



Roope Reiman

Zeroinfra-palvelun hyödyntäminen maaperän kunnostuksen arvioin- nissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

13.5.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Roope Reiman
Otsikko:	Zeroinfra-palvelun hyödyntäminen maaperän kunnostuksen arvioinnissa
Sivumäärä:	35 sivua + 1 liite
Aika:	13.5.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine:	Ympäristötekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Jenni Merjankari Ryhmäpäällikkö Oona Virta

Insinöörityön tarkoituksena oli selvittää Ramboll Finland Oy:n luoman Zeroinfra-palvelun hyödyntämistä kunnostustöiden suunnitteluun sekä raportointiin ja laskea case-esimerkkinä hiilijalanjälki Hermannin rantatien kunnostustyölle.

Työn aikana koottiin päästölaskennan vaatimat lähtöarvot eri lähteistä sekä asetettiin laskennan rajaus asiantuntija-arvion avustuksella. Päästölaskenta suoritettiin Zeroinfra-työkalulla ja saatuja tuloksia verrattiin toisiin hiilijalanjälkiselvityksiin. Työn lopussa otettiin kantaa, miten Zeroinfra toimisi kunnostussuunnitelmien tekemisessä.

Tuloksena oli konkreettinen hiilijalanjälki Hermannin rantatien kunnostustyölle. Saatua tulosta vertailtiin vastaavaan hiilijalanjäljen selvitykseen, jonka perusteella tulos vaikuttaa luotettavalta. Laskennan perusteella Zeroinfra-työkalu soveltuisi tietyissä tilanteissa kunnostushankkeiden suunnitteluun, ja sen lisäksi esitettiin mahdollisia kehitysideoita palvelun käyttöönottoon liittyen.

Avainsanat: massanvaihto, Zeroinfra, hiilijalanjälki, pilaantunut maaperä, maaperän kunnostus

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Roope Reiman
Title: Utilizing The Zeroinfra Program in Assessing Soil Remediation
Number of Pages: 35 pages + 1 appendice
Date: 13 May 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Energy and Environmental Technology
Professional Major: Environmental Engineering
Supervisors: Jenni Merjankari, Senior Lecturer
Oona Virta, Team leader

The purpose of the engineering thesis was to investigate the utilization of the Zeroinfra service created by Ramboll Finland Oy for planning remediation projects and to calculate the carbon footprint for the Hermannin rantatie remediation project as a case study.

During the research, the input data required for emission calculations were collected from various sources, and the scope of the calculations was defined with the assistance from an expert in the field. The emission calculations were performed using the Zeroinfra program, and the obtained results were compared to other carbon footprint assessments. In the conclusion, considerations were made on how Zeroinfra could be used in the planning of remediation projects.

The outcome was a carbon footprint for the Hermannin rantatie remediation project. The obtained result was compared to a corresponding carbon footprint assessment, indicating its reliability. The calculations indicate that the Zeroinfra tool would be suitable for certain situations in the planning of remediation projects, and potential development ideas were proposed regarding the adoption of the service.

Keywords: soil replacement, Zeroinfra, carbon footprint, contaminated soil, soil remediation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Maaperän kunnostuksessa huomioitavia tekijöitä	2
2.1	Maaperän pilaantuneisuus	3
2.2	Kunnostusmenetelmät	3
2.3	Ympäristönsuojelulaki (527/2014)	5
2.4	PIMA-asetus (214/2007)	6
2.5	Jätelaki (646/2011)	7
2.6	Pilaantuneen maaperän hyödyntämisen lupa-asiat	9
3	Kestävä kehitys maaperän kunnostuksen ohjaajana	10
3.1	Hiilineutraalius	11
3.2	Hiilijalanjälki	11
3.3	Standardit	12
3.4	Kestävä kunnostaminen	14
3.5	Massanvaihdon päästöt	15
4	Kohteen kuvaus	17
4.1	Toimintahistoria	17
4.2	Maaperän koostumus ja pohjavesi	19
4.3	Pilaantuneen maa-aineksen ja pohjaveden määrä	19
4.4	Pilaantuneen maa-aineksen kuljetus	20
4.5	Maaperän täyttö ja maa-aineksen hyödyntäminen	21
5	Hermannin rantatien päästölaskenta	21
5.1	Zeroinfra	21
5.2	Päästölaskennan rajaus	22
5.2.1	Maaperän käsittely	22
5.2.2	Huomioverkko	23
5.2.3	Pohjaveden pumppaus	24
5.2.4	Pohjaveden puhdistus	25
5.3	Tulokset	25

6	Tulosten tarkastelu	26
6.1	Luotettavuuden arviointi	29
6.2	Zeroinfra-työkalun soveltuvuus kunnostushankkeiden suunnitteluun	30
6.3	Lähtötietojen saatavuus	32
6.4	Kehitysideat	32
7	Yhteenveto	33
	Lähteet	35

Liite 1: Hermannin rantatien päästölaskennan tulokset

Lyhenteet

- BTEX: Bentseeni, tolueeni, etyylibentseeni ja ksyleeni.
- EOW: End Of Waste. Säädös jäteluokituksen päättämisestä valituista materiaaleista.
- In situ: Maaperän puhdistus ilman sen kaivamista maaperästä.
- MARA: Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa.
- MATTI: Maaperän tilan tietojärjestelmä. Pitää sisällään tietoja pilaantuneista maa-alueista Suomessa.
- Off site: Maaperän puhdistus kunnostuskohteen ulkopuolella.
- On site: Maaperän puhdistus kunnostuskohteessa.
- PIMA: Pilaantunut maa-alue. Ihmisen toiminnan seurauksena maaperään pääsee haitallisia aineita, jotka aiheuttavat ympäristö- ja terveyshaittoja.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on arvioida Ramboll Finland Oy:n luoman Zeroinfa-palvelun käyttöä kunnostustöiden suunnittelussa ja raportoinnissa sekä laskea hiilijalanjälki Hermannin rantatien kunnostustyölle.

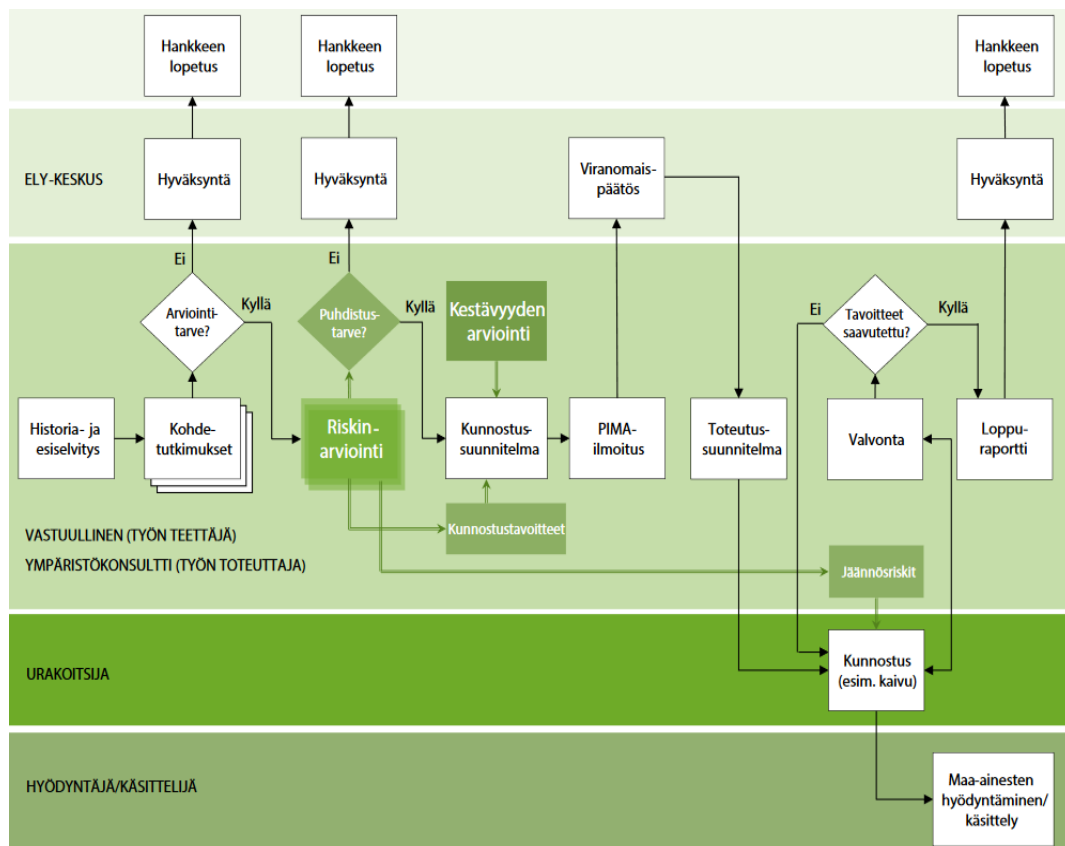
Huoli kestävän kehityksen toteutumisesta huomioidaan kasvavissa määrin kaikilla eri sektoreilla. Pilaantuneen maaperän kunnostuksessa on myös herätty tarpeeseen kattavamman vaikutusarvioinnin tekemisestä. Kestävässä kunnostuksessa korostuu ympäristön, talouden ja yhteiskunnallisten vaikutusten huomiointi ja tavoitteena on optimoida kunnostuksen kokonaisvaltainen positiivinen vaikutus. Tämä edellyttää huolellista suunnittelua, milloin päästölaskenta voi olla erinomainen työkalu ympäristövaikutusten arviointiin.

Ramboll Finland Oy on suuri Suomessa ja kansainvälisesti toimiva suunnittelu- ja konsultointialan yritys. Kestävä kehitys on oleellinen osa yrityksen strategiaa ja konkreettisenä tavoitteena on muuttaa yrityksen toiminta hiilineutraaliksi vuoteen 2030 mennessä. [Kestävän kehityksen tavoitteemme.] Zeroinfra-palvelu on Rambollin vuonna 2021 julkaisema datapohjainen päästöjen optimointiin tarkoitettu työkalu. Se on suunniteltu helpottamaan ympäristötavoitteiden toteuttamista ja valintaa sekä auttamaan yrityksen laajempien ympäristötavoitteiden saavuttamista. Palvelu ei ole tällä hetkellä käytössä PIMA-hankkeiden eli pilaantuneiden maa-alueiden suunnittelussa, mutta sen käyttöä on tarkoitus laajentaa Rambollin sisäisesti. Työssä otetaan kantaa palvelun hyödyllisyydestä osana kunnostustöiden suunnittelua ja raportointia sekä sen lisäksi huomioidaan mahdollisia kehityskohteita.

Case-tutkimuksena toimii Hermannin rantatien pilaantuneen maaperän kunnostuskohde, josta tehdään päästölaskenta Zeroinfra-työkalulla. Kohteessa on tehty pilaantuneen maaperän kunnostushanke osana uuden raidelinjan rakentamisprojektia. Kunnostusalueella on käytetty massanvaihtomenetelmää, ja pilaantunut maa-aines on loppusijoitettu jätteenä.

2 Maaperän kunnostuksessa huomioitavia tekijöitä

Maaperän kunnostamisella tarkoitetaan prosessia, jossa pyritään puhdistamaan haitta-aineet maaperästä siten, että niistä ei aiheudu riskejä ympäristölle tai terveydelle [Pilaantuneen maa-alueen kunnostuksen yleissuunnitelma 2014: 46]. Kuvassa 1 näkyy tyypillinen PIMA-hanke vaiheittain. Monimutkaisessa prosessissa korostuu suunnittelun merkityksellisyys sekä tarve eri standardeille ja työkaluille.



Kuva 1. Tyypillinen PIMA-hanke ja sen vaiheet sekä toimijat [Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014: 11].

Tämän opinnäytetyön kannalta tärkeitä vaiheita ovat kunnostussuunnitelma, kunnostus, loppuraportti ja maa-ainesten hyödyntäminen. Päästölaskennassa käytettävät arvot tulevat suoraan kunnostuksen sekä massojen hyödyntämisen toimenpiteistä ja saatujen tulosten perusteella arvioidaan mahdollisuutta

hyödyntää Zeroinfra-työkalua kunnostussuunnitelman tekemiseen ja päästölaskennan suorittamiseen loppuraportin perusteella.

2.1 Maaperän pilaantuneisuus

Maaperän pilaantuneisuuden määritelmänä pidetään sitä, kun ihmisen toiminnan seurauksena maaperään pääsee haitallisia aineita, jotka heikentävät sen laatua. Pilaantuneisuudesta voi aiheutua haittaa ympäristölle ja ihmisille, minkä takia maaperän kunnostus on tärkeä osa hyvinvoivaa yhteiskuntaa. [Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014: 13.]

