

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2022

Kassu Hannukainen

MURSKAUSTOIMINNAN HIILIJALANJÄLJEN MÄÄRITTÄMINEN

– Interrock Oy

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Energia- ja ympäristötekniikka

2022 | 30 sivua

Kassu Hannukainen

MURSKAUSTOIMINNAN HIILIJALANJÄLJEN MÄÄRITTÄMINEN

Tämän opinnäytetyön tavoite oli määrittää Interrock Oy:n murskaamotoiminnan prosessissa tuotettujen murskeiden hiilijalanjälki. Interrock OY harjoittaa kiviainesten murskausta Eurajoen murskaamolla. Vuonna 1993 perustetulla yrityksellä on vankka perinne oliviinidiabaasin tuottamisesta, niin ulkomaille kuin kotimaassa monelle rakennusalan yritykselle. Tuotevalikoimasta löytyy raakakiveä, kiuaskiveä, raidesepeliä, mikro tuotteita sekä maanrakennuspuolelle suunnattuja murskelajikkeita. Eurajoella Interrock Oy:n läheisyydessä toimii myös Skanskan asfalttiasema.

Hiilijalanjäljen määrittämisessä hyödynnettiin GHG-protokollaa, sekä Y-HIILARI-laskurin päästökertoimia. Päästöt rajattiin itse prosessissa suoraan vaikuttaviin tekijöihin. Hiilijalanjäljen määrittäminen erilaisille tuotteille ja prosesseille on kasvanut merkittävästi viime vuosien aikana. Ilmastonmuutos on kiihtyvässä tilassa ja ihmiskunnan teollistuminen ja globalisoituminen ovat edesauttaneet hiilidioksidin määrän kasvua ilmakehässä. Tässä työssä käydään läpi murskeen valmistusprosessi, tuotantolaitteet, kasvihuonekaasujen vaikutus, ilmastonmuutos ja itse prosessin hiilijalanjälki.

Hiilijalanjälki laskettiin CO₂-ekvivalenttina tuotettua mursketonnia kohden, koska laskennallisesti tonnimääriä on helpoin hyödyntää kiviainesalalla. Murskaustoiminta tuottaa tämänhetkiselä kokoonpanolla prosessissa 2,103 kg CO₂-ekv päästöjä tonnia kohden. Tämä luku on erittäin vertauskelpoinen kilpailevien yritysten hiilijalanjälkilaskelmiin. Yhteenvedossa käydään läpi muutamia innovaatiota hiilijalanjäljen pienentämiseksi.

Asiasanat:

Hiilijalanjälki, murskauslaitos, murske, Interrock Oy, Ilmastonmuutos, kasvihuonekaasut

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Energy and Environmental Engineering

2022 | 30 pages

Kassu Hannukainen

DETERMINATION OF THE CARBON FOOTPRINT OF CRUSHING ACTIVITIES

The goal of this thesis was to determine the carbon footprint of crushed stone in the process of Interrock Oy's crushing plant. Interrock Oy operates stone crushing at the Eurajoki crushing plant. The company was founded in 1993 and has a solid tradition of producing olivine diabase both abroad and domestically for many construction companies. The product range includes raw stone, sauna stone, ballast, micro products and crushed stone varieties for the civil engineering side. The Skanska asphalt plant also operates in the vicinity of Interrock Oy in Eurajoki.

The GHG protocol and the emission factors of the Y-HIILARI tool were used to determine the carbon footprint. Emissions were limited to factors that directly affect the process itself. The determination of carbon footprint of various products and processes has increased significantly in recent years. Climate change is accelerating, and the industrialization and globalization of humankind have contributed to an increase in the amount of carbon dioxide in the atmosphere. This work covers the crushed stone manufacturing process, production equipment, the impact of the greenhouse gases, climate change and the carbon footprint of the process itself.

The carbon footprint was calculated CO₂-eq per tonne of crushed stone produced, as the tonnage is the easiest to utilize in the stone industry. With its current configuration, the crushing operation produces 2.103 kg CO₂-eq per tonne in the process. This figure is very comparable to the carbon footprint calculations of competing companies. The summary reviews a few innovations to reduce carbon footprint.

Keywords:

carbon footprint, crushing plant, crushed stone, Interrock Oy, climate change, greenhouse gas

Sisältö

| | |
|---|-----------|
| 1 Johdanto | 6 |
| 2 Interrock Oy:n murskaamon toiminta | 7 |
| 2.1 Murskauksessa käytettäviä järjestelmiä ja koneita | 8 |
| 2.1.1 Kaivinkone | 8 |
| 2.1.2 Kuorma-auto | 8 |
| 2.1.3 Pyöräkuormaaja | 9 |
| 2.1.4 Seulat | 9 |
| 2.1.5 Murskain | 10 |
| 2.1.6 Kuljetin | 10 |
| 2.1.7 Syötin | 11 |
| 2.1.8 Siilo | 11 |
| 2.2 Kallion räjäytystyö | 11 |
| 2.3 Kivenmurskauksen vaiheet | 13 |
| 2.3.1 Esi- ja välimurskaus | 13 |
| 2.3.2 Hienomurskaus | 14 |
| 2.4 Murskeet ja niiden käyttötarkoitukset | 15 |
| 3 Hiilijalanjälki | 17 |
| 3.1 Ilmastonmuutos ja kasvihuoneilmiö | 17 |
| 3.2 Hiilidioksidi | 19 |
| 3.3 Laskentatyökalut | 19 |
| 3.4 Epävarmuustekijät ja poisluettavat osat | 20 |
| 4 Hiilijalanjäljen laskenta murskaustoiminnassa | 22 |
| 4.1 Prosessissa tarvittavat polttoainemäärät, energiatarve ja räjähdysaineet | 23 |
| 4.1.1 Kallion putsaus ja räjäytys | 23 |
| 4.1.2 Iskuvasarointi, esi- ja välimurskaus, louheen syöttö sekä esimurskeen lastaus | 24 |
| 4.1.3 Kuorma-auto ja hienomurskaus | 24 |
| 4.2 Laskenta | 25 |

| | |
|---------------------|-----------|
| 4.3 Tulokset | 26 |
| 5 Yhteenveto | 28 |
| Lähteet | 30 |

Kuvat

| | |
|---|----|
| Kuva 1. Esimurskeen valmistusta Kone-Kostamo Oy:n ja Valtteri Varjonen Oy:n toimesta. | 7 |
| Kuva 2. Esimurskeen lastausta pyöräkuormaajalla kuorma-autoon. | 8 |
| Kuva 3. Hienomurskauksen ensimmäinen seulajärjestelmä, joka pystyy erottelemaan kiviä kolmella eri tasolla. | 9 |
| Kuva 4. Metso Nordbert-300 kartiomurskain | 10 |
| Kuva 5. Kaivinkoneurakoitsija Antero Silvius työssään. | 12 |
| Kuva 6. Kuorma-auto kippaamassa esimursketta siiloon. | 15 |
| Kuva 7. Tellsmith-laitoksen viimeiseltä seualta tulevia lopputuotteita. | 16 |
| Kuva 8. NASA:n tuottamasta tutkimuksesta selviää, miten maapallon pintalämpötila on noussut 1,2 celsiusastetta 1900-luvulta vuoteen 2020. (Nasa 2020) | 18 |
| Kuva 9. Murskeentuotannon prosessi yksinkertaistettuna, sekä tarvittavat energiamuodot. | 22 |
| Kuva 10. Pylväsdiagrammilla kuvattuna päästöt mursketuotannon eri vaiheista. | 26 |

Taulukot

| | |
|---|----|
| Taulukko 1. Opinnäytetyössä huomioitavat kasvihuonepäästöt lohkottuna | 21 |
| Taulukko 2. Päästöt laskettuna tuotettua mursketonnia kohti | 25 |

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus esittää ymmärrettävästi Interrock Oy:n mursketuotannon prosessi ja sitä kautta selventää lukijalle mistä murskaustoiminnan hiilijalanjälki määrittyy. Työssä käydään läpi eri energialähteitä hyödyntävät työkoneet ja laitteet sekä niiden rooli prosessissa. Hiilijalanjälki on määritetty murskattua tonnia kohden. Kivenmurskauksesta ei ole ennen määritetty hiilijalanjälkeä Interrock Oy:n louhoksilla.

