

PIMA-KUNNOSTUKSEEN LIITTYVIEN KULJETUSKUSTANNUSTEN, KULJETUKSISTA AIHEUTUVIEN PÄÄSTÖJEN JA LOGISTIIKAN OPTIMOINTI, SEKÄ KULJETUSKALUSTON VERTAILU

TEKIJÄ/T: Markus Heikkinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Markus Heikkinen			
Työn nimi PIMA-kunnostukseen liittyvien kuljetuskustannusten, kuljetuksista aiheutuvien päästöjen ja logistiikan optimointi, sekä kuljetuskaluston vertailu			
Päiväys	12.3.2019	Sivumäärä/Liitteet	40/2
Ohjaaja(t) Mervi Heiskanen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Ramboll Finland Oy			
Tiivistelmä			
<p>Työn toimeksiantajana toimi Ramboll Finland Oy:n Site Solutions-yksikkö. Työn tavoitteena oli tarkastella ja arvioida itse tuotetun laskentapohjan perusteella erilaisten raskaiden ajoneuvoluokkien välisiä eroja samassa työsuoritteessa liittyen pilaantuneiden maa-ainesten siirtoon kuluvaan aikaan, aiheutuviin ilman päästöihin ja kuljetuskustannuksiin. Laskentatyökalun tulisi auttaa suunnittelijaa arvioimaan työmaan valvontaan ja massojen siirtoon käytettävää aikaa (vuorokausina ja työtunteina) sekä optimoimaan maa-ainesten siirtoon käytettävien autojen määrää ja painoluokkaa. Lisäksi työkalun avulla voitaisiin tehdä tiedotusta asiakkaalle ja sidosryhmille pilaantuneiden maa-alueiden kunnostuksesta aiheutuvista ilman päästöistä kestävä riskienhallinnan periaatteiden mukaisesti.</p> <p>Työn teoriaosuudessa perehdyttiin aihekeskeiseen lainsäädäntöön, sekä laskentoihin vaikuttaviin tekijöihin. Lisäksi laskennoissa käytettävää lähtömateriaalia verrattiin itse tuotettuun tietoon.</p> <p>Työn tuloksena kehitettiin laskenta- ja arviointimenetelmä pilaantuneiden maa-ainesten logistiikan aikasuoritusten, ilmapäästöjen ja kuormien (ajoneuvokohtaisesti) määrittämiseksi. Laskentamenetelmä luotiin excel-pohjaiseksi. Laskentapohjaan syötetyt tiedot koottiin kolmen eri kohteen suunnitteluvaiheen tiedoista. Laskentapohjasta saatuja ns. optimitilanteen tuloksia verrattiin massatositteista toteutuneisiin massa-, kuorma- ja aikamääreisiin sekä laskettiin edelleen varsinaisen toteutuneen työmaan ilmapäästöt. Tulosten perusteella voitiin todeta, että työssä käsiteltävien ajoneuvoluokkien välillä on eroja mm. massojen siirtoon kuluva ajassa, päästöissä ja tätä kautta myös työmaan kokonaiskustannuksissa.</p>			
Avainsanat PIMA, raskas kalusto, päästöt, logistiikka, optimointi, maanrakennus, kestävä kunnostaminen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Markus Heikkinen			
Title of Thesis Transport Costs, Emissions and Optimization of Logistics due to Remediation of Contaminated Soil			
Date	13 March 2019	Pages/Appendices	40/2
Supervisor(s) Mrs Mervi Heiskanen, Senior Lecturer, Mr Jarno Laitinen, Senior Advisor and Mrs Hanna Tolvanen, Environmental Chemist, Ramboll Finland Oy Ltd.			
Client Organisation /Partners Ramboll Finland Ltd.			
<p>Abstract</p> <p>This thesis was made for Ramboll Finland Ltd. Mass remediation is nowadays a general refurbishment method for remediation of contaminated soil. Considering the principles of sustainable development of renovation, attention should be paid to the type of transport equipment used at the site and to minimize the use of heavy vehicles.</p> <p>The aim of the thesis was to examine and evaluate the differences between heavy vehicle categories in the same work performance related to emissions and transport costs caused by the transfer of contaminated soils. The calculation tool created in this thesis should help the designer evaluate the time spent on site monitoring and mass transfer and optimize the amount and categories of heavy vehicles used for soil transfer. In addition, the tool should provide information on air emissions from remediation of contaminated sites to the customer and stakeholders in accordance with the principles of sustainable risk management.</p> <p>The calculation methods were created as excel based. The theoretical part of the thesis focused on subject-specific legislation, as well as on factors affecting computations. Source materials used in the calculations were compared to the self-generated data. The results of the optimum logistic situations were compared to the masses, loads and time quantities regonized from soil recipient documents. Air emissions of the actual site were further calculated with the same tool.</p> <p>As main results of this work, a calculation and evaluation methods were succesfully developed to optimize the transportations of contaminated soils. The results also showed that there are differences between the categories of heavy vehicles in the same work performance in the used work time, emissions, and total costs of the project.</p>			
<p>Keywords Contaminated soil, heavy vehicles, emissions, optimization, landbuilding, sustainable development</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	AIKAISEMPI TIETOPERUSTA	8
3	SANASTO JA KÄSITTEET	8
4	MASSANVAIHTO.....	9
4.1	Yleisesti	9
4.2	Massanvaihtoon päätyminen.....	10
4.3	Materiaalitehokkuus ja kiertotalous.....	10
5	AIHEESEEN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ.....	12
5.1	Ympäristönsuojelulaki 527/2014.....	12
5.2	Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi Vna 214/2007	12
5.3	Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta	13
5.4	BAT	14
5.5	MARA-asetus	14
5.5.1	MASA – asetus	14
6	AJONEUVOIHIN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ.....	16
6.1	Ajo – ja lepoaika-asetus	16
6.2	Ajoneuvoluokat	16
6.3	EURO-päästöluokitukset.....	17
7	AJONEUVOLUOKKIEN KÄYTTÖÖN LIITTYVIÄ TARKENNUKSIA.....	18
7.1	Kuorma - auto	18
7.2	Puoliperävaunu	18
7.3	Moduuliyhdistelmät	18
8	LASKENTAPOHJAN TOIMINTAPERIAATE.....	20
8.1	Laskentapohjan yleisperiaate, vaiheet ja liittynät	20
8.1.1	Massa-arviot ja maalajit.....	20
8.2	Ajohinnan laskuperusteet	20
8.3	Käytettävän kaluston määrä	21
8.4	Massan käsittely.....	21
8.5	Päästöt	21
8.5.1	Laskentamateriaalien yhteensopivuus ja varmennus	22

8.5.2	Seurattavat päästöparametrit	23
8.5.3	Osakuorman vaikutus päästöihin	24
8.6	Logistiikan optimointi	26
9	ESIMERKKITAPAUKSIA	27
9.1	KOHDE 1	27
9.1.1	Lähtötiedot suunnitelmista	27
9.1.2	Lähtötietojen syöttö laskentapohjaan	28
9.1.3	Vertailu	29
9.2	KOHDE 2	30
9.2.1	Lähtötiedot suunnitelmista	30
9.2.2	Lähtötietojen syöttö laskentapohjaan	31
9.2.3	Vertailu	32
9.3	KOHDE 3	33
9.3.1	Lähtötiedot suunnitelmista	33
9.3.2	Lähtötietojen syöttö laskentapohjaan	33
9.3.3	Vertailu	34
10	POHDINTAA	36
10.1	Laskentapohjan käyttövalmius	36
10.2	Korvaavien massojen käyttö ja niiden kuormitus	36
10.3	Työkoneiden päästöt ja suoritteet	36
10.4	Massa-arviot	37
10.5	Kiertotalous	37
10.6	Logistiikan tekniikan kehitys (tulevat vuodet)	37
10.7	Sidosryhmät	38
11	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	39
	LÄHTEET JA LIITTEET	41
	LIITE 1. TIETOTARPEET- PERUSTAT- JA LÄHTEET	42

ESIPUHE

Haluan kiittää Ramboll Finland Oy:ta mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö ajankohtaisesta, itse aloitetusta sekä kiinnostavasta aiheesta. Kiitokset työn ohjaamisesta, tukemisesta ja neuvoista kuuluvat Mervi Heiskaselle, Jarno Laitiselle, Hanna Tolvaselle ja Olli Kolarille.

Haluan myös erityisesti kiittää Keloveska Oy:tä ja Kuljetus Hannu Heikkinen Ky:tä työhöni osallistumisesta ja ammatillisten näkemysten jakamisesta. Lopuksi haluan kiittää läheisiäni opintojeni aikaisesta tuesta ja kannustuksesta.

Kuopiossa 12.3.2019

Markus Heikkinen

1 JOHDANTO

Suomessa maaperän pilaantuneisuutta on tutkittu 1980-luvulta lähtien. Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostaminen toteutetaan pääosin massanvaihdoilla ja sijoittamalla pilaantuneet maa-ainekset kunnostettavan alueen ulkopuolelle, tarkoitukseen soveltuviin vastaanottoaikoihin. Pilaantuneet maa-alueet Suomessa sijaitsevat pääosin alueilla, joilla esiintyy paljon teollisuus- tai yritystoimintaa; lähinnä eteläisessä Suomessa tai rannikkoalueilla. Lisäksi maaperän pilaantuneisuus on yleistä tiheästi asutuilla alueilla.

Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostuksessa massanvaihto on nykypäivänä yleinen kunnostusmenetelmä. Sen etuina voidaan pitää esimerkiksi sitä, ettei kunnostuskohde vaadi jälkitarkkailua ja massanvaihto lisää maan käyttöarvoa. Sen huonoja puolia ovat mm. suuret kustannukset, joista valtaosa koostuu massojen käsittelykuluista, vastaanottomaksuista, kuljetuskustannuksista ja työmaavalvonasta. Lisäksi pilaantuneiden maa-alueiden kunnostamisessa merkittävimmät päästöt kasvihuonekaasupäästöjen suhteen aiheutuvat raskaan kuljetuskaluston käytöstä massanvaihtokohteissa. Kunnostusten kestävä kehityksen periaatteet huomioiden tulisi kiinnittää huomiota siihen, millaista kuljetuskalustoa työmaalla käytetään sekä minimoida autojen ja työkoneiden käyttöaika kohteessa.

Merkittävä osuus maa-aineksille soveltuvan vastaanottoaajan valitsemiseksi on sen määrittelemät vastaanottohinnat eri massatyypeille. Tämän vuoksi vastaanottoaajaksi ei välttämättä valikoidu työmaan lähin vastaanottoaika, vaan massat kuljetetaan kustannussyistä halvimmaksi osoittautuvaan vastaanottoaikaan.

Ollessani työharjoittelussa Ramboll Finland Oy:llä aloin mielenkiinnosta rakentamaan Excel-laskentataulukkoa, jonka avulla pystyttäisiin arvioimaan pilaantuneiden maa-ainesten määrää kunnostuskohdeissa, kuljetuskustannuksia, massojen siirtoon käytettävää aikaa ja massojen kuljetuksesta aiheutuvia päästöjä.

Maanrakennustyöt painottuvat pääasiassa kesäkauteen, jolloin myös maansiirrossa käytettävän raskaan sarjan kaluston käyttötarve on suurimmillaan. Tästä syystä kuljetuksen tilauksessa ei välttämättä huomioida (tai ei ole mahdollista huomioida) sitä, millaista kalustoa työmaalla olisi optimaalisin käyttää. Tällä työllä pyritään selvittämään, voitaisiinko logistiikan optimoinnilla vaikuttaa positiivisesti pima-kunnostustyössä syntyviin päästöihin ja kustannuksiin.

Kunnostuskohteiden suunnitteluvaiheessa tulee Vna 214/2007 sovellusoppaan (Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014) mukaan ottaa huomioon kestävä kehityksen periaatteet, jolloin huomioidaan millaisia vaikutuksia itse kunnostustyöllä ja massanvaihdoilla on ympäristöön sekä ilmaan. Kunnostustyömaan päästöjen ja kustannusten arviointi todennäköisesti lisää työhön liittyvien sidosryhmien välistä tietämystä sekä avaa näkökulmia kestävä kehityksen mukaiselle ajattelulle ja toimenpiteille.

2 AIKAISEMPI TIETOPERUSTA

Laskentapohjaan on liitetty aikaisempaa työkokemusperäistä tietoa liittyen maansiirtoyhdistelmien käyttöön ja niiden välisiin eroihin. Työkokemusta on hyödynnetty pohdittaessa keinoja määrittää massa-arviot, kuljetuksiin kuluva-aikaa ja yhdistelmäpainoluokkien välisiä eroja samassa työsuoritteessa. Työssä käytettävien lähtötietojen lähteet on esitetty liitteessä 1.

3 SANASTO JA KÄSITTEET

Pima on lyhenne käsitteestä "pilaantunut maa-alue". Lyhennettä käytetään tässä työssä yleisesti.

Massoilla tarkoitetaan tässä työssä työmaalla käsiteltäviä ja siirrettäviä maa-aineksia.

Kestävä kunnostus tarkoittaa sellaista kunnostustoimintaa, jossa optimoidaan ympäristöä, yhteiskuntaa ja taloutta koskevat näkökohdat.

Ryöstökerroin on kerroin, jolla muutetaan arvioidut massamäärät kuutiotilavuudesta todellisiksi massamääriksi tonneina.

Sidosryhmä tarkoittaa työhön liittyviä kaikkia osapuolia, jotka ovat jollain tapaa työn suorien tai epäsuorien vaikutuksien alaisina.

Vastaanottoaika tarkoittaa käsittelykeskusta, jolla on ympäristölain mukainen lupa ottaa vastaan pilaantuneita maa-aineksia ja rakenteita, kuten esimerkiksi betonia.

Hyötykuorma kuvaa kerralla kuljetettavan massamäärän suhdetta ajoneuvon kokonaispainoon.

Kasetti tarkoittaa nimitystä maansiirrossa käytettävälle moduuliyhdistelmälle, joka koostuu vetävästä autosta ja vedettävästä perävaunusta, joista molemmat ovat varustettuja omalla kuormalla.

Nuppi on nimitys yhdelle kuorma-autolle, joka ei vedä perässään perävaunua.

