin pientä. Käytetty pisteytyksenä tai osana laajempaa fossiilivapauden vaatimusta.	Urakoitsijan toimittama kalustoluettelo ja työmaakokoukset
17. Työmaan sähkön ja lämmityksen fossiilivapaus: Vähentää toiminnan hiilidioksidipäästöjä ja haitallisia pakokaasupäästöjä. Toteutuu tällä hetkellä uusiutuvalla sähköllä ja fossiilivapailla nestemäisillä polttoaineilla. Polttoaineiden saatavuudessa alueellista vaihtelua.	Urakoitsijan toimittama todistus sähkön alkuperästä ja/tai pistotarkastukset polttoaineen kuormakirjoista/ostotositteista.

Kuva 10. Motivan toteuttama tutkimus- ja kehitystyö vähähiilisistä kiertotalous ratkaisuksista hankekilpailutukseen. Kohdat 12–17. (24).

Liite 3 Case-esimerkki 1 laskelmat

Kustannuksiin lasketaan mukaan koneiden vuokratustannukset ja energian käytöstä syntyvät kustannukset. Päästöihin lasketaan mukaan energian käytöstä syntyvät päästöt. Jotta päästöt ja kustannukset voidaan laskea yhtäläisesti, tarvitaan yhtäläinen kulutus. Sähkökoneen päivittäiseksi kulutukseksi arviointiin 40 kWh. Laskennallinen polttoaineenkulutus voidaan rinnastaa sähkönkulutukseen VTT:n kertoimella 262 g/kWh ja dieselin tiheyden avulla seuraavanlaisesti:

$$\frac{(40 \text{ kWh} \times 0.262 \frac{\text{g}}{\text{kWh}})}{0.80 \text{ kg/l}} = 13.1 \text{ l}$$

Tämän jälkeen voidaan muodostaa taulukko lähtöarvoista. Sähkön hintaan on sisällytetty pörssisähkön spot-hinta 2019–2021, veroluokka 1 ja sähkön siirto-hinta. Dieselin hintaan on sisällytetty hinta 2019–2021. Lähtöarvot ovat seuraavanlaiset.

Kone	Määrä	Kulutus	Kustannus vuokra	Kustannus energia
Kramer 5065	130 d, 6.5 kk	13.1 l/d	2957.49 e/kk	1.42 e/l
Kramer 5055e	130 d, 6.5 kk	40 kWh/d	3966 e/kk	11.3 c/kWh

Lähtöarvojen perusteella voidaan laskea vuokratustannukset seuraavanlaisesti:

$$\text{määrä (kk)} \times \text{kustannuskerroin (vuokra)}$$

Koneiden vuokrahinnat:

Dieselkone=19223 e

Sähkökone=257795 e

Energian hinta lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\text{määrä (d)} \times \text{kulutus} \times \text{kustannuskerroin (energia)}$$

Energian kustannukset:

Diesel=2418.26 e

Sähkö=644.8 e

Kustannukset summattuna

Diesel=19223 e + 2418.26 e=21642e

Sähkö=25779 e + 644.8 e=26423 e

Päästöt lasketaan One Click LCA:n avulla alla olevan kuvan mukaisesti. Kuvassa näkyy kulutettu diesel, päästökerroin sekä päästökertymä. Sähkökoneen kohdalla käytettiin päästötöntä sähköä, joten päästöjä ei ole.

The screenshot shows a software interface for environmental data management. At the top, there is a table with columns: Resurssi, Määrä, CO₂e, Kommentti, Littera, CESMM4, Kurinpito, and Talo EN. The table contains one row for Diesel, keskimääräinen, with a quantity of 1703 and a CO₂e value of 5,5t - 100%. A modal window titled 'Diesel' is open, displaying a warning: 'Varoitus: Suosittelemme rivin vaihtamista. Voit joko vaihtaa profiilin tai lisätä resurssin uudestaan.' Below the warning, there are sections for 'Datapisteen taustatiedot', 'Kuvaus', 'Tekniset ominaisuudet', and 'Ympäristöprofiili'. The 'Ympäristöprofiili' section contains the following data:

Global warming potential, direct emissions (kg CO ₂ e)	2.53
Ilmasto lämmittävä vaikutus (A1-A3) ennen paikallista korvausta	3.24 kg CO ₂ e / l
Sitoutunut biogeeninen hiili	0.0934 kg CO ₂ e / l
Vaikutusluokat (A1-A3)	Näytä
Q Metatiedot	+/- 28.35% variaatio tietojoukossa

Kuva 11. Dieselkoneen päästöt.