Suomessa pilaantuneista maa-alueista alettiin keräämään tietoa 1990-luvulla ja silloin arvioitiin kohteiden lukumäärän nousevan noin 25 000:een. Vuodesta 2007 alkaen tiedot on kirjattu MATTI-tietojärjestelmään eli maaperän tilan tietojärjestelmään, ja vuonna 2018 pilaantuneita alueita oli ilmoitettu lähes 27 000. [Jylhä & Pyy 2020: 13.]

Tietojärjestelmään ilmoitetaan vuosittain noin 600 uutta kohdetta. Ilmoitetuista kohteista valtaosa on vanhoja pilaantumisia eli alueita, joissa pilaantuminen on tapahtunut aiemmin, ja se tulee ilmi rakentamisen tai maankäytön muutoksen yhteydessä. Uusia pilaantuneita kohteita on syntynyt pääasiassa onnettomuuksien seurauksena, ja vain pieni osa on saanut alkunsa pidemmällä aikavälillä syntyneistä päästöistä. [Jylhä & Pyy 2020: 14.]

Suomessa maaperän pilaantumista aiheuttavat haitta-aineet ovat yleisimmin raskasmetalleja ja öljyhiilivetyjä [Jylhä & Pyy 2020: 17]. Yleisimpiä pilaantumiseen johtavia toimintoja on puolestaan teollisuus, polttoaineen jakelu ja varastointi sekä jätteenkäsittely [Ledekerke ym. 2014: 32].

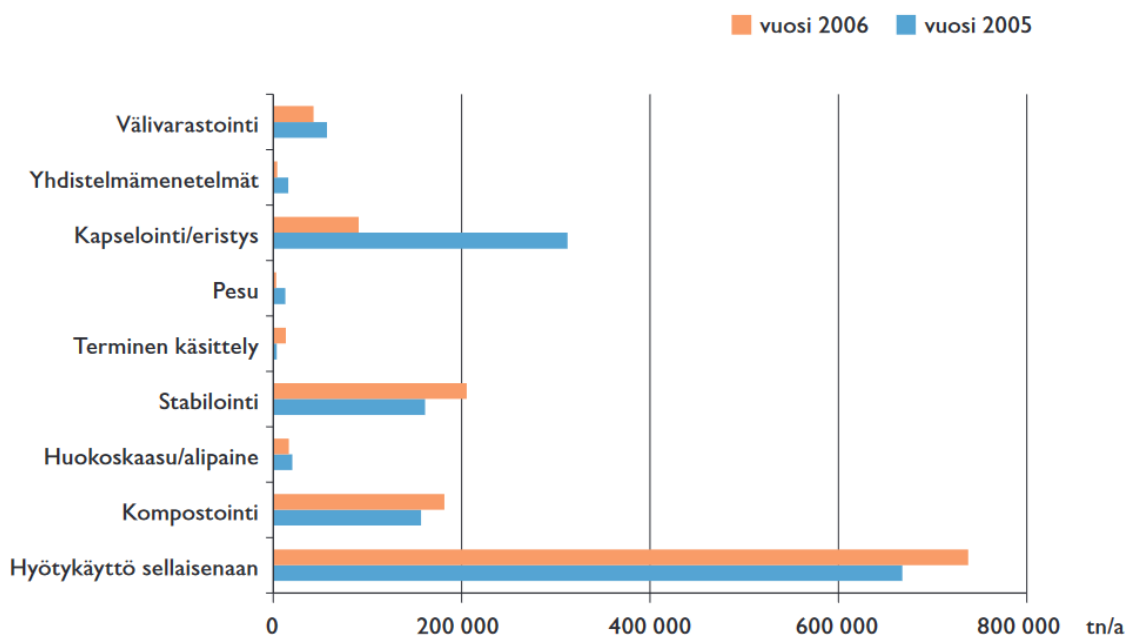
2.2 Kunnostusmenetelmät

Maaperän kunnostamiseen on useita eri vaihtoehtoja, jotka luokitellaan off site-, on site- ja in situ -menetelmiin [Mystrioti & Papassiopi 2024].

Kunnostussuunnitelmaa tehdessä on tärkeää perehtyä kohteen tietoihin ja valita parhaiten soveltuva kunnostustekniikka. Kunnostusmenetelmillä on suuria eroja ympäristövaikutusten suhteen, kuten syntyneisiin kasvihuonekaasupäästöihin ja löytämällä sopivin vaihtoehto pystytään minimoimaan negatiiviset vaikutukset.

In situ -menetelmistä puhutaan, kun maaperän kunnostus tapahtuu ilman kaivamista, ja haitta-aineiden puhdistamiseen hyödynnetään niiden kemiallisia, fysikaalisia ja biologisia ominaisuuksia. In situ -menetelmien hyötynä on alhaisemmat kustannukset sekä päästöt, mutta negatiivisena puolena on usein pitkä kunnostusaika. [Mystrioti & Papassiopi 2024.] Esimerkki fysikaalisesta in situ -puhdistusprosessista on ilmastus, jossa maaperään injektoidaan ilmaa, jonka vaikutuksesta haitta-aineet haihtuvat [Pilaantuneen alueen fysikaalinen puhdistaminen].

Off site ja on site -kunnostuksissa pilaantunut maa-aines kaivetaan ja käsitellään maaperän ulkopuolella [Mystrioti & Papassiopi 2024]. Menetelmiä erottaa se, missä maa-aineksen käsittely tapahtuu. Off site -menetelmissä pilaantunut maa-aines käsitellään kunnostuskohteen ulkopuolella ja on site -menetelmissä itse kunnostuskohteessa. On site -menetelmien hyötynä on maamassojen siirte-lystä syntyvien kuljetuskustannusten sekä päästöjen välttäminen, mutta off site -menetelmät ovat silti käytetympiä niiden yksinkertaisuuden ja varmatoimisuuden takia [Pyy ym. 2013: 36]. Kuvassa 2 näkyy Suomessa vuosien 2005 ja 2006 aikana käytetyt kunnostusmenetelmät. Huokoskaasu käsittely voidaan suorittaa in situ -menetelmänä ja pesu voidaan tehdä on site -menettelyllä, mutta muut käsittelytavat tehdään pääsääntöisesti off site -menettelyillä.



Kuva 2. Pilaantuneen maa-aineksen käsittelymenetelmät. Kapselointi/eristys pitää sisällään loppusijoituksen kaatopaikalle ja hyötykäyttö sellaisenaan -kategoria pitää sisällään maa-aineksen hyödyntämisen kaatopaikoilla [Pyy ym. 2013: 37].

Yleisin Suomessa käytettävä kunnostusmenetelmä on massanvaihto (off site), vaikka sillä on usein suuremmat negatiiviset vaikutukset ympäristölle verrattuna muihin vaihtoehtoihin. Sen käyttö kattaa arviolta yli 90 % kaikista kunnostettavista kohteista. [Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014: 149]. Kuvassa 2 loppusijoitusta kaatopaikalle kuvaa hyötykäyttö sellaisenaan sekä kapselointi/eristyskategoriat. Massanvaihdossa pilaantuneet maa-ainekset voidaan puhdistaa esimerkiksi kompostoimalla tai termisellä käsittelyllä, mutta loppusijoittaminen kaatopaikoille on yleisin Suomessa käytössä oleva käsittelytapa. [Pyy ym. 2013: 36–37.]

2.3 Ympäristönsuojelulaki (527/2014)

Ympäristönsuojelulaki [2014] on kattavin sovellettava laki ympäristön pilaantumisen kannalta. Sitä voidaan soveltaa kaikkeen toimintaan, mikä aiheuttaa riskin ympäristön pilaantumiseen. Se on tärkein PIMA-hankkeissa oleva ohjauskeino, ja se pohjustaa lähtökohdat kaikelle toiminnalle. Ympäristönsuojelulailla

pyritään muun muassa ehkäisemään ympäristön pilaantumista, vähentämään päästöjä, turvaamaan kestävä ympäristö, vähentämään jätteiden määrää ja tehostamaan vaikutusarviointia ympäristön pilaantumista aiheuttavista tekijöistä. [Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014: 19]. Huomionarvoisia kohtia ympäristön kunnostuksen kannalta on yksinkertaistettuna:

- Pykälässä 5 määritellään mitä päästöllä ja ympäristön pilaantumisella tarkoitetaan.
- Pykälässä 6 osoitetaan toiminnanharjoittajan selvilläolovelvollisuus toimintansa ympäristövaikutuksista.
- Pykälässä 7 velvoittaa toiminnanharjoittajan ennaltaehkäisemään ja rajoittamaan ympäristön pilaantumista.
- Pykälissä 16 ja 17 kielletään maaperän sekä pohjaveden pilaaminen.
- Pykälässä 133 määritetään maaperän ja pohjaveden puhdistamisvelvollisuus pilaantumisen aiheuttajalle.
- Pykälässä 135 veloitetaan maaperän tai pohjaveden pilaantumista epäiltäessä vastuussa oleva taho selvittämään alueen puhdistamistarve. [Ympäristönsuojelulaki 527/2014.]

Ympäristönsuojelulakia tarkennetaan erilaisten valtioneuvoston asetusten avulla, kuten PIMA-asetus tai valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (MARA-asetus), jotka auttavat ohjaamaan maaperän kunnostamista [Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014: 19].

2.4 PIMA-asetus (214/2007)

PIMA-asetus eli valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuudesta 214/2007 on tullut voimaan 1.6.2007, ja sen tarkoituksena on säädellä maaperän pilaantuneisuuden sekä puhdistustarpeen arviointia. Arvioinnin täytyy perustua kohdekohtaisesti maaperässä olevien haitallisten aineiden aiheuttamaan riskiin ympäristölle ja terveydelle. Huomioitavia asioita ovat yksinkertaistettuna:

- haitta-aineiden määriin ja ominaisuuksiin liittyvät tiedot

- kohdealueen ympäristöolosuhteet, kuten haitta-aineiden leviämiseen vaikuttavat maaperän sekä pohjaveden ominaisuudet
- alueen käyttötarkoitus ja sen seurauksesta aiheutuva mahdollisuus altistua haitta-aineille
- ympäristölle ja terveydelle aiheutuva riski altistumisesta
- lähtöaineistosta aiheutuvat epävarmuustekijät ja niiden vaikutus arviointiin [Valtioneuvoston asetus 214/2007].

Asetuksen liitteenä on haitta-ainepitoisuuksien kynnys- ja ohjearvot, joita hyödynnetään riskinarviota tehdessä. Kynnys- ja ohjearvoihin tehtävä vertailu edellyttää kohteessa tehtyä näytteenottoa, joka on suoritettu standardoiduin menetelmin ja edustaa tutkittavaa aluetta yleisesti [Valtioneuvoston asetus 214/2007].

Kynnysarvo on määritelty sellaiseksi pitoisuudeksi, millä ympäristölle ja terveydelle aiheutuvat riskit ovat olemattomia kohteesta riippumatta. Arvon määrittely perustuu asiantuntijoiden tekemään päätösanalyysiin, jossa arvioitiin eri pitoisuuksien vaikutuksia [Reinikainen 2007: 73]. Mikäli näytteenoton perusteella kynnysarvo ylittyy yhden tai useamman haitta-aineen kohdalla, kohteelle tulee kuitenkin tehdä pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi [Valtioneuvoston asetus 214/2007].

Alempaa ohjearvoa käytetään usein tavanomaiselle maankäytölle, kuten asuin- tai puistoaluille, tehtävässä riskinarviossa. Ylempää ohjearvoa hyödynnetään puolestaan teollisuusalueille, joissa korkeammat pitoisuudet eivät aiheuta samanlaista riskiä [Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014: 29]. On kuitenkin tärkeä tiedostaa ohjearvojen olevan nimensä mukaisesti ohjaavia ja arviointi täytyy tehdä aina kohdekohtaisesti huomioimalla muutkin tekijät.

2.5 Jätelaki (646/2011)

Jätelaki pohjautuu Euroopan parlamentin ja neuvoston jätedirektiiviin 2008/98/EY. Sen tarkoituksena on ehkäistä jätehuollosta sekä jätteistä ympäristölle ja terveydelle aiheutuvia haittoja. Jätteen kokonaismääriä pyritään vähentämään ja nostamaan niiden kierrätysastetta. Jätelaissa on asetettu

viisiasteinen etusijajärjestys (kuva 3), jota on noudatettava aina mahdollisuuksien mukaan. Jätteen määrän sekä sen haitallisuuden minimointi on ensimmäinen ja tärkein prioriteetti. Toisena tulee jätteen valmistelu uudelleen käyttöön, jota seuraa kierrätys. Mikäli uudelleen käyttö tai kierrätys ei onnistu, neljäntenä vaihtoehtona on muu hyödyntäminen ja viimeisenä vaihtoehtona on loppukäsittely [Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014: 32].



