

Louhosalueen avaustöiden- ja murskauslaitoksen CO₂ -päästöjen minimoiminen sekä kustannustehokkuuden maksimointi

LAB-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK), konetekniikka
2023
Kari Nieminen

Tiivistelmä

Tekijä(t) Kari Nieminen	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2023
	Sivumäärä 34	
Työn nimi Louhosalueen avaustöiden- ja murskauslaitoksen CO₂ päästöjen minimoiminen sekä kustannustehokkuuden maksimointi		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), konetekniikan koulutus		
Toimeksiantajaorganisaatio Rudus oy		
Tiivistelmä Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa murskauksen hiilidioksidipäästöjä polttoainekulutuksen kautta. Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantajan hiilidioksidipäästöjen vähentämistavoitteiden toteuttamiseksi. Kohteina oli pääasiassa Nokian ja Okeroisten louhosalueet, joissa murskausta on ollut jo useamman vuoden ajan. Työn toimeksiantajana oli Rudus oy. Opinnäytetyössä kerättiin polttoainekulutuksia erilaisista työkoneista ja kartoitettiin niiden kautta hiilidioksidipäästöjä, sekä verrattiin erilaisiin uusiutuviin ja biopolttoainetta sisältäviin polttoaineisiin hiilidioksidipäästökertoimien kautta. Tuloksista laadittiin Excel-laskennat, joilla on mahdollista laskea erilaisille tuotantomäärille litra- ja tonnikohtaisia päästöjä. Huomattiin uusien tekniikoiden ja uudenlaisien polttoainelaatujen vähentävän ilmaston hiilidioksidikuormaa merkittävästi.		
Asiasanat kustannustehokkuus, hiilidioksidipäästöt, hiilidioksidipäästökerroin, CO ₂ .		

Abstract

Author(s) Kari Nieminen	Type of Publication Thesis, UAS Number of Pages 34	Published 2023
Title of Publication Minimizing the CO₂ emissions of the quarry area's opening work and crushing plant and maximizing cost efficiency.		
Degree, Field of Study Engineer (AMK), Mechanical Engineering		
Organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party) Rudus oy.		
Abstract The aim of the thesis was to map the carbon dioxide emissions of crushing through fuel consumption. The thesis was done to implement the client's carbon dioxide emissions reduction goals. The targets were mainly the quarry areas of Nokia and Okero-inen, where crushing has already been going on for several years. The client of the work was Rudus oy. In the thesis, fuel consumption from various work machines was collected and carbon dioxide emissions were mapped through them and compared to various renewable and biofuel-containing fuels through carbon dioxide emission coefficients. Excel calculations were prepared from the results, which make it possible to calculate emissions per liter and per ton for different production volumes. It was noticed that new technologies and new types of fuel significantly reduce the climate's carbon dioxide load		
Keywords Cost efficiency, carbon dioxide emissions, carbon dioxide emission factor, CO₂.		

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	1
2	Kiviainesteollisuus	2
2.1	Maanrakennus.....	2
2.1.1	Dieselpolttoaine	2
2.1.2	Palaminen	3
3	Louhinta.....	4
3.1	Pintamaat	4
3.2	Poraus	5
3.3	Louhintaräjäytys.....	6
3.4	Rikotus	7
4	Murskaus.....	10
4.1	Pyöräkoneet	10
4.2	Tela-alusteiseen murskauslaitokseen vertailua	14
4.3	Sähkö	15
5	Tulokset Excel-laskelmissa.....	17
5.1	Pintamaiden poiston päästöt.....	17
5.2	Louhinnan päästöt	18
5.3	Murskauksen päästöt.....	19
5.4	Varastointi.....	20
5.5	Sähkövertailua.....	22
5.6	Laitoksen siirron päästöt	23
5.7	Kuljetuksien päästöt.....	24
5.8	Työntekijöiden kilometri päästöt.....	25
5.9	Muut päästöt.....	26
6	Yhteenveto	28
	Lähteet.....	33

Lyhenteet ja käsitteet

C	Hiili
CH ₄	Metaani
CO ₂	Hiilidioksidi
CO ₂ ekv	Hiilidioksidiekvivalentti
€	Euro
g	Gramma
HC	Hiilivety
k-m ³	Kiintokuutio
kg	Kilogramma
kam	Kalliomurske
kas	Kalliosepeli
km	Kilometri
ks.	Katso
kWh	Kilowattitunti
m ³	Kuutiometri
n.	Noin
N ₂ O	Typpidioksidi
O ₂	Happi
®	Rekisteröity tavaramerkki
s.	Sivu
TJ	Terajoule
™	Tavaramerkki
tonni	1000 kg

1 Johdanto

Hiilijalanjälki tarkoittaa jonkin asian, kuten ihmisen, yrityksen, organisaation, tapahtuman tai tuotteen aiheuttamaa kuormaa ilmastolle. Ilmastokuormaa tulee, kun kasvihuonekaasuja vapautuu ilmakehään. Kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4) typpidioksidi (N_2O) ja fluorihiiilivedyt, mutta yleisin näistä on hiilidioksidi. Hiilijalanjälki voidaan ilmoittaa hiilidioksidiekvivalenttina (CO_2ekv), siinä eri kasvihuonepäästöjen ilmastoa lämmittävä vaikutus lasketaan yhteen.

Positiivinen hiilikädenjälki on päinvastainen, kuin negatiivinen hiilijalanjälki ja se kuvaa, kuinka voimme auttaa hillitsemään ilmaston muutosta. Siinä yrityksen ratkaisu pienentää jonkun toisen hiilijalanjälkeä, vaikkakaan oman hiilijalanjäljen pienentäminen ei kasvata omaa hiilikädenjälkeä.

Hiilineutraalius tarkoittaa sitä, että yritys, tuote tai palvelu ei kuormita ilmastoa. Käytännössä ensin määritetään tuotteen, tai palvelun hiilijalanjälki, jota pienennetään yritykselle sopivilla keinoilla. Ne päästöt, joita ei pystytä vähentämään pitää kompensoida jollain muulla tavalla.

Tarkoituksena on selvittää murskauslaitoksen hiilidioksidi (CO_2) päästöt ja sitä myöten minimoida ne. Murskauslaitosta perustettaessa uuteen paikkaan, tulee siitä kustannuksia ennakoon ja murskauksen aikana. Uusia soranottoalueita on vähenemässä määrin, joten nykyään kaikki uudet kiviainesten jalostusalueet ovat kallioulouhos alueita. Louhoksen perustamisessa suuri kustannuserä ja sitä myöten hiilidioksidipäästöjen aiheuttaja on pinta-aiden poisto ja niiden sijoitus. Kustannuksia aiheuttaa myös ajoteiden ja liittymien suunnittelu ja teko. Laitoksen siirto kohteeseen on myös huomioitava kustannuksissa ja hiilidioksidipäästöjen suhteen. Murskauksen aikana hiilidioksidipäästöjä aiheuttaa kallionporaus, räjähteet, louheen rikotus- ja syöttö, murskaus ja valmiin tuotteen varastointi. Välillisiä päästöjä tulee tavarantoimituksista, kuten polttoaineenkuljetukset. Työntekijöiden majoitus ja kilometrit aiheuttaa myös päästöjä, vaikkakin prosentuaalisesti hyvin minimaalisesti, myös jätteillä on oma päästö kerroin.

Opinnäytetyö tehdään Rudus Oy:lle, joka on osa suurta irlantilaista CRH-rakennusmateriaalikonsernia. CRH toimii 28 maassa ja työllistää noin 71000 henkilöä. Ruduksen strategisena tavoitteena on puolittaa hiilijalanjälki vuoden 2019 tasosta vuoteen 2035 mennessä. Pitkän aikavälin tavoite on olla kokonaan hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä. Ruduksella on betoniasemia ja kiviainespisteitä ympäri Suomea. Opinnäytetyö tehdään omalla, yli 30 vuoden maansiirtoalan työkokemuksella Ruduksen kiviaines osastolle, Lahden Okeroisten toimipisteessä ja verrataan Nokian toimipisteeseen.

2 Kiviainesteollisuus

2.1 Maanrakennus

Maanrakennusala on maa- ja vesirakentamiseen liittyvää louhintaa, maansiirtoa, pintamaiden poistoa ja maisemointia. Moottoritiet, tiet, rautatiet, satamat, kunnallistekniikka, teidenhoito ja päällystys, sekä betoniteollisuus kuuluu kaikki kiviainesteollisuuteen ja maanrakentamiseen. Alan tuotannon arvo on Suomessa noin 7 miljardia euroa vuodessa ja työllistää suoraan noin 45 000 henkilöä, kun yrityksiä on yli 7 500. Maanrakennuskoneita on noin 16 000, joista yleisimmät ovat pyöräkuormaajia ja kaivinkoneita. (Koneyrittäjät 2022.) Suurin osa käyttää kevytpolttoöljyä (löpö tai pö) polttoaineena, mikä on suuri hiilidioksidipäästöjen aiheuttaja. Kuorma-autot, dumpperit ja poravaunut kuuluvat oleellisilta osin myös murskaustoimintaan aiheuttaen hiilidioksidipäästöjä ja kustannuksia.

Infra-ala (aiemmin maa- ja vesirakennusala) käsittää kaikenlaisen rakentamisen maalla ja vedessä, sekä vesi linjojen vedossa. Kaikkiin näihin tarvitaan erilaisia kiviaineita, joita saadaan murskauksen ja seulonnan jälkeen.

2.1.1 Dieselpolttoaine

Dieselpolttoaine on syttyvä neste, jolla on terveydelle ja ympäristölle haitallisia ominaisuuksia. Kevytpolttoöljy (löpö tai pö) on dieselpolttoainetta, jota käytetään pääasiassa kaikissa työkoneissa, joissa on dieselmoottori, sen pienemmän verotuksen vuoksi. Kaikkien maantieliikenteessä olevien dieselmoottorilla varustettujen autojen pitää käyttää verollista dieselpolttoainetta. Dieselpolttoaineen näkyvin ero kevytpolttoöljyyn on lähinnä väri, eli kevytpolttoöljyn huomaa sen punertavasta väristä. Dieselpolttoaine on hieman kellertävää kirkasta nestettä, jossa on mieto hiilivedyn ominaishaju. Nykyään on olemassa uusiutuvaa dieselpolttoainetta ja biodieseliä, jotka ovat erilaisista biomassoista ja liuoksista jalostettuja fossiilisia polttoaineita vastaavia dieselpolttoaineita. Uusiutuvan dieselpolttoaineen ja biodieselin käyttö vähentää hiilidioksidipäästöjen jalanjälkeä huomattavasti jopa 90 %. Uusiutuvan dieselpolttoaineen käyttö vähentää hiilidioksidipäästöjen lisäksi kaikkia muita hiukkaspäästöjä, jotka vaikuttavat varsinkin suurten kaupunkien ilmanlaatuun. Dieselpolttoöljyn pakkasenkestävyys on kylmillä keleillä ongelmallista, mutta siihen voi vaikuttaa erilaisilla lisäaineilla tai muunnossarjoilla. (ST1 2023.) Maansiirtourakoitsijat käyttävät vielä pääsääntöisesti normaalia fossiilista polttoainetta, sen halvemman hinnan takia ja peläten biopolttoaineiden ja uusiutuvien polttoaineiden aiheuttamista haitoista, kuten lähinnä moottoririkoista ja polttoainejärjestelmän tukkeutumisista, sekä kumi- ja muoviosien vaurioitumisista.