Liite 4 Case-esimerkki 2 laskelmat

Vertailussa kaksi vertaillaan uusiutuvan dieselin ja dieselin kustannuksia ja päästöjä. Vertailussa verrataan työmaalla toteutettavaa massansiirtoa, missä leikataan ja täytetään kadunpätkeä. Kustannuksiin ja päästöihin lasketaan mukaan kaivinkoneen ja kuorma-auton päästöt ja kertoimet. Laskentaan kuuluu maan leikkaus, pois kuljetus, täyttö ja täyttö maan kuljetus. Vertailu toteutetaan johdettujen käyttömäärien perusteella, mitkä kerrotaan kustannus- ja päästökerroimilla. Lähtötiedot saadaan seuraavasta taulukosta:

Leikattava massamäärä: 18 000 m ³ ktr	Kerroin sora: 1.32	Matka: 21 km	
Täytettävä massamäärä: 11 000 m ³ rtr	Kerroin murske: 1.52	Matka: 2.5 km	
Kuorma-auto (KA)	Kulutus:24 l/100km	Kustannus diesel:70 e/h	Uusiutuva diesel: 73.5 e/h
Kaivinkone (KK)	Kulutus:20 l/h	Kustannus diesel:80 e/h	Uusiutuva diesel: 83.5 e/h

Kustannusten laskentaan tarvitaan koneiden käyttötunnit. Käyttötuntien määrittämiseen käytetään RATU 2020 menekkejä:

kaivuutyö 0,012 h/m ³ ktr, kaivukone 21-25t
kuljetus 1–3 km 0,210 h/kuorma
kuljetus 15–25 km 0,870 h/kuorma
liikennealueiden rakennekerrokset ja tiivistys (täyttö) 0,038 kone h/m ³ rtr
kuorma 12 m ³ itd

Leikkaukseen ja täyttämiseen kuluneet ajat saadaan seuraavista kaavoista:

$$\text{Kaivuutyö } 0.012 \frac{h}{m^3ktr} \times \text{leikattava massamäärä } 18\,000 \text{ m}^3ktr = 216 \text{ h}$$

$$\text{Täyttötyö } 0.038 \frac{h}{m^3rtr} \times \text{täytettävä massamäärä } 11\,000 \text{ m}^3rtr = 418 \text{ h}$$

Kuorma-autojen käyttötunnit saadaan muuntamalla teoreettinen kiintotilavuus (m^3ktr) ja teoreettinen rakennetilavuus (m^3rtr) todelliseksi irtotilavuudeksi (m^3itd), josta pystytään laskemaan kuormien määrä (kuormien tilavuus 12 m^3itd). Muuntaminen $m^3ktr \rightarrow m^3itd$ tapahtuu ryöstökerroin y_1 ja löyhtymiskertoimen k_1 yhteiskertoimella sora 1.32. $m^3rtr \rightarrow m^3itd$ muuntuu täyttökerroin y_2 ja tiivistymiskerroin k_2 yhteiskertoimella murske 1.52. Kuorma määrästä pystytään laskemaan kuluneet tunnit kuljetusmatkojen perusteella (h/kuorma). Massamäärät muunnetaan kertoimien perusteella seuraavanlaisesti:

$$18\,000 \text{ m}^3ktr \times \text{kerroin } 1.32 = 23\,760 \text{ m}^3itd$$

$$\frac{11\,000 \text{ m}^3rtr}{\text{kerroin } 1.52} = 7236.8 \text{ m}^3itd$$

Kuljetuksiin kuluneet tunnit kaavoista:

$$\frac{23\,760 \text{ m}^3itd}{12 \text{ m}^3itd} \times 0.870 \frac{h}{m^3itd} = 1722.6 \text{ h}$$

$$\frac{7236.8 \text{ m}^3itd}{12 \text{ m}^3itd} \times 0.210 \frac{h}{m^3itd} = 126.6 \text{ h}$$