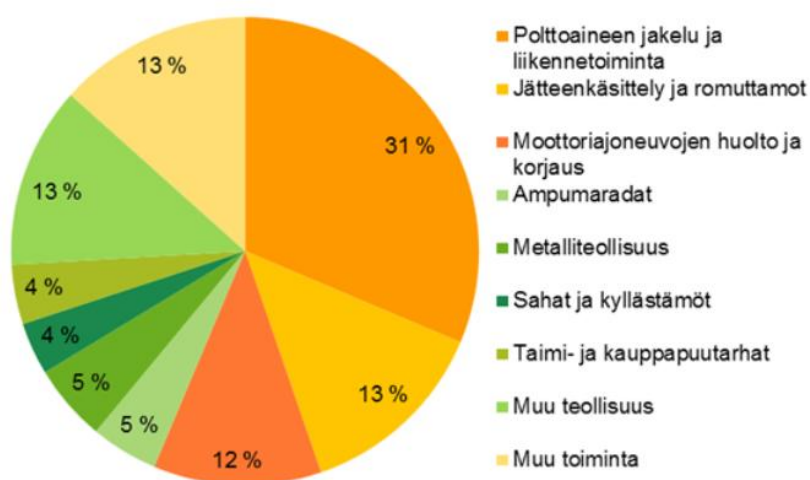
Massatosite on vastaanottoaikaan asiakirja, josta käyvät ilmi kuormamäärät ja toimitusajankohta, sekä toimitettujen pilaantuneiden maa-ainesten kokonaismäärä.

Painoluokka tarkoittaa ajoneuvon (tai moduuliyhdistelmän) kokonaispainoa kuormitettuna. Painoluokkien hyötykuormat ovat eriävät.

4 MASSANVAIHTO

4.1 Yleisesti

Suomessa maaperän pilaantuneisuutta on tutkittu ja seurattu 1980-luvulta lähtien. Elokuussa 2014 pilaantuneeksi epäiltyjä, todettuja- tai jo kunnostettuja maa-alueita oli merkitty *Maaperän tilan tietojärjestelmään* (MATTI) noin 24 750 kpl. Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostaminen toteutetaan pääosin massanvaihdolla ja sijoittamalla pilaantuneet maa-ainekset kunnostettavan alueen ulkopuolelle, tarkoitukseen soveltuviin vastaanotto paikkoihin. Kaivettuja pilaantuneita maa-aineksia kuljetetaan vuosittain käsiteltäväksi, välivarastoitavaksi ja loppusijoitettavaksi lähes 1,5 miljoonaa tonnia. Kuvassa 1 on listattu yleisiä toimintoja, joista nykyisin voi aiheutua tai aiheutuu maaperän pilaantuneisuutta, sekä esimerkkejä maaperää pilaavista aineista.



Kuva 1. MATTI -kohteiden toimialajakauma 13.8.2014. (Ympäristö.fi)

Pilaantuneet maa-alueet Suomessa sijaitsevat pääosin alueilla, joilla esiintyy paljon teollisuus- tai yritystoimintaa; lähinnä eteläisessä Suomessa tai rannikkoalueilla. Lisäksi maaperän pilaantuneisuus on yleistä tiheästi asutuilla alueilla. Taulukossa 1 on lueteltu yleisiä toimintoja, joista aiheutuu maaperän pilaantumista ja esimerkkejä maaperää pilaavista aineista. (Ympäristö.fi)

Taulukko 1. esimerkkejä maaperää pilaavista toiminnoista ja haitta-aineista. (Ympäristö.fi)

Toiminta, josta aiheutuu maaperän pilaantumista

Maaperää pilaavia aineita (esimerkkejä)

Polttoaineen jakelu ja varastointi	Öljyt ja bensiinit
Sahat ja kyllästämöt	Raskasmetallit (esim. lyijy, kupari, kromi, nikkeli)
Kaatopaikat	Arseni
Ampumaradat	Polyaromaattiset hiilivedyt (PAH:it)
Kemialliset pesulat	Polyklooratut bifenyylit (PCB)
Romuttamot	Kloorifenolit
Kasvihuoneet	Dioksiinit ja furaanit
Taimitarhat	Torjunta-aineet

4.2 Massanvaihtoon päätyminen

Massanvaihto on yleisesti nopea ja kohtuullisen varma maaperän kunnostustapa. Varsinkin pienissä kohteissa massanvaihto on käytännössä aina edullisin ja yksinkertaisin menetelmä, sillä yleensä massanvaihdolla kohdealue saadaan kerralla puhdistettua eikä jatkotarkkailulle tai jatkotoimenpiteille ole tarvetta. Pilaantuneen alueen puhdistamisen on katettava toimet, jotka ovat tarpeen pilaavien aineiden poistamiseksi, vähentämiseksi, leviämisen estämiseksi tai hallitsemiseksi. Aina ei siis ole tarpeen poistaa kaikkia alueella sijaitsevia pilaantuneita maita, vaan esimerkiksi estää haitan leviäminen tai poistaa vain haitallisimmat aineet.

4.3 Materiaalitehokkuus ja kiertotalous

Suomessa rakennustoiminta on suurin luonnonvarojen käyttäjä. Rakentamiseen kuuluvat talonrakennuskohteiden lisäksi yhteiskunnalliset infrastruktuurin kohteet, kuten esimerkiksi tiet. Puhuttaessa luonnonvarojen kestävästä käytöstä rakentamisessa tulee huomioida, että esimerkiksi maanrakentamisessa käytettävät maa – ja kiviainekset ovat uusiutumattomia rakennusmateriaalia. Usein pima-kunnostustyöt alkavatkin juuri rakennusten purkutöiden tai uudisrakennushankkeiden ohessa, jolloin pilaantuneiden massojen tai kierrätysmateriaalien hyötykäyttöä tulisi mahdollisuuksien mukaan harkita kohteessa ympäristövaikutusten minimoimiseksi. Kaivantojen täyttämistä neitseellisellä maa-aineksellä ja erityisesti jalostetuilla harjusorilla- ja kalliokiviaineksilla tulisi minimoida.

Puhuttaessa rakentamisen materiaalitehokkuudesta, tarkoitetaan sillä kestävien rakennusmateriaalien käyttöä tai niiden suosimista. Kierrättämällä työkohteessa syntyvää jätettä, eli tässä tapauksessa syntyvää maa-ainesjätettä ja korvaamalla neitseellisten eli uusiutumattomien materiaalien käyttöä kierrätetyillä rakennusmateriaaleilla (esim. hyötykäyttöön soveltuvilla maa-ainesjätteillä tai muilla alueelta kaivetuilla massoilla), voidaan lisätä materiaalitehokkuutta, ehkäistä ympäristökuormitusten syntyä kohteessa ja sen ulkopuolella, sekä vähentää kustannuksia. Kuvassa 2 on esitetty materiaalitehokkuuden parantamiseen vaikuttavia osatekijöitä, joita tässä työssä ovat oleellisesti esimerkiksi logistiikka ja maa-ainesjätteiden (kuvassa sivutuotteiden ja jätteiden) hyötykäytön vaikutukset projektin talouteen ja ympäristöystävällisyyteen. (Ilmasto-opas.fi)Kuva 2



Kuva 2. Materiaalitehokkuuden parantaminen eri tuotannon tasoilla (www.ilmastopas.fi)

Käytetyille materiaaleille tarvitaan laatukriteerejä, sekä kelpoisuusvaatimuksia, jotta niiden hyötykäyttöä kohteessa voitaisiin edistää. Materiaalitehokkuuden ansiosta säästetään kustannuksia ja ympäristökuorma vähenee. Samalla suunnittelijan oma materiaalitehokkuuteen liittyvä asiantuntemus kasvaa. Materiaalitehokkuuden vapaaehtoinen parantaminen auttaa myös täyttämään tulevaisuudessa yhä tiukemmat ympäristövaatimukset.

5 AIHEESEEN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ

5.1 Ympäristönsuojelulaki 527/2014

Ympäristönsuojelulaki (lyhenne YSL) säätelee Suomessa ympäristön pilaantumista, sekä siihen liittyviä määräyksiä ja velvoitteita. Laissa on säädetty mm. veden, ilman ja maaperän suojelusta. Lain päätarkoituksena ovat seuraavat asiakohdat;

- ehkäistä ympäristön pilaantumista ja sen vaaraa, ehkäistä ja vähentää päästöjä sekä poistaa pilaantumisesta aiheutuvia haittoja ja torjua ympäristövahinkoja;
- turvata terveellinen ja viihtyisä sekä luonnontaloudellisesti kestävä ja monimuotoinen ympäristö, tukea kestävästä kehityksestä sekä torjua ilmastonmuutosta;
- edistää luonnonvarojen kestävästä käytöstä sekä vähentää jätteiden määrää ja haitallisuutta ja ehkäistä jätteistä aiheutuvia haitallisia vaikutuksia;
- tehostaa ympäristöä pilaavan toiminnan vaikutusten arviointia ja huomioon ottamista kokonaisuutena; sekä
- parantaa kansalaisten mahdollisuuksia vaikuttaa ympäristöä koskevaan päätöksentekoon.

YSL:ssä on säädetty maaperän pilaamiskiellosta seuraavaa; Maahan ei saa jättää tai päästää jätettä tai muuta ainetta taikka eliöitä tai pieneliöitä siten, että seurauksena on sellainen maaperän laadun huononeminen, josta voi aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle, viihtyisyyden melkoista vähentymistä tai muu niihin verrattava yleisen tai yksityisen edun loukkaus (YSL 527/2014, §16).

Ympäristönsuojelulain 133 § mukaan; se, jonka toiminnasta on aiheutunut maaperän pilaantumista, on velvollinen puhdistamaan pilaantuneen maaperän siihen tilaan, ettei siitä voi aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Maa-alueen kunnostuksen toteuttamiseksi on lähtökohtaisesti toimitettava paikalliselle valvontaviranomaiselle 136 § mukainen ilmoitus, jossa esitetään kunnostusmenetelmä (esimerkiksi massanvaihto). Viranomaisen tarkastaa ilmoituksen ja tekee sen johdosta päätöksen, jonka mukaisesti kunnostus on toteutettava.

5.2 Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi Vna 214/2007

Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostustarpeen arvioinnissa sovelletaan valtioneuvoston asetusta 214/2007. Asetuksessa olevia arvoja sovelletaan myös alueiden kunnostamisessa ja kunnostustavoitteiden saavuttamisessa. Arvioinnissa otetaan huomioon:

- haitallisten aineiden pitoisuudet, kokonaismäärät, ominaisuudet, sijainti, sekä taustapitoisuudet maaperässä
- pilaantuneeksi epäillyn alueen ja sen ympäristön tai pohjaveden nykyinen ja suunniteltu käyttötarkoitus
- mahdollisuus haitallisille aineille altistumiseen lyhyen ja pitkän ajan kuluessa

- altistumisen seurauksena terveydelle ja ympäristölle aiheutuvan haitan vakavuus ja todennäköisyys, sekä haitallisten aineiden mahdolliset yhteisvaikutukset
- käytettävien tutkimustietojen ja muiden lähtötietojen sekä arviointimenetelmien epävarmuustekijät

Pilaantuneen maa-alueen kunnostustarvetta säätelevät siis jokaiselle haitta-aineelle erikseen määritellyt kynnykset – ja ohjearvot, sekä alueen käyttötarkoitus. Asetuksen toteutusta selostaa paremmin ympäristöhallinnon teos ”*pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta*” (Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014). Valtioneuvoston asetusta 214/2007 hyödynnetään esimerkiksi silloin, kun pohditaan, onko pilaantuneita maita sisältävällä kohdealueella tarvetta tehdä massanvaihtoa, jos sen käyttötarkoitus muuttuu.

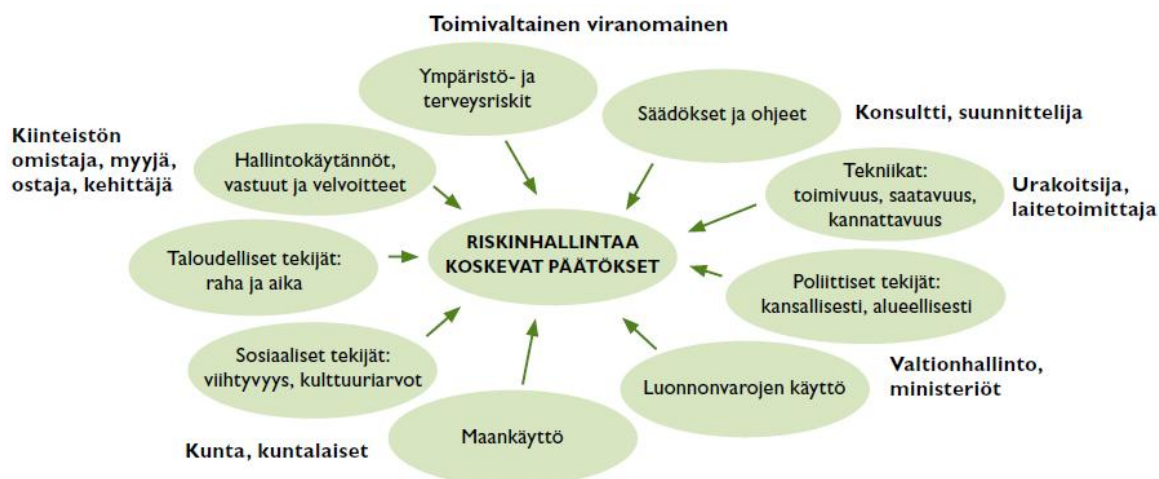
5.3 Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta

Ympäristöhallinnon teos ”*pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta*” (6/2014) käsittelee yleisiä riskinhallinnan sekä maa-ainejätteen käsittelyn ja sijoittamisen periaatteita. Ohje selostaa maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointia koskevan valtioneuvoston asetuksen 214/2007 käytännön toteutusta. Ohjeessa määritellään ”*kestävä kunnostaminen*” tarkoittavaa sellaista kunnostustoimintaa, jossa *toimien ympäristöä, yhteiskuntaa ja taloutta koskevat näkökohdat optimoidaan* (Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014, s. 133-134). Kestävän kehityksen osatekijät ovat esitetty kuvassa 3. Optimitilanteessa nämä kolme tekijää (ympäristö, sosiaaliset tekijät ja talous) ovat keskenään tasapainossa.



Kuva 3. Kestävän kehityksen mukaiset näkökulmat. (Ympäristöhallinto 6/2014)

Pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallintaa ja suunnittelua ohjaavat monet tekijät, joita on kuvattu kuvassa 4. Kestävyyden arviointi tehdään osana kunnostushanketta ja siitä vastaa sama taho kuin kunnostussuunnitelmasta. Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostussuunnittelussa tulisi ottaa huomioon kaikki työhön liittyvät sidosryhmät ja niiden tarpeet niin, että pitkän ajan kuluessa työllä saavutettavat hyödyt ovat suuremmat kuin sen haitat. Tässä työssä perehdytään kestävä kunnostuksen periaatteisiin mm. taloudellisten tekijöiden, maankäytön, ympäristön ja työssä käytettävän parhaan mahdolliset tekniikan (BAT) kautta. Työssä käsiteltävän laskentatyökalun avulla pyritään tuomaan kestävä riskienhallinnan näkökohtia läpinäkyvästi esille sidosryhmien tarkasteltavaksi.