2.1.2 Palaminen

Setaaniluku kuvaa dieselin syttymisherkkyttä. Korkean setaaniluvun omaava polttoaine syttyy palotilassa, sen ruiskuttamisen jälkeen nopeammin. Vastaavasti pienellä setaaniluvulla dieselpolttoaine syttyy huonommin ja aiheuttaa ylimääräisiä päästöjä, sekä moottorin ”nakutusta”. (ST1 2023.)

Eri polttoaineiden palaminen on kemiallinen reaktio. Dieselin hiilivetymolekyylien (HC) sisältämä hiili (C) yhtyy ilmassa oleviin kahteen happimolekyyliin (O₂). Fossiilisen dieselin tiheys on 804 kg / m³ eli 0,804 kg / litra ja kun polttoaineen yksi hiiliatomi yhtyy ilmassa oleviin kahteen happiatomiin, niin hiilidioksidin määrä noin kolminkertaistuu. Näin ollen dieselin käytöstä syntyy hiilidioksidipäästöjä noin 2,66 kg / litra. (Hansen N 2022.) Palamisprosessista poistuvaa kaasuseosta kutsutaan savukaasuksi, jos palaminen tapahtuu ajoneuvon moottorissa.

- Hiili + Happi => hiilidioksidi
- C + O₂ => CO₂.

(Antila, Karppinen, Leskelä, Mölsä, Pohjakallio. 2008.)

Eri polttoainelaaduilla on erilaiset päästökertoimet, kuten eri diesel laaduillakin. Esim. Neste Oy ilmoittaa uusiutuvan Neste MY™ dieselin päästökertoimen arvoksi 0,306 kg CO₂e / litra, mikä on noin 10 kertaa pienempi kuin työkonekäyttöön tarkoitettun kevyenpolttoöljyn 2,880 kg CO₂e / litra. Neste Futura™ dieselin (ajoneuvot) elinkaaren aikainen päästökerroin on 3.384 kg CO₂e / litra. Nämä kertoimet vaihtelevat vuosittain. (Liira. 2023.)

Pikku e-kirjain kaavassa tarkoittaa ekvivalenttia arvoa siten, että muiden kasvihuonepäästöjä aiheuttavien kaasujen vaikutus on muunnettu vastaamaan hiilidioksidin ilmastovaikutusta sadan vuoden tarkastelujaksolla. Tässä työssä käytetään kevyelle polttoöljylle kerrointa 2,54 kg CO₂ / litra ilman ekvivalentti arvoa (Niklander 2023) kts s. 19. Dieselpolttoaineen arvona käytetään 2,22 kg CO₂ / litra ilman ekvivalenttia. (Tilastokeskus.2022.)

3 Louhinta

3.1 Pintamaat

Louhosalueen ensimmäisiä töitä on pintamaiden kuorinta, siinä poistetaan kallion päällä olevat maa ainekset niin, etteivät ne pääse sekoittumaan louheeseen ja valmiiseen murskeeseen tai sepeliin. Betonilajikkeisiin sekoittuessaan humuspitoinen kiviaines, voi aiheuttaa murtumia ja heikentää betonivalun laatua merkittävästi. Pintamaiden kuorinta tehdään normaalisti kaivinkoneella tai puskutraktorilla ja sen jälkeen siirretään dumpperilla läjitysalueelle (kuva 1), kun puut on kaadettu ja kannot kerätty energiapuiksi. Kaivinkone kaivaa maat ja kuormaa ne aumaksi tai suoraan dumpperin kyytiin, läjityspaikalla tarvitaan lisäksi pyöräkone, jos matkaa on alle 200 metriä, niin dumpperi kannattaa jättää pois ja siirtää pelkästään pyöräkoneella, mikä tulee huomattavasti halvemmaksi. (Marttunen 2023.) Kuva 1 nähdään, että kaikenlaista maansiirtokalustoa tarvitaan heti ensimetreiltä lähtien.



Kuva 1. Pintamaiden siirtoprosessi

Tavoitteena on loppusijoittaa pintamaat kerralla sellaiseen paikkaan, mistä niitä ei tarvitse uudelleen siirtää pois esimerkiksi louhinnan tieltä, ja missä ne ovat sijoitettuna ympäristö- ja maa-aineslupien osalta oikein.

Joka kerta kun maamassoja siirretään, niistä tulee kustannuksia ja päästöjä. Esimerkkinä Nokialla siirrettiin dumpperilla kahdessa viikossa (80 h) 730 kuormaa a.30 tonnia / kuorma = noin 21 900 tonnia

Polttoaineenkulutus oli kolmelta erilaiselta koneelta kahdessa viikossa 80 tuntia per kone:

- Kaivinkone Hitachi® ZX 350 LC 22 – 28 litraa / tunti = 2 000 litraa

- Pyöräkone CAT® 980 H 26 – 34 litraa / tunti = 2 400 litraa
- Dumpperi Volvo A25D 18 – 22 litraa / tunti = 1 600 litraa
- Yhteensä 6 000 litraa kevyttä polttoöljyä.

Pelkästään polttoöljyn kesälaadun hinnalla 1,45 € / litra (pö.fi. 14.03.2023). Mikä olisi:

- 6 000 litraa x 1,45 € / litra = 8700 € sis. alv.

Hiilidioksidipäästöjä tuo samainen määrä tuottaa:

- 6 000 litraa x 2,54 kg CO₂ / litra on 15 240 kg hiilidioksidia.

Tämä määrä pitää jyvittää useamman louhinnan kanssa, mutta esimerkiksi puolimiljoonaa tonnia murskattuja kiviaineksia yhdellä kuorinnalla tekee 30 g / tonni.

- 15 240 kg CO₂ / 500 000 tonnia = 0,03048 kg CO₂ / tonni.

3.2 Poraus

Pintamaiden poiston jälkeen kalliolle pääsee poravaunu (kuva 2). Ruduksella on käytössä erilaisia poravaunuja ja tässä työssä hyödynnetään Atlas Copco® T40 smart poravaunun tietokoneesta saatua dataa, missä on moottorina 7,2 litran / 224 kW:n Caterpillarin C7. Poravaunu kuluttaa n. 0,5–0,6 litraa / porametri ja 15–25 litraa / tunti keskimäärin.

Yhdessä 20 000 tonnin kentän irrottamisessa on yhteensä 1 200 metriä porareikiä, 6,4 m² ruutukoolla ja 76 mm reikäkoolla. Yhden porareiän korkeus vaihtelee kymmenestä viiteentoista metriin riippuen kallion pinnan muodoista. Porareiät porataan oikeaan syvyyteen ja tiettyyn kulmaan parhaimman lopputuloksen saamiseksi.

Avolouhostyömailla käytetään pengerlouhintaa ja poraustekniikka on kehittynyt vuosien varrella optimaaliseksi, jotta saadaan mahdollisimman oikeanlaatuinen lohkokoko. Oikeanlaatuinen lohkokoko vaikuttaa mm. rikkokivien määrään, kuormaustehoon sekä koneiden kulumiskestävyyteen ja tätä myöten myös päästöihin.

Yhden 20 000 tonnin kentän poraamiseen menee kolme kahdeksan tunnin päivää. Poravaunun kuluttaessa polttoainetta 20 litraa tunnissa.

- 3 päivää x 8 tuntia / päivä x 20 litraa / tunti = 480 litraa polttoöljyä.

Tästä aiheutuu hiilidioksidipäästöjä:

- 480 litraa x 2,54 kg CO₂ / litra = 1 220 kg hiilidioksidia

- $1\,220\text{ kg CO}_2 / 20\,000\text{ tonnia} = 61\text{ g CO}_2 / \text{tonni}$.

Polttoainekuluja aiheutuu:

- $480\text{ litraa} \times 1,45\text{ € / litra} = 700\text{ € sis. alv}$
- $700\text{ €} / 20\,000\text{ tonnia} = 0,035\text{ € / tonni}$.

Kallioita, kiviä ja kivilajeja on myös erilaisia, kuten eri kovuuksilla ja pinnanmuodoilla. Kovempi kallio on parempaa monessa paikassa, mutta myös kustannuksiltaan kalliimpaa. Joten joka kohteessa on hieman eri olosuhteet ja lopulliset hiilidioksidipäästöt selviävät vasta loppuraportissa. Polttoaineen hinta on katsottu 14.03.2023 pö.fi internet sivuilta ja ne ovat aina päiväkohtaisia ja sisältävät arvonlisäveron (Pö.fi 2023.)



Kuva 2. Poravaunu

3.3 Louhintaräjäytys

Räjäytysaineet aiheuttavat myös oman osansa hiilidioksidipäästöistä: seuraavana keskimääräiset CO₂-päästöt yhdelle 20000 tonnien kentälle Lahden Okeroisissa vuonna 2023, kun kyseessä on avolouhinta.

- Yksi kiintokuutio (k-m³) painaa 2,7 tonnia
- Räjäytysaineen kulutus on 0,8 kg / k-m³
- Kemiitti 510 (Uralasta toimitettuna) 132 g CO₂ / kg

- Kemiitti 610 (muualta kuin Urjalasta toimitettuna) 140 g CO₂ / kg.

(Kemiitti on räjähdysaine, joka pumpataan letkulla suoraan porareikään.)

- Fordyn 293 g CO₂ / kg.

(Fordyn on dynamiitti, jota käytetään pohjapanoksena räjäyttämään Kemiitti.)

- Kemix patruunat 81 g CO₂ / kg.

(Kemix patruuna on räjähdysaine, jota käytetään pohja ja varsipanoksina.) (Forcit. 2023.)

- Kemiitti keskimäärin 136 g CO₂ / kg (käytetään laskelmissa).

Kemiitin aiheuttama hiilidioksidin määrä yhdessä louhintaräjäytyksessä on:

- $0,8 \text{ kg} / \text{k-m}^3 \times (20\,000 \text{ tonnia} / 2,7 \text{ tonnia} / \text{k-m}^3) \times 136 \text{ g CO}_2 / \text{kg} = 805\,926 \text{ g}$ se on noin 806 kg hiilidioksidipäästöjä.