Kustannukset lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$KK \text{ h} \times KK \frac{e}{h} + KA \text{ h} \times KA \frac{e}{h}$$

$$\text{Diesel} = 180\,164 \text{ e}$$

$$\text{Uusiutuva diesel} = 188\,855 \text{ e}$$

Päästöjen laskentaa varten muutetaan työkoneiden käyttötunnit keskimääräisen kulutuksen perusteella litroiksi:

$$\text{Käyttötunnit } 634 \text{ h} \times \text{kulutus } 20 \frac{\text{l}}{\text{h}} = 12\,680 \text{ l}$$

Kuorma-autojen litramääräinen kulutus lasketaan kuljettujen kilometrien perusteella. Kulutus saadaan kertomalla kuljetut kuormat kilometrimäärillä. Kuljetukset on laskettu niin, että toinen matka kuljetaan tyhjällä kuormalla. Leikattavaan massamäärään kulunut litramäärä:

$$\text{Kuormamäärä } \frac{23\,760 \text{ m}^3 \text{itd}}{12 \text{ m}^3 \text{itd}} \times \text{matka } 21 \text{ km} \times \text{kulutus } \frac{24 \text{ l}}{100 \text{ km}} = 9979 \text{ l}$$

Täyttöön kulunut litramäärä

$$\text{Kuormamäärä } \frac{7236.8 \text{ m}^3 \text{itd}}{12 \text{ m}^3 \text{itd}} \times \text{matka } 2.5 \text{ km} \times \frac{24 \text{ l}}{100 \text{ km}} = 361.8 \text{ l}$$

Litramäärien perusteella voidaan laskea päästöt:

Resurssi \downarrow Diesel combusted in building machin ? Määrä \downarrow 23021 | \downarrow CO₂e \downarrow 77t - 100% Kommentti \downarrow

Käyttötunnit

+ Paina lisät

3. Rakennus

Materiaalin käyttö

+ Paina lisät

4. Rakennus

Veden kulutus

+ Paina lisät

5. Rakennus

Rakennusjäte

Diesel combusted in building machine ✕

Näytä tyhjet rivit

▼ Projektin perustiedot

Maa Maailma \downarrow

Materiaalin tyyppi Öljypohjaiset polttoaineet

▶ Datapisteen taustatiedot

▶ Kuvaus

▶ Tekniset ominaisuudet

▼ Ympäristöprofiili

Ilmasto lämmittävä vaikutus (A1-A3) ennen paikallista korvausta 3.35 kg CO₂e / l

Tehokkuus ryhmässä Öljypohjaiset polttoaineet

Tehokkuusluokitus ? Utilities/l: 8 / 8 CO₂ Katso tarkempi sijoitus

Q Metatiedot ? +/- 28.35% variaatio tietojoukossa

Kuva 12. Dieselin päästöt.

Uusiutuvan dieselin päästöt ovat 90 prosenttia pienemmät:

$$77 \text{ t CO}_2\text{e} \times 0.10 = 7.7 \text{ t CO}_2\text{e}$$

Liite 5 Case-esimerkki 3 laskelmat

Materiaalien kustannukset ja päästöt lasketaan käyttömäärän ja kertoimen perusteella. Tuotteet, määrät, päästökertoimet ja kustannuskertoimet:

Tuote	Määrä	Päästökerroin	Kustannuskerroin
AB 11	5300 m ² , 397 500 kg	0.047 kg CO ₂ e/kg	-
AB 16	2077 m ² , 207 700 kg	0.047 kg CO ₂ e/kg	-
AB 22	5885 m ² , 735 625 kg	0.047 kg CO ₂ e/kg	-
ABK 31	7092 m ² , 1 205 640 kg	0.045 kg CO ₂ e/kg	-
SMA 16	6356 m ² , 635 600 kg	0.052 kg CO ₂ e/kg	-
LTA AB 11	5300 m ² , 397 500 kg	0.0376 kg CO ₂ e/kg	-
LTA AB 16	2077 m ² , 207 700 kg	0.0376 kg CO ₂ e/kg	-
LTA AB 22	5885 m ² , 735 625 kg	0.0376 kg CO ₂ e/kg	-
LTA ABK 31	7092 m ² , 1 205 640 kg	0.036 kg CO ₂ e/kg	-
LTA SMA 16	6356 m ² , 635 600 kg	0.0416 kg CO ₂ e/kg	-
Valmisbetoni C35/45 P30	275 m ³	330 kg CO ₂ e /m ³	223.2 e/m ³
Valmisbetoni C35/45 P30-GWP.70	275 m ³	230 kg CO ₂ e /m ³	234.36 e/m ³
V220 reunakivi, ristipäähakattu, harmaa, Kiina	1456 mtr	67.9 CO ₂ e/m	41 e/m
V220 reunakivi, ristipäähakattu, harmaa, Suomi	1456 mtr	16,4 kg CO ₂ /m	70 e/m