Kuva 3. Jätteen käsittelyn etusijajärjestys [Jätekuljetusten valvonnan kehittämishanke].

Jätelakia sovelletaan pilaantuneeseen maa-ainekseen, kun se on kaivettu maaperästä pois. Etujärjestyksen huomiointivelvollisuus tukee kestävän kunnostuksen periaatteita ja edesauttaa pilaantuneen maaperän hyödyntämistä sekä vähentää neitseellisen maa-aineksen tarvetta, mikä puolestaan vähentää ympäristölle aiheutuvaa kuormitusta. [Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 2014: 32].

2.6 Pilaantuneen maaperän hyödyntämisen lupa-asiat

Pilaantuneen maaperän hyödyntämiseen on useita eri keinoja, jotka valitaan aina kohteen ominaisuuksien ja vaatimusten mukaan. Kaivualueen ulkopuolella pilaantuneiden maamassojen hyödyntämiseen tarvitaan pääsääntöisesti ympäristölupa. Ympäristölupa on yleinen lupahakemus kaikelle toiminnalle, josta voi aiheutua ympäristöhaittaa. Hakemus on hyvin työläs, se vaatii paljon resursseja viranomaisilta ja prosessiin kuluu huomattavasti aikaa [Niiranen 2016: 21]. Näin ollen pilaantuneen maaperän hyödyntämistä pyritään helpottamaan eri laeilla ja säädöksillä.

Ympäristösuojelulaki antaa mahdollisuuden pilaantuneen maaperän hyödyntämiseen kaivualueella PIMA-ilmoituksella. Ennen vuotta 2014 hyödyntäminen vaati ympäristöluvan. Lain tuoma muutos yksinkertaisti pilaantuneiden maa-ainesten hyödyntämistä etenkin pienissä kohteissa [Niiranen 2016: 22].

MARA-asetus eli valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa on asetus, jonka avulla voidaan hyödyntää joitakin jätteitä ilman ympäristölupahakemusta. Sen mukaan eräitä jätteitä voidaan käyttää maanrakentamiseen, kun seuraavat kohdat täyttyvät ympäristösuojelulain sekä jätelain asettamien säädösten lisäksi:

- Maanrakentamiseen käytettävän jätteen kerrospaksuus ei saa ylittää tiettyjä liitteessä ilmoitettuja määriä.
- Jätteen haitallisten aineiden maksimipitoisuudet ja liukoisuudet sekä niiden määrittämisen standardit on ilmoitettu liitteissä.
- Jätettä sisältävä rakenne tulee peittää lukuun ottamatta tuhkamursketietä ja asfalttimurskeesta tai -rouheesta rakennettua kenttää tai väylää.
- Jätteen etäisyys pohjaveteen tai talousvesikäyttöön tarkoitettuun vesistöön on määritelty.
- Asetuksen piiriin kuuluvien jätteiden sekoittamiseen on annettu liitteessä omat arvot. [Valtioneuvoston asetus 843/2017.]

Euroopan unionin tasolla kiertotalouteen liittyen ajankohtainen keskustelun aihe on ollut niin sanottu end of waste -menettely (EOW). Sen tarkoituksena on

helpottaa jätteen uusiokäyttöä poistamalla niistä jätestatus, mikä asettaa usein laillisia haasteita tuotteen uusikäytölle [Jätteiden kansainväliset siirrot]. EU:n tasolla EOW-status on määritelty tähän mennessä 5 eri jättejakeelle: teräs-, rauta-, kupari- ja alumiiniromu sekä lasimurska. Kansallisella tasolla Suomessa on määritelty jätteeksi luokittelun päättyminen betonimurskeelle, mikä mahdollistaa sen hyödyntämisen maaperän täytössä tietyin edellytyksin. EOW-status tulee määrittää aina jättejakohtaisesti, joten sen yleistyminen voi olla hidasta, mutta tulevaisuudessa se voi mahdollisesti kasvattaa merkitystään pilaantuneen maaperän kunnostushankkeissa [Raikas 2023: 27–34].

Pilaantuneen maa-aineksen hyödyntämisellä sekä jättejakeiden uusiokäytöllä maarakentamisessa voidaan saavuttaa huomattavia päästövähennyksiä PIMA-hankkeissa. Resurssien tehokas hyödyntäminen ja uusiokäyttö ovat myös tärkeitä kiertotalouden periaatteita, jotka tulevat varmasti olemaan yhä keskeisessä osassa maarakentamista.

3 Kestävä kehitys maaperän kunnostuksen ohjaajana

Kestävä kehitys on tullut keskeiseksi osaksi kaikkia nykypäivän toimialoja. Ympäristötietoisuuden kasvu on saanut suuren yleisön ymmärtämään luonnonvarojen sekä ympäristönsuojelun merkityksen. Ilmastonmuutoksen lisäksi puheenaiheeksi on noussut luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen ja luonnon hyvinvointi. Ympäristökysymyksiä lisäksi taloudelliset sekä sosiaaliset näkökulmat ovat merkittäviä tekijöitä, jotka tulee huomioida puhuttaessa kestävästä kehityksestä.

Maaperän kunnostamisella on huomattava määrä positiivisia vaikutuksia ihmisille sekä ympäristölle. Terveysvaikutukset ovat ihmisten kannalta merkittävä tekijä. Altistuminen pilaantuneessa maaperässä oleville haitta-aineille voi aiheuttaa elämänlaatua heikentäviä terveysongelmia. Taloudelliset syyt ovat toinen huomioitava vaikutus yhteiskunnan kannalta. Käyttökelvottomasta pilaantuneesta maasta voidaan tehdä hyödyntämiskelpoisia alueita, joista voidaan saada mitattavia taloudellisia hyötyjä. [Laitinen ym. 2022: 5.] Hyvinvoivalla

ympäristöllä voidaan myös ajatella olevan epäsuoria vaikutuksia ihmisten hyvinvointiin sekä taloudellisiin mahdollisuuksiin.

3.1 Hiilineutraalius

Euroopan unioni on asettanut tavoitteeksi olla hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä [European climate law 2021/1119]. Suomen tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä [Ilmastolaki 423/2022]. Euroopan unionin sekä Suomen ilmastotavoitteet ovat laillisesti sitovia ja näin ollen hiilineutraaliuudesta on tullut konkreettinen tavoite, jonka eteen usea valtio tekee aktiivisesti töitä.

Hiilineutraaliustavoitteita ohjaa taustalla Pariisin ilmastosopimus, jonka päämääränä on pitää maapallon lämpeneminen alhaisempana kuin 1,5 °C tai sen epäonnistuessa selvästi alhaisempana kuin 2,0 °C [The Paris Agreement 2015: 26]. IPCC:n ajankohtaisimman kuudennen arviointiraportin perusteella nykyiset ja suunnitellut päästövähennykset eivät ole todennäköisesti riittäviä rajoittamaan lämpenemistä alle 1,5 °C:seen. Kaikilla eri toimialoilla tarvitaan merkittäviä ja kiireellisiä järjestelyitä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi vuosikymmenen loppuun mennessä. [IPCC 2023.]

Hiilineutraalin yhteiskunnan saavuttamiseen on pääasiassa kaksi eri lähestymistapaa, päästöjen vähentäminen sekä hiilen sitominen ilmakehästä. Päästöjä voidaan vähentää muun muassa poliittisella päätöksenteolla, teknologisilla ratkaisuilla, energiasektorin suuntauksilla ja materiaali valinnoilla rakentamisessa sekä teollisuudessa. Keinot hiilen sitomiseen ilmakehästä ovat rajatumpia, ja ne pohjautuvat teknologisiin ratkaisuihin, kuten hiilidioksidin suoraan ilmasta talteen ottaminen tai biohiili ja poliittisiin päätöksiin hiilinielujen suojeluun ja lisäämiseen liittyen [Chen ym. 2022].

3.2 Hiilijalanjälki

Hiilineutraaliustavoitteisiin pääseminen vaatii optimaalisten ratkaisujen tunnistamista ja oikeiden päätösten tekemistä. Tähän on kehitetty avuksi lukuisia

hiilijalanjälkilaskentaohjelmia, jotka antavat tuotteille sekä palveluille hiilijalanjäljen. Hiilijalanjäljen määrittämisellä saadaan objektiivisia tuloksia ympäristövaikutuksista, joiden avulla voidaan ohjata hiilineutraaliustavoitteita. Päästölaskennan tekeminen on tärkeää, jotta pystytään valitsemaan useiden monimutkaisten vaihtoehtojen välillä, ja tulevaisuudessa sen käyttöä tulisi laajentaa järjestelmätasoisien hiilineutraaliuden selvittämiseen [Chen ym. 2022].

Hiilijalanjäljen arviointi perustuu tuotteen tai palvelun elinkaariarviointiin, jossa huomioidaan sen kasvihuonekaasupäästöt kehdosta hautaan. Laskennan rajaus on konkreettinen osa arviointia, ja se vaihtelee tutkimuksesta ja käytetystä standardista riippuen. Rajauksessa päätetään muun muassa, mitkä elinkaarenvaiheet ja kasvihuonekaasut huomioidaan. Hiilidioksidiekvivalenttia termiä käytetään, kun laskennassa huomioidaan hiilidioksidin lisäksi muitakin kasvihuonekaasuja ja se ilmoittaa niiden yhteisen ilmastoa lämmittävän vaikutuksen [Pandey ym. 2010].

Päästölaskentaa voidaan lähteä suorittamaan ”ylhäältä alas”- tai ”alhaalta ylös”-menetelmien avulla. Ylhäältä alas- eli tulo-lähtöanalyysi käyttää taloustieteen malleja ympäristötietojen analysoimiseen. Se soveltuu laajemman aiheen tarkasteluun, eikä tuota kovin tarkkoja tuloksia yksittäisten prosessien osalta. Alhaalta ylös eli prosessianalyysi puolestaan soveltuu pienempien kokonaisuuksien laskemiseen tarkoilla arvoilla, mutta se muuttuu liian monimutkaiseksi suurien järjestelmien käsittelyssä [Pandey ym. 2010]. Hermannin rantatien pilaantuneen maaperän kunnostustyön päästölaskentaan on käytetty prosessianalyysiä.

3.3 Standardit

Hiilijalanjäljen laskenta sekä raportointi perustuu aina standardeihin luotettavien tulosten takaamiseksi. Hermannin rantatien case-esimerkissä on hyödynnetty Väyläviraston ohjeistusta infrarakentamisen kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan, jossa annetaan tarkempia lukuja, joita voidaan käyttää päästölaskennassa kohdekohtaisten tietojen puuttuessa [Infrarakentamisen vähähiilisyyden

arviointimenetelmä 2023]. Kansainvälisesti käytössä on useita eri päästölaskentaa ohjaavia standardeja, joita hyödynnetään tieteellisten tulosten saamiseksi.

Vuonna 1998 julkaistiin Greenhouse Gas Protocol eli GHG-protokolla. Se syntyi yhteistyössä maailman luonnonvarainstituutin (WRI) sekä WBCSD-yritysvastuuverkoston kanssa niiden tunnistaessa tarpeen yhteiselle standardille yritysten kasvihuonekaasupäästöjen seurantaan [Ranganathan ym. 2004: 2]. GHG-protokollan kirjapito- ja raportointistandardit ovat laajasti käytössä ympäri maailmaa, ja WRI:n mukaan 92 % maailman 500 suurimmasta yrityksestä käyttää sitä suorasti tai epäsuorasti [Greenhouse Gas Protocol].

GHG-protokollassa päästöt jaetaan suoriin sekä epäsuoriin kategorioihin tarkkuuden ja läpinäkyvyyden takaamiseksi:

- Scope 1 sisältää yrityksen omasta toiminnasta aiheutuvat suorat päästöt.
- Scope 2 sisältää yrityksen toiminnan mahdollistavasta energian käytöstä aiheutuvat epäsuorat päästöt, kuten sähkön ja lämmön tuotanto.
- Scope 3 sisältää epäsuorat päästöt, jotka aiheutuvat yrityksen tuotantoketjun eri vaiheista, mutta eivät ole sen omistuksessa [Ranganathan ym. 2004: 25].

GHG-protokollassa on myös tarkentavia standardeja, joita voidaan hyödyntää eri osa-alueiden, kuten tuotteiden (Product Standard) tai projektien (Project Protocol) päästövaikutusten arviointiin [GHG-protokolla päästölaskennassa 2023].