Hiilidioksidipäästöjä syntyy:

- $805\,926 \text{ g} / 20\,000 \text{ tonnia} = 40,3 \text{ g CO}_2 / \text{tonni}$
- $\text{Fordyn } 135 \text{ kg} \times 293 \text{ g CO}_2 / \text{kg} = 39\,555 \text{ g} = \text{n. } 39,6 \text{ kg CO}_2$
- $\text{Kemix patruunat } 135 \text{ kg} \times 81 \text{ g CO}_2 / \text{kg} = 10\,935 \text{ g} = \text{noin } 10,9 \text{ kg CO}_2.$

Räjähteistä tulee yhteensä päästöjä:

- $805\,926 \text{ g} + 39\,555 \text{ g} + 10\,935 \text{ g} = 856\,416 \text{ g} = 856,4 \text{ kg CO}_2$
- $856\,416 \text{ g CO}_2 / 20\,000 \text{ tonnia} = 42,8 \text{ g CO}_2 / \text{tonni}.$

3.4 Rikotus

Louhinnan viimeisen vaiheen, eli rikotuksen hoitaa kaivinkone Hitachi® ZX 350 LC iskuvaralla (kuva 3). Normaalissa tilanteessa rikotuskone tekee töitä täydet viisi työpäivää (40 tuntia) aina yhdestä 20 000 tonnin louhintaräjäytyksestä, jos räjäytys epäonnistuu rikottavaa, on enemmän. Louhintaräjäytyksissä epäonnistumisia on monenlaisia esimerkiksi liikaa räjähdysainetta, tai liian vähän.

Liialla räjäytysaineen panostamisella voi saada vahinkoa aikaan, kuten louhe kivien lentäminen jonnekin mikä voi rikkoutua ja liiallisen tärinän aiheuttama vaurioituminen. Tietysti jos louhintaräjäytys onnistuu ja kaikki menee hyvin, niin rikotuskoneen tarve on pienempi.

Polttoaineen kulutus on 200 litraa työpäivässä:

- 5 päivää x 200 litraa / päivä = 1 000 litraa
- 1 000 litraa / 20 000 tonnia = 0.05 litraa / tonni.

Hiilidioksidipäästöjä ilmakehään tulee:

- 1 000 litraa x 2,54 kg CO₂ / litra = 2 540 kg CO₂
- 2 540 kg CO₂ / 20 000 tonnia = 127 g CO₂ / tonni.

Yhdessä päivässä kaivinkone aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä:

- 2540 kg CO₂ / 5 päivällä = 508 kg CO₂-päästöjä päivässä.



Kuva 3. Kaivinkone iskuvasaralla

Kuvassa 4 näkyy ylisuuriakiviä juuri räjäytetyn uuden louhoskasan pinnalla mitkä eivät sovi esimurskaimeen, ja jotka täytyy rikkoa etukäteen sopivankokoisiksi ennen murskausta. Ylisuuriakiviä, on myös usein louhoskasan sisällä. Kaivinkoneella tehdään myös muita louhosalueen koneaputöitä, kuten kulkutiet poravaunuille ja vesimontut murskauslaitoksen kasteluvedelle pölyämisen estämiseksi, sekä muita aputöitä. (Hynninen 2023.)



Kuva 4. Ylisuuretkivet ammun jälkeen

Mutta vertailun vuoksi, jos rikotuskoneen tarve on esimerkiksi vain 3 päivää niin:

- 3 päivää x 200 litraa / päivä = 600 litraa.

Hiilidioksidipäästöjä tulee kolmesta päivästä:

- 600 litraa x 2,54 kg CO₂ / litra = 1 524 kg CO₂-päästöjä
- 1 524 kg CO₂ / 20 000 tonnia = 76,2 g CO₂ / tonni.

Kaivinkoneen käyttäminen kallion pienentämisessä (ylisuuret lohkarit) aiheuttaa huomattavasti suuremmat hiilidioksidipäästöt, kuin itse räjähteet. Vertailuna kemiitin lisääminen 1 prosentilla, ja miten se tuo lisää hiilidioksidipäästöjä:

- $0,81 \text{ kg} / \text{k-m}^3 \times (20\,000 \text{ tonnia} / 2,7 \text{ tonnia} / \text{k-m}^3) \times 136 \text{ g CO}_2 / \text{kg} = 816\,000 \text{ g CO}_2$

Se on noin 816 kg CO₂ -päästöjä.

$816\,000 \text{ g} - 80\,5926 \text{ g} = 10\,074 \text{ g}$, joka on noin 10 kg enemmän.

- $816\,000 \text{ g CO}_2 / 20\,000 \text{ tonnia} = 40,8 \text{ g CO}_2 / \text{tonni}$.

Eli prosentin lisäys kemiittiä tuo 10 kg lisää hiilidioksidipäästöjä, kun taas rikotuskone aiheuttaa 508 kg CO₂ -päästöjä päivässä (kts. s. 8).

4 Murskaus

4.1 Pyöräkoneet

Esimurskan syöttökoneena toimii Volvo L 350 H, jonka työpaino kauhan kanssa on n. 60 000 kg (kuva 5). Mikä kuluttaa polttoainetta keskimäärin 500 litraa / 15 tunnin työpäivässä ja yhden päivän tuotanto on noin 4 000 tonnia.

Hiilidioksidipäästöjä esimurskainta syöttävä pyöräkone aiheuttaa:

- $500 \text{ litraa} \times 2,54 \text{ kg CO}_2 = 1\,270 \text{ kg CO}_2 \text{ päivässä.}$

Yksi 20 000 tonnin louhintaräjäytys, mikä murskataan viikossa, eli 5 työpäivää aiheuttaa päästöjä:

- $1\,270 \text{ kg CO}_2 \times 5 \text{ päivää} = 6\,350 \text{ kg CO}_2 \text{ päästöjä.}$

Mikä puolestaan on:

- $6\,350 \text{ kg CO}_2 / 20\,000 \text{ tonnia} = 317,5 \text{ g CO}_2 / \text{tonni} = 0,3 \text{ kg CO}_2 / \text{tonni.}$



Kuva 5. Esimurskaa syöttävä pyöräkone

Okeroisissa syöttö tapahtuu samalta tasolta, kuin missä esimurskaimen syötin on (kuva 6), niin pyöräkone pääsee paljon helpommalla. Mutta normaalisti syöttimelle nousu on samalta tasolta missä murskainkin on, eli noin 3 metriä.



Kuva 6. Esimurskaimen syöttölaituri syöttimen tasossa Okeroisissa

Kuva 7 on otettu Nokialla louhoksen pinnan tasolta, josta pyöräkoneelle tulee nousua noin 7 metriä eli louhoksen pinta on jopa 4 metriä alempana kuin itse murskan taso.



Kuva 7. Syöttölaituri ja esimurska Nokialla

Tämä nostaa polttoaineen kulutusta peräti 150 litraa päivässä (Westerlund 2023).

- $150 \text{ litraa} \times 5 \text{ päivää} = 650 \text{ litraa viikossa enemmän, mikä on } 25 \text{ \%}$.
- $150 \text{ litraa} \times 1,45 \text{ € / litra} = 217,5 \text{ € / päivä}$.

Tästä syntyy yhdessä päivässä ylimääräisiä hiilidioksidipäästöjä:

- $150 \text{ litraa} \times 2,54 \text{ KgCO}_2 / \text{litra} = 381 \text{ Kg CO}_2$.

Vuodessa on keskimäärin 250 työpäivää.

- $250 \text{ työpäivää} \times 217,5 \text{ € / päivä} = 54\,375 \text{ € vuodessa}$
- $250 \text{ työpäivää} \times 381 \text{ Kg CO}_2 = 95\,250 \text{ Kg CO}_2\text{-päästöjä}$.

Varastointikoneen tehtävänä on kantaa kuljettimien alta valmis tuote kasalle. Tällä työmaalla varastointikoneena toimii CAT® 980, ja kantomatkaa tulee normaalisti 100–500 metriä. Joskus valmiita kiviaineksia tulee samaan aikaan useitakin, niin kuljettajalta vaaditaan tarkkaavaisuutta ja koordinoitokykyä viedä murskeet ja sepelit oikeisiin kasoihin ilman sekaannuksia. Varastointikoneen pitäisi suoriutua valmiin kiviaineksen varastoinnista myös, niin ettei tuotantoon tule taukoa.

Kasakoneen kulutus oli 350 litraa päivässä, kun tuotantoa oli 4 000 tonnia ja hiilidioksidipäästöjä tuli:

- $350 \text{ litraa} \times 2,54 \text{ kg CO}_2 / \text{litra} = 889 \text{ kg hiilidioksidipäästöjä päivässä}$
- $889 \text{ kg CO}_2 / 4\,000 \text{ tonnia} = 0,2 \text{ kg CO}_2 / \text{tonni}$
- $350 \text{ litraa} / 4\,000 \text{ tonnia} = 0,09 \text{ litraa / tonni}$.

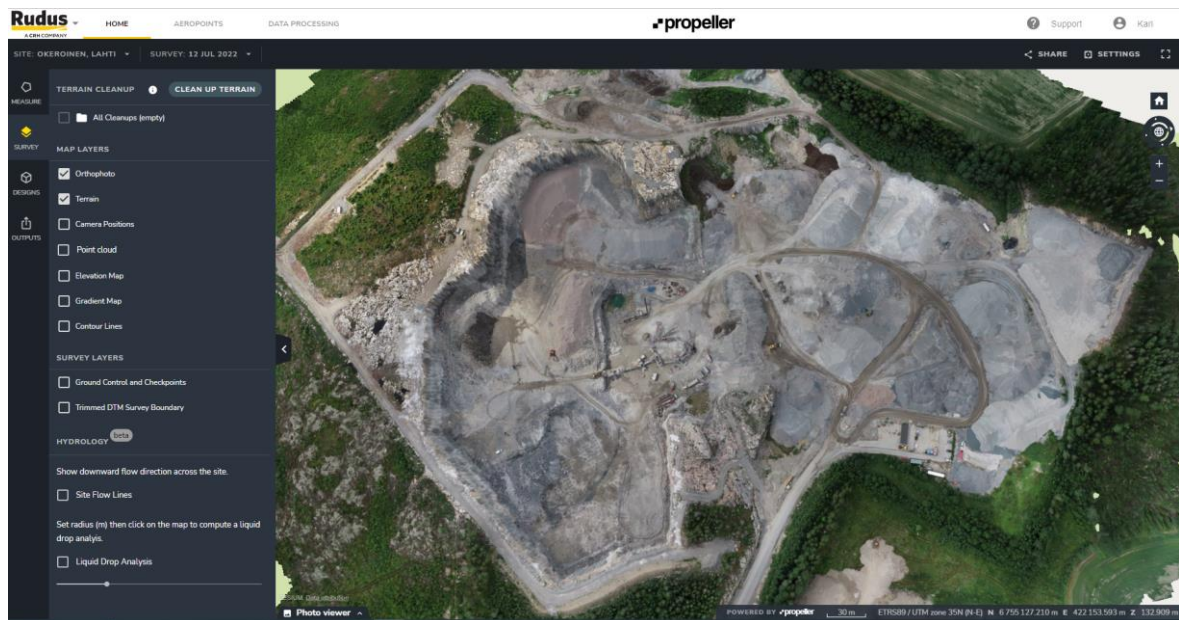
Joillain työmailla joutuu käyttämään yleistä tietä, tai on yleisen tien ylitys matkalla varastoalueelle mikä tarkoittaa, että on käytettävä verollista dieselpolttoainetta, mikä vaikuttaa kustannuksiin nostavasti. Silloin kasakone kuormaa valmiin tuotteen kuorma-autoon, mikä käyttää verollista dieselpolttoainetta ja siirtää tuotteen varastokasaan, tällainen käytäntö on esim. Takamaalla Tampereella. (Venäläinen. 2023.)