Hiilidioksidipäästön kertymä:

määrä × päästökerroin

Kustannusten kertymä:

määrä × kustannuskerroin

Asfaltin päästöt:

Ab 11=18855 kg CO₂e

AB 16=9761 kg CO₂

AB 22=34575 kg CO₂e

ABK 31=54253.8 kg CO₂e

SMA 16=33051.2 kg CO₂e

LTA AB 11=14 946 kg CO₂e

LTA AB 16=7 809 kg CO₂e

LTA AB 22=27 659.5 kg CO₂e

LTA ABK 31=43 403 kg CO₂e

LTA SMA 16=26 441 kg CO₂e

Betonin päästöt:

Valmisbetoni C35/45 P30=90750 kg CO₂e

Valmisbetoni C35/45 P30-GWP.70=63250 kg CO₂e.

Betonin kustannus:

Valmisbetoni C35/45 P30=61325 e

Valmisbetoni C35/45 P30-GWP.70=64449 e

Katukivi päästöt:

V220 reunakivi, ristipäähakattu, harmaa, Kiina=98862.4 kg CO₂e

V220 reunakivi, ristipäähakattu, harmaa, Suomi=23878 kg CO₂e

Katukivi kustannus:

V220 reunakivi, ristipäähakattu, harmaa, Kiina=59 696 e

V220 reunakivi, ristipäähakattu, harmaa, Suomi=101 920 e

Liite 6 Case-esimerkki 4 laskelmat

Case-esimerkki nelosessa vertaillaan massahallinan erilaisia muotoja. Kustannuksiin ja päästöihin lasketaan mukaan kaivinkoneen ja kuorma-auton toteuttamat työt sekä materiaaleista aiheutuvat asiat. Laskentaan kuuluu maan leikkaus, sen kuljetus, täyttö, täyttö maan kuljetus ja massat. Laskenta perustuu liitteen 4 mukaiseen laskentaan paitsi tässä tapauksessa käyttötunteja ei muuteta litroiksi, vaan lasketaan sellaisenaan. Lisäksi kustannuksiin ja päästöihin sisällytetään kiviaineksen päästöt. Laskennassa on 4 erilaista vaihtoehtoa, mitkä on selitetty yksitellen. Lähtötiedot löytyvät seuraavista taulukoista:

Taulukko 11.Lähtötiedot

Leikattava massa-määrä: 18 000 m ³ kr	Kerroin sora: 1.32	Matka: 21 km	
Täytettävä massa-määrä: 11 000 m ³ rtr	Kerroin murske: 1.52	Matka: 2.5 km	Murske:8470 m ³ rtr, 7.2 e/tonni, 1680 kg/m ³ . Hiekka 2255 m ³ rtr, 6.5 e/tonni, 1555 kg/m ³ . Kivituhka 249 m ³ rtr, 8.5e/tonni, kerroin 1400 kg/m ³ . Betonimurske 3000 m ³ rtr, 3.5 e/tonni, 1200 kg/m ³
Kuorma-auto (KA)	Kustannus diesel:70 e/h		
Kaivinkone (KK)	Kustannus diesel:80 e/h		

Taulukko 12. Lähtötiedot

kaivuutyö 0,012 h/m ³ tr, kaivukone 21-25t
kuljetus 0–1 km 0,105 h/kuorma
kuljetus 1–3 km 0,210 h/kuorma
kuljetus 3–6 km 0,330 h/kuorma
kuljetus 6–15 km 0,540 h/kuorma
kuljetus 15–25 km 0,870 h/kuorma
liikennealueiden rakennekerrokset ja tiivistys 0,038 kone h/m ³ rtr
kuorma 12 m ³ itd