PAS 2050 on vuonna 2008 käyttöön otettu ja vuonna 2011 päivitetty Britannian kansallisen standardoimisjärjestön (BSI) tekemä standardi, jonka tarkoituksena on varmistaa tuotteiden ja palveluiden johdonmukainen esittäminen. Se perustuu osittain elinkaariarviointiin tarkoitettuihin ISO 14040- ja ISO 14044 -standardeihin, mutta tarkentaa niitä enemmän tuotteiden ja palveluiden kasvihuonekaasupäästöihin. PAS 2050 -standardi ohjeistaa monimutkaisten ongelmien huomiointiin, kuten järjestelmän rajojen määrittelyyn, hiilen varastointiin tai viivästyneisiin päästöihin [Garcia & Freire 2013].

ISO 14067 -standardi julkaistiin vuonna 2018, ja sen tarkoituksena on ohjata kasvihuonekaasupäästöjen mittaamista, seuranta ja raportointia. Se on kansainvälinen standardi, joka on jaettu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa määritellään tuotteen tai palvelun hiilijalanjälki ja toisessa osassa tuloksien kommunikoinnin tapa [Florent 2023].

Kaikki edellä mainitut standardit tukeutuvat ISO 14040- ja ISO 14044 -standardeihin ja tarkentavat niitä. Standardien tekijät (ISO, BSI ja WRI/WBCSD) ovat pyrkineet yhdenmukaistamaan niitä, mutta niissä on silti eroavaisuuksia, mikä aiheuttaa vaihtelua tuloksissa. ISO 14067 -standardia voidaan ajatella yleispätevänä menetelmänä, kun taas PAS 2050 ja GHG-protokolla ovat yksityiskohtaisempia. [Schryver & Zampori 2022.] Vuonna 2013 Garcian ja Frereiren [2013] tekemässä tutkimuksessa vertailtiin edellä mainittuja standardeja lastulevyn hiilijalanjäljen laskemiseen eri skenaarioissa. Kehdosta hautaan -lähestymistavalla standardien antamat hiilijalanjäljet vaihtelivat noin 53 %:lla kun tuotteen hävitystapana on jätteenpolto. 2018 Kiinassa suoritetussa tutkimuksesta puolikovan kuitulevyn eli MDF-levyn hiilijalanjäljestä, tultiin tulokseen PAS 2050 -standardin olevan sopivin arviointitapa puutuotteille. PAS 2050 ottaa huomioon hiilivarastoinnin puutuotteiden hyötynä sekä antaa tarkempia rajoituksia prosessille, joita toiset standardit eivät tee. [Wang ym. 2018.]

3.4 Kestävä kunnostaminen

Kestävässä kunnostuksessa tulee huomioida kunnostusprosessin vaikutukset ympäristöön, yhteiskuntaan sekä talouteen. Kaikki kestävä kehityksen osa-alueet tulee ottaa huomioon, ja pyrkimyksenä on optimoida mahdollisimman kokonaisvaltainen positiivinen vaikutus kunnostustyölle. Yksinkertaisesti kunnostus tulee toteuttaa niin, että siitä saatavat hyödyt ovat suuremmat kuin siitä aiheutuvat haitat. [Laitinen ym. 2022: 7–8.]

Parhaisiin tuloksiin kestävässä kunnostuksessa päästään, kun se huomioidaan systemaattisesti koko kunnostusprosessin ajan alusta loppuun. Monet kestävä kunnostuksen menetelmät ovat hyvin yksiselitteisiä, kuten päästöjen sekä

kustannusten pienentäminen. [Laitinen ym. 2022: 8.] Asian muuttua haastavaksi useiden eri ristiriitaisten vaatimusten yhteensovittaminen ja sopivan tasapainon löytäminen niiden välillä. Sen takia kunnostussuunnitelman huolellinen tekeminen sekä toimintaa ohjaavien apuvälineiden käyttäminen, kuten standardien ja päästölaskennan hyödyntäminen auttaa eri skenaarioiden vertailua sekä oikean vaihtoehdon valitsemista.

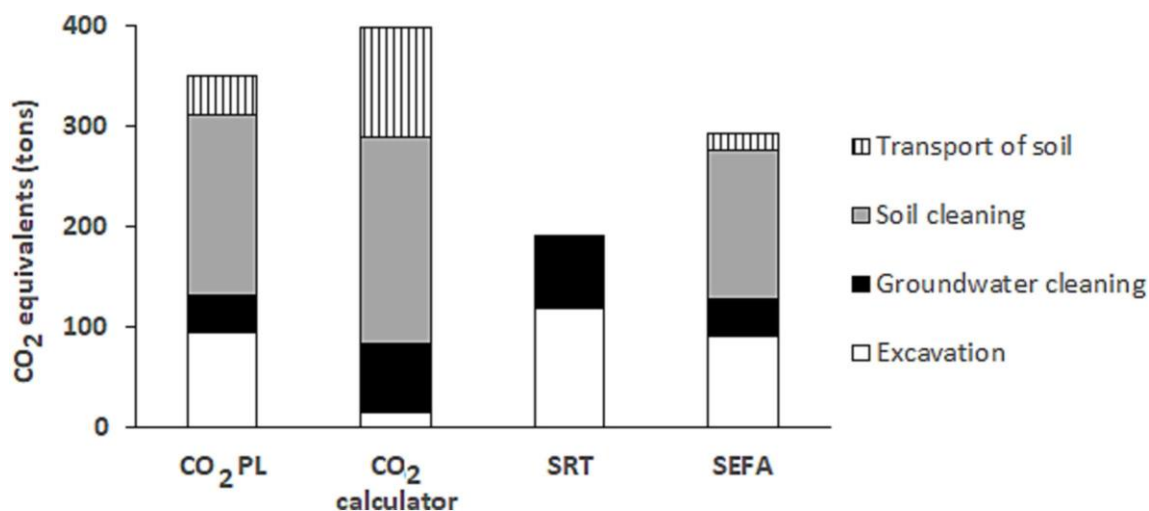
Suomessa merkittävä osa kunnostusprojekteista tehdään ympäristötavoitteiden kannalta turhan kattavasti. Huomioimalla kestävä kunnostuksen perusteet voitaisiin näissä tapauksissa saavuttaa taloudellisia hyötyjä ja jopa ympäristöhyötyjä, kun maaperää ei kaiveta turhan laajassa mittakaavassa. Yhteiskunnallisia hyötyjä voidaan saavuttaa tiedottamalla projektin eri vaiheista sekä toiminnan läpinäkyvyydellä, mikä voi lisätä hyväksyttävyyttä kunnostustyömaille. [Laitinen ym. 2022: 10.]

3.5 Massanvaihdon päästöt

Vuonna 2024 julkaistussa tutkimuksessa vertailtiin maaperän kunnostuksen hiilijalanjälkeä, joka oli määritetty eri laskureilla. Yhtenä vertailukohteena toimi entinen kunnan omistama kaasulaitos, jonka toiminnasta aiheutui suuria määriä mineraaliöljy-, bentseeni-, tolueeni-, etyylibentseeni-, ksyleeni-, syanidi-, bentso(a)pyreeni- ja naftaleenipäästöjä maaperään. Kohteen maaperä oli pääsääntöisesti hiekkaa 15 metrin syvyyteen asti, josta alkoi savikerros, ja pohjavesi oli 1–2 metrin syvyydessä maanpinnasta. Kunnostusmenetelmänä toimi massanvaihto off site -puhdistuksella, jossa maa-aines vietiin fysikaalis-kemialliseen käsittelyyn tai termiseen käsittelyyn. [Cappuyns 2024.]

Kuvassa 4 näkyy neljä eri laskurilla saatua tulosta kohteen hiilijalanjäljestä. Sustainable Remediation Tool (SRT) -laskurissa ei ole mahdollista ottaa huomioon pilaantuneen maa-aineksen puhdistamista ja kuljetus on ilmoitettu kaivamisen

päästöissä. [Cappuyns 2024.]



Kuva 4. Eri hiilijalanjälki laskureiden antamat tulokset. Y-akselilla on ilmoitettu hiilidioksidiekvivalentti tonneina. Värikoodit ovat: valkoinen väri (kaivaminen), musta väri (pohjaveden puhdistus), harmaa väri (maaperän puhdistus) ja raidallinen kuviointi (kuljetus). [Cappuyns 2024.]

Tuloksista voidaan päätellä pilaantuneen maaperän puhdistuksen aiheuttavan eniten kasvihuonekaasupäästöjä kokonaisuudesta. Kuljetuksella sekä kaivamisella päästöt ovat suunnilleen samaa luokkaa, mutta kuljetusmatkoja ei ole erikseen ilmoitettu. Vedenpuhdistuksesta aiheutuneet päästöt olivat hieman alhaisemmat, mutta silti merkittävä tekijä tutkimuksen mukaan.

Pirkanmaan ELY-keskuksen päästölaskentaselvityksessä vuonna 2024 vertailtiin myös eri puhdistusmenetelmien hiilijalanjälkiä. Massanvaihdon case-kohteenä toimi Kurikassa toiminut Rajalan saha. Kunnostettavan alueen laajuus oli noin 1 300 m² ja maa-aineksia poistettiin noin 2 300 tonnia. Taulukossa 1 on

esitetty tutkimuksen tulokset. [Maaperän puhdistusmenetelmien ilmastovaikutukset 2024.]

Taulukko 1 Rajalan sahan massanvaihdon hiilijalanjälki [Maaperän puhdistusmenetelmien ilmastovaikutukset 2024].

Päästölähteet	Ilmastopäästöt (kgCO ₂ e)	Osuus hiilijalanjäljestä (%)
Materiaalit	9 167	21
Työkoneet	2 646	6
Kuljetukset	31 807	73
Muu energiankäyttö	-	-
Jätteiden käsittely	2	<0,1
Hiilijalanjälki yhteensä	43 621	100

Pilaantunutta maa-ainesta kuljetettiin loppusijoitettavaksi 157 km:n etäisyydelle 40 kuormaa ja 30 km:n etäisyydelle 9 kuormaa. Maaperän täyttöön tuotiin alueen ulkopuolelta moreenia 30 km:n etäisyydeltä ja osittain alueella hyödynnettiin kaivettuja pilaantumattomia maita. [Maaperän puhdistusmenetelmien ilmastovaikutukset 2024.]

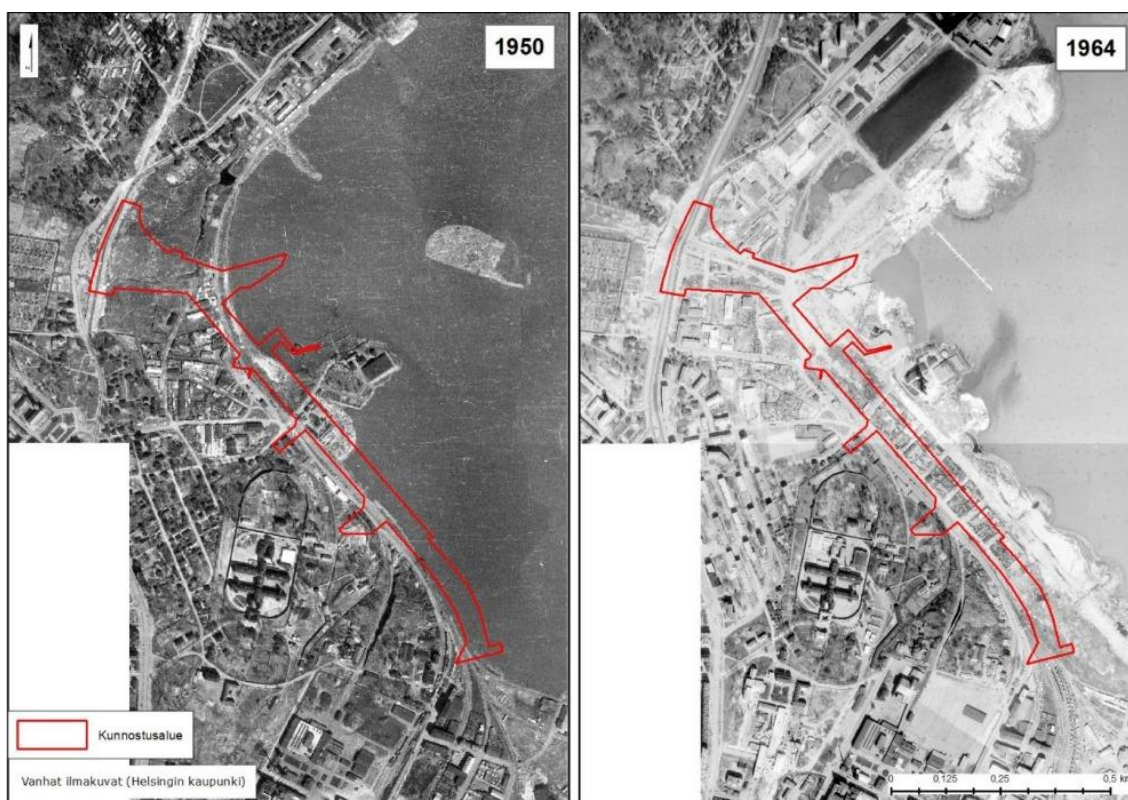
4 Kohteen kuvaus

Hermannin rantatielle Helsingissä ollaan rakentamassa uutta raidelinjaa, jonka on tarkoitus yhdistää Kalasatama ja Pasila. Rakentamisen yhteydessä kaivettava maa-aines on todettu pilaantuneeksi, ja kohteessa on suoritettu maaperän kunnostushanke, jossa on käytetty massanvaihtomenetelmää ja pilaantunut maaperä on loppusijoitettu jätteenä. Kunnostettavan alueen pinta-ala on noin 10,8 hehtaaria. Kunnostustyöt sijoituivat tammikuun 2022 lopusta lokakuun 2023 loppuun. [Virta ym. 2021.]