Kasojen tekemisessä on myös omat tapansa, ohjeensa ja säännöt. Murskeet, sekä sepelit ei saa lajittua, eikä sekoittua muihin lajikkeisiin, eikä alapuoliseen kasan pohjaan. Sepelilajikkeet varastoidaan pääasiassa päätypenkkana aina samasta paikasta, joihin voi olla nousua useitakin metrejä. Näin estetään sepelin hienontuminen, eikä tule laatupoikkeamia. Murskeet varastoidaan kerroksittain lajittumisen estämiseksi, ja joka kerros tasoitetaan

pyöräkoneella ennen uutta kerrosta. Jos murskeet varastoitaisiin päätypenkkana, niin isommat kivet vierisivät aina alimmaiseksi penkan alareunaan ja tuote olisi epätasalaatuista, eikä täyttäisi laatuvaatimuksia.

Joten myös varastointi tuo vaatimuksia murskauslaitoksen layoutiin ja oman kustannus erän, eikä aina ylimääräisiltä päästöiltä välttyä. Varastokasan paikan sijoittamisessa on otettava huomioon myös louhinta, koska varastokasoja ei selvästikään voi sijoittaa aivan räjäytettävän kallion läheisyyteen (Solante 2023.) Louhintaräjäytyksessä louhelohkareen lentäessä valmiin murskeen joukkoon ja sitä myöten esimerkiksi betoniasemalle, pumppu-autoon tai valmiiseen valuun voi aiheuttaa suurtakin vahinkoa.

Varastokasojen paikannuksessa ja mittauksessa on Ruduksella käytössä uusi kartta ohjelma nimeltään Propeller (kuva 8).



Kuva 8. Propeller-ohjelman kuvakaappaus Okeroisten kiviainesalueesta.

Louhosaluetta kuvataan Propelleriin dronilla eri kuvakulmista, jonka jälkeen ohjelmaan merkitään kasojen ulkoreunat ja nimetään ne esim. kam 0–16 (kalliomurske 0 mm-16 mm). Ohjelmalla pystyy mittaamaan kasojen tilavuuksia, etäisyyksiä, matkoja ja korkeus eroja ym. (Venäläinen. 2023.) Päivityksiä kuitenkin olisi tehtävä useammin, jos haluaa pysyä ajan tasalla. Esimerkiksi tämä kuva Okeroisista (kuva 8) on otettu kesällä 2022 ja tämän kuvan ottamisen jälkeen alueelle on pystytetty jo asfalttiasemakin mitä ei kuvassa näy ja murskekasojen paikkojakin on vaihdettu, sekä muokkailtu, eikä uutta Propeller-kuvausta ole vielä suoritettu.

4.2 Tela-alusteiseen murskauslaitokseen vertailua

Liikkuvalla tela-alustaisella murskauslaitoksella kaikki, myös murskaimet toimivat dieselmoottorilla ja niillä kulutus on huomattavasti suurempi, kuin perinteisellä murskauslaitoksella. Tässä esimerkissä kolmivaiheinen tela-alusteinen liikkuva murskauslaitos kävi Oke-roisissa tekemässä pienen urakan sepeliä ja mursketta. Louhinta, räjäytys ja rikotus on sama, kuin perinteisellä laitoksella. Murskat siirretään ajamalla teloilla aina räjäytetyn kalliion viereen ja laitosta siirretään sen mukaan, kun louhepenkka pakenee. Perinteisellä asemalla syöttömatka pitenee työmaan edetessä.

Perinteisellä murskauslaitoksella syöttömatkan ollessa niin pitkä, että esimurskaa syöttävä pyöräkone ei ehdi liikuttaa tavaraa syöttimeen. Täytyy suorittaa siirto lähemmäksi louhetta, tai ottaa käyttöön joikin muu työtapo, kuten toinen pyöräkone tai dumbberi. Kummastakin tapauksesta tulee joka tapauksessa ylimääräisiä kustannuksia ja päästöjä. Tämä on pieni etu liikkuvalla tela-alusteiselle laitokselle silloin, kun louhittava kallio on matalaa ja etenee nopeasti tai pienillä työmailla.

Liikkuvaa tela-alusteisen aseman esimurskaa syötetään kaivinkoneella, Kobelco SK 360LC-11, missä on 213 kW:n Toyotan moottori ja kulutus on 350 litraa päivässä. Esimurskaimena on Metson Lokotrack® LT120E™ 310 kW:n CAT®, jonka kulutus on 450 litraa päivässä. Välimurskaimena on Metson Nordberg® GP 300 S 403 kW:n CAT®, ja kulutus 800 litraa päivässä. Jälki murskaimena Metso Lokotrack® LT 550 GP 597 kW:n CAT® C18, jonka kulutus on 100 litraa tunnissa, mikä ei ollut käytössä, sen tilalla oli Sandvik UH 450E jälkimurskain Volvo Pentan 505 kW:n moottorilla.

Normaalisti tela-alusteisen murskaimen dieselmoottori pyörittää hydraulikkayksikköä, josta voima välittyy hydraulisesti eri paikkoihin. Sandvikin UH-450E jälkimurskain on erilaisella ja uudemmalla tekniikalla, kuin normaalit tela-alusteiset murskaimet. Sandvikissa Volvon diesel moottori pyörittää sähkögeneraattoria ja voima siirtyy sähköisesti murskaan, seulaan ja kuljettimiin, kun vanhemmissa laitteissa voima välitettiin hydraulikalla. Kulutus on noin 50 litraa tunnissa, eli 750 litraa 15 tunnin päivässä. Koko laitos kuluttaa 45 000–55 000 litraa kevytpolttoöljyä kuukaudessa

Ensimmäisessä esimerkissä murskattiin 20 000 tonnia 6–16 kas sepeliä, jossa syntyy sivutuotteena 30 000 tonnia 0–6 kam kivituhkaa, tämä kulutti yhteensä 40 000 litraa polttoainetta:

- $40\,000 \text{ litraa} \times 2,54 \text{ kg CO}_2 / \text{litra} = 101\,600 \text{ kg CO}_2 \text{ päästöjä}$

- $40\,000 \text{ litraa} \times 1,45 \text{ € litra} = 58\,000 \text{ €}$ polttoaine kuluja
- $58\,000 \text{ €} / 20\,000 \text{ tonnia} = 2,9 \text{ € / tonni}$ (kun otetaan huomioon pelkkä sepeli)
- $58\,000 \text{ €} / 50\,000 \text{ tonnia} = 1,16 \text{ € / tonni}$ (kun otetaan huomioon koko tuotanto).

Polttoainekulut on otettu laskuissa mukaan sen takia, että on voitu verrata sähkön hintaan (s.22 kuva 13).

- $101\,600 \text{ kg CO}_2 / 50\,000 \text{ tonni} = \text{n. } 2 \text{ kg CO}_2 / \text{tonni}$ (tässä huomioituna koko tuotanto).

Toinen esimerkki tela-alusteisen murskan tuotannosta on, kun tehdään 0–16 kam mursketta ja 16–32 kas sepeliä samaan aikaan yhteensä 30 000 tonnia. Polttoainetta kuluu murskiin 16 820 litraa ja 6 525 litraa koneisiin, eli 23 345 litraa yhteensä ja tähän kuluu aikaa 145 tuntia (Back 2023) mikä tekee:

- $23\,345 \text{ litraa} / 30\,000 \text{ tonnia} = 0,78 \text{ litraa / tonni}$
- $23\,345 \text{ litraa} \times 2,54 \text{ kg CO}_2 / \text{litraa} = 59\,296,3 \text{ kg CO}_2\text{-päästöjä}$
- $23\,345 \text{ litraa} \times 1,45 \text{ € / litra} = 33\,850 \text{ €}$ pelkkiä polttoaine kuluja
- $33\,850 \text{ €} / 30\,000 \text{ tonni} = 1,13 \text{ € / tonni}$
- $59\,296 \text{ kg CO}_2 / 30\,000 \text{ tonni} = \text{n. } 2 \text{ kg CO}_2 / \text{tonni}$.

Huomioitavaa on, että 0–6 kam on sivutuote, mutta joka tarvitsee huomioida hiilidioksidi laskuihin, ja kustannuksiin. Pelkästään 6–16 kas sepelin tekeminen tulee melkein kolme kertaa kalliimmaksi kuin jälkimmäinen esimerkki tonnia kohden. Hiilidioksidipäästöt ovat suunnilleen samat, jos siinä huomioidaan tehty ylijäämä tuote 0–6 kam kivituhka. Kumpaan-kin esimerkkiin saa lisätä louhinnan päästöt $0,23 \text{ kg CO}_2 / \text{tonni}$. Kustannuksiin voi lisätä tela-alusteisen aseman sähkönkulutuksen 430 kWh päivässä (sivu 23 kuva 14), mikä ei lisää päästöjä (katso seuraava kappale 4.1.2).

4.3 Sähkö

Okeroisissa Lahdessa perinteinen murskauslaitos saa normaalisti energiansa sähköverkon kautta ja Ruduksen hankkima sähköenergia on 100-prosenttisesti hiilidioksidi vapaata ydinvoimaa. Vertailukohteena oleva perinteinen murskauslaitos oli murskaamassa 28.03.–21.09.2022. Murskauspäiviä oli 120 ja kulutusta oli 695 950 kWh yhteensä tuotantopäivinä. Tuosta luvusta voidaan vähentää se kulutus, mikä menee joka tapauksessa louhosalueella,

kun murskauslaitos ei ole paikalla vaan energiaa kuluu myyntikoneiden lämmityksiin ja taukotiiloihin. Vuonna 2022 huoltoalueen sähkönkulutus keskimäärin oli 140 kWh päivässä (s.23 kuva 14).

- $695\,950 \text{ kWh} - 120 \text{ päivää} \times 140 \text{ kWh / päivä} = 679\,150 \text{ kWh}.$

Tämä on murskauslaitoksen käyttämän sähköns osuus.