Kuva 4. Riskinhallintaratkaisuun vaikuttavat tekijät ja sidosryhmät. (helda.helsinki.fi)

5.4 BAT

Paras käyttökelpoinen tekniikka BAT (Best Available Techniques) on määritelty ympäristönsuojelulaisissa 527/2014 (YSL 5 §). Parhaalla käyttökelpoisella tekniikalla tarkoitetaan mahdollisimman tehokkaita ja kehittyneitä, teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisia tuotanto- ja puhdistusmenetelmiä ja toiminnan suunnittelu-, rakentamis-, ylläpito-, käyttö- sekä lopettamistapoja, joilla voidaan ehkäistä toiminnan aiheuttama ympäristön pilaantuminen tai tehokkaimmin vähentää sitä. (finlex.fi). Tässä työssä BAT-menettelyä sovelletaan logistiikan osalta esimerkiksi ajoneuvojen EURO-päästöluokituksissa, painoluokissa ja logistiikan optimoinnissa. Lisäksi BAT-menettelyn avulla tarkastellaan optimoinnin mahdollisia vaikutuksia ilman päästöihin.

5.5 MARA-asetus

Jätteen hyödyntämistä maanrakentamisessa on pyritty lisäämään aktiivisesti. Tavoitteena on lisätä jätteen hyödyntämiskelpoisuutta ja täten edistää kestävästä luonnonvarojen käyttöä ja kiertotaloutta. Hyödyntämistä varten on säädetty ns. MARA-asetus (valtionneuvoston asetus eräiden jätteen hyödyntämisestä maanrakentamisessa (VNa 843/2017)). Asetuksessa määritellään jätteen vaatimukset, joiden täytyessä asetuksessa tarkoitettujen jätteen hyödyntämiseen ei tarvita ympäristönsuojelulain (YSL 527/2014) mukaista ympäristölupaa, vaan vaatimusten täytyessä asiaa käsitellään hyödyntämistä koskevalla rekisteröinti-ilmoituksella. (finlex.fi)

Ramboll Finland Oy on laatinut MARA-asetuksen mukaisen jätteen hyödyntämistä varten soveltamisohjeen, jonka tarkoituksena on yhtenäistää ja selkeyttää asetuksen toimeenpanoa ja tulkintaa, sekä tätä kautta helpottaa kierrätysmateriaalien hyödyntämistä maanrakennuksessa.

5.5.1 MASA – asetus

Vuoden 2019 puolivälissä on tarkoitus tulla voimaan uusi valtioneuvoston asetus, joka koskee rakentamisessa ja muussa vastaavassa toiminnassa syntyvän maa-ainesjätteen hyödyntämistä (ns. MARA-asetus). Tällä asetuksella pyritään yhdessä MARA-asetuksen kanssa edistämään edelleen jätteen

hyödyntämistä maarakentamisessa kestävän kiertotalouden periaatteiden mukaisesti. MASA-asetuksen valmistelu on ympäristöministeriön ja Suomen ympäristökeskuksen yhteinen hanke.

MASA-asetuksen luonnosesittelyssä ehdotetaan säädettävän ympäristönsuojeluvaatimuksista, joiden täyttyessä rakentamisessa ja muussa vastaavassa toiminnassa syntyvän maa-ainesjätteen hyödyntämiseen ei maarakentamisessa ja siihen kuuluvaan jätteen välivarastointiin tarvittaisi ympäristölupaa, vaan toimintaa voitaisiin harjoittaa valtion valvontaviranomaiselle tehtävän rekisteröinti-ilmoituksen nojalla. Hyödyntämistoiminnan rekisteröinti-ilmoitusmenettelyllä sujuvoitettaisiin maa-ainesjätteen hyödyntämisen hallinnollisia menettelyjä, minkä lisäksi asetuksessa säädetyillä maa-ainesjätteen hyödyntämistä koskevilla vaatimuksilla varmistettaisiin, ettei toiminnasta aiheutuisi vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle pitkänkään ajan kuluessa. Maa-ainesjätteiden hyödyntäminen esimerkiksi kaivantojen täytöissä vähentäisi neitseellisten maa-ainesten (harjusorien ja kalliokiviainesten) käyttöä sekä vähentäisi maa-ainesten siirroissa syntyviä päästöjä. (ym.fi)

6 AJONEUVOIHIN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ

6.1 Ajo – ja lepoaika-asetus

Autonkuljettajille on säädetty yhdenmukaiset määräykset ajo – ja lepoajoista Euroopan Unionissa ja koko Euroopan talousalueella. Säännöksiä sovelletaan ensisijaisesti tavara – ja henkilöliikenteeseen, mutta vain ajoneuvoihin, joiden yhteenlaskettu kokonaismassa on yli 3500 kg. Ajo – ja lepoaika-asetusta ei sovelleta suljetuilla tieosuuksilla – tai alueilla.

Ajo – ja lepoaika-asetuksen huomioiminen on erityisen tärkeää arvioitaessa kuljettajan mahdollisia päivittäisiä ajosuoritteita. Kuljettajan ajoajaksi lasketaan kaikki aika, jolloin ajoneuvo liikkuu. Asetuksen mukaan on eritelty päivittäinen ajoaika (9 tuntia, jota voidaan kahdesti viikossa pidentää enintään 10 tuntiin), lepoaika (joka 4,5 tunnin ajoaikaa seuraa 45 minuuttia taukoa, tai sen voi jakaa kahteen taukoon, josta ensimmäinen tauko on 15 minuuttia ja toinen tauko 30 minuuttia), lisäksi on määritetty vuorokausilepoaika, joka on yhdenjaksoinen ja vähintään 11 tuntia pitkä jokaista 24 tunnin jaksoa kohden (tyosuojelu.fi). Tässä työssä kuljettajan päivittäisiä ajosuoritteita tarkastellaan maksimissaan yhdeksän (9) tunnin jaksoissa, eikä mahdollisuuksia työ- tai ajoajan pidennyksiin oteta huomioon.

6.2 Ajoneuvoluokat

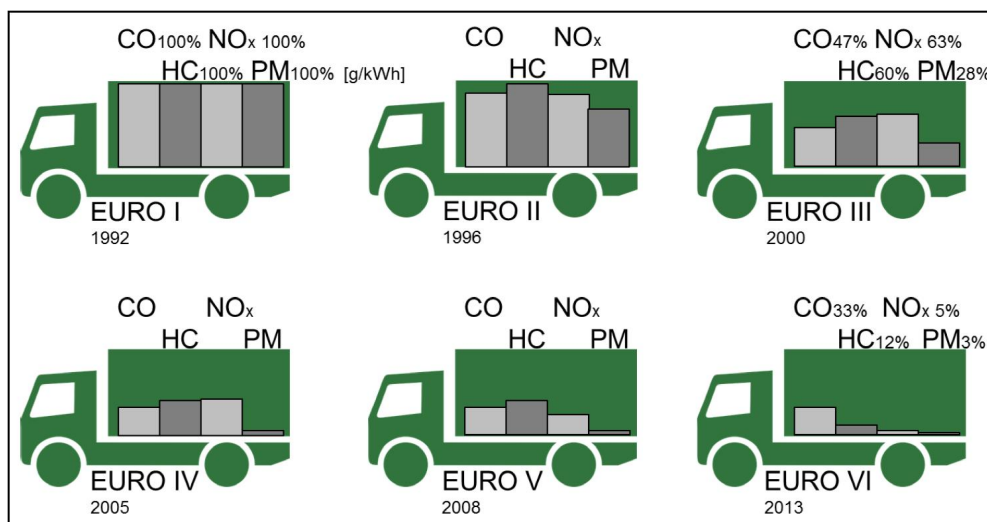
Tässä työssä tarkastelun kohteena ovat maansiirtoautot, sekä niiden erilaiset yhdistelmätyypit (moduulit). Suomessa ajoneuvoyhdistelmien sallitut massat ja mitat on määritelty valtioneuvoston asetuksessa 407/2013. Raskaan ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu kokonaismassa määräytyy akselien etäisyyden, akselimäärän, rakenteen ja jousituksen perusteella. Asetuksen tultua voimaan 1.10.2013 ajoneuvoyhdistelmien enimmäismassa nousi 76 tonniin, kun ennen suurin sallittu kokonaismassa yhdistelmälle sai olla 60 tonnia. Samalla ajoneuvon sallittu korkeus nousi 4,4 metriin aiemmin voimassa olleesta 4,2 metristä. Taulukossa 2 on esitetty tarkastelun kohteena olevien ajoneuvoluokkien pääominaisuuksia. (finlex.fi)

Taulukko 2. Tarkasteltavat ajoneuvoluokat ja pääominaisuudet. (Heikkinen 2018-11-10)

Ajoneuvoluokka	Kokonaispaino	Akselimäärä	Kuormakantavuus
Kuorma-auto	32 tn	4	19 tn
Puoliperävaunu	42 tn	5	25 tn
Kasettilyhdistelmä	60 tn	7	40 tn
Kasettilyhdistelmä	68 tn	8	45 tn
Kasettilyhdistelmä	76 tn	9	50 tn

6.3 EURO-päästöluokitukset

EU:n tyyppihyväksyntädirektiivissä on säädetty enimmäispäästörajat ajoneuvojen haitallisten päästöjen osalta. Ajoneuvoille on määritelty enimmäispäästörajat ajoneuvon painon, käytettävän polttoaineen, sylinterin puristustilavuuden ja tehoalueen (moottorin kierrosten) perusteella. Mitä suurempi ajoneuvon EURO-luokitus on, sitä vähemmän kalusto tuottaa päästöjä. Tässä työssä tarkastellaan kuorma- ja linja-autoille määriteltyjä päästörajoja. Vielä nykyisin yleisimmin käytetty polttoaine raskaan sarjan ajoneuvoilla on dieselöljy. Kuvassa 5 on esitetty tarkastelun kohteena olevia EURO-päästöluokkia ja niiden eroja.



Kuva 5. EURO-päästöluokkien eroja. (Trafi.fi)

Kuvassa 5 tarkastellaan päästöparametreja niin, että lähtöarvoksi on valittu EURO I -luokan päästöt (g/kWh) ja uutta päästörajaa (EURO-luokkaa) kuvataan suhteessa päästöparametrin lähtötasoon, eli EURO I-luokan päästöihin. Päästörajat ovat vuodesta 1992 tiukentuneet merkittävästi. Tulee kuitenkin huomioida, ettei EURO-päästöluokissa ole vaatimuksia tai raja-arvoja hiilidioksidipäästöille.

7 AJONEUVOLUOKKIEN KÄYTTÖÖN LIITTYVIÄ TARKENNUKSIA

Erityyppisten maansiirtoajoneuvojen käyttöön ja toimintoihin liittyviä tarkennuksia on kuvattu seuraavissa kappaleissa. Ajoneuvoluokkien välillä esiintyy eroja kuormakantavuuden lisäksi mm. kokonaispituudessa ja työaika-suoritteessa purkujen ja kuormausten välillä, jotka vaikuttavat olennaisesti niitä koskeviin laskentoihin.

7.1 Kuorma - auto

Ajoneuvoluokkien välillä esiintyy niiden työsuoritteeseen vaikuttavia osatekijöitä. Puhuttaessa kuorma-autoista (tässä työssä nimityksenä käytetään pelkälle vetävälle autolle myös sanaa "nuppi"), ei maansiirtoauton perään ole kytketty perävaunua, vaan kuormatila perustuu vain veturiin adaptoidusta kippilavasta. Työmaaolosuhteissa pelkän nupin käyttö on lyhyessä massansiirrossa yleistä, sillä yksittäisellä kuorma-autolla pystyy nopeasti liikkumaan paikkoihin, joihin moduuliyhdistelmälle tarvittaisiin enemmän tilaa. Lisäksi kuorman purkaminen on nopeampaa käytettäessä pelkkää kuorma-autoa.

Lyhyessä matkasuoritteessa työmaan ja purkupaikan välillä nuppi on siis nopea ja tehokas työväline, varsinkin jos kuorma- tai purkupaikka sijaitsevat hankalassa paikassa. Sen heikkous on kuitenkin huono hyötykuormasuhde, jolloin pidemmällä matkalla se häviää tehokkuusasteessa moduuliyhdistelmille, sillä nykyaikaisten kasettilyhdistelmien kapasiteetti on jopa noin 262 % yksittäistä kuorma-autoa parempi.

7.2 Puoliperävaunu

Puoliperävaunu on eräänlainen yhdistelmätyyppi, joka koostuu vetoautoon kiinnitettävästä peräkärystä, sekä kuormatilasta, joka on maansiirtotarkoitukseen varustettu kippimekanismilla. Itse vetoauto ssa ei ole kuormalavaa, vaan kuormalava sijaitsee kokonaisuudessaan vedettävässä perävaunussa, jossa ei ole kääntyviä niveliä sen koko rungon välillä. Perävaunu kytkeytyy vetoautoon sen kääntöpöydässä olevan lukitusmekanismin kautta.

Puoliperävaunu on pelkkää kuorma-autoa pidempi työväline ja se tarvitsee yleensä työmaalla tavallista kuorma-autoa suuremman tilan toimiakseen, sillä nivelettömän perävaunun runko vaatii kääntyessään isomman oikaisukulman. Hyviä puolia puoliperävaunun käytössä on, ettei sen purkamiseen tarvita perävaunun irroitusta, joka omalta osaltaan säästää kuljettajalta aikaa. Samoin kuin pelkän kuorma-auton käytössä, sen huonona puolena on heikko hyötykuormasuhde, joka on suurimmillaan noin 100% uusia moduuliyhdistelmiä huonompi.

7.3 Moduuliyhdistelmät

Maansiirrossa yleisin yhdistelmätyyppi on "kasetti". Tämä tarkoittaa, että ajoneuvoyhdistelmä koostuu sekä kuormalavalla varustetusta kuorma-autosta, että myös vedettävästä erillisestä perävaunusta,

joka on varustettu omalla kuormalavalla. Kuorman purkaminen tapahtuu niin, että vetoauton purkamisen jälkeen perävaunun kuormalava siirretään kuorma-auton lavalle hydraulisesti, jonka jälkeen perävaunuun sijoitettu kuorma voidaan myös purkaa.

Lyhyessä siirrossa kasettiryhdistelmien ongelmaksi koostuvat niiden tarvitsema tila työmaalla, sekä kuorman purkaminen ja kasetointi, joka vie kuljettajalta enemmän aikaa. Kasettiryhdistelmiä ei yleensä käytetä lyhyissä siirroissa (taajama-alueilla).

8 LASKENTAPOHJAN TOIMINTAPERIAATE

8.1 Laskentapohjan yleisperiaate, vaiheet ja liitynnät

Alla on kuvattu laskentapohjan täyttämisperiaatteet ja vaiheet seikkaperäisesti. Sitä seuraavissa osissa laskentapohjaan liittyvät laskennalliset osiot on avattu tarkemmin.