4.1 Toimintahistoria

Hermannin rantatie on suurelta osalta entistä merenpohjaa, ja sitä on täytetty 1800-luvulta lähtien erilaisella teollisuudesta syntyneellä jäteperäisellä maa-

aineksella. Osa kunnostusalueesta on ollut vielä merenpinnan alla 1950-luvulla (kuva 5), ja se on täytetty maaperällä vuoteen 1964 mennessä. Alueen eteläpuolella Kalasatamassa on aiemmin toiminut satama, ja pohjoisessa on ollut Arabian tehdasalue, joita on yhdistänyt kohteen läpi kulkenut rautatie. Sen lisäksi alueella on toiminut erilaista pienteollisuutta sekä varastointipalveluita, jotka on suurelta osin purettu 1970-lukuun mennessä, minkä jälkeen kunnostusalue on ollut päämäärin tiealuetta. [Virta ym. 2021.]



Kuva 5. Hermannin rantatien kunnostusalue vuotena 1950 ja 1964 [Virta ym. 2021].

Alueen läheisyydessä on myös ollut paljon erilaista teollisuus- sekä varastointitoimintaa. Kyläsaarella on toiminut kaupungin jätevedenpuhdistuslaitos sekä jätteidenpolttolaitos, jonka kuonaa on käytetty kunnostusalueen täytössä. Muita alueen läheisyydessä mahdollisesti pilaantumista aiheuttaneita toimintoja ovat olleet polttoaineen jakelupisteet, tynnyritehdas, romukaupat, jätteidenlajittelu- sekä kierrätysasemat ja jätevesiviemärien purkupaikat. [Virta ym. 2021.]

4.2 Maaperän koostumus ja pohjavesi

Kunnostusalue sijoittuu täysin täyttömaa-alueelle, ja sen paksuus vaihtelee yhdestä seitsemään metriin. Täyttöön käytetty maaperä koostuu pääsääntöisesti hiekasta, sorasta sekä louheesta. Täyttömaan seassa on erilaista jäteainesta, kuten puuta, muovia, metallia, posliinia, asfalttia ja tiiltä. Maaperästä löytyy myös teollisuus- sekä rakennusjätteitä, kuten kuonaa ja tuhkaa. Luonnonmaa täyttömaan alapuolella on savea, jonka kerrospaksuudeksi on arvioitu 10–20 m [Virta ym. 2021].

Alueella ei sijaitse luokiteltua pohjavesialuetta ja lähin luokiteltu pohjavesialue on Santahaminassa. Kunnostusalue on hyvin lähellä merta, ja alue ei ole paljoa merenpintaa korkeammalla, minkä takia orsivesi on kohtalaisen lähellä maanpintaa [Virta ym. 2021].

4.3 Pilaantuneen maa-aineksen ja pohjaveden määrä

Kohteesta kaivettiin yhteensä 273 710 t maa-ainesta loppusijoitukseen. Pitoisuudet kaivetuissa maa-aineksissa olivat seuraavat:

- Vaarallisen jätteen raja-arvot ylittyivät 19 583 t:ssa maa-ainesta.
- Ylempi ohjearvo ylittyi 18 771 t:ssa maa-ainesta.
- Alempi ohjearvo ylittyi 190 925 t:ssa maa-ainesta.
- Kynnysarvomaita, jotka eivät kelvanneet täyttöön poistettiin 44 430 t. [Kupiainen & Frusti 2024: 13.]

Pohjavettä kohteessa pumpattiin yhteensä 311 257 m³, joista 26 960 m³ johdettiin hulevesiviemäriin ja 284 627 m³ johdettiin jätevesiviemäriin puhdistettavaksi [Kupiainen & Frusti 2024: 12].

Kohteen pilaantuneisuus johtuu pitkälti pilaantuneen täyttömaan käytöstä. Pilaantuneisuutta on todettu tutkimusten perusteella useammilla eri haitta-aineilla sekä maaperän syvyyksillä. Tutkituista metalleista ainoastaan koboltissa alittui alempi ohjearvo, kun muista todettiin suurempia pitoisuuksia. Suurimmat

pitoisuudet olivat kuparilla, lyijyllä ja sinkillä, joilla pitoisuudet ylittivät myös vaaralliseen jätteen raja-arvot. [Virta ym. 2021.]

Metallien lisäksi alueella esiintyi paljon öljyhiilivetyjä sekä eri PAH-yhdisteitä. Öljyhiilivedyistä todettiin erityisesti keskittisleitä (C₁₀–C₂₁) ja raskaita öljyjakeita (C₂₁–C₄₀). PAH-yhdisteistä ylempät ohjearvot ylittyivät muun muassa asenafteenissa, fluoreenissa ja fenantreenissa. [Virta ym. 2021.]

4.4 Pilaantuneen maa-aineksen kuljetus

Pilaantunutta maa-ainesta ja hyödyntämiseen kelpaamatonta maa-ainesta loppusijoitettiin yhdeksään eri kohteeseen. Taulukossa 2 on esitetty tarkemmat kuljetusetäisyydet sekä -kohteet ja niihin ajettujen maa-ainesten massamäärät.

Taulukko 2 Loppusijoituskohteiden etäisyydet ja massamäärät. Kuljetusetäisyyksien lähteenä toimi karttapalvelu [Google Maps; Hermannin rantatie kuorimat lohko 3A & 3B].

Loppusijoituskohde	Maa-aineksen massa (t)	Kuljetusetäisyys (km)
Kouvola	31 375	134
Salo	34 253	118
Valkeakoski	76 079	154
Forssa	24 260	118
Hämeenlinna	92 857	107
Lahti	1 774	100
Sipoo	6 944	30
Ohkola	5 536	50
Yrttikangas	632	150
Yhteensä	273 710	

Sipooseen, Ohkolaan ja Yrttikankaalle vietiin pelkästään kynnysarvomaita ja Saloon, Hämeenlinnaan, Forssaan sekä Valkeakoskelle pelkästään pilaantunutta maa-ainesta.

4.5 Maaperän täyttö ja maa-aineksen hyödyntäminen

Maaperän täyttöön Hermannin rantatiellä on käytetty yhteensä noin 195 000 m³ maa-ainesta. Siitä puhdasta neitseellistä maaperää on noin 155 000 m³ ja kohteesta kaivettua maa-ainesta on hyödynnetty noin 62 000 m³ [Koljonen & Laitinen 2024]. Massat ovat hieman suurempia kuin kaivettujen maiden määrät, koska alueen maanpintaa on nostettu hankkeessa noin metrin verran [Ympäristölupahakemus 2022].

Lupa pilaantuneiden maa-ainesten hyödyntämiselle kohteessa on haettu ympäristöluvassa ja se toteutettiin seuraavilla periaatteilla:

- Kynnysarvojen tulee alittua, kun maa-ainesta hyödynnetään pintamassassa (0–0,5 m).
- Tiiviin rakenteen tai pintakerroksen alla hyödynnettävässä maa-aineksessa ylemmät ohjearvot eivät saa ylittyä.
- Haihtuvia yhdisteitä tai elohopeaa sisältäviä maa-aineita ei hyödynnetä, kuten ei myöskään haisevaa ainesta.
- Jos hyödynnetään maa-ainesta, jossa alemmat ohjearvot ylittyvät, tulee ne maamassat merkitä huomioverkoilla. [Ympäristölupahakemus 2022.]

5 Hermannin rantatien päästölaskenta

5.1 Zeroinfra

Zeroinfra on Rambollin vuonna 2021 julkaisema datapohjainen palvelu, joka tarjoaa ratkaisuja infrastruktuuri- ja maankäyttöhankkeiden yksityiskohtaiseen päästölaskentaan, projektinhallintaan ja strategiseen päätöksentekoon. Sen tarkoituksena on auttaa organisaatioita asettamaan ja saavuttamaan hiilineutraalisuustavoitteitaan tehokkaasti sekä kestävästi. [Rambollilta uusi päästöpohjaisen suunnittelun palvelu infra- ja maankäyttöhankkeisiin 2021.]

Työkalun luomisessa on pyritty vastaamaan perinteisen päästölaskennan yleisimpiin ongelmiin, kuten tiedon keräämisen sekä vertailun hitauteen ja hankalaan ymmärtämiseen. Sen avulla eri skenaarioiden vertailun olisi tarkoituksena

olla nopeampaa sekä kustannustehokkaampaa, mikä puolestaan mahdollistaa päästölaskennan yleisemmän käytön projekteissa ja ympäristöystävällisempien ratkaisujen tekemisen. [Rambollilta uusi päästö pohjaisen suunnittelun palvelu infra- ja maankäyttöhankkeisiin 2021.]

Zeroinfra-työkalussa on valmiita laskupohjia yleisimpiin infrarakentamiseen liittyviin työvaiheisiin sekä mahdollisuus luoda omia pohjia vastaamaan projektin tarpeisiin. Hermannin rantatien päästölaskenta on suoritettu pääasiassa hyödyntäen valmiita InfraRYL:n pohjia, mutta pohjaveteen liittyviin työsuoritteisiin on luotu yksilölliset laskentakaavat. Zeroinfra ilmoittaa saadut päästöt kolmessa kategoriassa: materiaalit, kuljetukset ja työsuoritteet.

5.2 Päästölaskennan rajaus

Päästölaskennan rajaus on tehty kattamaan suorat rakentamisen aikaiset päästöt. Tämä tarkoittaa, että laskennassa on huomioitu vain välittömät pilaantuneen maaperän kunnostamisen seurauksena syntyvät päästöt. Muut vaikutukset, kuten pilaantuneen maa-aineksen loppusijoituksen jälkeiset päästöt, eivät sisälly laskelmiin. Näitä elinkaaren loppuvaiheen päästöjä on haasteellista arvioida, eikä niitä ole otettu mukaan laskelmiin. Lisäksi laskelmat eivät ota huomioon muita epäsuoria kasvihuonekaasupäästöjä, jotka voivat syntyä kunnostustöiden aikana. Esimerkiksi työntekijöiden työmatkojen aiheuttamat päästöt, työkoneiden kuljetukset työmaalle tai työmaalla käytettävien energialähteiden tuotannosta aiheutuvat päästöt ei ole huomioitu. Poikkeuksena oli pohjaveden pumppaamiseen käytettyjen pumppujen energialähteen päästöjen huomiointi.

5.2.1 Maaperän käsittely

Pilaantuneen maaperän käsittelyssä on huomioitu maa-aineksen kaivuu, kuljetus sekä levitys loppusijoitukseen. Kaivamiseen käytetyt kaivinkonemallit eivät olleet tiedossa, joten päästölaskemiseen käytettiin 21-tonnista tela-alustaista kaivinkonetta (KKH 21) suuntaa antavana vaihtoehtona, joka valikoitui kokeempien päästölaskijoiden mielipiteiden perusteella [Uusi-Viitala 2024].

Kuljetusetäisyyksinä sekä massamäärinä toimivat taulukossa 1 ilmoitetut arvot. Kuljetuksen päästöjen arviointiin käytettiin 32-tonnista maansiirtoautoa 50 %:n täyttöasteella maantieajossa. Kuljetuskaluston valinta perustuu väyläviraston ohjeisiin, joiden tarkoituksena on yhdenmukaistaa infrarakentamisen päästölaskentaa Suomessa [Infrarakentamisen vähähiilisyiden arviointimenetelmä 2023: 23]. Loppusijoituskohteessa suoritettavaan maa-aineksen levitykseen valittiin arvioiden perusteella 13–19-tonninen pyöräkuormaaja (KUP 100-130) [Uusi-Viitala 2024]. Kaikkien edellä mainittujen ajoneuvojen käytetyt päästökertoimet ovat saatavilla infrarakentamisen kansallisessa päästötietokannassa [Infrarakentamisen päästötietokanta].