Tuotanto 28.03 - 21.09.2022 oli 462 029 tonnia, jolloin yhden kWh:n tonnihinnaksi tulee:

- $679\,150 \text{ kWh} / 462\,029 \text{ tonnia} = 1,47 \text{ kWh / tonni}$
- $462\,029 \text{ tonnia} / 679\,150 \text{ kWh} = 0,68 \text{ tonnia / kWh}.$

Polttoainetta kului 92 952 litraa.

- $92\,952 \text{ litraa} / 679\,150 \text{ kWh} = 0,14 \text{ litraa / kWh}$
- $92\,952 \text{ litraa} / 462\,029 \text{ tonnia} = 0,20 \text{ litraa / tonni}$
- $0,20 \text{ litraa / tonni} \times 1,45 \text{ € / litra} = 0,29 \text{ € / tonni}.$

Hiilidioksidipäästöjä tästä polttoainemäärästä syntyi:

- $92\,952 \text{ litraa} \times 2,54 \text{ kg CO}_2 / \text{litra} = 236\,098 \text{ kg CO}_2 \text{ päästöjä}$
- $236\,098 \text{ kg CO}_2 / 462\,029 \text{ tonnia} = 0,51 \text{ kg CO}_2 / \text{tonni}$ (s. 22 kuva 13).

Nämä hiilidioksidipäästöt ovat pelkästä murskauksesta, kun mukaan ei ole laskettu louhintaa eikä muita sivupäästöjä. Kaikki murskauksen CO₂ -päästöt on laskettu edempänä. Osana ydinvoimalan rakentamista ja loppusijoituspaikkojen tekemistä tarvitaan infra rakentamista, mutta se jyvitetään niin moneen osaan vuosien kuluessa, että siitä ei tule asiakkaalle laskennallisia päästöjä.

5 Tulokset Excel-laskelmissa

5.1 Pintamaiden poiston päästöt

Pintamaiden poistossa ja siirrossa dumpperi vie kerrallaan 30 tonnia ja 730 kertaa. Siihen menee aikaa kaksi viikkoa ja polttoainetta kuluu kolmelta erilaiselta koneelta yhteensä 6000 litraa (taulukko 1).

Pintamaiden siirto	päiviä	h / d					
	10	8					
	Tunnit	Kulutus l / d					
Kaivinkone	80	200 l	(22 -28 l / h Hitachi ZX 350 LC)				
Pyöräkone	80	240 l	(26 - 34 l / h Cat 980 H)				
Dumpperi +	80	160 l	(18 - 22 l / h Volvo A25D)				
	pintamaat tonneja	21900 t	(730 kuormaa dumpperi 30 tonnia / kuorma)				
	pintamaat litraa pö	6000 l					
CO ₂ Päästöt/litra	Kerroin	2,54 kg CO ₂ / l	(Vuoden 2022 arvo)				
Päästöt yht:		15240 kg CO ₂					
Neste MY							
CO ₂ Päästöt / litra	Kerroin	0,306 kg CO ₂ / l			1836 kg CO ₂		
Ekvivalenttinen							
CO ₂ e Päästöt /litra	Kerroin	2,88 kg CO ₂ / l			17280 kg CO ₂ e		

Taulukko 1. Pintamaiden siirron päästöt

Ekvivalenttinen kerroin ottaa huomioon myös muut hiukkas- päästöt, kuten metaani (CH₄) typpidioksidi (N₂O) ja fluorihilivedyt. Taulukosta 1 nähdään myös, että Nesteen My™ diesel päästöt ovat melkein kymmenen kertaa pienemmät, kuin normaalilla fossiilisella dieselpolttoaineella tehty työ.

5.2 Louhinnan päästöt

Louhinnasta tulee myös omat hiilidioksidipäästöt (taulukko 2). Peruskallion muuttamisessa sopivan kokoiseksi kiviaineeksi, niin räjäytyksessä käytettävät aineet ja kallion poraaminen aiheuttavat oman osansa hiilidioksidipäästöistä.

Louhinnassa kallioon porataan reiät tiettyyn syvyyteen, kaltevuuteen ja oikeaan ruutuväliin poravaunulla. Tämän jälkeen ne panostetaan, tákätään ja räjäytetään. Täkkäyksessä porareitit tulpataan ylhäältä panostuksen jälkeen murskeella.

Louhinta						
Panostuksen ja porauksen hiilidioksidipäästöt päästöt yhdessä 20000 tonnin kentässä						
	Määrä:	tonnit	Kertoimet:			
			t/k-m ³	kg CO ₂		yht: kg CO ₂
Poraus:	480 l	20000		2,54		1219,2
Panostus:						
Kemiitti	0,8 kg/k-m ³	20000	2,7	0,136		805,9
Fordun	135 kg			0,293		39,6
Kemix A patruunat	135 kg			0,081		10,9
					Räjähdysaineiden osuus yht.	856,4
Räjähdysaineet kulj.	Urjala - Lahti	160 km		0,599		95,8
Panostus yht: yhdessä kentässä						2171,5
Montako kertaa ammuttu		1 ampua				2171,5 kg CO ₂
Ominaispanostus on osapuilleen 0,8 kg kuutiometriä kohden						
Kemiitin kertoimeksi on valittu keskiarvo 136 g /kg, kun kemiitti 510 on 132 g/kg ja kemiitti 610 on 140 g/kg.						
Kiintokuution kerroin on 2.7 t/m ³ , eli yksi kuutiometri kiintokalliota painaa 2.7 tonnia						
Kuorma-auton nupilla kuljetuksen päästö kerroin on 0,599 kgCO ₂ /kilometri						
Poravaunu kuluttaa 160 l polttoainetta päivässä						
Yhden 20000 tonnin kentän tekemiseen menee 3 päivää						

Taulukko 2. Louhinnan päästölaskelma.

Itse räjähdysaineiden osuus louhinnan päästöistä on vain noin 43 g per tonni (856,4 kg / 20 000 tonnia = 0.043 kg). Louhinnan kokonaisosuus päästöistä on 6,6 prosenttia (kuva19).

Räjäytyksen jälkeen osa louheesta jää ylisuuriksi kalliolohkareiksi, jotka eivät mahdu esimurskaimeen, nämä ylisuuret lohkarit saadaan pieneksi rikotuskoneella. Rikotuskoneen aiheuttamat päästöt on laskettu murskauksen päästöihin.

5.3 Murskauksen päästöt

Murskauksen hiilidioksidipäästöjä (taulukko 3) on laskettu yhden räjäytyksen 20 000 tonnia ja päivätuotannon 4 000 tonnia arvoilla, kun kyseessä on siirrettävä perinteinen murskauslaitos.

Keltaisiin ruutuihin täytetään			Vihreistä ruudusta luetaan päästöt			Oranssit on päästökertoimia					
Murskauksen			28.03.–01.03.2022.		Viisi työpäivää						
CO ₂ Päästöt/litra			Kerroin	2,54	kg CO ₂ /l	(Vuoden 2022 arvo)	Tilastokeskus 2022.Saatavissa https://www.stat.fi/tup/				
							Päästöt:		l/tonni	CO ₂ päästöt	
Laite:			Tehtävä:	Kulutus		tonnit/d	% osuus	CO ₂ kg		/tonni	
Volvo 350			Syöttö	2290 l		4000,0	48,9	5816,6		0,11	0,29
Cat 980			Varastointi	1583 l		4000,0	33,8	4020,8		0,08	0,20
Hitachi ZX 350LC			Rikotus	800 l			17,1	2032,0		0,04	0,10
							0,0			0,00	0,00
Pihakone			Siivous	10 l			0,2	25,4		0,00	0,00
										0,00	0,00
yht:				4683 l		4000,0	100,0	11894,8	kg CO ₂		
Tuotanto				20000	Tonnia						
			yhteensä	5	murskauspäivää						
Kulutus litroina kun verrataan yhteen ampuun n.20000 tonnia						ja		Päästöt:			
				4683,0	L			11894,8	kg CO ₂	/20000tn	
Vertailun vuoksi eri kertoimilla laskettuna											
Neste MY											
CO ₂ Päästöt/litra			Kerroin	0,306	kg CO ₂ /l			1433,0	kg CO ₂		
/20000 tonnia								1433,0	kg CO ₂	/20000tn	
Ekvivalenttinen											
CO ₂ e Päästöt/litra			Kerroin	2,88	kg CO ₂ e/l			13487,04	kg CO ₂ e		
/20000 tonnia								13487,04	kg CO ₂ e	/20000tn	

Taulukko 3. Murskauksen päästölaskelmia

Taulukossa käytetty päästökerroin kevyelle polttoöljylle vuonna 2022 oli 2,54 kg CO₂ / litra siis (70,9 tonnia / Tj x 3,6 = 255 kg / MWh x 0,00998 MWh / litra = 2,5449 kgCO₂ / litra)

Polttoaineluokituksissa hiilidioksidin ominaispäästöt ilmoitetaan yksikössä tCO₂ / Tj. Muunto arvoon kgCO₂ / MWh saadaan kertomalla luku arvolla 3,6. Eli kevyen polttoöljyn ominaispäästökerroin 70,9 tCO₂ / Tj on yhtä suuri kuin 255 kgCO₂ / MWh. Tämä kerrotaan polttoöljyn lämpöarvolla 0,00998 MWh / litra on yhtä suuri kuin 2,5449 kgCO₂ / litra. Kahden desimaalin tarkkuudella 2,54 kgCO₂ / litra. (Keski-Luopa. M.2020.)

Kuorma-auton kyydissä menee aina, noin kolme kertaa enemmän kuormaa yhdellä kerralla, kuin pyöräkoneella vietynä. Lisäksi kuorma-auton kulutus on pienempi suhteessa pyöräkoneeseen. Kuten aiemmin pintamaiden siirrossa todettiin, niin 200 metriä on matka minkä tekee halvemmalla pelkällä pyöräkoneella. Hiilidioksidipäästöihin verrattuna tilanne on toinen:

Vertailukohteen tuotanto on 3 500 tonnia päivässä, 14 tuntia päivässä ja jos tehdään esim. 0–35 kam kalliomursketta ja kannetaan se kasalle CAT® 980 M pyöräkoneella, niin kulutus on 350–400 litraa / päivä ja kasalle on matkaa 70–100 metriä, niin pyöräkone on täydessä kuormituksessa käytössä koko ajan, siis tällä pohjassa. Mutta jos otetaan käyttöön avuksi kuorma-auto esimerkiksi kolmeakselinen MB® 3354 Actross, niin ensinnäkin pyöräkoneen kulutus tippuu puoleen n. 180 litraa / päivä ja kuorma-auton kulutus on n. 170 litraa / päivä. Pyöräkone pääsee helpommalla ja kuorma-autolla on normaali kuormitus. Eikä pyöräkoneita ole tarkoitettu sellaiseen rääkkiin (Koljonen 2023). Siis jo alle 100 m, on se raja missä hiilidioksidipäästöt ovat pienemmät, kun käytetään pyöräkoneen ja kuorma-auton yhdistelmää verrattuna pelkkään pyöräkoneeseen.