Vaihtoehdossa 1 kaikki maat kuljetetaan Rudukselle 21 km päähän työmaasta ja täytöt tuodaan 10 kilometrin päästä. Tilanne on samalainen kuin liitteessä 4 ja siitä saadaan koneiden ja kuljetusten kustannukset:

Diesel=180 004 e

Tähän lisätään maa-aineksesta aiheutuvat lisäykset. Maa aines muutetaan ensin teoreettisesta kiintotilavuudesta (m³rtr) todelliseksi irtotilavuudeksi (m³itd), josta se muutetaan tonneiksi One Click LCA:n tarjoamin kertoimin (kg/m³). Tämän jälkeen voidaan laskea kustannus kertoimella e/t seuraavassa kaavassa havainnollistus murskeen avulla, jonka jälkeen hiekan ja kivituhkan tulokset:

$$\frac{8470 \text{ m}^3\text{rtr}}{1.52 \text{ rtr}} \times \frac{1680 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times 7.2 \frac{\text{e}}{\text{t}} = 67402.8 \text{ e}$$

Hiekka:14 956 e

Kivituhka:1946.5 e

Päästöt lasketaan käyttötuntien ja päästökertoimien pohjalta. Ohjelma tarjoaa murskeelle päästökertoimen 0.0065 kg CO₂e/kg, hiekalle 0.0023 kg CO₂e/kg, kivituhkalle

0.0043 kg CO₂e/kg ja betonimurskeelle 0 kg CO₂e/kg. Maansiirtoauton 19 t kerroin on 0.0855 kg CO₂e / tonkm ja kaivinkoneen päästöt löytyvät kuvasta 13.

Resurssi	Määrä	CO ₂ e	K
Kaivukoneet, tela-alustaiset, avara ?	634 h	20t - 14%	

Ilmastoa lämmittävä vaikutus (A1-A3) ennen paikallista korvausta	30.78 kg CO ₂ e / h
--	--------------------------------

Kuva 13. kaivinkone päästöt.

Resurssi	Määrä	CO ₂ e	Kommentti	Littera	CESMM4	Kurinpito	Talo EN	Kuljetus, kilometri
Hiekka (0...8 mm), kuiva tilavuus, 15 ?	2300 ton	5,8t - 4%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	2,5 Maansiirtoauto, 19 ton
Murske (0...100 mm), kuiva tilavuus, ?	9400 ton	63t - 44%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	2,5 Maansiirtoauto, 19 ton
Aggregate, from stationary crushing ?	229.3 ton	1t - 0,7%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	2,5 Maansiirtoauto, 19 ton

2. Muualle kuljetettavat massat - Vain A4 55 Tonnia CO₂e - 38 %

Massat, jotka kuljetetaan tulevaa käyttöä varten. Tähän projektiin kohdennetaan vain kuljetuksen päästöt (työmaan päästöissä).

Poistettavat massat [Näytä muut vastaukset](#) [Luo ryhmä](#) [Lisää vertailtavaksi](#)

Aloita kirjoittamaan tai klikkaa nuolta

Resurssi	Määrä	CO ₂ e	Kommentti	Littera	CESMM4	Kurinpito	Talo EN	Kuljetus, kilometri
Kitkamaa, avg. dens.: 1975.25 kg/m ³ ?	18000 m ³	55t - 38%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	21 Maansiirtoauto, 19 ton

Kuva 14. Kuljetusten ja materiaalien päästöt.

Vaihtoehdossa 2 maat kuljetetaan keskimäärin 10 kilometrin päähän työmaasta lähistöllä sijaitseviin hankkeisiin. Täyttöihin käytetään betonimursketta jakavassa kerroksessa 3000 m³trr. Betonimurske tuodaan läheiseltä hankkeelta 10 kilometrin päästä, loput täytöt tuodaan samasta paikasta kuin ensimmäisessäkin vaihtoehdossa. Laskennassa kaivinkoneiden suorittamat työt pysyvät identtisenä, mutta kuljetuksissa pitää ottaa huomioon 10 kilometrin pois kuljettaminen, 10 kilometrin haku-matka 3000 m³trr sekä betonimurskeen aiheuttama muutos massoihin.