Hiilijalanjäljen määrittämisessä laskenta perustuu pitkälti GHG-protokollan Corporate Accounting and Reporting standardin menetelmään, jolla eri tuotteille saadaan mahdollisimman todennäköiset vaikutusalueet. Laskennassa hyödynnetään Y-HIILARI:n keräämää dataa päästökertoimista. Y-HIILARI on Suomen ympäristökeskuksen kehittämä työkalu hiilijalanjäljen laskentaan yrityksille. Opinnäytetyössä rajattiin kuitenkin pois kulutusosia, sekä koneiden ja laitteiden valmistuksessa syntyneet päästöt sekä muita itse prosessiin kuulumattomia päästöjä, osaltaan niiden käyttöiän määrittämättömyyden vuoksi. Tämä työ on siksi vain osiittain antava määrittäminen todelliselle hiilijalanjäljelle.

Murskausprosessi on jaettu eri vaiheisiin, jotka käsitellään tarkemmin kappaleessa 2. Interrock Oy:n murskaamon toiminta. Prosessi voidaan jakaa pääosaisesti kallion räjäytysvaiheeseen, esi- ja välimurskausvaiheeseen sekä hienomurskaukseen.

Opinnäytetyössä selvitetään murskauksen eri vaiheissa tuotetut kasvihuonepäästöt. Polttoaineen- ja sähkönkulutuksesta kerätty data on taulukoitu opinnäytetyössä selvästi luettavaan muotoon ja siitä tehtävä yhteenveto auttaa ymmärtämään millaisia energiankulutuksia ja päästöjä kivenmurskaus edellyttää tämänhetkisellä murskauslaitosten kokoonpanolla.

2 Interrock Oy:n murskaamon toiminta

Interrock Oy tuottaa kiviainesta monelle eri rakennusalan yritykselle. Eurajoen murskaamolla työskentelee noin 12 työntekijää vaihtelevasti ympäri vuoden. Eurajoen louhoksella toimii myös Skanskan asfalttiasema, jonne toimitetaan paljon eri raekokoisia murskeita. Interrock Oy:n omassa mursketuotannossa esimurskeen valmistuksesta vastaa Kone-Kostamo Oy sekä Valtteri Varjonen Oy (kuva 1). Suuri osa tuotetuista murskeista viedään Baltiaan ja tällöin murskeet rahdataan laivaan tai proomuun Olkiluodon satamassa. (Lehtonen Petteri, henkilökohtainen tiedonanto 20.11.2021)



Kuva 1. Esimurskeen valmistusta Kone-Kostamo Oy:n ja Valtteri Varjonen Oy:n toimesta.

2.1 Murskauksessa käytettäviä järjestelmiä ja koneita

2.1.1 Kaivinkone

Louhoksella kaivinkoneet ovat telakäyttöisiä, niiden teholähteenä toimii polttomoottori, joka käyttää kevytpolttoöljyä ja voimansiirto tapahtuu hydraulisesti. Kaivinkoneiden päätehtävänä on kallion putsaus, louheen iskuvasarointi, louheen syöttäminen ja murskekasojen korttaus eli kasakorkeuden nosto.

2.1.2 Kuorma-auto

Tärkein tehtävä on kuljettaa esimurske montun pohjalta päämurskauslaitokselle. Kuorma-autoja käytetään myös louhoksen sisäisissä ajoissa, kun valmiita tuotteita viedään varastokasoihin ja valmiita tuotteita kuljetetaan Skanskan asfalttiasemalle. Interrock:n kuorma-autot ovat dieselkäyttöisiä ja nettopainona kantokykyä löytyy noin 24 tonnia.



Kuva 2. Esimurskeen lastausta pyöräkuormaajalla kuorma-autoon.

2.1.3 Pyöräkuormaaja

Kuormaajia työskentelee louhoksella viisi kappaletta, joista yksi kuvassa 2. Kuormaajan kauhaan mahtuu noin 6-7 kuutiota kiviainesta ja kuormaajien tyhjäpainot ovat keskimäärin 25-35 tonnin luokkaa. Kuormaajat käyttävät polttoaineena kevyttä polttoöljyä ja niiden tehtävä on lastata kuorma-autoja, syöttää esimursketta murskaimeen ja siirtää valmiita tuotteita varastokasoihin.

2.1.4 Seulat

Seulojen tehtävä on metalli- tai kumiverkoilla erotella kiviaineesta lajikkeita eri raekokojen perusteella (kuva 3). Hienomurskauksessa seulat ovat kolmetasoisia, joten yhdestä seulasta voidaan erotella kolmea eri murskelaatua. Seulaa pyörittää sähkömoottori, jonka tuottama voima saadaan hyödynnettyä seulan pyörittämiseen, jolloin kiviaines siivilöityy verkkojen läpi kokoluokkien mukaisesti. Verkot kuluvat ja niitä vaihdetaan säännöllisin väliajoin, jolloin murskelajikkeiden laatu pysyy hyvänä.



Kuva 3. Hienomurskauksen ensimmäinen seulajärjestelmä, joka pystyy erottelemaan kiviä kolmella eri tasolla.

2.1.5 Murskain

Malleja ovat kara- ja kartiomurskain, leukamurskain sekä iskupalkkimurskain, joiden tehtävänä on hienontaa kiviainesta. Interrock:lla on käytössä hienomurskauksessa vain kartiomurskaimia (kuva 4), jotka ovat sähkökäyttöisiä, jolloin päästöt koostuvat karhuvoiman ilmoittamasta ominaispäästöstä 129,92 g/kWh



Kuva 4. Metso Nordbert-300 kartiomurskain

2.1.6 Kuljetin

Toimintaperiaatteeltaan kuljetin on melko yksinkertainen. Toisessa päässä kuljetinta on moottori, joka pyörittää akselia. Matto kiertää koko kuljettimen ja saa liike-energiansa moottorista. Maton pyörimisen helpottamiseksi on kuljettimeen lisätty rullia, jotka poistavat moottorille tulevaa kuormaa. Kuljettimet on asemoitu niin, että sillä saavutetaan murskeelle riittävä pituus- ja korkeussuuntainen siirtymä.