Päiväkohtaisesti pyöräkone kuluttaa 375 litraa kevyttä polttoöljyä, kun tekee työn yksin.

- $375 \text{ litraa} \times 2,54 \text{ kg CO}_2 / \text{litra} = 952,5 \text{ kg CO}_2$
- $375 \text{ litraa} \times 1,45 \text{ €} / \text{litra} = 543,75 \text{ €} + \text{muut kulut.}$

Pyöräkoneen ja kuorma-auton yhdistetyt hiilidioksidipäästöt päivässä:

- $180 \text{ litraa polttoöljyä} \times 2,54 \text{ kg CO}_2 / \text{litra} = 457,2 \text{ kg CO}_2$
- $170 \text{ litraa dieseliä} \times 2,22 \text{ kg CO}_2 / \text{litra} = 377,4 \text{ kg CO}_2$
- $457,2 \text{ kg CO}_2 + 377,4 \text{ kg CO}_2 = 834,6 \text{ kg CO}_2\text{-päästöjä.}$

Pyöräkoneen ja kuorma-auton yhdistetyt kustannukset päivässä:

- $180 \text{ litraa} \times 1,45 \text{ €} / \text{litra} = 261 \text{ €} + \text{muut kulut}$
- $170 \text{ litraa} \times 1,82 \text{ €} / \text{litra} = 309,4 \text{ €} + \text{muut kulut}$
- $261 \text{ €} + 309,4 \text{ €} = 570,4 \text{ €}.$

Hiilidioksidipäästöjen osalta pyöräkoneen ja kuorma-auton yhdistelmä tulee näillä arvoilla ilmastoystävällisemmäksi, mutta kustannustehokkuutta tarkasteltaessa se on noin 27 € kalliimpaa / päivä polttoainekuluissa. Lisäksi tulee kuorma-auton kuljettajan päivän palkka.

5.5 Sähkövertailua

Taulukossa 5 on laskettu sähkönkulutusta verrattuna tuotantoon ja polttoaineen kulutukseen, näin saatiin: paljonko yhdellä kilowattitunnilla tehtiin tuotantoa, ja kääntäen monta tonnia saadaan yhdellä kilowatti tunnilla. Polttoaineen kulutuksen kautta on laskettu myös hiilidioksidipäästöt ja tonni hinnat. Tässä taulukossa on ainoastaan pyöräkoneiden aiheuttamat päästöt. Kaikki murskauksen päästöt on laskettu edempänä. Lopuksi verrataan eri sähkön hinnoilla eri kustannuksia, jotta voidaan verrata liikkuvan tela-alustaisen murskauslaitoksen kulutuksiin ja päästöihin.

Murskausaika :	28.03-21.09.2022				
	Kulutus kWh	Keskiarvo kWh	Päivien määrä		
Kaikkien päivien kulutus:	711002,7	3994,40	178 d		
Murskauspäivien kulutus:	695949,7	5799,58	120 d		
Viikonloput ja pyhät:	15053	259,53	58 d		
Kun laitoksia ei paikalla			140 kWh/pv		
Sähkönkulutus kWh	679150	5659,58	/d		
Tuotanto tonnia	462029	3850,24	/d		
kWh / tn	1,47				
tn / kWh	0,68				
	litraa	kg CO ₂ / l	kg CO ₂		
Polttoaine Syöttö	54967	2,54	139616		
Polttoaine varastointi	37985	2,54	96482		
Polttoaine yht.	92952	2,54	236098		
l / kWh	0,14				
	l / t	x pö €/l	€/t		
Syöttö kone	0,12	1,45	0,17		
Varastointi kone	0,08	1,45	0,12		
yhteensä l / t	0,20	1,45	0,29		
kgCO ₂ / t.	0,51				
jos sähkö maksaa	0,10 €/kWh	niin	0,15 €/tn		
(sis. siirtohinnan)	0,20 €/kWh		0,29 €/tn		
	0,40 €/kWh		0,59 €/tn		
	0,80 €/kWh		1,18 €/tn		
	1,00 €/kWh		1,47 €/tn		
	1,50 €/kWh		2,20 €/tn		

Taulukko 5. Sähköllä tuotettua kiviainesta ja vertailua

Tela-alustaisella asemalla polttoaine kustannuksiksi tulee 1.13 € / tonni. – 2.9 € / tonni (katso sivu 15.). Taulukosta 5 voidaan katsoa, että jos sähkö maksaa noin 0,80 senttiä, niin tela-alustaisella asemalla tehty kiviaines alkaa olla kilpailukykyistä perinteiseen asemaan verrattuna. Hiilidioksidipäästöihin verrattuna tela-alustaisella asemalla tehty kiviaines on kuitenkin neljä kertaa saastuttavampaa.

Taulukossa 6 on esitetty sähkön kulutusta louhoksen huoltoalueella, missä on työkoneiden, tankkaus ja huoltoalue, kuljettajien taukotuvat ja tekniset tilat ym.

Sähkön kulutus louhos alueella			
keskimäärin päivässä, kun sähköä kuluttaa myyntikoneiden lämmitys ja taukotilat.			139,16 kWh
Eli noin 140 kWh / pv			
Sähkönkulutus päivässä, kun murskaamassa on tracci asema			568,65 kWh/pv
Tracci aseman osuus = 568.65 - 139.16 =			429,49 kWh/pv Eli noin 430 kWh päivässä
Sähkönkulutus laskennoissa käytetään keskiarvoa 140 kWh /pv , kun puhutaan päivistä jolloin ei murskata.			

Taulukko 6. Louhosalueen sähkönkulutuksia

5.6 Laitoksen siirron päästöt

Murskauslaitoksen siirrosta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt (taulukko 7) käyttämällä verolista diesel polttoainetta, on otettu huomioon laskemalla kilometrit ja kulutus. Keskimääräinen kulutus on ollut 30 litraa / 100 km. Suurin, painavin ja tärkein on yleensä aina esimurska, sitten on väli- ja jälkimurskat, sekä seulat ja kuljettimet. Taukotila, remonttivaunu, sauna ja miehistön asunnot on myös tuotava paikalle ja oikeaan aikaan. Lisäksi pyöräkoneet ja polttoainesäiliöt sekä öljykontti, jotka on oltava melkein ensimmäisinä, että saa valmisteltua paikat. Laskettu on myös mitä yksi siirtokuorma aiheuttaa kustannuksia ja päästöjä. Vertailuna on annettu myös ekvivalenttinen eli elinkaaren aikainen kuormitus, jos käyttää Neste Futura dieseliä™, tai Neste My uusiutuvaa™ dieseliä.

Laitoksen siirto:						
Mistä	Nokia					
Minne	Okeroinen					
km yhteensuuntaan	160 km					
Matkoja	15 kpl					
Yht: km		2400 km				
kulutus l/100km	30					
kulutus yhteensä		720 l				
Nosturien kulutus	250 l					
Päästökerroin	2,22	(Vuoden 2022 arvo dieselille)			Tilastokeskus 2022.Sa	
Yhteensä litroja		970 l				
Yhteensä päästöjä				2153,4	kg CO ₂	
Vertailu:						
Neste futura diesel ajoneuvojen elinkaaren aikainen päästökerroin						
CO ₂ e Päästöt/litra	Kerroin	3,384	kg CO ₂ e/l		3282	kg CO ₂ e
Nesty My uusiutuva diesel elinkaaren aikainen päästökerroin						
CO ₂ e Päästöt/litra	Kerroin	0,306	kg CO ₂ e/l		296,82	kg CO ₂ e
Yhden siirtokuorman aiheuttama kuormitus						
km	160 km					
kulutus l /100 km	30 l/100					
kulutus yht.	48 l					
Päästö kerroin	2,22 kg CO ₂					
CO ₂ päästöt yht	106,6 kg CO ₂					

Taulukko 7. Murskauslaitoksen siirrosta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt

5.7 Kuljetuksien päästöt

Kuljetuksista ja tavarantoimituksista (taulukko 8) syntyy myös omat hiilidioksidipäästöt. Eri-
laisilla kuljetustavoilla on eri kertoimet. Laskelmiin on otettu huomioon neljä pääasiallista
kerrointa, koska murskauslaitoksilla käytetään pääasiallisesti erilaisilla kuorma-auto yhdis-
telmillä tapahtuvia kuljetuksia. (Motiva 2018.) Taulukossa olevat luvut ovat esimerkkejä.
Motivan kertoimet taulukossa on päivitetty viimeksi vuonna 2011. Kertoimet pienenevät
vuosittain autojen nuorentuessa ja muuttuessa paremmiksi. Polttoaineiden hiilidioksidin
päästö kertoimet pienenevät myös vuosittain bio-osuuden lisääntyessä. Taulukkoon

merkitään tapahtuma, kilometrit ja päästökertoimet. CO2data.fi /infra sivuilta löytyy tarkkoja arvoja kaikille erikokoisille kuorma- ja pakettiautoille, sekä laskukaavat. (CO2data 2023a.)

Tavaran toimitus			Kertoimet: kg CO ₂ /km			
		Täysperävaunu		1,208		
		Puoliperävaunu		1,023		
		Nuppi		0,599		
		Pakettiauto		0,272		
	Mistä:	Huom.	km	kerroin	kertoja	yht: kg CO ₂
Polttoaine	Neste Porvoo	10000L	180	1,208	1	217,44
						0
						0
						0
						0
						0
Varaosat	Helsinki		250	0,599	1	149,75
	Nummela	Sähkömoottori	310	0,272	2	168,64
						0
	Lempäälä		140	1,023	1	143,22
						0
						0
Kulutus osat	Tampere Metso	leuka	150	1,023	1	153,45
	Tampere Metso	Kulutusosia	150	1,208	1	181,2
	Tampere Metso	Kulutusosia				0
						0
						0
						0
						0
						0
						1013,7

Taulukko 8. Varaosien ja polttoaineiden toimitus

5.8 Työntekijöiden kilometri päästöt

Työntekijöiden kilometrit aiheuttavat myös hiilidioksidipäästöjä, jotka otetaan myös huomioon laskelmissa (taulukko 9). Normaalisti Okeroisten laitoksella on töissä vuorossa kaksi henkilöä murskalla ja yksi ajaa syöttökonetta. Varastointikone on aliurakoitsijan. Sähköasentajat käyvät työmaalla aina, kun laitosta puretaan tai pystytetään uuteen paikkaan ja tarvittaessa muutoinkin. Panostajat, porarit ja kaivinkone kuskit ovat paikalla tarvittaessa ja aina uutta räjäytystä tehdessä. Laborantti käy usein ottamassa näytteitä. Työmaapäällikkö hoitaa juoksevia asioita ja valvoo louhosalueen toimintaa. Työpäälliköt käyvät joskus tarkastamassa tilanteen, joten alueella on autoliikennettä ja jokaisesta kilometristä syntyy

päästöjä. Pakettiauton hiilidioksidi päästökerroin on 0.272 kg / km, mutta esimerkiksi sähköautolla ei ole päästökerrointa, joten sitä ei oteta huomioon!