1. Kohdealueen (vallitsevan) maalajin valinta, kunnostettavan alueen pinta-alan ja arvioidun kunnostussyvyyden asettaminen. Lisäksi tarkasteltavan massalajikkeen nimeä voidaan muokata mieleiseksi, jotta sen tulosten seuraaminen ja analysointi myöhemmissä vaiheissa on helpompaa.
2. Punnitusmaksujen ja massojen käsittelykulujen (arvioiden) syöttäminen. Nämä kulut lisätään automaattisesti kuljetuskustannusten kanssa samaan kokonaiskustannusarvioon.
3. Kuljetuskustannusten laskuperusteen valitseminen.
4. Tieolosuhteen valinta työmaan ja vastaanottoaikan välillä (taajama /maantie). Tämä vaikuttaa arvioituihin työmaapäiviin ja mahdollisiin kuormasuoritteisiin.
5. Käytävissä olevien autojen lukumäärän määrittäminen ja luvun syöttäminen.
6. Tulosten tarkastelu. Tuloksia on myös mahdollista arvioida niin, että kokonaiskustannuksiin otetaan mukaan päivittäiset työmaakustannukset (pääasiassa työkoneiden laskutettavat kustannukset / vrk).

8.1.1 Massa-arviot ja maalajit

Laskentatyökaluun on määritelty kolme (3) erilaista variaatiota maalajityypeistä, joiden ryöstökertoimet teoreettisten kiintokuutioiden määrittämiseksi ovat työkokemuspohjaisia, eivätkä sidottuja mihinkään viralliseen aineistoon. Pilaantuneiden maa-ainesten tarkka arviointi on mahdotonta, sillä yleisimmin alueen pilaantuneisuus ja todelliset massamäärät selviävät vasta kunnostusvaiheessa. Lisäksi haitta-aineiden liikettä ja tarkkaa sijaintia (ulottuvuutta) maaperässä on mahdotonta tietää tarkasti.

Massa-arvioissa pyritään ottamaan huomioon massan luonnontilainen kosteus sekä se, ettei koko kunnostusalueen maalajeja välttämättä tiedetä etukäteen ja ettei työmaalle ole välttämättä mahdollista järjestää karkealajeisten maalajien seulontaa.

8.2 Ajohinnan laskuperusteet

Kuorma-autonkuljettajat laskuttavat työstä työmaakohtaisesti. Esimerkiksi kuljettajat eivät pysty sitoutumaan kuormaperustaisiin laskutuksiin työmailla, joilla kuormansaannin tehokkuus on heikko, vaan tällöin laskutetaan esimerkiksi kuluvien työtuntien mukaan. Käsiteltävään laskentapohjaan pystytään ajon hinnan laskuperusteiksi asettamaan kolme erilaista muotoa: tuntihinta, kuormahinta ja kilometrihintaa:

- Tuntihinta merkitsee, että kuljettaja laskuttaa työstään kuluvien työtuntien mukaan. Tällöin ajoneuvoluokille voidaan määrittää hinta, jotka selviävät kuljetuspalvelun tarjoajalta tai toissijaisesti voidaan käyttää paikkakuntaakohtaisesti yleisesti "sopivaa" tuntihintaa.

- Kuormahinta tarkoittaa, että jokaista työmaalta vastaanottoipaikkaan toimitetusta kuormasta tulee kiinteä, kuormakohtainen hinta. Kuormahinta määräytyy yleisesti riippuen kuljetuksen matkasta ja työhön sovellettavasta ajoneuvoluokasta. Tällöin laskennassa käytetään ajoneuvoluokille arvioitujen kuormien määrää ja niille asetettua hintaluokkaa.
- Kilometrihinta tarkoittaa, että kuljetuksesta korvattava hinta määräytyy kilometriperusteisesti. Kuljetusurakan kokonaishinta on täten sama ajoneuvoluokkaan katsomatta, sillä korvattava summa perustuu matkaan työmaalta vastaanottoipaikkaan, sekä ajoneuvossa kuljetettavaan tonninimäärään. Voidaan täten puhua niin sanotusta ”tonnikilometristä”, jolloin jokaiselta ajettua kilometriltä koostuu korvaus siirrettyä tonnia kohtaan, (euroa/kilometri/tonni). Laskentapohjassa käytetään korvauksen arviona oletusarvoa 0,15 euroa/kilometri, mutta mikäli hinta on määritetty esimerkiksi urakoitsijan puolesta, voidaan kilometrikorvausta säätää sen mukaisesti.

8.3 Käytettävän kaluston määrä

Käytettävän kaluston määrän laskenta perustuu päiväkohtaisiin laskentoihin, joihin vaikuttavat mm. ajo – ja lepoaika-asetus, siirtomatkan tieolosuhteet (taajama / maantie), ajoneuvojen keskeiset ominaisuudet, sekä tietyille asetetut keskinopeudet. Lisäksi laskennoissa otetaan huomioon kuljettajan työsuoritusta hidastavat työvaiheet, kuten lastaus, kasetoinnit (ks. sanasto ja käsitteet) ja purkuvaiheet. Lopulliseksi arvioksi tulee siis päivittäiset kuormamäärät, jotka kuljettajan arvioidaan olevan mahdollista suorittaa maantieajossa yhdeksän (9) tunnin ja taajama-ajossa kahdeksan (8) tunnin päivittäisen työajan aikana. Laskennoissa ei sovelleta työ- tai ajoajan pidennystä. Suunnittelijan tehtäväksi jää määrittää sopiva automäärä työmaaolosuhteiden perusteella.

8.4 Massan käsittely

Massan käsittelykulut määräytyvät vastaanotto paikassa sen geoteknisten ominaisuuksien, haitta-aineen ja sen pitoisuuden mukaan. Massan käsittelykuluksi laskentapohjassa voidaan asettaa arvioitu summa, joka koituu kustannettavaksi jokaisesta toimitetusta tonnista. Lisäksi mikäli vastaanotto paikassa on käytössä kuormien punnitusmaksut, voidaan nämäkin määrittellä laskentapohjaan, jolloin punnitusmaksut määräytyvät massa- ja kuormalukuarvion mukaan jokaiselle ajoneuvoluokalle erikseen. Opinnäytetyössä käsiteltävään laskentapohjaan voidaan eritellä yhtä aikaa neljälle (4) erilaiselle massatyypille massankäsittelyhinnat (samalla työmaalla voi olla montaa erilaista pilaantunutta maainesta, jolloin niiden käsittelykulut ovat eriävät). Lisäksi taulukossa on kohdat kohdealueelta purettavien betonien ja asfaltin osalta, mikäli niitä työmaalta joudutaan kunnostustöiden osalta poistamaan.

8.5 Päästöt

Päästömäärien arvioinnissa käytetään Teknologian Tutkimuskeskus VTT:n luomaa aineistoa, jossa on esitetty yksikköpäästökertoimet raskaalle liikenteelle. Päästöt arvioidaan ajoneuvoluokakohtaisesti erikseen ja laskentapohjan arvioinneissa käytetään ajoneuvoluokkaisesti EURO-päästöluokkien välisiä

keskimääräisiä päästöarvoja. Tämän uskon olevan oikeutettua, sillä maansiirtourakan suunnitteluvaiheessa ei ole vielä välttämättä tiedossa, millaista kalustoa pää- tai aliurakoitsijalla on massansiirtoon käytettävissä ja suurimmat päästöhiilidioksidin suhteen syntyvät kuluva polttoaineen palamisessa, johon EURO-päästoluokka ei vaikuta.

Päästöjen laskennan pääperiaatteena on, että tarkasteltavana alueena päästöjen synnyn suhteen on logistiikan osalta kaksi erilaista matkasuoritetta. Työmaalta vastaanottopaikkaan koostuva kuljetusmatka tulee laskea niin, että matka- ajan ja päästöjen laskentaan vaikuttaa ajo täysillä painoilla (täysi kuormakantavuus), sekä valittu tieolosuhte (maantie / taajama). Näin ollen laskentapohja laskee, että toinen osio matkasta suoritetaan tyhjänä ja toinen osa maksimikantavuudella, ellei arviointivaiheessa määritetä massan geoteknisten ominaisuuksien mukaan kuormitukselle sopivaa osakuormitusprosenttia. Osakuorman vaikutuksia syntyviin kokonaispäästöihin on käsitelty kappaleessa 8.5.2.

8.5.1 Laskentamateriaalien yhteensopivuus ja varmennus

Teknologian Tutkimuskeskus VTT:n julkinen aineisto kuvastaa Suomen liikenteessä käytettävien ajoneuvoluokkien yksikköpäästöjä. Aineiston datan paikkansapitävyyden varmentamiseksi (maansiirtokaluston laskentoja varten) suoritettiin yhteispainoltaan 76 tonnia painavalla kasettiyhdistelmällä koeajoja Kuopiossa talvella 2019. Ajon aikana seurattiin ajotietokoneen avulla ajoneuvon polttoaineen kulutusta kuvan 6 mukaisesti noin 100 kilometrin matkoilla.



Kuva 6. Ajotietokone, koeajon keskipulutus. (Heikkinen 10-02-2019)

VTT:n aineiston mukaan yhteispainoltaan 76 tonnia painavan yhdistelmän keskipulutus kuormattuna olisi tasapuolisesti maantie- ja taajamosuuksia sisältävässä ajossa keskimäärin 65,75 l/100km. Ajotietokoneen mukaan keskipulutus vaihteli koeajon aikana noin 100 kilometrin matkalla 63,76-65,89 litran välillä. On kuitenkin otettava huomioon, että koeajot suoritettiin talviolosuhteissa, jolloin kuljettajan joutuu usein luopumaan taloudellisista ajotavoista suoriutuakseen paremmin liukkaalla tiellä. Lisäksi tulee huomioida, että vallitsevat tieolosuhteet olivat paikoittain ala- ja ylämäkipainotteisia ja kokonaisiirromatkasta noin 35-40% oli taajamaolosuhteisiin verrattavissa. Kuormakantavuudet olivat koeajoissa 50-51 tonnin välillä. Koeajon perusteella VTT:n aineisto sopii hyvin käytettäväksi laskentojen lähtömateriaaliksi.

8.5.2 Seurattavat päästöparametrit

Tässä työssä tarkastellaan siis maansiirtokaluston erilaisten variaatioiden suorituskykyä saman työn suorittamisessa. Merkittävin kasvihuonekaasupäästö moottoriajoneuvojen käytössä ovat polttoaineen palamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ja kokonaispäästömäärää tarkastellaan CO₂ ekvivalenteina. Mitä suurempi moottorin rasitusaste on (tässä tapauksessa ajoneuvon tai sen yhdistelmän kokonaispaino), sitä enemmän se kuluttaa keskimääräisesti polttoainetta. Jotta arviointituloksien varmuutta laskentatyökalun ja todellisesti syntyneiden päästöjen kesken voidaan vertailla, verrataan laskentapohjassa arvioitujen päästöjen määrää uudempien kuorma-autojen ajotietokoneiden tuottamiin viikko – ja kuukausiraportteihin, joissa tuotetut hiilidioksidimäärät on ilmoitettu tonneina (kuva 7).

KELOVESKA OY

MONITORIRAPORTTI



MUUTOS
POLTTOAINEENKULUTUK
SESSA*

Prosenttimuutos **-1,4%**
Kokonaismuutos** **-57 litraa**



MUUTOS
HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖISSÄ*

Keskimääräinen muutos **-2 g/km**
Kokonaismuutos** **0,0 tonnia**

VIIKON YLEISKUVA: 8.10.2018–14.10.2018

Ajoneuvo	Aloitus	Lopetus	Matkamittari	Ajomatka	Scania kulj.tuki	Rullaus	Joutokäyn ti	Ylinopeus	Voimakkaat jarrutukset	Polttoaineenku lutus	Hiilid.
JKA-540*	8.10.2018 5:55	13.10.2018 16:20	201275	2052	54%	8,3%	34,4%	8,8%	0,2	67,0	3,8
XNH-140*	8.10.2018 2:52	13.10.2018 15:30	721407	4224	55%	8,9%	13,3%	12,9%	0,8	63,9	8,0
KESKIARVO:						8,7%	21,4%	11,3%	0,6	64,9	

Yksiköt: Matkamittari: matkamittarin lukema kilometreinä. Etäisyys: yhteensä km, Scania kuljettajutuki: keskimääräiset ajopisteet (%) kaikille luokille, Rullaus: % matkasta, Joutokäynti: % moottorin käyntiajasta, Ylinopeus: % moottorin käyntiajasta, Voimakkaat jarrutukset: keskimäärin kertaa/100 km, Polttoaineenkulutus: keskimääräinen (l/100 km), Hiilidioksidit: tonnimäärä yhteensä

* verrattuna edelliseen aikajaksoon
** aikajakson ajomatalle (6276 km)

Kuva 7. Ajotietokoneen monitoriraportti. (Keloveska Oy)

Laskentapohjan päästöarvioita vertailtiin mm. yllä olevaan monitoriraporttiin (kuva 7), josta käyvät ilmi yhden (1) yhteispainoltaan 76 tonnisen kasettilyhdistelmän viikon ajoaikana ajatut kilometrit ja ajoneuvon käytössä syntyneet hiilidioksidimäärät tonneina (merkattu sinisellä kuvaan). Kuljetusyrittäjän mukaan kyseisen ajankohdan ajosuoritukset tapahtuivat pääosin maantieolosuhteissa, tästä syystä laskentapohjan arviot asetettiin 2052 kilometrin pituiselle matkalle taajamaolosuhteisiin. Kuten taulukosta 3 voidaan havaita, 2052 kilometrin matkalla maantieolosuhteissa syntyisi laskentapohjan mukaan hiilidioksidipäästöjä noin 3983 kiloa (noin 3,98 tonnia), kuormitusasteen ollessa 100%. Tulee kuitenkin huomioida, että todellinen kokonaiskilometrimäärä koostuu osakseen esimerkiksi tyhjäpainolla ajettuista siirroista varikon ja työmaa-ajon välillä ja lisäksi siirtoväleillä on usein myös maantiesuuk-sia, joita laskentapohjassa ei voida huomioida. Nämä huomioiden pohjan arviot näyttävät täsmävän kohtuullisesti monitoriraportin tietoihin.