2.1.7 Syötin

Syöttimien tehtävä on säännöstellä kiviainesta tasaisesti murskausprosessissa seulalle tai murskaimelle. Syötintyyppejä on useita eri käyttötarkoituksiin. Interrock:n Tellsmith-murskaamolla käytössä on tärysyöttimiä.

2.1.8 Siilo

Siilo on murskauslaitoksen välivarasto, josta kiviaines syötetään tasaisesti syöttimen avustuksella kuljettimelle. (Interrock Oy 2000, Laadunhallintajärjestelmän kuvaus, 1-11)

2.2 Kallion räjäytystyö

Esimursketta on tuotettava tai sitä tulee olla varastoituna, jotta murskaustoiminta jatkuu keskeytymättömästi. Poraussuunnitelmaa valmistellaan yhdessä räjäytyssuunnitelman kanssa, jotka hyväksyvät räjäytystyön johtaja. Suunnittelun jälkeen ensimmäisessä vaiheessa räjäytettävä kallio putsataan (kuva 5). Puhdistusvaiheesta vastaa kaivinkoneurakoitsija Antero Silvius. Itse kallion räjäytystyöstä vastaa Valtteri Varjonen Oy, jolla on vuosikymmenen kokemus murskauslouhinnasta. Esimurskeen tuotannossa Valtteri Varjonen Oy vastaa kallion porauksesta, räjäytyksestä ja vasaroinnista. Interrock:lla louhittavien kenttien koko vaihtelee, mutta keskimäärin kerralla räjäytetyn kalliokaistaleen kuutiot ovat 10 000-20 000m³.



Kuva 5. Kaivinkoneurakoitsija Antero Silvius työssään.

Suunnitelmassa ja toteutuksessa tulee huomioida korkeustasot, jotta pohja saadaan haluttuun tasoon. Kenttään porataan tietyin välimatkoin toisistaan räjähdereikiä, jotka merkitään kallioon. Ohiporausta tehdään noin metrin verran, mikä tarkoittaa, että kentän teoreettisesta pohjasta porataan metrin verran syvemmälle. Ominaisporaus on käsite, joka vastaa kuutioon porattua metrimäärää. Interrock:n louhoksella tämä on noin 0,11-0,12 porametriä per kuutio. Kun kenttä on porattu, siirrytään panostusvaiheeseen. Pohjapanoksena käytetään Fordyn-räjähdettä, johon kiinnitetään nalli ja loppu reiästä täytetään varsipanoksella, joka on kemiittiä. Kentän räjähdettyä jäljelle jääneet isot kivet vaativat vasarointia. Vasaroinnissa kaivinkoneeseen liitettävä iskuvasara pilkkoo kiviä pienemmiksi ja näin louhe on valmiina esimurskausvaiheeseen. (Lauhintaliike Valtteri Varjonen Oy, henkilökohtainen tiedonanto 29.11.2020)

2.3 Kivenmurskauksen vaiheet

2.3.1 Esi- ja välimurskaus

Esi- ja välimurskauksessa louhos pienennetään siirrettävällä murskaimella louhoksen pohjalla sellaiseksi kiviaineksi, joka sopii Interrock:n syötteenä. Tämä kokoluokka on keskimäärin 0-100mm, josta Interrock:n Tellsmith-murskausasema jatkojalostaa esimurskeen vielä pienemmiksi katkaistuiksi lajikkeiksi. Esimurskauksen työvaiheet koostuvat kaivinkoneen tekemästä syöttövaiheesta, Johnsson-mallisen esimurskauskäytöksen murskausvaiheesta ja valmiin esimurskeen lastauksesta kuorma-autoon.

Syöttövaiheessa kaivinkone annostelee kiviainesta silloon. Työssä on oltava tarkkana liian suurien kivien joutumisesta syöttötimeen sekä mahdollisen vian ilmaantuessa esimurskaimessa, sillä esimurskainta hoitava henkilökunta on työllistettynä koneiden kuskeina laitoksen ulkopuolella. Kun toiminnassa ei ole häiriöitä, pystyy järjestelmä tuottamaan esimursketta 300-400 tonnia tunnissa. Vikatila on yleensä melko nopeasti huomattavissa, mutta siihen on tärkeää reagoida nopeasti lisävahinkojen estämiseksi. Yleisimpiä vikatilojen aiheuttajia ovat liian suuret kivet, jotka jäävät murskaimeen jumiin, seulaverkkojen rikkoutuminen sekä moottoriongelmat. Ne voivat saada pahimmassa tapauksessa aikaan tuotannon pitkäaikaisen taukoamisen tai muuten prosessiin vaikuttavia muutoksia.

Siirrettävä esimurskain käyttää energialähteenään kevyellä moottoriöljyllä toimivaa sähkögeneraattoria, mutta on myös mahdollisuuksien mukaan liitettävänä valtakunnan sähköverkkoon. Esimurskauksessa käytetään leukamurskainta ja välimurskauksessa kartiomurskainta, mitkä jauhavat syötettä kierrossa pienemmäksi kiviainekseksi. Kun kiviaineen koko läpäisee seulan, siirtyy se hihnan avulla välimurskauksen päätepisteelle. Hihnan alta pyöräkuormaaja lastaa valmista esimursketta kuorma-autoihin ja se kuljetetaan Interrock:n murskauskäytökselle. (Kone-Kostamo Oy, henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2020)

2.3.2 Hienomurskaus

Hienomurskaus tapahtuu kiinteässä Tellsmith-mallisessa murskauslaitoksessa, mikä on kiinteä laitos, joka sisältää laitteistojen ohjausjärjestelmiä sekä kuljettimia, syöttimiä ja murskaimia. Laitosta on vuosien aikana modifioitu murskattavien lajikkeiden mukaan. Sen tarkoitus on tuottaa esimurskeesta monia murskelajikkeita Interrockin tuotevalikoimaan. Murskauslaitos koostuu kolmesta murskaimesta, neljästä seulasta ja useasta kuljetinjärjestelmästä. Tellsmith-laitos pystyy käsittelemään esimursketta 200-300 tonnia tunnissa. Prosessi alkaa kuorma-auton kipatessa esimursketta siiloon kuvan 6 mukaisesti. Siilossa tärytin säännöstelee kiviainesta ensimmäiseen kiertoon. Kierrossa toimii H4000 kartiomurskain ja seulassa erotellaan ensimmäiset murskelajikkeet. Toiseen kiertoon kiviaines säännöstellään tärysyöttimellä, josta murske liikkuu kuljetinta pitkin metson Nordbert 300 kartiomurskaimeen. Toisen kierron ensimmäinen seula lajittaa kiviaineksesta ensimmäiset lajikkeet, jolloin liian suuret kivet päätyvät takaisin metson murskaimeen ja alatasolta kiviaines siirtyy seuraavaan siiloon tai lopputuotteeksi, riippuen mitä lajikkeita tuotannosta halutaan. Seuraava tärysyötin säännöstelee kiviaineksen viimeiseen H3000 kartiomurskaimeen. Tästä kiviaines siirtyy viimeiseen seulaan, josta saadaan lopputuotteita maksimissaan neljää lajiketta. Tellsmith-laitoksen murskaimet, seulat ja hihnojen moottorit ottavat energiansa sähköverkosta. (Simo Patola, henkilökohtainen tiedonanto 1.12.2021)



Kuva 6. Kuorma-auto kippaamassa esimurskettä siiloon.