Työkoneiden ja pois kuljetuksen tunnit pysyvät samanlaisina liitteen 4 ja vaihtoehdon 1 kanssa:

$$216 h + 418 h = 634 h$$

Kuljetusten tunnit liitteen 4 laskennan mukaisesti:

$$18\,000 \text{ m}^3 \text{ ktr} \times \text{kerroin } 1.32 \frac{1}{\text{ktr}} = 23\,760 \text{ m}^3 \text{ itd}$$

$$\frac{8000 \text{ m}^3 \text{ rtr}}{\text{kerroin } 1.52 \text{ rtr}} = 5263.2 \text{ m}^3 \text{ itd}$$

$$\frac{3000 \text{ m}^3 \text{ rtr}}{1.52 \text{ rtr}} = 1973.7 \text{ m}^3 \text{ itd}$$

Kuljetuksiin kuluneet tunnit kaavoista:

$$\frac{23\,760 \text{ m}^3 \text{ itd}}{12 \text{ m}^3 \text{ itd}} \times 0.540 \frac{h}{\text{kuorma}} = 1069.2 h$$

$$\frac{5263.2 \text{ m}^3 \text{ itd}}{12 \text{ m}^3 \text{ itd}} \times 0.210 \frac{h}{\text{kuorma}} = 92.1 h$$

$$\frac{1973.7 \text{ m}^3 \text{ itd}}{12 \text{ m}^3 \text{ itd}} \times 0.540 \frac{h}{\text{kuorma}} = 88.8 h$$

Koneiden ja kuljetusten kustannukset:

$$634 h \times 80 \frac{e}{h} = 50\,720 e$$

$$(1069.2 h + 92.1 h + 88.8 h) \times \frac{70 e}{h} = 87\,507 e$$

Massat lasketaan vaihtoehdon 1 mukaan:

$$\text{Murske} = 43\,529.7 e$$

$$\text{Hiekka} = 14\,956 e$$

Kivituhka=1946.5 e

Betonimurske=8289.5 e

Päästöt:

Resurssi	Määrä	CO ₂ e	K	Ilmastoa lämmittävä vaikutus (A1-A3) ennen paikallista korvausta
Kaivukoneet, tela-alustaiset, avara ?	634 h	20t - 14%		30.78 kg CO ₂ e / h

Kuva 15. Kaivinkone päästöt.

Resurssi	Määrä	CO ₂ e	Kommentti	Littera	CESMM4	Kurinpito	Talo EN	Kuljetus, kilometriä	
Murske (0...100 mm), kuiva tilavuus, ?	5263.2 m ³	60t - 61%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	2.5	Maansiirtoauto, 19 ton
Hiekka (0...8 mm), kuiva tilavuus, 15 ?	2255 m ³	8,8t - 9%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	2.5	Maansiirtoauto, 19 ton
Aggregate, from stationary crushing ?	350 ton	1,6t - 2%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	2.5	Maansiirtoauto, 19 ton
Betonimurske, 1200 kg/m ³ ?	1973.7 m ³	1,7t - 2%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	10	Maansiirtoauto, 19 ton

2. Muualle kuljetettavat massat - Vain A4 26 Tonnia CO₂e - 27 %

Massat, jotka kuljetetaan tulevaa käyttöä varten. Tähän projektiin kohdennetaan vain kuljetuksen päästöt (työmaan päästöissä).

Poistettavat massat [Näytä muut vastaukset](#) [Luo ryhmä](#) [Lisää vertailtavaksi](#)

Aloita kirjoittamaan tai klikkaa nuolta

Resurssi	Määrä	CO ₂ e	Kommentti	Littera	CESMM4	Kurinpito	Talo EN	Kuljetus, kilometriä	
Kitkamaa, avg. dens.: 1975.25 kg/m ³ ?	18000 m ³	26t - 27%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	10	Maansiirtoauto, 19 ton

Kuva 16. Kuljetusten ja materiaalien päästöt.