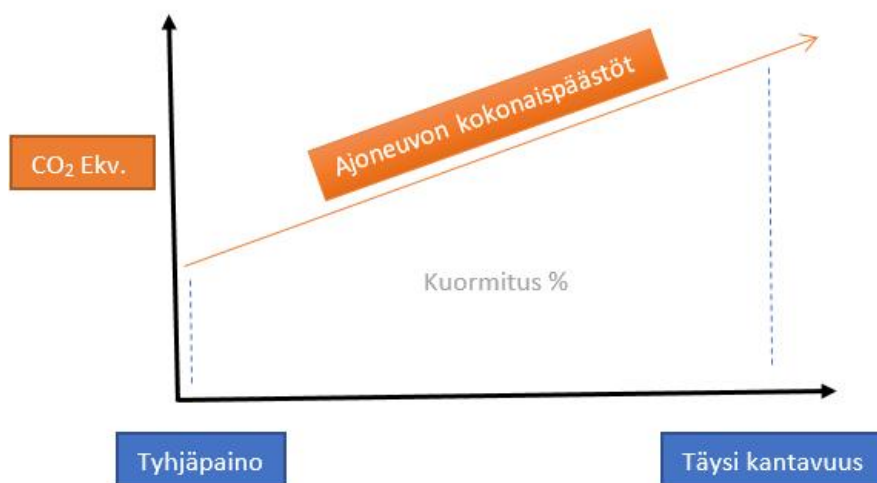
Taulukko 3. Päästöarvioiden vertailu monitoriraportin tietoihin. (Heikkinen 10-02-2019)

Kuljetusten kilometrit n.	2052
TOIMINNASSA AIHEUTUVAT KOKONAISPÄÄSTÖT	
Päästöparametri:	<i>50m</i>
CO Hiilimonoksidi (kg)	0,60
HC Hiilivedyt (kg)	0,10
NoX Typen oksidit (kg)	1,14
PM hiukkaset (kg)	0,02
CH4 Metaani (kg)	0,00
N2O Typpioksiduuli(kg)	0,10
SO2 Rikkidioksidi (kg)	0,01
CO2 Hiilidioksidi (kg)	3983
CO2 EKV. (kg)	4014,4
POLTTOAINEEN KULUTUS YHT (litraa)	1702,6

8.5.3 Osakuorman vaikutus päästöihin

Ajoneuvon käytössä syntyvien kasvihuonekaasujen määrään vaikuttaa olennaisesti sen ajonaikainen kuormitusaste. Tämä tarkoittaa yksinkertaisesti sitä, että mitä suurempi on ajoneuvon kokonaismassa, sitä enemmän ajoneuvo kuluttaa polttoainetta ja näin myös päästöjä syntyy enemmän. Osakuorman vaikutuksia päästöjen määrän syntyyn määritettäessä tulee myöskin huomioida, ettei ajoneuvon käytössä ole tilannetta, jossa päästöjä ei syntyisi, vaan tyhjäpainolla ajettaessa syntyy ajoneuvoluokkaisesti aina tietyn verran päästöjä.

Kuvasta 8 voidaan havaita, että ajoneuvon kokonaispäästöt (CO₂ ekvivalentteina) kasvavat lineaarisesti, kun tämän kuormitusastetta (kuorman painoa) lisätään. Asia on perusteltu myös taulukkokuvassa 4, jossa on kuvattu erään yhdistelmäluokan osakuorman vaikutuksia syntyviin päästöihin ja kokonaispolttoaineen kulutukseen. Sama kaavio pätee myös muihin käsiteltäviin ajoneuvoluokkiin. Tässä työssä käsiteltävän laskentapohjan versiossa pystytään osakuormituksen vaikutuksia syntyviin kokonaispäästöihin muuttamaan prosentuaalisesti jokaiselle kuljetuslajikkeelle erikseen.



Kuva 8. Päästöjen suhde ajoneuvon kuormitusasteeseen. (Heikkinen 12-01-2019)

Osakuorman vaikutuksia syntyviin kokonaispäästöihin kannattaa huomioida jo työmaan suunnittelu- vaiheessa tai viimeistään sen aloitusvaiheessa. Paikalta kaivettavan ja siirrettävän massan painoon vaikuttavat sen geotekniset ominaisuudet, minkä vuoksi maansiirtoajoneuvon kuormatilan ollessa näöllisesti täysi ei ajoneuvon kantavuus (painon suhteen) välttämättä ole saavuttanut sen maksimaalista kokonaispainoa. Toisaalta, vaikka massan geotekniset ominaisuudet mahdollistaisivat kuormatiloihin sopivat kantavuuskuormat, on kuorma - auton - tai kuormaavan koneen kuljettajan vaikea arvioida ilman kuormaajaan sijoitettua vaakaa, milloin ajoneuville sallitun kantavuuskuorman paino on saavutettu. Näistä syistä työmaalta voi useinkin lähteä kuormia, joiden määrä on kuutiometrisesti oikea, mutta ajoneuvon kokonaispaino jää kauaksi suurimmasta sallitusta ja tällöin päästöjä tulee arvioida oikean osakuormitusprosentin mukaan. Yksi vaihtoehto olisi seurata kuorman painoa kuormaustilanteessa ajotietokoneen monitorista (kuva 9), mutta tämä toimii vain ajoneuvoissa ja yhdistelmissä, jossa jokainen akseli on varustettu ilmajousella.

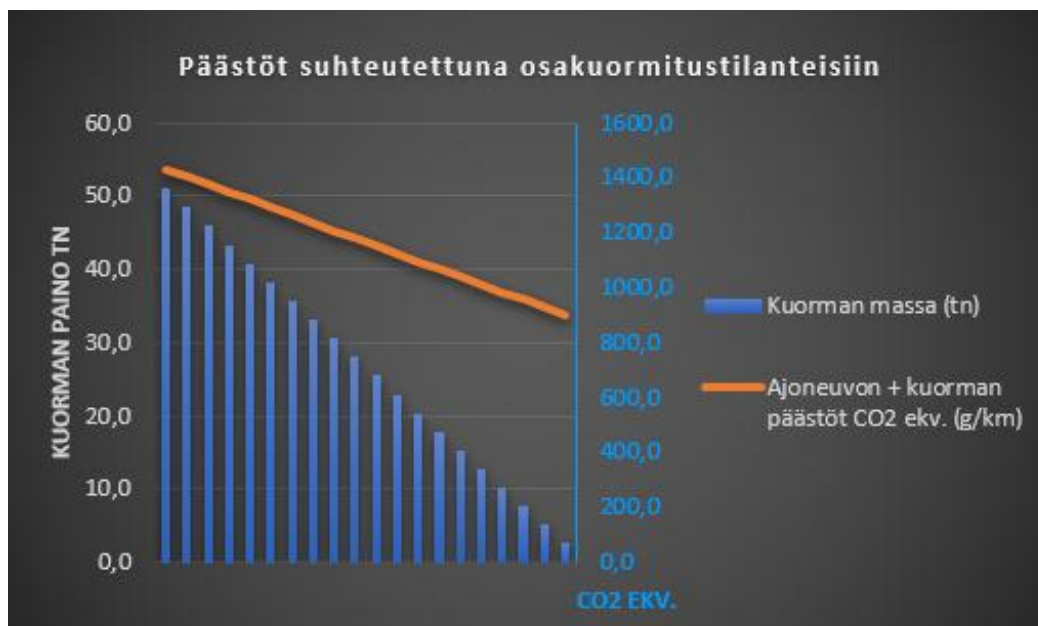


Kuva 9. Kuormapainon seuraaminen ajotietokoneesta kuormaustilanteessa. (Heikkinen 10-02-2019)

Taulukko 4. Kuormitusasteen vaikutukset yhdistelmäkokonaispainoltaan 76 tonnia painavan ajoneuvon kokonaispäästöihin ja polttoaineen kulutukseen (maantieolosuhteissa). (Heikkinen 10-02-2019)

Kuormitus %	Kuorman massa (tn)	CO2 ekv. (g/km) Kuormatun massan aiheuttama lisäys	Ajoneuvon peruspäästö ajossa ilman kuormaa CO2 ekv. (g/km)	Ajoneuvon + kuorman päästöt CO2 ekv. (g/km)	Kuormattuun massa suhteutettu päästö (g/tkm)	Vaikutukset polttoaineen kulutukseen (l)	Ajoneuvon kokonaiskulutus Diesel (l)
100	51,0	560	872	1432,2	28,08	23,92	60,53
95	48,5	532	872	1404,1	28,98	22,72	59,34
90	45,9	504	872	1376,1	29,98	21,53	58,14
85	43,4	476	872	1348,1	31,10	20,33	56,95
80	40,8	448	872	1320,1	32,36	19,13	55,75
75	38,3	420	872	1292,1	33,78	17,94	54,55
70	35,7	392	872	1264,1	35,41	16,74	53,36
65	33,2	364	872	1236,1	37,29	15,55	52,16
60	30,6	336	872	1208,1	39,48	14,35	50,97
55	28,1	308	872	1180,1	42,07	13,16	49,77
50	25,5	280	872	1152,1	45,18	11,96	48,57
45	23,0	252	872	1124,1	48,98	10,76	47,38
40	20,4	224	872	1096,1	53,73	9,57	46,18
35	17,8	196	872	1068,1	59,83	8,37	44,99
30	15,3	168	872	1040,0	67,98	7,18	43,79
25	12,7	140	872	1012,0	79,38	5,98	42,59
20	10,2	112	872	984,0	96,47	4,78	41,40
15	7,6	84	872	956,0	124,97	3,59	40,20
10	5,1	56	872	928,0	181,96	2,39	39,01
5	2,5	28	872	900,0	352,94	1,20	37,81

Kuten taulukosta 4 voidaan havaita, jokainen ajoneuvoon kuormattu tonnimäärä lisää polttoaineen kulutusta ja täten myös syntyvien konaispäästöjen määrä lisääntyy. Asia esitetty myös kuvaajalla kuvassa 10. Tyhjällä kuormapainolla liikkuvan ajoneuvoyhdistelmän tuottama päästömäärä on tässä työssä teoreettisesti vakio. Tämä voi kuitenkin johtaa harhaan ajatuksena, että alikuormilla ajaminen toisi mukanaan vähemmän kokonaismääräisesti päästöjä, vaikka alikuormitus lähinnä lisää syntyvien kuormien määrää työmaalla, mikä taas tarkoittaa enemmän siirtoja työmaan ja massojen sijoituspaikan välillä sekä tätä kautta myös lisää päästöjä. Mahdollisimman hyvin optimoidut kantavuuskuormat tuovat mukanaan taloudellisia ja ympäristöystävällisiä hyötyjä.



Kuva 10. Syntyvien päästöjen määrä suhteutettuna kuorman massaan. (Heikkinen 12-12-2018)

8.6 Logistiikan optimointi

Saatujen tulosten perusteella voidaan vertailla työssä käytettävän kaluston aiheuttamia päästöjä, kuljetuskustannuksia, massojen käsittelystä aiheutuvia kustannuksia sekä työmaalla syntyviä kuormamääriä ja työmaahan käytettävää aikaa vuorokausina. Oletetusti suuremmilla hyötykuormilla ajo (isommalla painoluokalla) vaikuttaa siihen, että mitä vähemmällä siirtomäärillä tarvittava, arvioitu massamäärä saadaan työmaalta toimitettua vastaanottoaikaan, sitä vähemmän koituu päästöjä sekä kustannuksia. Päästöarvioiden perusteella voidaan myös arvioida massanvaihdon kokonaisvaikutuksia ympäristöön ja ilmaan.

9 ESIMERKKITAPAUKSIA

Esimerkkitapauksissa laskentapohjaan syötetään kohteiden lähtömateriaalista sekä kunnostussuunnitelmista saatavilla olevat tiedot: kunnostettavan alueen laajuus, kunnostussyvyudet, maalajiarviot sekä etäisyys työmaan ja pilaantuneiden maa-ainesten sijoituspaikan välillä kilometreinä. Näiden lähtötietojen perusteella laskentapohja laskee aika-, päästö- ja kuormatoteumat eri ajoneuvoluokilla optimitilanteessa, jossa esimerkiksi hankala kaivutyö ei hidasta työn toteutusta. Jatkossa tulevien kohteiden arvioinneissa noudatetaan edellä mainittuja periaatteita.

Laskettuja optimitilanteen aika- ja kuormatoteutumia verrataan vastaanottoaikan massatositteisiin. Vertaamalla optimiarvioita lopullisiin toteutuneisiin ajopäiviin ja kuormamääriin voidaan tehdä arvioita sille, olisiko käytettävän maansiirtokaluston optimoinnilla vaikutusta työmaan kestoon, kuormamääriin ja syntyviin päästöihin.

9.1 KOHDE 1

Kohde 1 käsittelee massanvaihdolla kunnostettua teollisuustonttia, jolla sijaitti huolto- ja varastointirakennuksia. Kohteessa sijaitsevat rakennukset purettiin kunnostustyön aikana. Kohteen haitta-aineet koostuivat pääosin raskaista ja keskiraskaista öljyhiilivedyistä. Haitta-ainetutkimukset alueella toteutettiin tela-alustaisella porakonekairalla, jolla näytteet otettiin jatkuvana näytesarjana maksimissaan kuuden (6) metrin syvyyteen saakka. Tutkimusten perusteella määritettiin alueen pilaantuneisuus, kunnostusalueet ja kunnostussyvyudet taulukon 6 mukaisesti.

9.1.1 Lähtötiedot suunnitelmista

Ennen kunnostustöiden aloitusta kunnostettavat alueet rajattiin pääosin kolmeksi eri osaksi; tässä työssä näitä alueita käsitellään aluetunnuksilla A1, A2, A3 ja A4. Kunnostusalueet A1 ja A2 sijaittivat lähellä kiinteistön rajaa. Alueen A4 kunnostusalue sijoittui osittain tontilla sijaitsevan rakennuksen alapuolisiin rakennekerroksiin. Tutkimustulosten perusteella ei ollut varmaa, kuinka pitkälle rakennuksen alle kunnostettava alue uloituisi. Kohteen maaperä koostui pääosin savesta, hiekasta ja sorasta sekä rakennekerroksissa sijainneista kiviaineksista kuten murskeista.

Pilaantuneet maa-ainekset sijoitettiin noin 14 kilometrin etäisyydelle työmaalta. Lisäksi tiedossa oli, että pilaantuneiden massojen yläpuolisissa kerroksissa oli puhtaita massoja, jotka tuli erotella pilaantuneista maista. Taulukossa 5 on esitetty arvioidut kunnostuspinta-alat (m²), kunnostussyvyudet (m), massa-arviot (m³ltr) ja varaukset kunnostusalueiden mahdollisille laajennuksille.

Taulukko 5. Kohde 1 lähtötiedot. (Heikkinen 12-12-2018)

Aluetunnus	A1	A2	A3	A4
Pinta - ala	220 m ²	130 m ²	30 m ²	ei määritelty
Kunnostussyvyys	keskimäärin 5 metriä	4 metriä	ei määritelty	ei määritelty
Massa – arviot	770 m ³ ktr	520 m ³ ktr	ei määritelty	ei määritelty
Varaukset laajennuk- selle	175 m ³ ktr + 380 m ³ ktr	240 m ³ ktr	ei määritelty	400 m ³ ktr

Kunnostettavien alueiden massamäärät yhteenlaskettuna suunnitelmatiedoista on arvio noin 2485 m³ ktr (teoreettinen kiintotilavuus.)