2.4 Murskeet ja niiden käyttötarkoitukset

Interrock tuottaa useita CE-merkittyjä murskelajikkeita betonikiviaineksiksi (SFS-EN 12620:2003), asfalttikiviksi (SFS-EN 13043:2003), raidesepeliksi (SFS-EN 13450:2003) sekä maanrakennuksen käyttöön. Tuotteet testataan laboratoriossa laatuvaatimusten mukaisesti. Esimerkiksi 0–5 mm, 0-16 mm, 0-32 mm, 0-63 mm ja 11-16 mm murskelajikkeet ovat eniten tarvittuja lajikkeita kotimaisessa maanrakennuksessa. Valmistettavia lajikkeita on kuitenkin paljon enemmän. Murskattavat tuotteet ovat: nollapohjaiset murskeet 0-2 mm, 0-5 mm, 0-8 mm, 0-11 mm, 0-16 mm, 0-32 mm, 0-63 mm sekä kunnossapitosepeli. Katkaistut lajikkeet 2-5 mm, 5-8 mm, 8-11 mm, 11-16 mm, 16-22 mm sekä 16-32 mm. Oliiviinidiabaasista tuotetaan myös 55-75 mm ja 80-100 mm kiuaskiviä, 31,5-63 mm raidesepeliä sekä 63-130 mm villakiveä. Kiviainekset ovat murskauslaitoksen hihnalta tullessaan valmiina kuormattaviksi asiakkaille tai vaihtoehtoisesti siirrettävänä varastokasoihin (kuva 7). Nollapohjaiset murskeet tarkoittavat sitä, että ne sisältävät hienokiviaineksen. Katkaistut lajikkeet eivät sisällä hienokiviainesta. (Interrock Oy 2020 & Interrock Oy 2021)



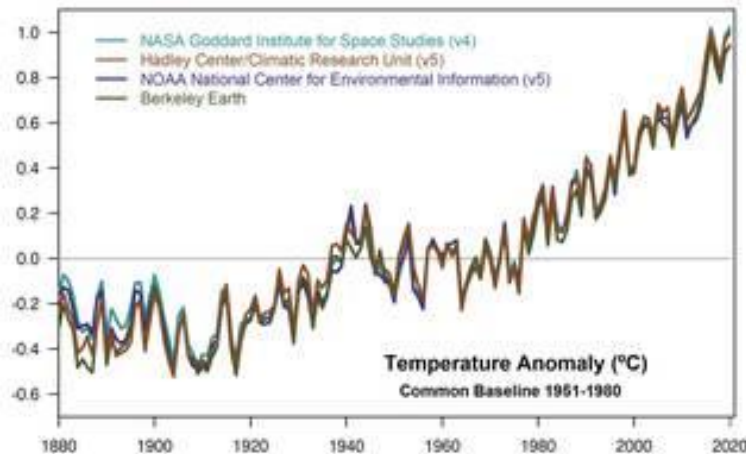
Kuva 7. Tellsmith-laitoksen viimeiseltä seuralta tulevia lopputuotteita.

3 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan jonkin tuotteen, palvelun tai systeemin valmistuksessa ja elinkaaren aikana muodostuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Päästöt muodostuvat useista eri kaasuyhdisteistä, yleisimpinä hiilidioksidi, metaani ja dityppioksidi. Kaikki kuitenkin suhteutetaan hiilidioksidiekvivalentiksi, jolloin muut kasvihuonekaasut muutetaan laskennallisilla kertoimilla vastaamaan hiilidioksidia. Hiilijalanjälkeä pidetään ympäristöindikaattorina ja sen merkitys kasvaa yhä enemmän tulevaisuudessa niin viestinnässä kuin markkinoinnissakin. Jo tuotteen valmistuksessa on erittäin kilpailukykyistä toimia ympäristötehokkaasti ja hiilijalanjäljellä merkattu tuote onkin kuluttajalle vastuullinen vaihtoehto. (Liikanen M. 2021)

3.1 Ilmastonmuutos ja kasvihuoneilmiö

Ilmastonmuutoksella tarkoitetaan ilmastossa ajallisesti tapahtuvaa muutosta. Ilmastonmuutokseen vaikuttavat niin luonnolliset kuin ihmisten toiminnasta aiheutuvat tekijät. YK:n ilmastososopimus kuitenkin määrittää ilmastonmuutoksen siten, että siihen vaikuttaa vain ihmiskunta, joko suorasti tai epäsuorasti. Teollistuminen on käynnistänyt ilmastonmuutoksen radikalisoitumisen viimeisten vuosikymmenten aikana. Suurin vaikutus teollistumisella on ollut maaperän, biosfäärin ja ilmakehän muokkauksessa. Hiilidioksidia on tällä hetkellä ihmistoiminnan seurauksena ilmakehässä enemmän kuin edeltävien 650 000 vuoden aikana ja määrä on selvästi kasvussa. Kuvan 8 mukaan ilmasto lämpenee kiihtyvää vauhtia, jota luonnolliset tekijät eivät pystyisi aikaansaamaan. Kasvava energian tarve ja ruuan tuotanto vaativat yhä enemmän resursseja, joiden tuottaminen aiheuttaa kasvihuonepäästöjä. Ihmiskunnalla on siis erittäin suuri vastuu ilmaston tilasta. (Karttunen, H. Koistinen, J. Saltikoff, E. & Manner, O. 2008, 174-177)



Kuva 8. NASA:n tuottamasta tutkimuksesta selviää, miten maapallon pintalämpötila on noussut 1,2 celsiusastetta 1900-luvulta vuoteen 2020. (Nasa 2020)

Kasvihuoneilmiö mahdollistaa elämän maapallolla ja ilman sitä lämpötila olisi 33 astetta matalampi. Ihmistoiminta on lisännyt hiilidioksidin ja muiden kaasujen määrää ilmakehässä jo useiden vuosikymmenten ajan. Nämä kaasut kasvihuoneilmiön periaatteen mukaisesti estävät lämpösäteilyn pääsyn pois maan ilmakehästä. Ilmiö on erittäin monimutkainen ja siihen vaikuttavat monet asiat. Yksinkertaistettuna näkyvä valo läpäisee ilmakehän melko vaivattomasti, mutta törmätessään maahan, sen heijastaman säteilyn aallonpituus kasvaa. Maa säteilee vastaanotetun näkyvän valon takaisin lämpösäteilynä. Lämpösäteily ei kulje kuitenkaan niin vaivattomasti ilmakehän läpi, vaan törmäilee ilmassa oleviin kaasumolekyyleihin. Kun kaasumolekyylit vapauttavat energian, energia pirstaloituu moneen suuntaan. Osa tästä energiasta jää siis lämmittämään ilmakehää ja maanpintaa. Eri kaasuilla on oma kyky vaikuttaa kasvihuoneilmiöön, mitä kuvataan ominaislämmitysvaikutuksella (GWP, global warming potential). Sen on tarkoitus kertoa lämmitysvaikutuksesta suhteessa hiilidioksidiin. (Karttunen, H. Koistinen, J. Saltikoff, E. & Manner, O. 2008, 96-98)