Työntekijöiden kilometrit:						
Aika	28.03.–01.03.2022.					
Viikkoja	1					
		Kuinka monta		CO ₂	yht: kg CO ₂	
		koti matkaa	km	Kerroin		
Bensiini: (0,181/km)						
Late	Padasjoki - Lahti - Padasjoki	1	140	0,181	25,34	
Pekka	Padasjoki - Lahti - Padasjoki	1	140	0,181	25,34	
					0	
					0	
Diesel: (0,175/km)						
Make	Kerava - Lahti - Kerava	1	120	0,175	21	
Erkki	Padasjoki - Lahti padasjoki	1	140	0,175	24,5	
					0	
					0	
Hybridi: (0,100/km)						
Kari	Lahti	5	14	0,1	7	
					0	
					0	
					0	
Laborantit : (0,272/km)						
	Lahti - Lahti	2	15	0,272	8,16	
					0	
					0	
					0	
Sähköasentajat (0,272/km)						
					0	
	Nummela - lahti - Nummela	3	250	0,272	204	
					0	
					0	
Panostajat : (0,272/km)						
	Uurainen-Lahti- Uurainen	1	480	0,272	130,56	
					0	
					0	
					0	
					445,9	
Pakettiauton hiilidioksidi päästökerroin on 0,272kg/km						
Sähköautolla ei ole päästökerrointa joten sitä ei oteta huomioon!						

Taulukko 9. Henkilökunnan kilometrit ja päästöt

5.9 Muut päästöt

Muitakin päästöjen aiheuttajia on esimerkiksi jätteet ja ne onkin otettu mukaan laskelmiin (taulukko 10).

Muut CO ₂ päästöjä aiheuttavat					
Plussataan kumulatiivisesti keltaiseen ruutuun					
		kg	Kerroin	yht: kg CO ₂	
Sekajätteet		50	0,41	20,5	
Muut	metalli	0	0,13	0	
				20,5 kg CO ₂	
Kertoimia: Co ₂ e/kg					
Biojäte	0,069				
Energia jäte	0,41				
Kartonki ja pahvi	0,06				
Lasi	0,57				
Metalli	0,13				
Muovi	0,07				
Paperi	1,05				
Sekajäte	0,41				
Elektroniikka	0,72				
Vaarallinen jäte	1,41				

Taulukko 10. Muita päästöjä

Lisäksi on olemassa hankinnoille omia kertoimia: alla esimerkkejä.

- toimistopaperi 905 g CO₂ ekv / kg
- matkapuhelin 58 500 g CO₂ ekv / kg
- kannettava tietokone 155 600 g CO₂ ekv / kg
- LCD näyttö 327 600 g CO₂ ekv / kg
- toimisto tuoli pyörillä 34 000 g CO₂ ekv / kg.

Näitä on lisää ja niitä päivitetään tulevaisuudessa koko ajan (WWF 2018). Huomion arvoista on, että jos esimerkiksi hankkii uuden kannettavan tietokoneen, niin pelkästään siitä tulee päästöjä jo noin 156 kg, ja pelkästään yhdestä näytöstä peräti 328 kg.

6 Yhteenveto

Yhteenvedossa (taulukko 11) huomaamme, että murskauksen alkaessa laitoksen siirron osuus hiilidioksidipäästöistä viikon kuluttua on 30 % ja pintamaiden 36 %, kun itse murskaus on alle 20 %. Tässä murskausta on suoritettu viisi päivää, eli yhden räjäytyksen verran.

Okeroinen			
Hiilidioksidipäästöjen kumulatiivinen seuranta			Osuus kg
Päästöt:	kg CO ₂	%	Co2/tonni
Murskaus	11894,82	36,1	0,59
Pintamaat	15240,0	46,3	0,76
Louhinta	2171,5	6,6	0,11
Siirto	2153,4	6,5	0,11
Tavarantoimitus	1013,7	3,1	0,05
Kilometrit	445,9	1,4	0,02
Muut	20,5	0,1	0,00
Kaikki yht:	32939,8	100,0	1,65
Valmiit kiviainekset			
Tonnit:	20000		

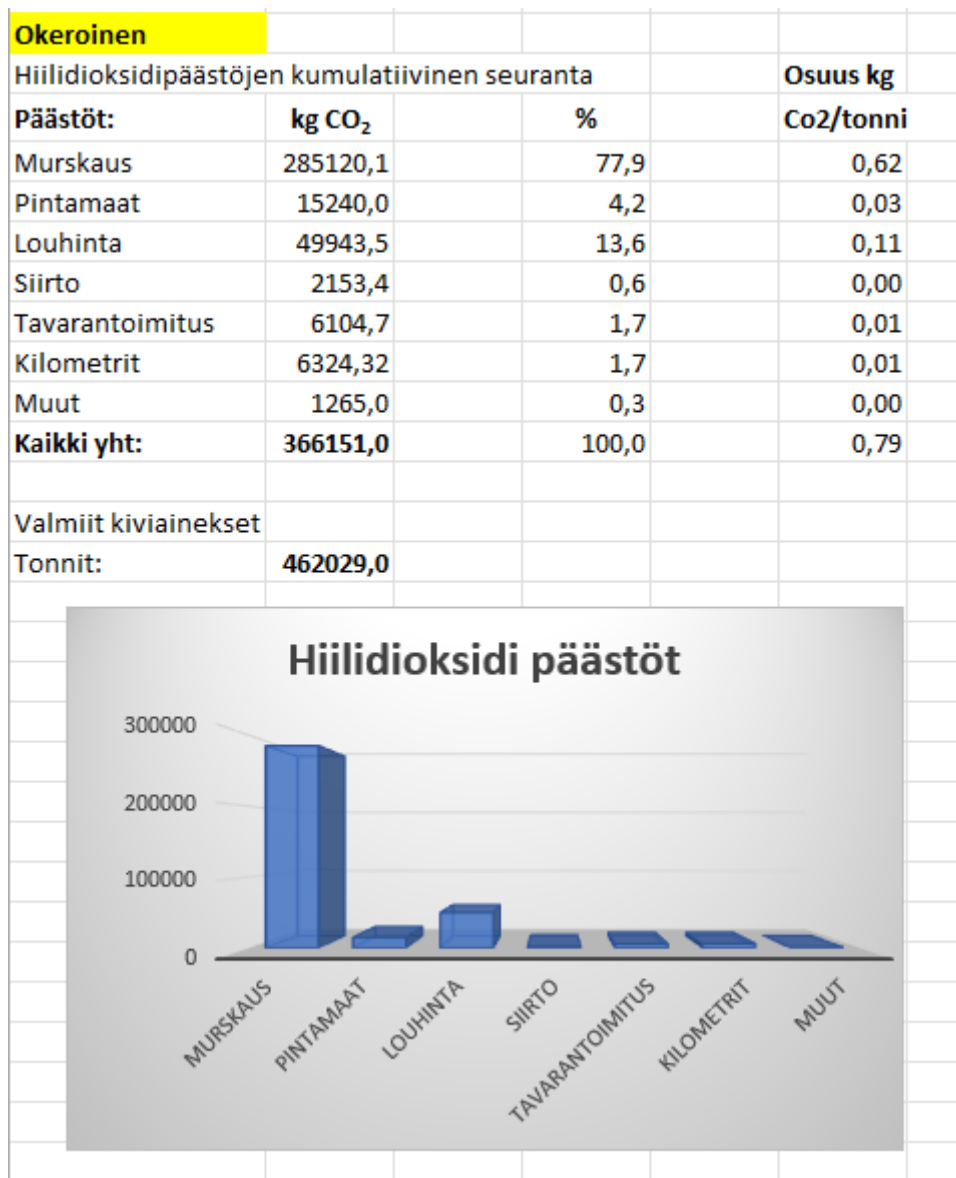
Taulukko 11. Yhteenveto 20 000 tonnin jälkeen

Yhteenvedosta tehty pylväskaavio (kuvio 1) näyttää päästöjen osuudet, miten ne alkavat kehittyä. Siinä esimerkiksi muut päästöt mitä ei ole vielä paljoa syntynyt on varsin pieni.



Kuvio 1. yhteenvedon pylväskaavio 20 000 tonnia

Murskauksen edetessä ja melkein puolimiljoona tonnia tehtynä tuloksista (taulukko 12) nähdään, kuinka murskauksen osuus kasvaa ja kaikkien muiden hiilidioksidipäästöjä aiheuttavien päästöjen osuus prosentteina pienenee.



Taulukko 12. Murskauksen päästöt perinteisellä laitoksella Okeroisissa vuonna 2022

Taulukosta 12 näemme, että kaikkien hiilidioksidipäästöjen yhteenlaskettu osuus valmiita kiviaineksia kohden on 0,79 kg per tonni => 0,79 g CO₂ / kg. Kun vertaamme Suomen

ympäristökeskuksen (CO2data.fi) rakentamisen päästökannan mukaan rakentamisessa käytetyn murskeen konservatiivinen arvo rakentamisluvan hakemiseen on 0,007 kg CO₂e / kg = 7 g. Ruduksen tuottama kiviaines Okeroisissa alittaa kahdeksan kertaa ympäristökeskuksen arvon.

Hiilidioksidipäästöjen minimoimiseksi murskauslaitoksen pystytyksessä, olisi kiinnitettävä huomiota erityisesti laitoksen layoutiin. Ensinnäkin murskat on saatava sijoitettua lähelle louhittua louhetta, jotta syöttävällä pyöräkoneella ei olisi kiirettä tai ongelmia pitää syötintä täynnä, ettei murskaus keskeytyisi. Syöttimessä olisi oltava koko ajan louhetta laadun ja tuotannon varmistamiseksi. Uudella louhoksella, kun tilaa on vähän, kaikki edellä mainitut asiat ovat ongelmallisia.

Seuraavaksi olisi suunniteltava kasojen paikat, nekin olisi saatava mahdollisimman lähelle murskaa kustannusten ja hiilidioksidipäästöjen minimoimiseksi. Okeroisissa on huomattu, että kantomatkan pyöräkoneella olisi oltava alle 400 metriä lajikkeita tehtäessä. Kantomatkan ollessa liian pitkä täytyisi ottaa käyttöön toinen kone, jolloin kustannukset kasvavat, vaikkakaan ei ihan kaksinkertaisiksi. Kasojen ollessa kauempana varastointi suoritetaan kuorma-autoilla, missä ensiksi pyöräkone lastaa kuorma-autot, mitkä kuljettavat jalostetut kiviainekset varastointi alueelle. Varastoalueella tarvitaan vielä pyöräkonetta tasaamaan kuorma-autojen kippaamat kasat. Näistä kaikista tulisi olla hyvä suunnitelma, että päästään kaikista ylimääräisistä työvaiheista eroon ja saadaan päästöjä vähennettyä. Isoja lajikkeita tehtäessä kasojen olisi oltava lähellä tai kalustoa tarpeeksi, koska tuotanto on silloin joutuisaa ja tavaraa tulee reilusti.