9.1.2 Lähtötietojen syöttö laskentapohjaan

Alueiden A1, A2 ja A4 tiedot syötettiin laskentapohjaan yksilöllisesti taulukon 6 mukaisesti. Alueelle A3 ei oltu määritelty suunnitelmissa kunnostussyvyyttä tai massa-arviota. Tästä syystä se jätettiin pois myös arvioinneista ja laskennoista. Alueen A4 lähtötiedot asetettiin vastaamaan samaa arvioitua massamäärää teoreettisina kiintotilavuuksina (400 m³ktr). Yhteensä kunnostettavia ja alueelta siirrettäviä maa-aineksia laskentapohjan mukaan tulisi noin 2500 m³ktr, joka on noin 4750 tonnia. Taulukko 7 havainnollistaa lähtötietojen syöttötapaa laskentapohjaan.

Taulukko 6. Lähtötietojen syöttäminen alueittain. (Heikkinen 12-12-2018)

A1	Määrä	Määrite
Ryöstökerroin	1,9	Hk / Sr
Kaivussyvyys	5	m
Pinta-ala	220,0	m ²
Kuutioina	1320,0	ktr m ³
Tonneja	2508,0	tn
Siirtomatka	14	km

Siirtoväli työmaan ja maa-ainesten vastaanottoaikan välillä oli lyhyt ja kohde sijaitti taajamassa. Tämän vuoksi asetettiin laskentapohja laskemaan päivittäiset ajosuoritteet ja päästöarvot taajamaolosuhteisiin. Työmaan kestoa arvioitiin asettamalla käytettävissä olevien autojen lukumäärä kahteen kuvan 11 mukaisesti. Kuvassa on lisäksi esitetty ajoneuvoluokkaisesti (hyötykuorman mukaan) arvio kokonaisten siirtojen välillä kuluvasta ajasta.

A1			
Autot	Kasetit	Puoliperävaunu	Nuppi
1	5	7	8
2	10	14	16
3	15	21	24
AUTOJA KÄYTÖSSÄ	1:36:00	1:08:34	1:00:00
2			

Kuva 11. Mahdolliset kuormasuoritteet ajoneuvoluokittain/kunnostusalue/vrk. (Heikkinen 12-12-2018)

Kuvan 11 mukaisesti kasettiyhdistelmällä olisi mahdollista suorittaa yhden työvuoron aikana asetettujen matkaolosuhteiden mukaan viisi (5) kuormaa työmaan ja vastaanottoaikan välillä. Puoliperävaunun ja yksittäisen kuorma-auton suoriteaika on eriävä kasettiyhdistelmiin verrattuna (johtuen nopeammasta kuormaus- ja purkuajasta sekä lyhyestä siirtovälistä). Syntyviä kuormamääriä, työmaapäiviä ja päästöjä on arvioitu taulukossa 7.

Taulukko 7. Logistiikan kuormamäärät, päivät, päästöt ja kulutus (optimitalanteessa) ajoneuvoluokittain. (Heikkinen 12-12-2018)

Massamäärät yhteensä tn	Hyötykuorma 50tn	Hyötykuorma 45tn	Hyötykuorma 40tn	Hyötykuorma 25tn	Hyötykuorma Nuppijoja 19tn
4750					
Kuormia arviolta n. kpl	97	107	120	192	251
Päiviä varattava n. (Ajoon)	12	12	14	19	22
Lasketettavia työtunteja n. (Ajo)	96	96	112	152	176
Kuljetusten kilometrit n.	2716	2996	3360	5376	7028
CO2 EKV. (kg)	5314,4	5540,5	5766,6	7063,2	7810,5
POLTTOAINEEN KULUTUS YHT (litraa)	2253,9	2352,3	2450,6	2997,0	3309,6

9.1.3 Vertailu

Toteutuneeksi kunnostettujen alueiden pinta-ala osoittautui loppuraportin mukaan 1350 m², kunnostettujen massojen summan ollessa noin 2400 m³ktr. Kuormaseurantataulukon, vaaka-aseman rekisteritietojen ja massatositteiden perusteella alueelta ajettiin vastaanottoaikaan yhteensä 248 nuppikuormaa ja toimitettujen maamassojen kokonaismääräksi osoittautui 4687,96 tonnia. Työmaalla oli ajossa rekisteritietojen perusteella pääosin 3 kuorma – autoa ja ajopäiviä oli yhteensä 17 vuorokautta.

Taulukossa 8 on laskettu arviot työmaan päästöistä ja ajoon kuluviista vuorokausista, kun kokonaismassatoteumaksi on asetettu sama määrä massaa kuin todellisuudessa kuljetettu massamäärä oli (tonneina). Lisäksi arviot on laskettusiten, että ajossa on 3 autoa.

Taulukko 8. Kohteen 1 työmaapäivien ja päästöjen arviointi toteutuneilla massoilla ja ajoneuvomäärällä. (Heikkinen 10-02-2019)

Massamäärät yhteensä tn	Hyötykuorma 50tn	Hyötykuorma 45tn	Hyötykuorma 40tn	Hyötykuorma 25tn	Hyötykuorma Nuppijoja 19tn
4687					
Kuormia arviolta n. kpl	95	106	119	189	248
Päiviä varattava n. (Ajoon)	9	9	11	14	17
Lasketettavia työtunteja n. (Ajo)	72	72	88	112	136
Kuljetusten kilometrit n.	2660	2968	3332	5292	6944
CO2 EKV. (kg)	5204,8	5461,7	5718,5	6952,9	7717,2
POLTTOAINEEN KULUTUS YHT (litraa)	2207,5	2318,8	2430,2	2950,2	3270,1

Tässä kohdevertailussa pohjan arviot pitivät hyvin paikkansa, mutta massa-arvioiden kokonaismäärän summa oli hieman liiankin tarkka, eikä varaa isoille massamuutoksille jäänyt. Voidaan todeta, että suunnittelija on osannut määrittää kunnostettavat massamäärät ja varaukset alueiden laajennuksille todella hyvin (suunniteltu 2500 m³ ktr, toteuma 2400 m³ktr). Pohjan arvioista voidaan todeta, että ne pitävät logistiikan osalta hyvin paikkansa taajamaolosuhteissa, mikäli massa-arviot on määritetty oikein. Kuormaseuranta-asikirjojen perusteella kuormia toimitettiin vastaanottopaikkaan noin tasatunnein (riippuu osittain myös kirjaajasta), jonka perusteella laskentapohjan arvio siirtoihin kuluva ajasta maantieolosuhteissa pitäisi hyvin paikkansa.

Laskentapohjan arvioiden mukaan päästöjä syntyisi toteutuneilla massoilla n. 7717 kg (hyötykuorman ollessa 19 tn, kuormitusprosentti 100 %), kuormia 248 ja ajoon varattavia päiviä 17 kpl ajettaessa kolmella kuorma-autolla (nupilla). Vastaisuudessa, mikäli sama työ olisi suoritettu uudestaan kasettityhdistelmällä, esimerkiksi yhteispainoltaan 76 tonnia painavalla yhdistelmällä (hyötykuorma 50 tn), olisi ajoon tullut varata 9 vuorokautta (laskettu kolmella kasettityhdistelmällä, kahdella yhdistelmällä päiviä kertyisi noin 12). Päästöjä (CO₂ ekv.) syntyisi tällöin n. 5204 kg, eli noin 2500 kg vähemmän kuin ajettaessa nuppikuormilla, sillä tarvittavia siirtoja työmaan ja vastaanottopaikan välillä syntyisi vähemmän. Kaseteilla massojen ajattaminen olisi kuitenkin vaatinut työmaajärjestelyjä ja massojen välivarastointia kohteessa.

9.2 KOHDE 2

Kohde 2 käsittelee massanvaihdolla kunnostettua yksityistonttia, jolla on sijainnut aikaisemmin polttoaineen jakelupiste. Kohteessa sijaitsevat rakennukset olivat asuinkäytössä kunnostustyön aikana. Kohteen haitta-aineet koostuivat pääosin raskaista ja keskiraskaista öljyhiilivedyistä. Pohjatutkimukset alueella toteutettiin maakairauksella ja näytteenotolla. Kohteessa toteutettiin maaperän kunnostusta in-situ kunnostusmenetelmällä haitta-ainepitoisuuksien pienentämiseksi. In-situ kunnostuksen jälkeen alueella toteutettiin täydentävänä toimenpiteenä massanvaihto. Kohteen maaperän pilaantuneisuus, kunnostusalue ja kunnostussyvyyydet on esitetty taulukossa 9.

9.2.1 Lähtötiedot suunnitelmista

Massanvaihtoa koskevassa työn toteutus suunnitelmassa kunnostettava alue rajattiin taulukossa 10 ilmoitettujen määreiden mukaisesti. Aluetta käsitellään laskentapohjassa aluetunnuksella "A1 KOHDE 2". Kohteen maaperä koostui pääosin savesta, hiekasta, ja siltistä (maaperätutkimustiedot).

Pilaantuneet maa-ainekset sijoitettiin noin 95 kilometrin päähän työmaalta luvan omaavalle vastaanottopaikalle. Tiedossa oli, että pilaantuneiden massojen yläpuolisissa kerroksissa oli puhtaita massoja, jotka tuli erotella pilaantuneista maista. Puhtaita maa-aineksia ei olla sisällytetty arvioituihin pilaantuneisiin maa-aineksiin.

Taulukko 9. Kohde 2 lähtötiedot suunnittelijalta. (Heikkinen 10-02-2019)

Aluetunnus	Pinta - ala	Kunnostussyvyys	Massa – arviot	Varaukset laajenukselle
A1	70 m ²	3 metriä	350 m ³ itd	ei määritetty

9.2.2 Lähtötietojen syöttö laskentapohjaan

Kunnostettavan alueen A1 tiedot syötettiin laskentapohjaan yksilöllisesti taulukon numero 10 mukaisesti. Yhteensä kunnostettavia ja alueelta siirrettäviä pilaantuneita maa-aineksia laskentapohjan mukaan olisi noin 252 m³ktr, joka on noin 478,8 tonnia. Vallitseva maalaji oli silttiä ja hiekkaa.

Taulukko 10. Lähtötietojen syöttäminen laskentapohjaan. (Heikkinen 10-02-2019)

A1 KOHDE 2	Määrä	Määrite
Ryöstökerroin	1,9	Hk / Sr
Kaivussyvyys	3	m
Pinta-ala	70,0	m ²
Kuutioina	252,0	ktr m ³
Tonneja	478,8	tn
Siirtomatka	95	km

Koska välimatka työmaan ja massojen vastaanottoaikaan välillä oli 95 kilometriä ja kohde sijaitti kaukana taajaman ulkopuolella, asetettiin pohja laskemaan päivittäiset matkasuoritteet ja päästöarvot maantieolosuhteisiin. Työmaan kestoa arvioitiin asettamalla käytettävissä olevien autojen lukumäärä kahteen kuvan 12 mukaisesti. Lisäksi kuvassa 12 on esitetty ajoneuvoluokkaisesti (hyötykuorman mukaan) arvio kokonaisten siirtojen välillä kuluvasta ajasta.

A1 KOHDE 2			
Autot	Kasetit	Puoliperävaunu	Nuppi
1	2	2	2
2	4	4	4
3	6	6	6
AUTOJA KÄYTTÖSSÄ	4:30:00	4:30:00	4:30:00
2			

Kuva 12. Mahdolliset kuormasuoritteet vuorokaudessa. (Heikkinen 10-02-2019)

Kuvan 12 mukaisesti kasettiyhdistelmällä olisi mahdollista suorittaa yhden työvuoron aikana asetettujen matkaolosuhteiden mukaan kaksi (2) kuormaa työmaan ja vastaanottoaikaan välillä. Voidaan havaita, että päivittäisiä kuormamäärien eroja ei synny ajoneuvoluokkien välillä (johtuen pitkistä siirtovälillä). Syntyviä kuormamääriä, työmaapäiviä ja päästöjä on arvioitu taulukossa 11.

Taulukko 11. Työssä syntyvät kuormat, työmaapäivät ja päästöt (optimitilanteessa) ajoneuvoluokittain. (Heikkinen 10-02-2019)

Massamäärät yhteensä tn 479	Hyötykuorma 50tn	Hyötykuorma 45tn	Hyötykuorma 40tn	Hyötykuorma 25tn	Hyötykuorma Nappiajo 19tn
Kuormia arviolta n. kpl	10	11	12	20	26
Päiviä varattava n. (Ajoon)	3	3	4	5	7
Laskutettavia työtunteja n. (Ajo)	27	27	36	45	63
Kuljetusten kilometrit n.	1900	2090	2280	3800	4940
CO2 EKV. (kg)	2188,0	2235,1	2282,2	3024,7	3257,9
<i>POLTOAINEEN KULUTUS YHT (litraa)</i>	<i>922,9</i>	<i>944,9</i>	<i>966,9</i>	<i>1278,5</i>	<i>1373,9</i>

9.2.3 Vertailu

Toteutuneeksi kunnostettujen massojen summapainoksi osoittautui vastaanottoaikan asiakirjojen mukaan 455,38 tonnia. Massatoteutuksen perusteella kohteesta ajettiin vastaanottoaikaan yhteensä 10 kasettikuormaa. Työmaalla oli ajossa kunnostuksen valvojan mukaan kaksi (2) yhteispainoltaan 60 tonnin kasetti – yhdistelmää (hyötykuorma max 40 tn). Massoja ajettiin työmaalta yhteensä neljänä vuorokautena.

Taulukossa 12 on laskettu arviot työmaan päästöistä ja ajoon kuluviin vuorokausista, kun kokonaismassatoteutus on asetettu vastaamaan todellisuudessa kuljetettua maa-ainemäärää. Lisäksi arviot on laskettu nyt niin, että ajossa on 2 autoa.

Taulukko 12. Arviot toteutuneiden massojen perusteella. (Heikkinen 10-02-2019)

Massamäärät yhteensä tn 445	Hyötykuorma 50tn	Hyötykuorma 45tn	Hyötykuorma 40tn	Hyötykuorma 25tn	Hyötykuorma Nappiajo 19tn
Kuormia arviolta n. kpl	9	10	12	18	24
Päiviä varattava n. (Ajoon)	3	3	4	5	6
Laskutettavia työtunteja n. (Ajo)	27	27	36	45	54
Kuljetusten kilometrit n.	1710	1900	2280	3420	4560
CO2 EKV. (kg)	1969,2	2125,7	2282,2	2722,2	3007,3
<i>POLTOAINEEN KULUTUS YHT (litraa)</i>	<i>830,6</i>	<i>898,7</i>	<i>966,9</i>	<i>1150,7</i>	<i>1268,2</i>

Kohdevertailussa laskentapohjan arviot maa-ainemäärästä pitivät hyvin paikkansa suunnitelmista saatujen lähtötietojen perusteella eli suunnittelija on pystynyt arvioimaan pilaantuneiden maa-ainesten määrää hyvin. Laskentapohjan arvioita tulee vertailla toteutuneiden kuorma- ja aikasuoritteiden osalta yhteispainoltaan 68 tonnin kasettiyhdistelmiä (hyötykuorma 45 tn, oranssi sarake, taulukot 12 ja 13), sillä oletettavasti kaikki kuormat työmaan ja vastaanottoaikan välillä ajettiin keskimäärin noin 5 tonnin ylikuormalla, koska yhteispainoltaan 60 tonnia painavan kasettiyhdistelmän suurin sallittu laillinen hyötykuorma on 40 tonnia ($455,38 \text{ tn} / 40 \text{ tn} = \text{noin } 11$ kantavuuskuormaa, $455,38 \text{ tn} / 45 \text{ tn} = \text{noin } 10$ kantavuuskuormaa). On kuitenkin otettava huomioon, ettei työmaalla ollut mahdollista punnita kuorman painoa ennen siirtoa.