3.2 Hiilidioksidi

Hiilidioksidi on vesihöyryn ohella runsain ilmakehässä esiintyvä kasvihuonekaasu. Sen merkitys on erittäin suuri niin kasvillisuudelle yhteyttämisessä kuin kasvihuoneilmiölle ilmakehässä. Hiilidioksidia vapautuu maanpinnalta esimerkiksi maaperästä hajottajabakteerien toiminnasta, metsäpaloista, tulivuorenpurkauksista, teollisesta toiminnasta, eläinten aineenvaihdunnasta sekä merestä. Vesi onkin erittäin suuri ja vaihteleva hiilinielu, joka pystyy varastoimaan itseensä valtavia määriä hiiltä. Hiilidioksidipitoisuus vesissä riippuu pitkälti lämpötilasta ja merivirroista. Ihmisten toiminta on sotkenut hiilen kiertokulun tasapainon, koska esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden käyttö lisää merkittävästi hiilidioksidin pitkäaikaisvarastojen tuhoutumista. Ilmaston lämpenemisen ja hiilidioksidin määrän kasvu ilmakehässä olisi vielä suurempi, ellei maapallolla olisi negatiivista palautemekanismia. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan kasvihuonekaasuja vain hiilidioksidin näkökulmasta. (Karttunen, H. Koistinen, J. Saltikoff, E. & Manner, O. 2008, 100-102)

3.3 Laskentatyökalut

Hiilijalanjäljen laskennassa on käytetty apuna Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) tuottamaa laskuria Y-HIILARI. Työkalun sekä ohjeistuksen on luonut Anniina Kontiokorpi ja sitä on myöhemmin päivitetty SYKE:n tutkijoiden Sanna Salmen ja Jaakko Karvosen toimesta. Laskuri on teetetty Suomen ympäristökeskuksen Kohti hiilineutraalia kuntaa -hankkeeseen. (SYKE 2020) Hiilijalanjäljen laskennassa rajausta on pyritty toteuttamaan GHG-protokollan mukaan suorat päästöt sekä ostoenergian epäsuorat päästöt. Pakollisiksi vaikutusalueiksi opinnäytetyössä on määritelty sähkönkulutus, polttoainekulutus ja räjähdysaineet. Kiinteistöjen lämmitysjärjestelmät ovat sähkökäyttöisiä, joten sähkönkulutuksessa on huomioitu niin Tellsmith-laitoksen murskaustoiminta kuin myös murskanohjauslaitoksen ja taukotuvan lämmitykset. (Sihvonen H, Lehtimäki J, Pokela P, Ylimäki L. 2021) Y-HIILARI:n laskuri tarjoaa tässä

opinnäytetyössä tarvittavat päästökertoimet. Itse laskenta suoritetaan työtehtäväkohtaisesti ja lopputuloksena saadaan hiilidioksidiekvivalentteja tuotettuja mursketonneja kohden.

3.4 Epävarmuustekijät ja poisluettavat osat

Hiilijalanjäljen laskennassa on tarkoitus keskittyä vain prosessissa itsessään tuotettuihin kasvihuonepäästöihin, jotka esitetään alhaalla olevassa taulukossa 1. Laskennasta jää pois kummankin murskauslaitoksen valmistuksessa, pystytyksessä ja kunnossapidossa aiheutuneet kasvihuonepäästöt. Kunnossapito kattaa niin laitoksen öljynvaihdot, metallipintojen uusimisen, hihnat, hihnojen rullat, murskaimen terät sekä seulaverkot. Pyöräkuormaajasta, kaivinkoneista ja kuorma-autosta lasketaan vain polttoainekulutukset, joten näiden koneiden valmistuksessa ja huolloissa syntyviä päästöjä ei huomioida. Tuotteen kannalta merkittävä seikka on myös varastointi. Tämä opinnäytetyö on toteutettu gradle-to-gate-periaatteella, eli se laskee hiilijalanjäljen murskeen matkalta kalliosta aina tuotantolinjan päähän, jossa tuote tippuu hienomurskauksen jälkeen hihnalta. Laskenta ei kata varastointia eikä lastausta asiakkaille. Laskentaan ei myöskään sisällytetä henkilökunnan työmatkoja, eikä jätehuoltoa.

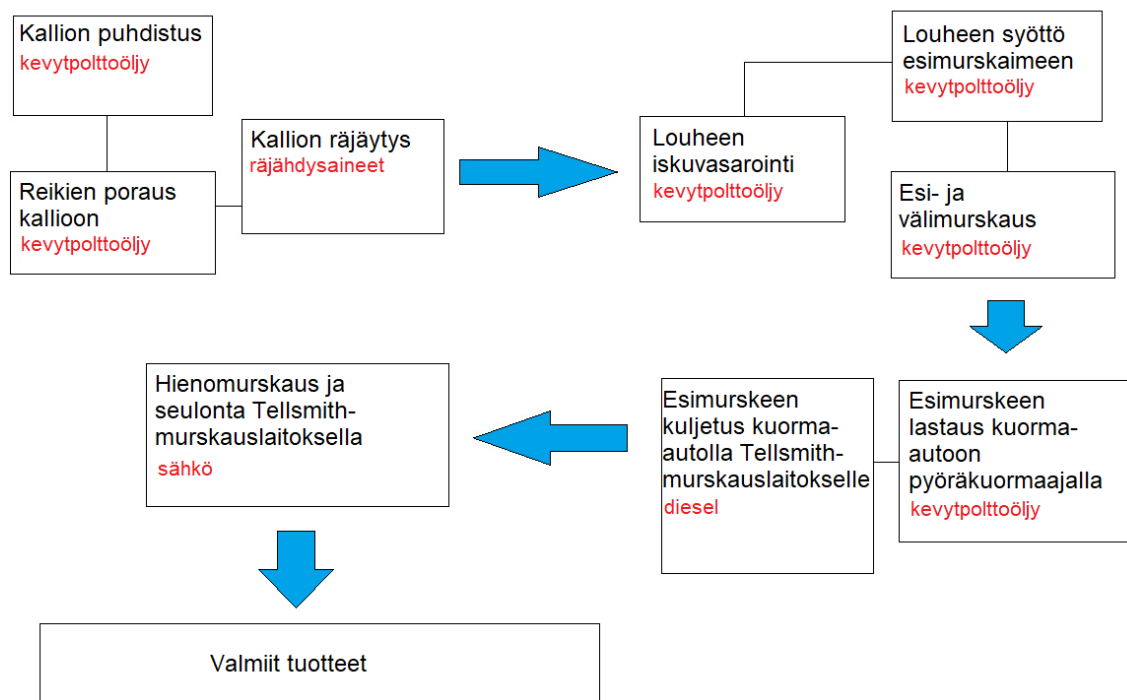
Tarkasteltavan kallioräjäytyksen osalta on olennaista myös huomioida, että opinnäytetyössä käytetyn kallion räjäytys sujui erittäin hyvin ja jo pienillä poraus- tai panostusvirheillä kaivinkoneella toteutetussa iskuvasaroinnissa tarvittut työtunnit voisivat tuplaantua. Louhoksen laatu vaikuttaa myöskin esimurskauksen nopeuteen, tällöin prosessin hidastuessa energiatehokkuus pienenee. Esimurskauslaitoksen sijainnilla on myöskin merkitystä. Louhinnan edetessä matka Tellsmith-laitokselle pitenee ja näin kuorma-autolla syntyvät päästöt kasvavat.