Vaihtoehdossa 3 Työmailla leikatuista vanhoista rakennekerroksista 3000 m³tr säilötään työmaalla ja käytetään lopulta pengertäyttöihin. Loput leikatusta materiaaleista kuljetetaan 10 kilometrin päähän työmaasta. Loput täytöt tuodaan samasta paikasta kuin ensimmäisessäkin vaihtoehdossa. Kaivuutöihin lisätään säilöttyjen massojen kuormaaminen varastosta kuorma-auton kyytiin. Kuljetuksissa muuttuu kuljetusmääränpäät. Kuljetusten tunnit, johon lisätään kuormaaminen:

$$216 h + 418 h = 634 h$$

$$3000 \frac{m^3}{tr} \times 0.012 \frac{h}{m^3/tr} = 36h$$

Kuljetusten tunnit välivarastoon ja maankaatopaikalle:

$$\frac{(16193 \times 1.32)}{12} \times 0.540 = 961.9 h$$

$$\frac{(1807.2 \times 1.32)}{12} \times 0.105 = 20.9 h$$

Kuljetukset takaisin rakenteeseen.

$$\frac{8000}{12} \times 0.210 = 92.1 h$$

$$\frac{3000}{12} \times 0.105 = 17.2 h$$

Koneiden ja kuljetusten kustannukset:

$$(216 h + 418 h + 36 h) \times \frac{80e}{h} = 536003$$

$$(961.9 h + 20.9 h + 92.1 h + 17.2 h) \times 70 \frac{e}{h} = 76 447 e$$

Massojen kustannukset:

Murske=43 529.7 e

Hiekka=14 956 e

Kivituhka=1946.5 e

Päästöt:

Resurssi ▾	Määrä ▾	CO₂e ▾
Kaivukoneet, tela-alustaiset, avara ?	670 h	21t - 18%

Kuva 17. Kaivinkone päästöt.

Resurssi ▾	Määrä ▾	CO ₂ e ▾	Kommentti ▾	Littera ▾	CESMM4	Kurinpito ▾	Talo EN	Kuljetus, kilometriä ④ ▾
Murske (0...100 mm), kuiva tilavuus, ?	5263.2 m3 ▾	60t - 52%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	2.5 Maansiirtoauto, 19 tor
Hiekka (0...8 mm), kuiva tilavuus, 15 ?	2255 m3 ▾	8,8t - 8%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	2.5 Maansiirtoauto, 19 tor
Aggregate, from stationary crushing ?	350 ton ▾	1,6t - 1%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	2.5 Maansiirtoauto, 19 tor

2. Muualle kuljetettavat massat - Vain A4 23 Tonnia CO₂e - 20 %

Massat, jotka kuljetetaan tulevaa käyttöä varten. Tähän projektiin kohdennetaan vain kuljetuksen päästöt (työmaan päästöissä).

Poistettavat massat

Aloita kirjoittamaan tai klikkaa nuolta ▾

Resurssi ▾	Määrä ▾	CO ₂ e ▾	Kommentti ▾	Littera ▾	CESMM4	Kurinpito ▾	Talo EN	Kuljetus, kilometriä ④ ▾
Kitkamaa, avg. dens.: 1975.25 kg/m3 ?	16026.32 m3 ▾	23t - 20%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	10 Maansiirtoauto, 19

3. Hankeessa hyödynnettävät massat - Vain A4 0.12 Tonnia CO₂e

Vaatii kuljetusta ja mahdollista käsitelyä, mutta hyödynnetään hankkeessa. Kuuluu työmaan päästöihin.

Hankeessa hyödynnettävät massat

Aloita kirjoittamaan tai klikkaa nuolta ▾

Resurssi ▾	Määrä ▾	CO ₂ e ▾	Kommentti ▾	Littera ▾	CESMM4	Kurinpito ▾	Talo EN	Kuljetus, kilometriä ④ ▾
Kierrätetty sora, kuiva tilavuus, 1 ?	1973.68 m3 ▾	0,12t - 0,1%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	0.5 Maansiirtoauto, 19 ton

Kuva 18. Kuljetusten ja materiaalien päästöt.