Laskentapohjan arvioiden mukaan päästöjä syntyi toteutuneilla massoilla 68 tonnin kokonaispainoluokalla n. 2125 kg (hyötykuorman ollessa 45 tn, kuormitusprosentti 100 %), kuormia 10 kpl ja ajoon varattavia päiviä 3 kpl ajettaessa 2 autolla. On kuitenkin huomioitava, että työn aloitusvaiheessa nopea kuormien saanti työmaalta ei ole välttämättä ollut mahdollista, vaan työn aloitus- ja lopetusajan

kohtaan on sisältynyt muutakin työtä kuin pelkästään maa-ainesten siirtoa. Optimitilanteessa, eli tilanteessa, jossa kuormien saanti työmaalta on nopeaa ja kuormat on optimoitu laillisiksi kantavuuskuormiksi työn suorittamiseen olisi pohjan mukaan tullut varata yhteispainoltaan 76 tonnia painavalla yhdistelmällä (hyötykuorma 50 tn) noin 3 päivää. Kuormia olisi tällöin kertynyt noin 9 kappaletta ja kilometrejä noin 1710 (laskettuna kahdella kasettiyhdistelmällä). Päästöjä (CO₂ ekv.) syntyisi optimitilanteessa arviolta n. 1969 kg, mikä on noin 156 kg vähemmän kuin ajettaessayhteispainoltaan 68 tonnin yhdistelmillä. Tässä kohteessa logistiikan optimoinnin vaikutukset kohteen kokonaistyösuoritteeseen, talouteen ja ympäristöystävällisyyteen olisivat olleet pienet (ajopäivissä vain yhden vuorokauden ero, kokonaispäästöissä noin 156 kg (CO₂ ekv.)). Täytyy kuitenkin huomioida, että massojen siirto ylikuormitettuna lisää tiestölle kohdistuvaa rasitusta, joka voi heikentää erityisesti päällystämätömiä teiden kuntoa ja tätä kautta aiheuttaa taloudellisia kustannuksia (tienhoidossa) työkohteen ulkopuolelle.

9.3 KOHDE 3

Kohde 3 käsittelee massanvaihdolla kunnostettua kohdetta, jolla harjoitettiin polttoaineen jakelutoimintaa. Kohteen haitta – aineet koostuivat pääosin raskaista ja keskiraskaista öljyhiilivedyistä. Kunnostustyöt toteutettiin alueella jakelupisteen saneeraustöiden yhteydessä.

9.3.1 Lähtötiedot suunnitelmista

Massanvaihtoa koskevassa kunnostussuunnitelmassa kunnostettava alue rajattiin taulukon 13 mukaisesti. Aluetta käsitellään laskentapohjassa aluetunnuksella "KOHDE 3 A1". Kohteen maaperä koostui pääosin hiekasta, siltistä ja täyttömaasta (maaperätutkimustiedot).

Massat sijoitettiin noin 52 kilometrin etäisyydelle työmaalta pilaantuneille maa-aineksille sopivaan vastaanottoaikaan. Pilaantumattomia massoja ei ole sisällytetty arvioituihin pilaantuneisiin maamassoihin.

Taulukko 13. Kohde 2 lähtötiedot suunnittelijalta. (Heikkinen 10-02-2019)

Aluetunnus	Pinta - ala	Kunnostussyvyys	Massa – arviot	Varaukset laajennukselle
KOHDE3 A1	85 m ²	2-5 metriä	170 m ³ ktr	50 m ³ ktr

9.3.2 Lähtötietojen syöttö laskentapohjaan

Koska kunnostussuunnitelmassa oli määritetty kunnostettavien massojen määräksi 170 m³ ktr ja varaus laajennukselle 50 m³ktr, asetettiin pohja laskemaan todelliset massamäärät yhteensä 220 m³ktr:lle taulukon 14 mukaisesti. Tämä vastaa laskentapohjan arvioissa noin 583 tonnia.

Taulukko 14. Lähtötiedot suunnitelmista. (Heikkinen 22-02-2019)

KOHDE3 A1	Määrä	Määrite
Ryöstökerroin	2,65	Mr / täyttö
Kuutioina	220,0	ktr m3
Tonneja	583,0	tn
Siirtomatka	52	km

Tieolosuhteet työmaan ja vastaanottopaikan välillä koostuivat pääasiassa maantieajoa vastaavista olosuhteista. Pohja asetettiin näin ollen laskemaan päivittäiset matkasuoritteet ja päästöarvot maantieolosuhteisiin. Työmaan kestoa arvioitiin asettamalla käytettävissä olevien autojen lukumäärä kahteen kuvan 8 mukaisesti. Lisäksi kuvassa 13 on esitetty ajoneuvoluokkaisesti (hyötykuorman mukaan) arvio kokonaisten siirtojen välillä kuluvasta ajasta.

KOHDE3 A1			
Autot	Kasetit	Puoliperävaunu	Nuppi
1	3	4	4
2	6	8	8
3	9	12	12
AUTOJA KÄYTÖSSÄ	3:00:00	2:15:00	2:15:00
2			

Kuva 13. Mahdolliset kuormasuoritteet ajoneuvoluokittain / kunnostusalue / vrk. (Heikkinen 22-02-2019)

Kuvan 13 mukaisesti kasettiyhdistelmällä olisi mahdollista suorittaa yhden työvuoron aikana asetettujen matkaolosuhteiden mukaan kolme (3) kuormaa työmaan ja vastaanottopaikan välillä. Voidaan myöskin havaita, että puoliperävaunun ja pelkän kuorma-auton suoriteaika on eriävä kasettiyhdistelmiin verrattuna (johtuen nopeammasta kuormaus- ja purkuajasta sekä välimatkasta) Työmaalla syntyviä kuormamääriä, työmaapäiviä ja päästöjä on arvioitu taulukossa 15.

Taulukko 15. Työssä syntyvät kuormat, päivät ja päästöt (optimitilanteessa). (Heikkinen 22-02-2019)

Massamäärät yhteensä tn	Hyötykuorma 50tn	Hyötykuorma 45tn	Hyötykuorma 40tn	Hyötykuorma 25tn	Hyötykuorma Nuppija 15tn
583					
Kuormia arviolta n. kpl	12	13	15	24	31
Päiviä varattava n. (Ajoon)	2	3	4	3	4
Lasketettavia työtunteja n. (Ajo)	18	18	36	27	36
Kuljetusten kilometrit n.	1248	1352	1560	2496	3224
CO2 EKV. (kg)	1437,2	1499,3	1561,5	1986,7	2126,2
POLTTOAINEEN KULUTUS YHT (litraa)	606,2	633,9	661,5	839,8	896,6

9.3.3 Vertailu

Toteutuneeksi kunnostettujen massojen summapainoksi osoittautui vastaanottopaikan asiakirjojen mukaan 629,6 tonnia. Massatositteen perusteella kohteesta ajettiin vastaanottopaikkaan yhteensä 16 kasetti kuormaa. Työmaalla oli ajossa kuormaseuranta-asiakirjojen ja kunnostuksen valvojan mukaan

kaksi (2) yhteispainoltaan 60 tonnin kasetti – yhdistelmää (hyötykuorma max 40 tn). Massoja ajettiin työmaalta yhteensä viitenä (5) eri vuorokautena.

Taulukossa 16 on laskettu arviot työmaan päästöistä ja ajoon kuluviista vuorokausista, kun kokonaismassatoteuma on asetettu vastaamaan todellisuudessa siirrettyä maa-ainemäärää. Arviot on laskettu edelleen siten, että ajossa on 2 autoa.

Taulukko 16. Arviot toteutuneiden massojen perusteella (optimitilanteessa). (Heikkinen 22-02-2019)

Massamäärät yhteensä tn 629	Hyötykuorma 50tn	Hyötykuorma 45tn	Hyötykuorma 40tn	Hyötykuorma 25tn	Hyötykuorma Nappilajo 19tn
Kuormia arviolta n. kpl	13	14	16	26	34
Päiviä varattava n. (Ajoon)	3	3	4	4	5
Laskutettavia työtunteja n. (Ajo)	27	27	36	36	45
Kuljetusten kilometrit n.	1352	1456	1664	2704	3536
CO2 EKV. (kg)	1556,9	1611,3	1665,6	2152,3	2332,0
<i>POLTTOAINEEN KULUTUS YHT (litraa)</i>	<i>656,7</i>	<i>681,2</i>	<i>705,6</i>	<i>909,8</i>	<i>983,4</i>

Kohdevertailussa laskentapohjan arviot pilaantuneista maa-aineksista jäivät vajaaksi todellisista siirretyistä maa-ainemääristä. Ero suunniteltujen ja todellisten massapainojen välillä oli noin 46 tonnia, joka vastaa noin yhtä yhteispainoltaan 68 tonnin kasettikuormaa. Tämä johtuu osittainmyös siitä, että alueelta kaivetut ja siirretyt massat sisälsivät täyttömaa-aineksia, joiden todellinen arviointi painotilavuuksien suhteen on mahdotonta, sillä täyttömaa-ainekset sisältävät sekoittuneita maalajeja ja lisäksi voivat sisältää esimerkiksi tiiltä, betonia ja asfalttia, jolloin kokonaismassa todellinen paino kasalla voi heitellä huomattavasti.

Laskentapohjalla tehtyjen arvioiden mukaan päästöjä syntyi toteutuneiden massojen perusteella 60 tonnin kokonaispainoluokalla n. 1665 kg (CO₂ ekv., hyötykuorman ollessa 40 tn, kuormitusprosentti 100 %), kuormia 16 kpl ja ajoon varattavia päiviä 4 kpl ajettaessa 2 autolla. Laskentapohjan arviot siirtoon kuluviasta ajasta eivät täysin täsmää todellisten ajopäivien (5 vrk) kanssa. Tämä johtuu siitä, että työmaalta ajettiin mukaan kahtena päivänä kahdella eri yhdistelmällä (kuormaseuranta-asiakirjojen mukaan) yhteensä neljä (4) kuormaa, kun parhaillaan työmaalta siirrettiin päivässä yhteensä viisi (5) kuormaa. Voidaan siis olettaa, työmaakohtaiset ominaisuudet ovat vaikuttaneet kuormien saantiin ja tätä kautta kokonaissuorituksiin.

Optimitilanteessa työn suorittamiseen olisi pohjan mukaan tullut varata yhteispainoltaan 76 tonnia painavalla yhdistelmällä (hyötykuorma 50 tn) noin 3 päivää ajettaessa kahdella autolla. Kuormia olisi tällöin kertynyt noin 13 kappaletta ja päästöjä (CO₂ ekv.) noin 1556 kg. Tämä olisi arviolta noin 109 kg vähemmän päästöjä (CO₂ ekv.), kuin ajettaessa yhteispainoltaan 60 tonnin yhdistelmillä. Pelkillä kuorma-autoilla (nupeilla) tehtävässä massansiirrossa olisi syntynyt päästöjä noin 776 kg (CO₂ ekv.) enemmän.

10 POHDINTAA

10.1 Laskentapohjan käyttövalmius

Jotta tällaista laskentatyökalua voitaisiin käyttää luotettavasti myös asiakastyössä, vaatii sen kehittäminen laajempaa yhteistyötä alan toimijoiden kesken (kuljetus- ja rakennusalan suunnittelijat, yrittäjät, urakoitsijat, jätteen tuottajat, käsittelijät, laboratoriot jne). Olennaista olisi myös tunnistaa mahdolliset riskit, joita suunnittelussa voi esiintyä ja joilla tätä kautta voi olla vaikutusta massanvaihtokohteen toteutukseen. Logistiikan suunnittelussa tulee huomioida paikkakunta-kohtaiset vaikutukset arviointeihin (esim. taajamien koko ja erilaiset tieolosuhteet). Valmiilla työkalulla voisi kuitenkin olla myönteisiä vaikutuksia materiaalitehokkuuden, kiertotalouden ja kestävän kehityksen edistämiseksi.

Suunnittelijan, joka ei omaa maansiirtoalan työkokemusta on toistaiseksi hankala käyttää tällaista työkalua, sillä esimerkiksi taajama- ja maantieolosuhteiden eriävyyksien hahmottaminen on välillä hankalaa. Tästä syystä laskentapohjaa tulisi kehittää automatisoidumpaan muotoon, jolloin itse logistiikan tai massankaivutyön ominaisuuksia ei tarvitsisi erikseen pohtia. Tämä vähentäisi arviointiin käytettävää aikaa sekä riskiä tuottaa epä johdonmukaisia arvioita työmaasta ja siirtomatkastasta. Toisaalta laskennallisen mallin arvioita tulee aina peilata todellisuuteen ja tätä kautta määrittää riskejä, joita työn toteutuksessa ja arvioissa voi ilmetä. Esimerkiksi massoja ei välttämättä ole mahdollista välivarastoida alueelle tilan- ja/tai ajanpuutteen vuoksi. Tällaisia tilanteita voivat olla esimerkiksi onnettomuustilanteet, joissa pilaantuneen massan kaivu tulee toteuttaa nopeasti ja tehokkaasti suurempien onnettomuuksien välttämiseksi.

10.2 Korvaavien massojen käyttö ja niiden kuormitus

Massanvaihdossa päästöjä ja kustannuksia aiheutuu myös maa-ainesten käytöstä, joilla korvataan kunnostustyössä pois kaivettu maa-aines. Nämä tulee myös huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Tässä laskentapohjassa ei toistaiseksi pystytä määrittelemään syntyviä kustannuksia ja päästömääriä korvaavien maa-ainesten käytössä. Optimaalisinta olisi korvata pois kuljetetut massat mahdollisimman lähellä työmaata saatavilla olevilla aineksilla ympäristökuormitusten ja kustannusten minimoimiseksi. Usein maa-ainesten leikkaus työmaalla kaivantojen täyttämiseksi ei kuitenkaan ole ratkaisu, vaan esimerkiksi työn ulkopuoleiset sidosryhmät voivat joutua maan muokkauksesta sijaiskärsijöiksi (maise-
mamuutokset alueella, eroosiot jne).