Taulukko 1. Opinnäytetyössä huomioitavat kasvihuonepäästöt lohkottuna

| | Laskettavat päästöt | Poisluettavat päästöt |
|--|---|--|
| Kallion putsaus ja räjäytys | Kaivinkoneen polttoainekulutus puhdistustyössä | Kaivinkoneen huolto, siirrot työmaalla sekä kaivinkoneen valmistuksessa tuotetut päästöt |
| | Poraustyön polttoainekulutus | Kallioporakoneen huolto, poranterät, kuljetus työmaalle sekä kallioporakoneen valmistuksessa tuotetut päästöt |
| | Räjähdeaineen valmistuksessa tuotetut päästöt | Räjähdeaineen kuljetus työmaalle, panostus- sekä räjäytysvaiheen päästöt |
| Louheen iskuvasarointi, esi- ja välimurskaus | Kaivinkoneen polttoainekulutus iskuvasaroinnissa ja louheen syötössä esimurskaimeen | Kaivinkoneen huolto, kulutusosat, kuljetus työmaalle sekä kaivinkoneen valmistuksessa tuotetut päästöt |
| | Polttoainekulutus esi- ja välimurskauksessa | Murskauslaitteiston huolto, kulutusosat (esim. terät, seula-verkot), kuljetus työmaalle sekä murskauslaitteiston valmistuksessa tuotetut päästöt |
| | Pyöräkuormaajan polttoainekulutus lastaustyössä | Pyöräkuormaajan huolto, kuljetus työmaalle sekä pyöräkuormaajan valmistuksessa tuotetut päästöt |
| Pyöräkuormaaja ja kuorma-auto | Kuorma-auton polttoainekulutus esimurskeen siirrossa | Kuorma-auton huolto sekä kuorma-auton valmistuksessa tuotetut päästöt |
| Hienomurskaus | hienomurskauksen energiakulutus | Tellsmith-laitoksen huolto, kulutusosat (esim. terät, seula-verkot) sekä laitoksen valmistuksessa tuotetut päästöt |

4 Hiilijalanjäljen laskenta murskaustoiminnassa

Kuvassa 9 on esitetty murskeen valmistusprosessi ja siihen suoraan yhteyksissä olevat energialähteet. Laskennan kannalta on oleellista pilkkoa valmistusprosessia pienemmiksi kokonaisuuksiksi. Laskenta suoritetaan jokaisen työkonteen tietyn tonni- tai kuutiomäärän käsittelyyn tarvitseman polttoainekulutuksen perusteella. Lähtökohdat ovat siis melko erilaisia, mutta silti hyvin laskettavissa. Laskennan lopputuloksena jokaisen työkonteen ja työvaiheen aiheuttamat kasvihuonepäästöt summataan ja tulokseksi saadaan hiilidioksidiekvivalentti tuotettua mursketonnia kohti.



Kuva 9. Murskeentuotannon prosessi yksinkertaistettuna, sekä tarvittavat energiamuodot.

Opinnäytetyössä esimurskeen valmistuksessa käytetty aineisto on kerätty 5.10.2021 räjäytetystä kalliolohkosta (kenttä-10), jonka pinta-ala on 1817,7 m² ja tilavuus 18177,0 m³. Kyseinen lohko on Interrock:n louhoksen kahdesta tasosta alemmalla, jolloin korkeuseroa on murskauslaitokseen noin 11 metriä.

Matkaa Tellsmith-laitoksen pääsyötimelle, johon esimurske kuljetetaan kuorma-autolla, on 220 metriä.

4.1 Prosessissa tarvittavat polttoainemäärät, energiatarve ja räjähdysaineet

Laskennan helpottamiseksi prosessi on jaettu kolmeen osaan, jotka ovat:

- Kallion putsaus ja räjäytys
- Iskuvasarointi, esi- ja välimurskaus, louheen syöttö sekä esimurskeen lastaus
- Kuorma-auto ja hienomurskaus

4.1.1 Kallion putsaus ja räjäytys

Kaivinkone kulutti kenttä-10 kallion puhdistuksessa polttoainetta 300 litraa ja työstetty tilavuus oli 18177,0 m³. Kun kuutiot muutetaan kiintokalliossa tonneiksi, käytetään kerrointa 3,0 oliviinidiabaasissa. Näin ollen kevytpolttoöljyä kaivinkone kulutti 0,0055 l/tn.

Kallioporauksessa kevytpolttoöljyä kului 0,9 l/porametri. Porametrejä kenttä-10:ssä tuli yhteensä 2088,7 metriä. Kentän 10 poraamisessa käytetty polttoainemäärä on 0,9 l/metri x 2088,7 m = 1879,8 litraa. Kevytpolttoöljyä kallioporakone kulutti 0,0345 l/tn

Kallion räjähteenä käytettiin Fordyniä pohjapanoksena ja Kemiitti 510:sta varsipanoksena. Fordyniä panostettiin jokaiseen porattuun reikään puoli metriä, eli 2,25 kg. Kemiittiä keskiarvallisesti 9,17 metriä eli 68,10 kg/reikä. Kentän reikien lukumäärä oli 187 kappaletta. Fordyniä kului 420,75 kg ja Kemiittiä 12734,7 kg. Mursketonniin tarvittavat räjähdemäärät ovat siis Fordyn 0,00772 kg/tn ja Kemiitti 510 0,2335 kg/tn.

4.1.2 Iskuvasarointi, esi- ja välimurskaus, louheen syöttö sekä esimurskeen lastaus

Iskuvasaralla varustettu kaivinkone työsti 100 tuntia kenttää 10 ja kaivinkoneen keskimääräinen tuntikulutus iskuvasaroinnissa on 12l/h. Eli polttoaineen kulutus tonnia kohden on $100\text{h} \times 12\text{l/h} : 54531\text{ tn} = 0,022\text{ l/tn}$

Esi- ja välimurskaukseen energia tuotetaan sähkögeneraattorilla, joka kuluttaa 0,3 l/tn kevytpolttoöljyä.

Louhetta syöttävän kaivinkoneen sekä esimursketta lastaavan pyöräkuormaajan yhteenlaskettu kulutus on 0,3 l/tn kevytpolttoöljyä. (Kone-Kostamo Oy, henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2020)

4.1.3 Kuorma-auto ja hienomurskaus

Esimurskeajossa oleva kuorma-auto kuluttaa keskimäärin 150 litraa kymmenen tunnin työpäivän aikana. Kuorma-auto ajaa tunnissa 11 kierrosta 24 tonnin kuormia. Dieseliä kuluu 0,052 l/tn.