Kohteessa hyödynnetyn maa-aineksen päästölaskut ovat muuten samat, kuin pilaantuneella maaperällä, mutta niissä ei ole huomioitu kuljetusetäisyyksiä. Neitseellisellä maa-aineksella suoritettuun täyttöön perustuva päästölaskenta pitää sisällään samat työsuoritteet (KKH 21 & KUP 100-130), mutta kuljetusetäisyys perustuu väyläviraston ohjeisiin, jossa neuvotaan tuotavien maamassojen kuljetusetäisyydeksi 50 km, kun tarkemmat hankekohtaiset kuljetusmatkat eivät ole selvillä [Infrarakentamisen vähähiilisyiden arviointimenetelmä 2023: 24]. Neitseellisten maa-ainesten suhteen on tehty oletus, että niiden tuottaminen ei aiheuta muita päästöjä kaivamisesta aiheutuneiden lisäksi.

Maamassojen ilmoitetut yksiköt ovat vaihdelleet tonnien (t) ja kuutioiden (m^3) välillä. Zeroinfra-työkalussa täytyy myös laskusta riippuen käyttää eri yksiköitä. Yksikkömuunnokset tonnien ja kuutioiden välillä on suoritettu kertoimella 1,5, joka perustuu karkean hiekan tilavuuspainoon 1500 t/m^3 [Tolvanen 2020: 23].

5.2.2 Huomioverkko

Kunnostusalueelle asennettiin huomioverkkoja alemman ohjearvon ylittävien maa-ainesten päälle tai reunoille [Virta ym. 2021: 27]. Tarkempaa huomioverkkomateriaalia ei ollut tiedossa, eikä Zeroinfra-työkalussa ollut valmista laskentapohjaa huomioverkoille. Päästölaskuihin valittiin korvaavaksi materiaaliksi yleisesti käytössä oleva N3-suodatinkangas [Uusi-Viitala 2024]. Materiaalin

päästökerroin löytyy infrarakentamisen kansallisessa päästötietokannassa [Infrarakentamisen päästötietokanta]. Laskuissa käytettävä materiaalin pinta-ala on arvioitu Rambollin piirretyistä huomioverkkokartoista. Kuljetusetäisyys on ollut 84 km ja tavarantoimitus on tapahtunut 40-tonnisella puoliperävaunuyhdistelmällä 20 %:n täyttöasteella maantiejossa. Kuljetusetäisyys ja kuljetusmuoto perustuu väyläviraston ohjeisiin kuljetusetäisyyksistä ja -muodoista, kun tarkemmat tiedot eivät ole saatavilla [Infrarakentamisen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2023: 23–24].

5.2.3 Pohjaveden pumppaus

Pohjaveden pumppaamiseen käytetty kalusto sekä niiden lukumäärä ei ollut tiedossa ja päästölaskentaan on valittu esimerkiksi yksi Makitan PF1100-uppopumppu asiantuntijan mielipiteen perusteella, jonka on oletettu toimineen verkkovirralla. [Virta 2024]. Kaavassa 1 on laskettu pumppausaika, joka perustuu pohjaveden pumpattuun määrään sekä uppopumpun virtaukseen 15 000 l/h. Pumppausmäärät on muutettu kuutioista litroiin kertomalla tuhannella.

$$Pumppausaika = \frac{Pumppaus\ määrä\ (l)}{Pumpun\ virtaus\ \left(\frac{l}{h}\right)} \quad (1)$$

$$\frac{311\ 632\ 000\ l}{15\ 000\ l/h} = 20\ 775,5\ h$$

Kaavassa 2 on laskettu käytetyn sähkön määrä mikä perustuu pumpun 1100 W tehoon ja pumppaukseen käytettyyn aikaan.

$$Käytetty\ sähkö = 20\ 775,5\ h \times 1100\ W \quad (2)$$

$$= 22\ 853,05\ Wh = 22,83\ kWh$$

Sähköntuotannosta aiheutuneet kasvihuonekaasupäästöt olivat Fingridin mukaan 81 gCO₂/kWh ajalta 4.1.2022-4.6.2022 [Sähköntuotannon ja -kulutuksen CO₂-päästöarviot]. Kaavassa 3 on laskettu pumppauksen päästökerroin.

$$\text{Päästökerroin} = \frac{\text{Käytetty sähkö (kWh)} \times \text{sähköntuotanto} \left(\frac{\text{gCO}_2\text{ekv}}{\text{kWh}} \right)}{\text{Pumppausmäärä (m}^3\text{)}} \quad (3)$$

$$\frac{1\,851\,097,05 \text{ gCO}_2\text{ekv}}{311\,632 \text{ m}^3} = 0,00594 \frac{\text{gCO}_2\text{ekv}}{\text{m}^3} = 0,000006 \frac{\text{kgCO}_2\text{ekv}}{\text{m}^3}$$

5.2.4 Pohjaveden puhdistus

Päästökerroin pohjaveden puhdistukselle on laskettu HSY:n vuodelle 2021 antamien tietojen perusteella. HSY:n toiminnasta aiheutui yhteensä 109 000 tCO_{2ekv} kasvihuonekaasupäästöjä, joista jäteveden puhdistuksen osuudeksi ilmoitettiin 44 %, ja kokonaisuudessaan jätevettä käsiteltiin 149 000 000 m³. [Viholainen 2021.] Kaavassa 4 on esitetty jäteveden puhdistamisen päästökerroin.

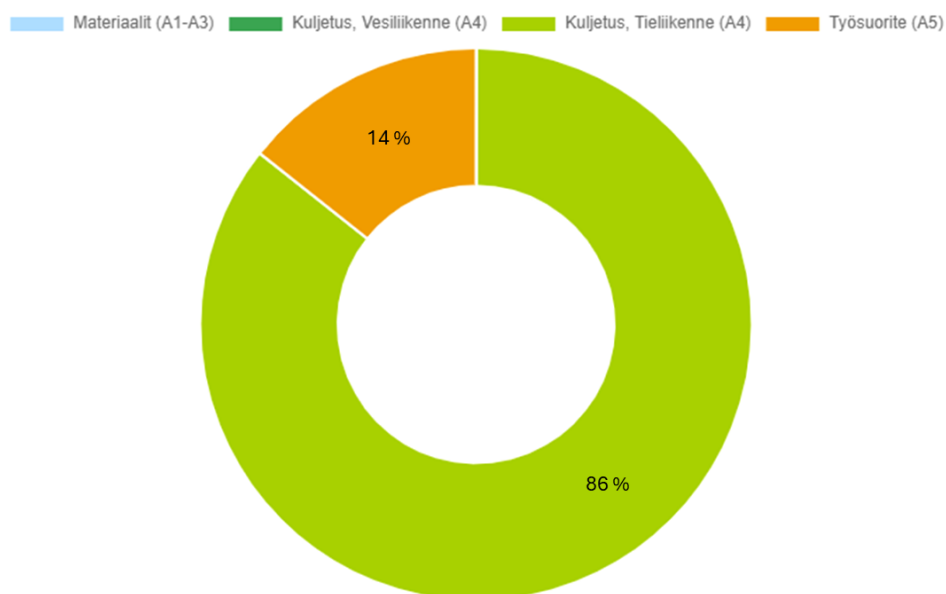
$$\text{Päästökerroin} = \frac{\text{jätevedenpuhdistuksen päästöt (kgCO}_2\text{ekv)}}{\text{Jäteveden määrä (m}^3\text{)}} \quad (4)$$

$$\frac{47\,960\,000 \text{ kgCO}_2\text{ekv}}{149\,000\,000 \text{ m}^3} = 0,321 \frac{\text{kgCO}_2\text{ekv}}{\text{m}^3}$$

5.3 Tulokset

Hermannin rantatien kunnostustyön hiilijalanjälki oli työssä osoitetun rajauksen mukaan 4,94 miljoonaa kgCO_{2ekv}. Kuvassa 6 on Zeroinfra-työkalusta saatu kuvaaja ryhmien osuuksista, johon on lisätty prosenttiyksiköt. Tarkemmat tulokset

laskennasta löytyvät liitteestä 1.



Kuva 6. Hermannin rantatien kunnostustyön kasvihuonekaasupäästöjen osuudet.

Suurimman osuuden päästöistä aiheutti kuljetukset, jotka olivat noin 86 % kokonaisuudesta ja yhteensä 4,22 miljoonaa kgCO_{2ekv}. Työsuoritteet kattoivat noin 14 % laskennan päästöistä. Niihin kuuluu maa-ainesten kaivu ja purku, pohjaveden pumppaus sekä puhdistus ja huomioverkon asentaminen. Materiaalipäästöt syntyivät ainoastaan noin 2 268 kgCO_{2ekv}, jotka olivat peräisin huomioverkosta.

6 Tulosten tarkastelu

Tuloksia vertailtaessa aiemmin opinnäytetyössä mainittuihin tutkimuksiin voidaan havaita joitakin yhtäläisyyksiä. Cappuynsin [2024] tekemässä tutkimuksessa huomioitiin myös pilaantuneen maaperän puhdistuksesta aiheutuneet päästöt, eikä siinä ilmoitettu tarkempia määriä kohteelle, joten suoran vertailun tekeminen on haasteellista. Tuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että eri laskurit aiheuttavat jo itsessään hajontaa tuloksiin ja pilaantuneen maaperän puhdistus kattaa suuren osuuden kokonaisuudesta.

Pirkanmaan ELY-keskuksen tekemässä selvityksessä Rajalan saha on huomattavasti selkeämpi Suomessa suoritettu kunnostushanke vertailuun. Hiilijalanjälki kunnostuskohteessa yhtä tonnia kaivettua maa-ainesta kohden on 18,97 kgCO₂ekv. Hermannin rantatien hiilijalanjälki on puolestaan laskennan perusteella 18,0 kgCO₂ekv/t. Myös kuljetusten osuudet vertautuvat toisiinsa hyvin, Rajalan kohteesta ne kattoivat 73 % ja Hermannin rantatiellä 86 %. Suurin ero kohteiden välillä oli materiaaleista aiheutuneet päästöt, minkä voi mahdollisesti selittää täyttömateriaalien päästöjen sisällyttämisellä eri luokkiin. Rajalan kohteessa täyttömateriaalien päästöt (21 %) ovat osa materiaalipäästöjä, kun Hermannin rantatien laskuissa (~0 %) ne ovat vain osa kuljetuksia sekä työsuoritteita. Zeroinfra antaa kokonaispäästöjä havainnollistavan kuvan (kuva 7), jossa verrataan saatuja päästöjä arkipäiväisempiin tilanteisiin, mikä antaa

konkreettisemmän kuvan laskennan tuloksista.

Päästöjen havainnollistaminen



32 576 682 km
henkilöautokilometrin ajo



1 050 ha
kasvavan metsän sitova määrä



3 948
henkilön Thaimaan-matka



479
henkilön vuotuinen päästö



267 398 €
EU-päästöoikeuden hinta



Kuva 7. Zeroinfrasta saatu Hermannin rantatien kokonaispäästöjä havainnollistava kuva.

Hermannin rantatieltä saadut tulokset vaikuttavat realistisilta arvioilta massanvaihto menetelmän päästöistä, joissa pilaantunutta maaperää ei puhdisteta, vaan se loppusijoitetaan jätteenä.

6.1 Luotettavuuden arviointi

Lähtötietojen epätarkkuudella on huomioitava vaikutus tulosten tarkkuuteen. Maamassojen määrien ilmoitus on vaihdellut kuutioiden ja tonnien välillä. Zeroinfra-työkalussa eri laskut vaativat eri yksiköitä, joten lähtötietoja on joutunut muuntamaan tilavuuden ja massan välillä. Yksikkömuunnoksissa on jouduttu tekemään oletuksia maa-aineksen tilavuuspainosta, mitä ei pystytty tarkistamaan. Oletuksia on jouduttu tekemään myös käytetyistä työkoneista sekä kuljetuskalustosta. Neitseellisen maa-aineksen kuljetusetäisyydet eivät ole tiedossa, mistä voi teoriassa aiheutua huomattavia muutoksia tuloksiin, kun ottaa huomioon kuljetusten osuuden päästöistä.

Huomioverkkojen päästölaskenta on suoritettu suodatinkankaan materiaalitiedoilla ja sitä käytetty määrä on laskettu käsin piirrettyjen karttojen perusteella. Yksittäin tarkasteltuna se ei olisi luotettavaa tietoa, mutta päästölaskennan kokonaisuuteen sen epätarkkuudella ei ole suurta vaikutusta.