10.3 Työkoneiden päästöt ja suoritteet

Todellisiin kokonaispäästöihin tulisi ottaa mukaan korvaavien massamäärien (neitseellisten maa- ja kiviainesten tai hyötykäyttömateriaalien) aiheuttaman ympäristökuormituksen lisäksi myös työkoneiden päästöt. Työkoneiden päästöihin ja työn toteutukseen vaikuttavat mm. kaivettavan maan tiiveys, rakeisuus ja lujuusominaisuudet, alustaratkaisut (tela- ja pyöräalusta) ja koko sekä kapasiteetti. Näillä on vaikutusta työn kestoon ja sitä kautta projektin kokonaissuoritteeseen. Myös mahdolliset massojen välisiirrot alueella tulee huomioida ympäristökuormituksessa.

10.4 Massa-arviot

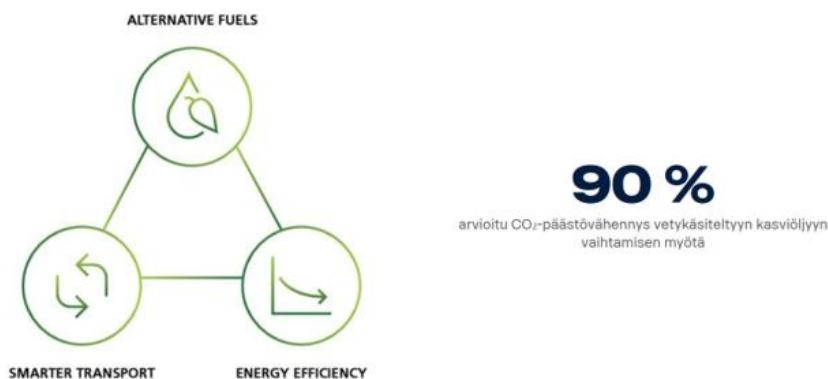
Massojen arviointiin tulisi sisällyttää parempi tapa arvioida massoja, jotka perutuvat yleisesti hyväksytyyn metodiin, kuten esimerkiksi Infra RYL:in ohjeisiin. Lisäksi massa-arvioita tulisi voida määritellä missä tahansa muodossa, ($m^3\text{ktd}$, $m^3\text{ktr}$, $m^3\text{itd/t}$, $m^3\text{rtd}$ tai $m^3\text{rtr}$) sillä suunnittelijoilla voi olla erilaisia tapoja määritellä alueella kunnostettavien massojen määrää. Laskentapohjan voisi asettaa myös laskemaan logistiikka-arviot siten, että mahdolliset osakuormitustilanteet tulevat myös huomioiduksi massatyypin mukaan ilman, että niitä tarvitsee manuaalisesti säätää.

10.5 Kiertotalous

Neitseellisten maa- ja kiviainesten käyttöä maarakentamisessa ja massanvaihtokohteissa voisi vähentää maa-ainesjätteiden hyötykäytöllä lisäämällä eri toimijoiden välistä yhteistyökykyä. Esimerkiksi tunnistamalla alueellisesti merkittävimmät jätteentuottajat (MARA- ja MASA-asetuksen mukaisesti hyötykäyttökelpoisia jätteitä tuottavat toimijat, kuten purku-urakoitsijat, energialaitokset jne.) voitaisiin eri toimialojen lopputuotteita (jätteitä) käyttää kiertotalouden mukaisesti maarakentamisessa, huomioiden myös alueen tuleva käyttötarkoitus ja siten lisätä materiaalitehokkuutta alueella. Näin ollen syntisi vähemmän toiminnasta aiheutuvia päästöjä ja kustannuksia. Laskentatyökalulla voidaan myös laskea hyötykäyttömateriaalien kuljetusten päästöjä.

10.6 Logistiikan tekniikan kehitys (tulevat vuodet)

Laskentapohjaa tulisi päivittää säännöllisesti muuttuvien asetusten ja kalustomuutosten suhteen. Jatkuvasti tiukentuvat päästöraajat asettavat merkittäviä muutoksia etenkin moottoriteollisuudelle. Johtavat logistiikka-alan tuottajat (esim. Scania Oy) kehittävät kuitenkin jatkuvasti uusia moottoreita, jotka ovat soveliaita biopolttoaineille (esim. HVO) ja voivat näin vähentää moottorin aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä jopa 95 %. Tämä on mahdollista optimoimalla tekniikkaa, biopolttoaineiden käyttöä, sekä kouluttamalla kuljettajia (kuva 14). Lisäksi ajoneuvojen koon kasvaessa saadaan yhä ympäristöystävällisempiä kuljetusratkaisuja (kuva 15). (www.scania.fi)



Kuva 14. CO₂-päästöjen vähentäminen ja keinot. (Scania.fi)

25,25 M

Pidemmät ajoneuvoyhdistelmät voivat vähentää CO₂-päästöjä merkittävästi. Kolme kuorma-autoa voidaan korvata kahdella.



Kuva 15. Pitkät ajoneuvoyhdistelmät ja CO₂-päästöt. (Scania.fi)

10.7 Sidosryhmät

Työn tilaajan tarpeiden huomioinnin lisäksi olisi olennaista ja tärkeää kehittää samaan pohjaan arviointimalli työn muihin sidosryhmiin kohdistuvista vaikutuksista; käytettäessä raskasta kalustoa ilmaan aiheutuu mm. runsaasti pöly- ja melupäästöjä, joilla voi olla vaikutusta esimerkiksi alueen viihtyisyyteen tai tiestön kuntoon. Lisäksi kunnostustyöt saattavat aiheuttaa maisemamuutoksia. Maalajimäärittysten ja ympäristöolosuhteiden pohjalta voitaisiin todennäköisesti arvioida laskennallisesti myös mahdollisia negatiivisia työn sivuvaikutuksia (melun- ja pölypäästöjen kantautuvuus alueella jne.).

11 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää itsetuotetun laskentapohjan perusteella, onko maansiirrossa käytettävien ajoneuvoluokkien optimoinnilla ja valinnalla vaikutusta työmaan kestoon, päästöihin ja kustannuksiin. Työn tavoitteena oli lisäksi selvittää, voisiko laskentapohjan arvioita käyttää kestävänn kunnostuksen- ja kehityksen edistämiseen suunnittelutyössä.

Laskentapohjaan onnistuttiin kehittämään laskenta- ja arviointimenetelmiä logistiikan aikasuoritusten, päästöjen ja kuormien (ajoneuvokohtaisesti) määrittämiseksi, jotka sopivat Keski-Suomen taajama- ja maantieolosuhteisiin. Keskeneräistä laskentapohjaa ei kuitenkaan voida toistaiseksi suoraan luovuttaa suunnittelijan työkaluksi.

Työssä tehtiin laskentapohjalla koeajo kolmelle eri työkohteelle (massanvaihtokohde), joissa työmaiden optimointimahdollisuuksia vertailtiin lopuksi alueelta todellisesti siirrettyjen maa-ainesten ja ajossa käytettyjen ajoneuvojen perusteella. Laskentapohjan tuloksien perusteella voidaan todeta, että suuremmilla hyötykuormilla ajaminen lisää polttoaineen kulutusta (ajoneuvon kokonaisuusmassan kasvassa), mutta vähentää syntyvien siirtojen (kuormien) määrää ja siten vähentää ilman päästöjä (kappale 9.1.3, taulukko 8). Vaikka kustannuksia ei laskutustietojen puutteen vuoksi päästy vertailumenetelmällä arvioimaan, voidaan esimerkkikohtelaskentojen 1, 2 ja 3 perusteella karkeasti arvioida, että vähentämällä kaluston käyttöaikaa kohteessa laskutettavien työtuntien määrä vähenee. Tämä vähentää oletetusti logistiikan ja työmaakoneiden käyttökustannuksia.

Suurimmilla hyötykuormilla tehtävä maa-ainesten siirto ei ole kuitenkaan aina oikea ja paras ratkaisu. Logistiikkaratkaisut ovat aina työmaakohtaisia. Esimerkiksi pienissä työmaakohteissa ja lyhyissä siirroissa pitkät moduuliyhdistelmät voivat osoittautua rasitteiksi ja hidasteiksi. Lisäksi työmaan järjestelyt optimi-tilanteen lähtökohdiksi moduuliyhdistelmille sopiviksi (esimerkiksi maa-ainesten välivarastoinnit) vievät myös aikaa sekä tilaa työmaalla ja täten voivat olla työn toteuttamisen kannalta mahdottomia järjestää tai niillä voi olla jopa negatiivinen vaikutus työmaan talouteen ja ympäristöhaittoihin. Logistiikan optimointi vaatii siis suunnittelijalta hyvää tilanteiden ennakkointia ja suunnittelua.

Työn tuloksena todettiin, ettei päästöjen arviointia voida logistiikan osalta koskaan suorittaa tarkasti, sillä suuri vaikutus syntyyviin ajoneuvopäästöihin on esimerkiksi tieolosuhteilla, rasisasteella sekä kuljettajan ajotavoilla, asenteilla ja koulutuksella. Kuitenkin voidaan todeta, että parhaan mahdollisen tekniikan ja kaluston käyttö, sekä työmaaolosuhteiden muuttaminen (esimerkiksi massojen välivarastointi ja kuormaustyön optimointi) logistiikalle edulliseksi vähentävät kaluston käyttöaikaa kohteessa ja tätä kautta tuovat mukanaan positiivisia vaikutuksia projektin talouteen ja ympäristöystävällisyyteen. Lisäksi työhön käytettävän kokonaisajan pienentyessä vähenevät myös riskit työn aikaisten komplikaatioiden esiintymiseen. Tällaisia komplikaatioita voivat olla esimerkiksi työkonien aiheuttamien öljyvahinkojen riskit.

Tässä työssä haastavinta oli kehittää samaan aikaan yksinkertainen ja toimiva Excel-laskentapohja logistiikan kustannusten, ajopäivien ja ilman päästöjen määrittämiseksi. Koska aiheesta ei löytynyt

paljoa aineistoa, oli ajoittain vaikeaa yrittää luoda itse käyttökelpoisia laskentaperiaatteita ja korrelaatioita erilaisiin laskennallisiin malleihin (esimerkiksi kuinka yhdistää lainsäädäntö, tieolosuhteiden vaikutukset, päästöt ja rasitusasteet toisistaan riippuviksi muuttujiksi ja laskentakaavoiksi). Lisäksi oli haastavaa jättää koko ajan varaa myös uusille muuttujille ja tekijöille, jotka laskentoihin mukaan tullessaan muuttaisivat koko laskentapohjan rakennetta ja kaavoja. Koska opinnäytetyössä laskentapohjaa varten ei oltu määritelty aikataulua (sen aloittamisajankohdassa) ja sen työstäminen tapahtui pääosin omalla ajalla, ei ongelmia aikataulun suhteen ilmaantunut. Työssä onnistuttiin hyödyntämään työkokemusta muilta aloilta. Tulevaisuudessa työn aikana saatua tietotaitoa, näkemyksiä ja kokemuksia voidaan hyödyntää monella eri alalla.

LÄHTEET JA LIITTEET

- FINLEX 2007. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-14-12.]. Lainsäädäntö, säädökset alkuperäisinä. Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista. [Viitattu 2018-12-18.] Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070214>
- FINLEX 2014. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-14-12.]. Ympäristönsuojelulaki. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140527>
- FINLEX 2017. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-14-12.]. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843>
- ILMASTO-OPAS 2018. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-14-12.]. Materiaalitehokkuus säästää ilmastoa, luonnonvaroja ja kustannuksia. Saatavissa: https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/38393e35-469e-4b53-8a31-15fbebab897c/materiaalitehokkuus.html#h_Rakentamisessa_kuluu_eniten_luonnonvaroja
- LOGISTIIKAN MAAILMA. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-14-12.]. Kaluston mitat ja painot maantiekuljetuksissa. Saatavissa: <http://www.logistiikanmaailma.fi/kuljetus/maantiekuljetus/mitat-ja-painot/>
- LIPASTO LIIKENTEEN PÄÄSTÖT. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-14-12.]. tavaraliikenteen yksikköpäästöt. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/>
- RAMBOLL FINLAND OY 2018. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-12-12.]. MARA-asetus edistää kiertotaloutta ja uusiomateriaalien käyttöä. Saatavissa: <https://fi.ramboll.com/media/rfi/mara-asetuksen-soveltamisohje-julkaistu>
- SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS SYKE 2014. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-14-12.]. Pilaantuneet alueet Suomessa. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/pilaantuneetalueetsuomessa>
- TYÖSUOJELUHALLINTO 2014. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-14-12.]. Autonkuljettajan ajo- ja lepouajat. Saatavissa: https://www.tyosuojelu.fi/documents/14660/2426906/Autonkuljettajan_ajo_ja_lepoajat_TSO27_netti.pdf/52a3ffa7-5b05-43ec-a0ee-fac1ba3f3bd1
- YMPÄRISTÖHALLINTO 2014. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2018-14-12.]. Ympäristöhallinnon ohjeita, pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta [Viitattu 2018-12-18.] Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136564/OH_6_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- YMPÄRISTÖMINISTERIÖ 2018. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2019-16-1.]. Jätteiden hyödyntämiskelpoisuuksia maanrakentamisessa laajennetaan. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Ymparistonsuojelun_valmisteilla_oleva_lainsaadanto/Jatteiden_hyodyntamisen_maanrakentamisessa

LIITE 1. TIETOTARPEET- PERUSTAT- JA LÄHTEET

Tietotarve	Tietoperusta	Tiedon lähde
Kaivussyvydet	Kunnostussuunnitelma	Ramboll Finland Oy
Kunnostettavien alueiden pinta-alat	Kunnostussuunnitelma	Ramboll Finland Oy
Päästölaskentamateriaalit	LIPASTO-tietokanta	Teknologian tutkimuskeskus VTT
Vaikuttavat osatekijät maa-ainesten painoihin	Kivi- ja maa-aineslaboratorio, maaperätutkimukset, työkokeemus, haastattelut	Suomen GPS-mittaus Oy, Kuljetus Hannu Heikkinen Ky, Keloveska Oy, Ramboll Finland Oy
Diesel – kulutuksen yhteensopivuus laskentamateriaaleihin	Monitoriraportti, polttoainekulutustiedot, haastattelut	Scania Oy, ajokokeet (3 kpl), Kuljetus Hannu Heikkinen Ky, Keloveska Oy
Päästötietojen (CO ₂) yhteensopivuus laskentamateriaaleihin	Monitoriraportti	Kuljetus Hannu Heikkinen Ky, Keloveska Oy, Scania Oy
Vaikuttavat osatekijät syntyviin ajoneuvon päästöihin	Työkokeemus, haastattelut	Scania Oy
Ajoneuvoluokkien erot	Työkokeemus, haastattelut, verkko-ainesto	Logistiikan maailma