Hienomurskauksessa energialähteenä toimii sähkö. Kahdeksan tunnin murskausjakson aikana keskimääräinen sähkönkulutus on 2480 kWh. 8 tunnin työpäivän aikana Tellsmith-laitoksella murskataan noin 2000 tonnia. Sähköä kuluu siis 1,24 kWh/tn

4.2 Laskenta

Taulukko 2. Päästöt laskettuna tuotettua mursketonnia kohti

| Hiilijalanjälki | kulutus: | muunnos | kerroin | CO2 ekv. /tn |
|--|---|------------|----------------------|-----------------------|
| Kaivinkone (kallion putsaus) | 0,0055 l kevyt polttoöljy | 0,19752 MJ | 73,4 g/MJ | 14,498 g |
| Kallioporaus (porametrit) | 0,0345 l kevyt polttoöljy | 1,23898 MJ | 73,4 g/MJ | 90,941 g |
| Kallion räjäytys (räjäytystyö) | 0,00772 kg Fordyn 0,2335 kg Kemiitti 510 | | 305 g/kg 237 g/kg | 2,3546 g 55,3395 g |
| Kaivinkone (iskuvasarointi) | 0,022l kevyt polttoöljy | 0,7901 MJ | 73,4 g/MJ | 57,99 g |
| Kaivinkone ja pyöräkuormaaja (kallioulouheen syöttö) (Kuorma-auton lastaus) | 0,3 l kevyt polttoöljy | 10,774 MJ | 73,4 g/MJ | 790,81 g |
| Murskauslaitos (esimurskeen tuottaminen) | 0,3 l kevyt polttoöljy | 10,774 MJ | 73,4 g/MJ | 790,81 g |
| Kuorma-auto (esimurskeen ajo siiloon) | 0,052 l diesel | | 2670 g/l | 138,84 g |
| Murskauslaitos Tellsmith (hienomurskaus lopputuotteiksi) | 1,24 kWh sähkö | | 129,92 g/kWh | 161,1008 g |

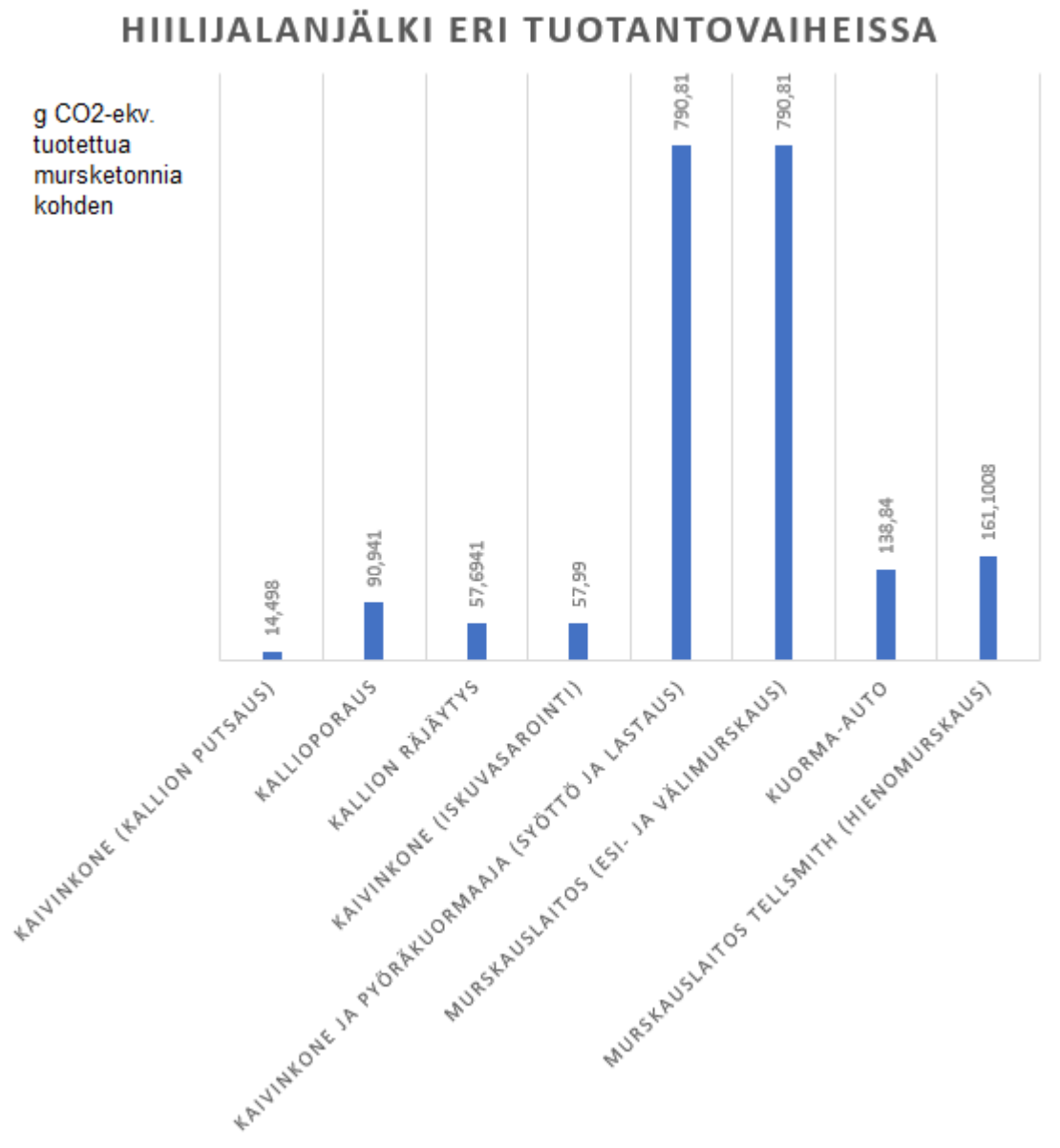
Hiilijalanjätkilaskenta on selkeytetty yläpuolella olevassa taulukossa 2.

Laskentaa varten kevyttä polttoöljyä käyttävien koneiden kulutus muutettiin litrasta megajouleihiin. Muunnos toteutettiin kaavalla $1 \text{ l} = 0,845 \text{ kg} \rightarrow 0,845 \text{ kg} \times 42,50 \text{ MJ/kg} = 35,9125 \text{ MJ}$. (Bioenergianeuvoja, internetsivu) Päästökertoimet kevyeen polttoöljyyn sekä dieseliin on otettu Y-Hiilari:sta. (Syke 2020)

Räjähdeaineille päästöt tulivat Valteri Varjonen Oy:n kautta. (Forcit ympäristöesite, 2013)

Tellsmith-murskauslaitoksen sähkönkulutuksessa käytetty päästökerroin on otettu Karhu Voima Oy:n eli sähköyhtiön, jolta Interrock ostaa sähkönsä lähettämän laskun erittelyssä olevasta ominaispäästökertoimesta.

4.3 Tulokset



Kuva 10. Pylväsdiagrammilla kuvattuna päästöt mursketuotannon eri vaiheista.

Yhteenlaskettu hiilidioksidiekvivalentti prosessissa on 2,103 kg CO₂-ekv. murskattua tonnia kohden. Kuvassa 10 on eritelty eri prosessin vaiheissa aiheutuneet päästöt.