Vaihtoehdossa 4 leikatuista rakennekerroksista 3000 m³trr käytetään ilman väli-varastointia suoraan kohteessa. Loput leikatusta materiaaleista kuljetetaan 10 kilometrin päähän työmaasta. Loput täytöt tuodaan samasta paikasta kuin ensimmäisessäkin vaihtoehdossa. Vaihtoehto on muuten identtinen vaihtoehto 3 kanssa, mutta kuormaaminen ja kuljetukset välivarastosta jää pois:

$$216 h + 418 h = 634 h$$

$$\frac{(16193 \times 1.32)}{12} \times 0.540 = 961.9 h$$

$$\frac{(1807.2 \times 1.32)}{12} \times 0.105 = 20.9 h$$

$$\frac{\frac{8000}{1.52}}{12} \times 0.210 = 92.1 h$$

Koneiden ja kuljetusten kustannukset:

$$634 h \times 80 \frac{e}{h} = 50\,720 e$$

$$(961.9 h + 20.9 h + 92.1 h) \times \frac{70e}{h} = 56\,343 e$$

Massojen kustannukset:

Murske=43 529.7 e

Hiekka=14 956 e

Kivituhka=1946.5 e

Päästöt:

Resurssi ▾	Määrä ▾	CO₂e ▾	Kommentti ▾
Kaivukoneet, tela-alustaiset, avara ?	634 h	20t - 17%	

Kuva 19. Kaivinkone päästöt.

Resurssi ▾	Määrä ▾	CO ₂ e ▾	Kommentti ▾	Littera ▾	CESMM4	Kurinpito ▾	Talo EN	Kuljetus, kilometriä ④
Murske (0...100 mm), kuiva tilavuus, ?	5263 m3 ▾	60t - 53%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	2,5 Maansiirtoauto,
Hiekka (0...8 mm), kuiva tilavuus, 15 ?	2255 m3 ▾	8,8t - 8%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	2,5 Maansiirtoauto,
Aggregate, from stationary crushing ?	350 ton ▾	1,6t - 1%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	2,5 Maansiirtoauto,

2. Muualle kuljetettavat massat - Vain A4 ☁ 23 Tonnia CO₂e - 21 %

Massat, jotka kuljetetaan tulevaa käyttöä varten. Tähän projektiin kohdennetaan vain kuljetuksen päästöt (työmaan päästöissä).

Poistettavat massat [Näytä muut vastaukset](#) [Luo ryhmä](#) [Lisää vertailtavaksi](#)

Aloita kirjoittamaan tai klikkaa nuolta ▾

Resurssi ▾	Määrä ▾	CO ₂ e ▾	Kommentti ▾	Littera ▾	CESMM4	Kurinpito ▾	Talo EN	Kuljetus, kilometriä (
Kitkamaa, avg. dens.: 1975.25 kg/m3 ?	16026 m3 ▾	23t - 21%			Ei valittu	Määrittelemätön	No classification	10 Maansiirtoau

Kuva 20. Kuljetusten ja materiaalien päästöt.

Liite 7 Tulosten laskelmat

Tulosten vertailussa mittariksi määriteltiin päästövähennyksen kustannus jaettuna päästövähennyspotentiaalilla. Lopullinen muoto on Eur/ t CO_{2e}. Lähtöarvoina toimii ylemmissä liitteissä saadut tulokset. Laskennan aluksi käytetään erotusta, jonka avulla erotellaan kustannus ja päästövähennyspotentiaali. Tämän jälkeen tulos jaetaan keskenään. Esimerkki:

$$\frac{(\text{kustannus vihreä } e - \text{kustannus normaali } e)}{(\text{päästö normaali } t - \text{päästö vihreä } t)} = \frac{e}{t \text{ CO}_2e}$$

$$\text{Sähkökone} = 857.1 \frac{e}{t \text{ CO}_2e}$$

$$\text{Trendi} = 53.6 \frac{e}{t \text{ CO}_2e}$$

$$\text{Uusiutuva diesel} = 124.7 \frac{e}{t \text{ CO}_2e}$$

$$\text{Betoni} = 110.1 \frac{e}{t \text{ CO}_2e}$$

$$\text{Kiviaines} = 562.9 \frac{e}{t \text{ CO}_2e}$$

$$\text{Kuljetus V1 ja V4} = -3088 \frac{e}{t \text{ CO}_2e}$$

$$\text{Kuljetus V1 ja V3} = -2443.26 \frac{e}{t \text{ CO}_2e}$$

$$\text{Kuljetus V1 ja V2} = -2146 \frac{e}{t \text{ CO}_2e}$$