Louhinnassa päästöjä saadaan vähennettyä hyvällä suunnittelulla, kuitenkin räjäytyksissä tulee aina ylisuuria kiviä, joissa tarvitsee rikutuskonetta.

Uusilla tekniikoilla varustetuilla työkoneilla saadaan huomattavia päästöjä, kun diesel moottori tekee sähköenergiaa ja sähkömoottorit tekevät työn, eikä perinteisesti momentinmuunnin vaihteisto perä yhdistelmällä mekaanisesti. Esimerkiksi uudella CAT® 988 XE mallilla päästään jopa 20 % pienemmällä kulutuksella, kun vanha 988 M kulutti 320 litraa päivässä ja uusi XE malli 260 litraa päivässä (Koljonen 2023).

Polttoaineet kehittyvät myös, kuten Nesteen MY™ uusiutuva diesel, jolle luvataan jopa 90 % pienemmät hiilidioksidi päästöt. CO₂ päästökerroin onkin pienentynyt vuosittain ja tässä työssä käytettiin 2.54 kg CO₂ / litra. Kerrointa voikin muuttaa Excel taulukkolaskennassa.

Omaa pohdintaa

Murskauksen hiilidioksidipäästöjen ollessa melkein 400 000 kg / urakka, niin sen pienentäminen puoleen vuoteen 2035 ei ole helppoa. Päästöttömällä sähköllä pitäisi vaan saada enemmän tehtyä kaikenlaista toimintaa ja työvaiheita. Pyöräkoneiden erilaisia uusia tekniikoita on vaan ruvettava käyttämään hyväksi ja uusiutuvan biodieselin käyttöä lisättävä. Henkilökunnan autokannan uusimista hybriditekniikoihin ja sähköautoiluun kannustamista.

Hiilidioksidin sitominen esimerkiksi keräys laitteella saman verran, kuin sitä tuottaa, tai puiden istuttamisella saadaan hiilijalanjälkeä pienemmäksi, näillä ja päästökaupoilla saadaan ongelmaa ainakin siirrettyä eteenpäin.

Hiilidioksidipäästöjen tutkiminen ja laskeminen on todella hankalaa erilaisten lähteiden erilaisten arvojen pienten erilaisuuksien takia, joissakin lähteissä lukuarvojen ilmoittaminen loppuu vuoteen 2018. Joissain lähteissä käytetään työkonekohtaisia kertoimia, joissa ei kuitenkaan ole läheskään kaikkia koneluokkia vielä (CO2data 2023 b). Tulevaisuudessa asiat selkiytyvät ja yhtenäistyvät tulevien päästösopimusten myötä.

Ympäristöministeriön mukaan mahdollisia päästövähennyskeinoja on polttoöljyn sekoitevelvoite vuoden 2021 kolmen % tasosta 10 % tasoon vuoteen 2028 mennessä. Ympäristöministeriö on myös tehnyt ohjaustoimia tehostamalla polttoaineiden verotusta ja edistämällä energiatehokkaiden ja vähäpäästöisten työkoneiden hankintaa Green deal- sopimuksilla. Green Deal => Ilmastohaasteen vapaaehtoinen sopimus valtion ja elinkeinoelämän välillä

Ministeriö myös edistää työkoneiden energiatehokasta käyttöä työkonekoulutuksella, sekä lisätyllä informaatio ohjauksella, sekä lisäämällä CO₂ -päästövähennyksiin liittyvää tietoutta. (Kalliokoski 2021.)

Siis: Hiilidioksidipäästöjen pienentämiseen vaikuttavia keinoja.

- Työn määrän vähentäminen
 - Hyvällä työsuunnittelulla
 - Laitoksen ja louhosalueen layout optimaaliseksi
 - Tyhjäkäynnin minimoimisella
 - Ajotapaa rauhallisemmaksi muuttamalla.
- Energiatehokkaat koneet
 - Uudenlaiset työkoneet uusilla tekniikoilla
 - Oikeantyyppiset koneet oikeisiin paikkoihin.
- Uudenlaiset polttoaineet
 - Biopolttoaineet käyttöön
 - Sähköllä mahdollisimman paljon
 - Vaihtoehtoisia polttoaineita, kuten biokaasu ja vety.
- Koulutusta lisäämällä

Louhosalueen murskaustöiden CO₂-päästöjen minimoiminen ja kustannustehokkuuden maksimointi edellyttää suuria asennemuutoksia, niin yhteiskunnan, valtioiden, kuin yritystenkin. Ruduksen emoyhtiö CRH on asettanut tavoitteet, joita se noudattaa ja on jo saanut tunnustusta vastuullisuudestaan ympäristöämme kohtaan. CHR noudattaa YK:n kestävän kehityksen taktiikkaa ja Pariisin sopimuksen tavoitteita, olemalla osa ilmastomuutoksen edistämisen ratkaisua (CHR 2023). Emoyhtiönsä tavoin Rudus toimii vastuullisesti edistäen ympäristövastuuta ja onkin saanut jo tunnustusta myös kansainvälisesti. Taloudellinen vastuu edistää kustannustehokkuuden maksimointia, joka tekee yritystoiminnasta kannattavaa ja kilpailukykyistä. Eettinen ohjeisto ja käytäntesäännöt ohjaavat yritysten toimintaa parempaan tulevaisuuteen ja hiilineutraaliin yhteiskuntaan.

Lähteet

Antila, A-M. Karppinen, M. Leskelä, M. Mölsä, H. Pohjankallio, M. 2008. Tekniikan kemia. 10. painos. Helsinki. Edita Prima.

Back, M. 2023. Työmaapäällikkö. Rudus Oy. Puhelinkeskustelu. 23.02.2023.

Bioenergianeuvoja.fi. 2023. Viitattu 30.04.2023 Saatavissa [Energia-arvot ja muuntokertoimet - Bioenergianeuvoja](#)

CHR. 2023. Sustainability. Viitattu 25.09.2023. saatavissa <https://www.crh.com/sustainability/our-sustainability-framework>

CO2data. 2023a. Viitattu 04.05.2023. Saatavissa [INFRA kuljetukset R01.00.pdf \(co2data.fi\)](#)

CO2data. 2023b Viitattu 04.05.2023. Saatavissa [Infrarakentamisen päästötietokanta \(co2data.fi\)](#)

Forcit. 2023. Viitattu 07.02.2023. Saatavissa <https://forcitexplosives.fi/>

Hansen, N, H. 2022. Paljonko CO₂-päästöjä junalla matkustaminen vähentää? Tieteenkuvalehti. Viitattu 08.01.2023. Saatavissa rajoitettusti. <https://tieku.fi/luonto/ilmastonmuutos/paljonko-co2-paastoja-junalla-matkustaminen-vahentaa>

Hynninen, T. 2023. Louhinnan työpäällikkö. Rudus Oy. Sähköpostikeskustelu. 07.02.2023.

Kalliokoski, T. 2021. Työkoneiden päästövähennykset ja Green deal -sopimukset. Ympäristöministeriö. Ilmastoyksikkö. Diasarja. Viitattu 13.09.2023. Saatavissa [Ympäristöministeriön tunnussivu \(hankintakeino.fi\)](#)

Koljonen, A. 2023. Toimitusjohtaja. Veljekset Koljonen. Puhelinkeskustelu. 30.03.2023

Koneyrittäjät. 2022. Maarakennus. Viitattu 20.12.2022. Saatavissa <https://www.koneyrittajat.fi/pages/etusivu/koneyrittaejaet/jaesenet/maarakennus.php>

Keski-Luopa. M. 2020. Energian hiilidioksidipäästöjen laskenta materiaalikatselmuksissa. LAB Open. Blogi. Viitattu 04.05.2023. Saatavissa [Energian hiilidioksidipäästöjen laskenta materiaalikatselmuksissa | LAB Open](#)

Liira, K. 2023. Sustainable Solutions Manager. Neste Oy. Sähköpostikeskustelu. 31.01.2023.

Marttunen, M. 2023. Toimitusjohtaja. Marttunen Oy. Puhelinkeskustelu. 13.02.2023.

Merta, T. 2022. Purkupiha Oy:n hiilijalanjälki. LAB-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 22.03.2023. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/755132/Merta_Tiia.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Motiva Oy. 2023. Ilmastolaskurissa käytetyt oletuskertoimet ja arvot. Viitattu 20.12.2022. Saatavissa https://www.motiva.fi/files/6515/Ilmastolaskurissa_kaytetyt_oletuskertoimet_ja_arvot.pdf

Niklander, T. 2023. Toimintajärjestelmien laatupäällikkö. Rudus Oy. Keskustelu. 07.02.2023.

Open CO₂ net. 2023. CO₂-termit tutuiksi. Viitattu 04.05.2023. Saatavissa: [CO2-tietoa - OpenCO2.net](https://www.openco2.net)

Pö.fi 2023. Vertaile ja tilaa polttoöljyä. Viitattu 14.03.2023. Saatavissa <https://xn--p-1ga.fi/>

Rudus Oy. 2023. Tietoa Ruduksesta. Viitattu 13.09.2023. Saatavissa <https://www.rudus.fi/rudus-yrityksena/rudus-konserni>

Solante, A. 2023. Yksikönpäällikkö. Rudus Oy, kiviainekset betoni. Keskustelut 08.02.2023.

Suomen ympäristökeskus. 2022. Rakentamisen päästötietokanta. Viitattu 06.12.2022. Saatavissa [Rakentamisen päästötietokanta \(co2data.fi\)](https://www.co2data.fi)

ST1. 2023. Tuotteet ja palvelut. Viitattu 14.03.2023. Saatavissa <https://www.st1.fi/yksityisille/tuotteet-ja-palvelut/polttoneesteet/dieselit-ja-adblue/hvodiesel>

Tilastokeskus. 2022. Polttoaineluokitukset. Viitattu 05.04.2023. Saatavissa https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttaineluokitus.html

Venäläinen, T. 2023. Työmaapäällikkö. Rudus Oy. Puhelinkeskustelu. 21.02.2023.

Venäläinen, V. 2023. Projektinsinööri. Rudus Oy. Zoom-palaveri. 14.02.2023.

Westerlund, P. 2023. Työmaapäällikkö. Rudus Oy. Keskustelut. 13.02.2023.

WWF. 2018. Green office. Viitattu 28.12.2022. Saatavissa <https://www.wwf.fi/greenoffice/>