Pohjaveden käsittelyn suurimmat epävarmuudet johtuvat käytetyn pumpun arviosta sekä sen käyttövoimasta. Kohteesta ei ole tietoa onko käytetty pumpppu toimintavertaisella vai aggregaatilla, millä on huomattava vaikutus päästöjen kannalta. Aggregaattia voimanlähteenä käytettäessä syntyvät päästöt olisivat suuremmat ja vaikuttaisivat lopputuloksiin huomattavasti.

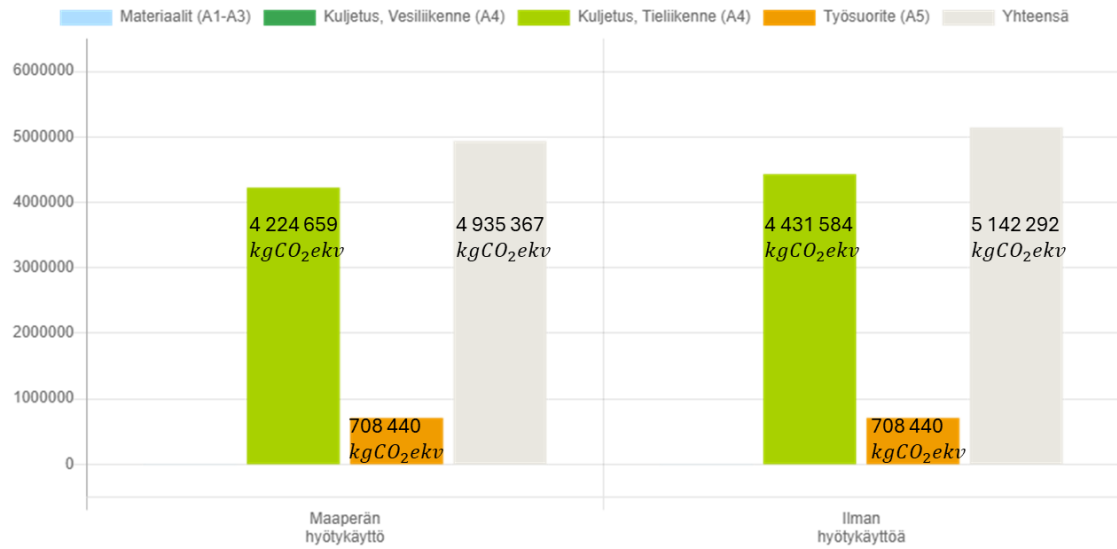
Epävarmuudet arviointimenetelmässä koostuvat pitkälti päästölaskennasta tehdystä rajauksesta. Pilaantuneen maa-aineksen loppusijoituksen jälkeisiä päästöjä ei ole otettu huomioon. Mikäli se olisi puhdistettu jollakin fysikaalis-kemiallisella menetelmällä, siitä olisi aiheutunut laskettavia päästöjä. Loppusijoituksen vaikutuksia voi olla haastava arvioida. Maa-aineksessa voi olla esimerkiksi orgaanista materiaalia, kuten puuta tai kasvimateriaalia, mikä tuottaa kasvihuonekaasupäästöjä hajotessaan. Toisaalta siinä voi olla myös betonimursketta, minkä voidaan ajatella sitovan hiiltä ja toimivan siten hiilinieluna. Zeroinfra-palvelun itsessään ei voida ajatella aiheuttaneen epävarmuustekijöitä tuloksiin, kun sitä on käytetty asianmukaisesti.

6.2 Zeroinfra-työkalun soveltuvuus kunnostushankkeiden suunnitteluun

Zeroinfra-palvelun suurin hyöty on sen yksinkertainen sekä nopea käyttö, minkä puolesta se olisi helppo sisällyttää PIMA-hankkeiden suunnitteluvaiheeseen, ilman suurempaa resurssien tuhlausta. Ympäristön kannalta merkityksellisiä päästövaikutuksia pystytään tarkastelemaan helposti laskennallisesti, kun käytössä on numeerisia arvoja kohteesta. Etenkin massavaihdosta on mahdollista saada objektiivisia arvoja ympäristövaikutuksille.

Eryteisesti eri skenaarioiden vertailu on tehty helpoksi. Varsinaisen Hermannin rantatien päästölaskennan lisäksi suoritettiin vertailtava päästölaskenta, missä maa-aineksia ei ollut hyödynnetty, vaan kaikki täyttö oli neitseellisestä maaperästä. Kuvassa 8 näkyy Zeroinfraa saatu kuvaaja eri skenaarioiden vertailuun, johon on lisätty tarkemmat arvot. Ilman pilaantuneen maa-aineksen hyötykäyttöä skenaariossa oli 4 % suuremmat kokonaispäästöt, jotka olivat peräisin kuljetuksista. Laajemmissa kunnostushankkeissa, joissa on monimutkaisia prosesseja, voi olla hyödyllistä vertailla eri vaihtoehtojen ympäristövaikutuksia hiilijalanjäljen kautta ja siten löytää paras mahdollinen toimintatapa. Päästölaskenta on myös helppo jakaa useammalle ryhmäläiselle, mikä edesauttaa työskentelyä laajemmissa projekteissa. Tulokset ovat myös selkeästi ymmärrettäviä

konkreettisia arvoja, mikä voi olla projektin viestinnän kannalta tärkeä etu.



Kuva 8. Zeroinfra-työkalusta saatava kuvaaja eri skenaarioiden vertailuun, jossa lisäyksenä tarkemmat arvot.

Suurimpana ongelmana on Zeroinfra-työkalun rajoittuneisuus. Kestävän kunnostuksen kannalta muut tärkeät osa-alueet jäävät huomiotta. Vaikutukset talouteen sekä yhteiskuntaan ja laajempiin ympäristövaikutuksiin on tärkeä huomioida suunnittelussa, minkä takia Zeroinfra ei pysty itsessään korvaamaan muita vaikutusarvioihin käytettäviä työkaluja. Onkin siis tärkeä miettiä suunnittelun alussa, mikäli konkreettisista kasvihuonekaasupäästöistä on hyötyä projektin kannalta.

Toisena ongelmana on valmiiden laskentapohjien puute. Zeroinfra on tarkoitettu lähtökohtaisesti erilaisiin infrarakentamisen projekteihin, joten pilaantuneen maaperän kunnostukseen liittyviin hankkeisiin ei ole kaikkia tarvittavia laskentapohjia valmiina. Päästökertoimien manuaalinen laskeminen on mahdollisesti työlästä ja aikaa vievää, mikä tekee palvelun hyödyntämisestä vaikeampaa nopeisiin skenaarioiden vertailuihin.

6.3 Lähtötietojen saatavuus

Lähtötietojen saatavuudessa voi koitua ongelmia, mikäli päästölaskenta tehdään pilaantuneen maaperän kunnostustyön valmistuttua. Kunnostustyön loppuraportista ilmoitetaan pilaantuneen maa-aineksen massamäärät sekä niiden kuljetusetäisyydet ja pohjaveden pumppausmäärät, mutta ne eivät ole itsessään riittäviä päästölaskennan suorittamiseen.

Loppuraporttiin tulisi lisätä tiedot neitseellisten maa-ainesten käyttömääristä sekä kuljetusetäisyyksistä, kuten myös hyödynnettyjen maa-ainesten määrä olisi suotavaa ilmoittaa, jos päästölaskenta haluttaisiin tulevaisuudessa suorittaa kunnostustyön päättymisen jälkeen. Käytetty huomioverkon tai vastaavan eristemateriaalin pinta-ala voitaisiin myös ilmoittaa, jos laskentaa haluttaisiin tarkentaa.

Parhaimpaan päästölaskennan tarkkuuteen päästään kuitenkin valitsemalla se osaksi kunnostustyötä heti suunnitteluvaiheessa. Laskenta voidaan suorittaa yhteistyössä urakoitsijoiden kanssa, jolloin voidaan oletettavasti saada tarkempia lähtöarvoja maa-ainesten massamääristä ja käytetystä kalustosta. Aikaisessa suunnitteluvaiheessa pystytään myös huomioimaan kohteen mahdollisesti yksilöllisiä päästölähteitä, mitä ei välttämättä olisi muuten huomioitu raportoinnissa tarkoilla arvoilla.

6.4 Kehitysideat

Zeroinfra-palvelu on aktiivisessa kehityksessä, ja sitä parannellaan jatkuvasti. Käytön aikana ilmeni muutamia pienempiä ohjelmointivirheitä sekä mahdollisia kehityskohteita. Omia laskentapohjia tehdessä ongelmana oli niiden katoaminen tallennuksen jälkeen. Ongelma ratkesi aina ajan kanssa itsessään, mutta se hidasti työskentelyä merkittävästi. Toinen huomio on, että Zeroinfra pystyy käsittelemään arvoja enintään kuuden desimaalin tarkkuudella, josta se ei osaa ilmoittaa, vaan lakkaa vain toimimasta. Ongelmanratkaisusta voi siis muodostua

haastavaa, jos tekee jotakin väärin ja ohjelmisto ei osaa neuvoa missä kohtaa virhe on.

Tuloksista ladattavat kaaviot sekä taulukot ovat hieman vajaita ja vaativat pientä muokkausta, jotta ne saa hyödylliseen esitysmuotoon. Kaavioista puuttuu kokonaan tarkemmat arvot, kun ne tallentaa Zeroinfra, mikä tekee niistä sellaisinaan vaikeasti luettavia. Raportissa käytettyihin kuviin 5 ja 6 on muokattu jälkikäteen arvot. Myös tulokset esittävä Excel-tiedosto vaatisi hieman kehittämistä. Tällä hetkellä tulokset tulevat liitteeseen kahteen kertaan. Toistuvat tulokset on kuitenkin helppo poistaa, eikä se aiheuta suurempia ongelmia. Zeroinfra voi esittää tulokset tonneissa tai kilogrammoissa, mutta kun tulokset tallentaa Excel-tiedostoon käytetyt yksiköt eivät ole esillä ja ne täytyy muistaa itse lisätä oikein.

Mikäli Zeroinfra-työkalun käyttö haluttaisiin ottaa osaksi PIMA-hankkeiden suunnittelua, suurin kehityksen arvoinen kohde olisi kunnostustöiden vaatimien laskentapohjien tekeminen valmiiksi. Käytettävien maaperän sekä pohjaveden puhdistusprosessien päästökertoimet tulisi selvittää, minkä jälkeen valmiiden pohjien tekeminen olisi suhteellisen vaivatonta. Laskentapohjat olisi mahdollista saada kaikkien käytettäväksi yhteistyössä palvelun kehittäjien kanssa, joten keran tehty työ helpottaisi tulevaisuudessa käyttöä, eikä kaikkien tarvitsisi tehdä omia pohjia aina henkilökohtaisesti.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää Ramboll Finland Oy:n luoman Zeroinfra-palvelun hyödyntämistä kunnostustöiden suunnitteluun sekä laskea case-esimerkkinä hiilijalanjälki Hermannin rantatien kunnostustyölle. Työn aikana koottiin päästölaskennan vaatimat lähtöarvot eri lähteistä sekä asetettiin laskennan rajaus asiantuntija-arvion avustuksella. Päästölaskenta suoritettiin Zeroinfra-työkalulla ja saatuja tuloksia verrattiin toisiin hiilijalanjälkiselvityksiin.

Hermannin rantatien kunnostustyöstä saatu hiilijalanjälki vaikuttaa johdonmukaiselta samankaltaisiin päästölaskentoihin verrattuna. Zeroinfra-palvelun voidaan ajatella toimivan ainakin massanvaihtomenetelmää käyttävien kunnostustöiden arviointiin, jos pilaantunutta maa-ainesta ei ole puhdistettu vaan se on loppusijoitettu jätteenä. Todennäköisesti myös maaperän puhdistus olisi helppo huomioida, mikäli tarkat päästökertoimet selvitetäisiin. Muiden kunnostusmenetelmien arvioinnin osalta palvelun hyödyllisyyttä ei voida sanoa varmuudella. Olettavasti, jos päästökertoimet eri menetelmistä olisivat saatavissa, voitaisiin Zeroinfra-palvelua hyödyntää myös muissa kunnostusmenetelmissä.

Zeroinfra-palvelu voitaisiin ottaa PIMA-hankkeiden suunnitteluun mukaan, mikäli koetaan tarve arvioida ympäristövaikutuksia objektiivisesti kasvihuonekaasupäästöjen muodossa. Ennen käyttöä olisi silti suositeltavaa käydä läpi useimmin tarvittavat laskukaavat maaperän kunnostukseen liittyen ja täydentää niillä Zeroinfra-tietokantaa.