Käytännöllisesti on oleellista, että tulos ilmoitetaan tuotettua mursketonnia kohden. Murskeen myynti louhokselta tapahtuu tonniluokassa ja näin ollen

asiakas saa tietää tarkasti hänelle toimitettujen tuotteiden tonnimäärän. Laskennallisesti onkin helppo suorittaa jonkin työmaan kiviainesten hiilijalanjälki. Destian Case Valtatie 4 välillä Viantie-Maksniemi-hanke onkin hyvä vertaus tämän opinnäytetyön hiilijalanjälkilaskennan tuloksiin. Hankkeessa murskeen tuotannossa syntyvien päästöjen määrä on 2,3816 CO₂-ekv. tonnia kohden. Hankkeen päästöraportissa ei kuitenkaan tätä lukua ole suoraan kerrottu, vaan päästöt ovat laskettu työmaalle toimitetuista murskeista yhteensä. Toisin sanoen tässä opinnäytetyössä annettu hiilijalanjälki mursketonnille on erittäin käytännöllinen työkalu, kun halutaan laskea jonkin projektin tarvitsemien murskeiden yhteenlaskettu hiilijalanjälki. (Destia 2020)

Merkittäviä huomioita tuloksista on esi- ja välimurskausvaiheen päästöt työkoneineen, jotka ovat kolminkertaiset suhteutettuna muiden vaiheiden yhteenlaskettuun hiilijalanjälkeen (kuva12). Tästä voidaan todeta, että kevytpolttoöljyn käyttö esi- ja välimurskauslaitoksessa on merkittävin päästölähde murskaustoiminnassa.

Neitseellistä eli koskematonta kalliota työstettäessä kallion puhdistustyö jäisi kokonaan pois, mutta suuria päästövähennyksiä tästä ei saataisi.

Kallion onnistunut räjäytys on melko suuressa roolissa iskuvasaroinnin työskentelyssä käytetyssä kevytpolttoöljyn määrässä. Huonosti onnistunut räjäytys voi jopa tuplata iskuvasaroinnin työtunnit.

Vuosien saatossa louhinta-alueet liikkuvat työstettävän kallion mukana ja näin ollen kuorma-auton päästöt voivat esimerkiksi nykyisestä tuplaantua, kun liikutaan kauemmas Interrock Oy:n päämurskauslaitokselta.

5 Yhteenveto

Tuloksista nähdään helposti murskeentuotantovaiheiden aiheuttamat kasvihuonepäästöt ja tätä kautta koko prosessin yhteenlaskettu hiilijalanjälki. Koko murskauslaitosjärjestelmälle ja prosessille on lähes mahdotonta määrittää tarkkaa hiilijalanjälkeä johtuen monesta tekijästä: räjäytyksen onnistumisesta, räjäytysten paikkavaihteluista, murskauslaitosten epäsäännöllisestä kunnossapidosta, erilaisista sähkösovimuksista vuosien aikana, kaluston vaihdoksista ja huoltotoimenpiteistä. Muuttuvia tekijöitä on siis erittäin paljon ja siksi tämä opinnäytetyö rajattiin itse prosessissa suoraan vaikuttaviin päästöihin. Päästöjen kannalta merkittävin osa koostuu esi- ja välimurskauksesta, jolloin louheesta tuotetaan 0-100 mm esimursketta (kuva 12). Hienomurskaus osoittautui melko pieneksi päästölähteeksi, vaikka murskauslaitos on erittäin suuri ja se sisältää erittäin paljon energiaa tarvitsevia komponentteja.

Vaikka lähtökohtaisesti työn tarkoitus ei ollutkaan selvittää miten päästöjä voitaisiin pienentää, tuli työtä tehdessä erilaisia vaihtoehtoja ilmi. Päästöjä pystyttäisiin vähentämään merkittävästi esi- ja välimurskauslaitoksen liittämällä sähköverkkoon, sähköverkkoon liittämällä saataisiin poistettua paljon hukkaenergiaa, joita sähkögeneraattori tuo prosessiin. Myöskin sähköverkkoon liittyminen toisi mahdollisuuden fossiilivapaiden energiamuotojen hyödyttämiseksi. Toinen vaihtoehto olisi sähkögeneraattorin liittäminen akkujärjestelmään, jolloin virtapiikit saataisiin tasattua ja näin generaattorin tehoa pienennettyä. Akkujärjestelmä olisi kuitenkin tämänhetkiseen esimurskauslaitokseen liian suuri ja pienempi akkujärjestelmä taas liian alimitoitettu. Kuorma-auton polttoainekulutus on myös melko suuri tuotettua mursketonnia kohden, koska esimursketta kuljetetaan ylös louhoksen pohjalta murskauslaitoksen tasolle. Sähkökäyttöisillä kuljettimilla voidaan muuttaa polttoainepäästöjä sähkönkulutukseksi, mikä vaatisi suuren investoinnin kuljettimiin. Optimaalisin tilanne olisi, että hienomurskauslaitos olisi sijoitettu louhittavan kallion tasolle ja näin ollen päästöt vähenisivät

merkittävästi. Tellsmith-laitoksen siirto itsessään on kuitenkin erittäin suuri operaatio, eikä se välttämättä vielä mahtuisi nykyisen louhintatason pinta-alalle.

Opinnäytetyöstä jäi mieleeni useita kysymyksiä koskien tulevaisuutta.

Fossiilisten polttoaineiden hinnannousu varmasti ajaa murskaustekniikka kohti kokonaisvaltaista sähköistämistä. Tulevaisuudessa paikallisuuteen sekä kunnallisella tasolla kiviainesten päästöihin tullaan kiinnittämään erityistä huomiota ja on varmaa, että hiilijalanjälkeä murskelajikkeissa tullaan hyödyntämään yhä suuremmissa määrin. Esimerkiksi tätä työtä on jo käytetty Sauna-Eurox Oy:n kiuaskivien hiilijalanjälkilaskelmassa, enkä näe syytä mikseivät myös yksityiset asiakkaat voisivat olla kiinnostuneita hiilijalanjäljestä.

Lähteet

Bioenergianeuvoja, internet-sivu. Viitattu 18.12.2021 www.bioenergianeuvoja.fi
> faktaa > biopolttoaineiden muuntokertoimia

Destia 2020, internetsivu Viitattu 10.2.2022 www.Destia.fi > Media > Tiedostot > pdf-tiedostot > co2e-paastolask.vert.-diat-case-vt4-viantie-maksniemi-destia_sto.pdf

Forcit ympäristöesite, 2013, taulukko 3.9

Ilmasto-opas. 2017. Mittaukset kertovat ilmaston muuttuvan. Viitattu 13.12.2021 <https://ilmasto-opas.fi> > Muutoksen syyt ja seuraukset > Ilmastonmuutos ilmiönä > Mittaukset kertovat ilmaston muuttuvan.

Interrock Oy. 2020. kiviaineshinnasto.

Interrock Oy, internet-sivu. 2021. Viitattu 2.12.2021 www.interrock.fi > murskeet.

Karttunen, H. Koistinen, J. Saltikoff, E. & Manner, O. Ilmakehä, sää ja ilmasto. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa ry, Helsinki 2008.

Liikanen M. 2021. Tuotteen hiilijalanjälki. Viitattu 7.12.2021 <https://lca-consulting.fi> > Ajankohtaista > Blogit > Tuotteen hiilijalanjälki.

Nasa, internet-sivu. 2020. Kuva. 15.12.2021. päivitetty 17.3.2021. www.nasa.gov > press release > 2020 tied for warmest year on record nasa analysis shows

Sihvonen H, Lehtimäki J, Pokela P, Ylimäki L, Gaia Consulting Oy
Visualisaatiot: Maiju Kolisoja, Days Agency Oy. 2021. Loppuraportti,
Päästövähennyksiä palvelulla – Selvitys palveluiden ilmastovaikutuksista. Palta RY 2021

Syke, internetsivu. 2020. Viitattu 13.12.2021 www.syke.fi > Tutkimus kehittäminen > Koulutus ja tuotanto > Laskurit > YHiilari