Lähteet

Cappuyns, Valérie. 2024. Environmental impacts of soil remediation activities: quantitative and qualitative tools applied on three case studies. Science Direct. Vol 52, s. 145–154.

Chen, L., Msigwa, G., Yang, M. et al. 2022. Strategies to achieve a carbon neutral society: a review. Springer. Vol 20, s. 2277–2310.

Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law'). 2021. Verkkoaineisto. European Parliament and Council. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&from=EN>>. Luettu 20.4.2024.

Florent, A. 2023. Everything you need to know about ISO 14067 standard. Verkkoaineisto. Kabaun. <<https://www.kabaun.com/en/post/iso-14067-standard>>. 30.11.2023. Luettu 2.4.2024.

Garcia, Rita & Freire, Fausto. 2013. Carbon footprint of particleboard: a comparison between ISO/TS 14067, GHG Protocol, PAS 2050 and Climate Declaration. Science Direct. Vol 66, s. 199-209.

GHG-protokolla päästölaskennassa. 2023. Verkkoaineisto. NGS Finland. <<https://ngsfinland.fi/ghg-protokolla-paastolaskennassa/>>. Luettu 2.4.2024.

Greenhouse Gas Protocol. Verkkoaineisto. World Resources institute. <<https://www.wri.org/initiatives/greenhouse-gas-protocol>>. Luettu 2.4.2024.

Hermannin Rantatie kuormat lohko 3A & 3B. 2024. Yrityksen sisäinen aineisto. Ramboll Finland Oy.

Helsingin kaupungin ympäristölupahakemus Kalastama Pasilaan raitiohankkeessa syntyvien ja jätteeksi luokiteltavin ylijäämämaiden, purkumateriaalien sekä uusiomateriaalien hyötykäytölle hankkeen maanrakentamisessa. 2021. Verkkoaineisto. Helsinki: Kaupunkiympäristölautakunnan ympäristö ja lupaosasto. <<https://www.hel.fi/static/ymk/ymparistoluvat/HEL%202021-006654.pdf>>. Luettu. 20.4.2024.

Ilmastolaki. 2022. 432/10.6.2022.

H. Lee & J. Romero. 2023. Climate Change 2023: Synthesis Report. Verkkoaineisto. IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf>. Luettu 20.4.2024.

Infrarakentamisen päästötietokanta. Verkkoaineisto. Suomen ympäristökeskus. <<https://co2data.fi/infra/>>. Luettu 10.4.2024.

Infrarakentamisen vähähiilisuuden arviointimenetelmä. 2023. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <https://ava.vaylapiivi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-43_vahahiilisuuden_arviointimenetelma_web.pdf>. 30.10.2023. Luettu 10.4.2024.

Jylhä, Henna & Pyy, Outi. 2020. Valtakunnallisen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategian ensimmäinen seurantaraportti. Verkkoaineisto. Helsinki: Ympäristöministeriö. <<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162293>>. Luettu 20.4.2024.

Jätekuljetusten valvonnan kehittämishanke. 2022. Verkkoaineisto. ELY-keskus. <<https://www.ely-keskus.fi/varsinais-suomi-jatekuljetusten-valvonnan-kehittamishanke>>. 22.04.2022. Luettu 3.5.2024.

Jätteiden kansainväliset siirrot. 2022. Verkkoaineisto. Ympäristöhallinto. <<https://www.ymparisto.fi/fi/luvut-ja-veloitteet/jatteiden-kansainvaliset-siirrot#j%C3%A4tteesi-luokittelun-p%C3%A4%C3%A4ttyminen-ei>>

en%C3%A4%C3%A4-j%C3%A4tett%C3%A4-eej>. Päivitetty 23.2.2024. Luettu 13.4.2024.

Karttapalvelu. Verkkoaineisto. Google Maps. <<https://www.google.com/maps>>. Luettu 10.4.2024.

Kestävän kehityksen tavoitteemme. Verkkoaineisto. Ramboll Finland Oy. <<https://www.ramboll.com/fi-fi/ymparisto-ilmasto-ja-yhteiskunnalliset-tavoitteemme>>. Luettu 18.4.2024.

Koljonen, Tapani. 2024. Työmaainsinööri. Destia. Helsinki. Sähköposti 21.3.2024.

Kupiainen, Riina & Frusti, Tiia. 2024. KAPA-Allianssi, Hermannin rantatie, Helsinki. Loppuraportti. Yrityksen sisäinen aineisto. Ramboll Finland Oy.

Laitinen, Jarno; Kilponen, Ville; Kettunen, Annika; Virta, Oona; Pöyty, Emilia; Tenegvall, Jukka; Nousiainen, Aura & Itkonen, Arto. 2022. Kestävän kunnostamisen parhaat käytännöt. Verkkoaineisto. Pirkanmaa: Ely-keskus. <<https://www.doria.fi/handle/10024/184559>>. Luettu 20.4.2024.

Laitinen, Lauri. 2024. Työnjohto. GRK Suomi Oy. Vantaa. Sähköposti 26.3.2024.

Maaperän puhdistusmenetelmien ilmastovaikutukset. 2024. Verkkoaineisto. Pirkanmaan ELY-keskus. <<https://storymaps.arcgis.com/stories/d05b2e81a56846f9a02c078234efe774>>. Luettu 15.4.2024.

Mystrioti, Christiana & Papassiopi, Nymphodora. 2024. A Comprehensive Review of Remediation Strategies for Soil and Groundwater Contaminated with Explosives. Athens: National Technical University of Athens. MDPI.

Niiranen, Oona. 2016. Pilaantuneiden maa-ainesten paikallinen hyödyntäminen kestävän kaupunkiympäristön tavoittelussa. Diplomityö. Aalto yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Aaltodoc-tietokanta.

Pandey, Divya; Agrawal, Madhoolika & Pandey, Shanker, Jai. 2010. Carbon footprint: current methods of estimation. Springer. Vol 178, s. 135–160.

Pilaantuneen alueen fysikaalinen puhdistaminen. Verkkoaineisto. Maaperä kuntoon. <<https://maaperakuntoon.fi/fysikaalinen-puhdistaminen>>. Luettu 26.3.2024.

Pilaantuneen maa-alueen kunnostuksen yleissuunnitelma. 2010. Verkkoaineisto. Helsinki: Ympäristökeskus. <<https://helda.helsinki.fi/items/63401fc8-52d6-4cd1-bf04-3620353f9ff7>>. Luettu 28.3.2024.

Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta. 2014. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/136564/OH_6_2014.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Luettu 24.3.2024.

Pyy, Outi; Haavisto, Teija; Niskala, Kaisa & Silvola, Matti. 2013. Pilaantuneet maa-alueet Suomessa. Verkkoaineisto. Helsinki: Ympäristökeskus. <<https://helda.helsinki.fi/items/f72cad88-f82d-4284-9460-9c4d1c241226>>. Luettu 27.3.2024.

Raikas, Terhi. 2023. The end-of-waste principle. Diplomityö. Lappeenrannan yliopisto. Lutpub-tietokanta.

Rambollilta uusi päästö pohjaisen suunnittelun palvelu infra- ja maankäyttöhankkeisiin. Verkkoaineisto. Ramboll Finland Oy. <<https://www.ramboll.com/fi-fi/uutiset/rambollilta-uusi-paastopohjaisen-suunnittelun-palvelu-infra-ja-maankaytto-hankkeisiin>>. 23.2.2021 Luettu 8.4.2024.

Ranganathan, Janet; Corbier, Lauerent; Bhatia, Pankaj; Schmitz, Simon; Cage, Peter & Oren, Kjell. 2004. The Greenhouse Gas Protocol. USA: WBCSD & WRI.

Reinikainen, Jussi. 2007. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittäminen. Verkkoaineisto. Suomen ympäristökeskus. <<https://helda.helsinki.fi/items/d37bf5f3-b2da-46a1-865a-09cfdeb636a5>>. Luettu 23.3.2024.

Schyver, An, De & Zampori, Luca. 2022. Verkkoaineisto. Product carbon footprint standards: which one to choose. Pre-sustainability. <<https://pre-sustainability.com/articles/product-carbon-footprint-standards-which-standard-to-choose/>>. 31.1.2022. Luettu 2.4.2024.

Sähkötuotannon ja -kulutuksen CO₂-päästöarviot. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/co2/>>. Luettu 1.4.2022.

The Paris Agreement. 2015. Verkkoaineisto. United Nations. <<https://unfccc.int/process/conferences/pastconferences/paris-climate-change-conference-november-2015/paris-agreement>>.

Tolvanen, Antti. 2020. Maarakennusyrityksen tarjouslaskentaohjelma. Insinöörityö. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Uusi-Viitala, Justus. Suunnittelija. Ramboll Finland Oy. Espoo. Päästölaskennanrajaus. 20.3.2024.

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. 2017. 843/2017.

Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista. 2007. 214/2007.

Viholainen, Juha. 2021. Näkökulmia ja toimenpiteitä jätevesisektorin ilmastotyössä pääkaupunkiseudulla. Verkkoaineisto. HSY.

<https://www.vesiyhdistys.fi/wp-content/uploads/2021/11/4_Nakokulmia-ja-toimenpiteita-jatevesisektorin-ilmastotyossa-paakaupunkiseudulla_11112021-1.pdf>. 8.11.2021. Luettu 1.4.2024

Virta, Oona; Emilia, Pöyry & Toikka & Akseli. 2021. KAPA-Allianssi, Hermannin rantatie, Helsinki pilaantuneen maaperän kunnostuksen yleissuunnitelma. Yrityksen sisäinen aineisto. Ramboll Finland Oy.

Virta, Oona. Team Leader. Ramboll Finland Oy. Espoo. Päästölaskennanrajaus. 26.3.2024.

Wang, Shanshan; Wang Weifeng & Yang, Hongqiang. 2018. Comparison of Product Carbon Footprint Protocols: Case Study on Medium-Density Fiberboard in China. MDPI.

Ympäristönsuojelulaki. 2014. 527/2014.

Zeroinfran käyttöohjeet. Yrityksen sisäinen aineisto. Ramboll Finland Oy.

Van Liedekerke, Marc & Prokop, Gundula & Rabl-Berger, Sabine & Kibblewhite, Mark & Louwagie, Geertrui. 2014. Progress in the management of Contaminated Sites in Europe. Publications Office of the European Union.

Hermannin rantatien päästölaskennan tulokset

Tunniste	Nimi	Osittaispäästöt (kgCO ₂ ekv)					Kokonaispäästöt (kgCO ₂ ekv)		
		Matka (km)	Määrä	Yksikkö	Materiaali	Kuljetus	Työ	Abs.	Abs. %
161	Maaleikkaus neitseelliset maa-	50	155000	m ³ ktr	0	1241550	278121.66667	1519671.625	30.791459177075243
161	Maaleikkaus hyödynnetty maa-aines	0	62000	m ³ ktr	0	0	111248.66667	111248.6640625	2.254111112974572
	Pumppaus	0	311632	m ³	0	0	18.69792	18.697919845581055	0.000378855685761346
2112	Suodatinkangas	84	3488.6	m ² tr	2267.59	10.54953	238.13184	2516.271484375	0.050984482051884945
1611	Maaleikkaus loppusijoitukseen,	118	22835.1	m ³ ktr	0	359720.8052	40973.7811	400694.59375	8.118840296125075
1611	Maaleikkaus loppusijoitukseen,	154	50719.4	m ³ ktr	0	1042740.41872	91007.51007	1133747.875	22.971904479797274
1611	Maaleikkaus loppusijoitukseen,	118	16173.3	m ³ ktr	0	254778.09992	29020.2913	283798.40625	5.750299536300081

1611	Maaleikkaus loppusijoitukseen,	107	6190.6	m ³ ltr	0	884276.63962	11107.99993	895384.625	18.142208273756726
1611	Maaleikkaus loppusijoitukseen,	100	1182.5	m ³ ltr	0	15786.553	2121.79917	17908.3515625	0.36285751934430593
1611	Maaleikkaus loppusijoitukseen,	30	4629	m ³ ltr	0	18540.48	8305.969	26846.44921875	0.543960505394423
1611	Maaleikkaus loppusijoitukseen,	50	3690.7	m ³ ltr	0	24635.2	6622.34603	31257.546875	0.6333377966289778
1611	Maaleikkaus loppusijoitukseen,	150	421.5	m ³ ltr	0	8439.7365	756.3115	9196.0478515625	0.18632955130146436
1611	Maaleikkaus loppusijoitukseen,	134	20916.8	m ³ ltr	0	374181.2315	37531.71147	411712.9375	8.342093054284001
3141	HSY: jätevedenpuhdistus 2021	0	284627	m ³	0	0	91365.267	91365.265625	1.8512353592802149
Yhteensä					2268	4224660	708440	4935367	100