



Ville Mykkänen

# Porapaalutuksen hiilijalanjälkikas- kenta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

5.4.2024

# Tiivistelmä

Tekijä: Ville Mykkänen  
Otsikko: Porapaalutuksen hiilijalanjälkilaskenta  
Sivumäärä: 46 sivua + 1 liitettä  
Aika: 7.4.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Ammatillinen pääaine: Infrarakentaminen  
Ohjaajat: Lehtori Mika Räsänen  
Projektipäällikkö Niko Asikainen  
Vastaava työnjohtaja Patrik Thesleff  
Vähähiilisen rakentamisen asiantuntija Juha-Pekka Jylhä

---

Valtioneuvosto on hyväksynyt uuden rakennuslain ympäristöministeriön asetuksesta rakennusten vähähiilisyydestä ja ilmastoselvityksestä, joka on astumassa voimaan 1.1.2025. Lain tavoitteena on ohjata rakentamista vähähiiliseksi. Skanskalla on kansainvälisenä tavoitteena olla hiilineutraali vuoteen 2045 mennessä jokaisella liiketoiminta-alueellaan.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli laskea porapaalutus yksikön hiilijalanjälki, sisältäen päästöt materiaalihankinnoista, kuljetuksista ja työn teosta aiheutuvista hiilidioksidipäästöistä.

Tutkimuksessa käytettiin Excel-taulukko-ohjelmaa ja laskennat toteutettiin yhdeltä työmaalta kerätyn datan perusteella. Laskentaan käytettiin yleisesti käytettyjä päästö-tietokantoja sekä yritysten omia tietokantoja.

Työn lopuksi tutkittiin porapaalutuksen suurimpien päästölähteiden, eli teräksen ja polttoaineen päästösäästö mahdollisuuksia tulevaisuudessa olemassa olevilla sekä tulevien tuotteiden osalta.

Avainsanat: hiilijalanjälki, ilmastomuutos, hiilineutraalisuus, kasvihuonepäästöt, porapaalutus, laskenta.

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Ville Mykkänen  
Title: Calculation of the Carbon Footprint of Drilled Piling  
Number of Pages: 46 pages + 1 appendices  
Date: 7 April 2024

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Civil Engineering  
Professional Major: Infraconstruction Engineering  
Supervisors: Mika Räsänen, Senior lecturer  
Niko Asikainen, Project manager  
Patrik Thesleff, Site manager  
Juha-Pekka Jylhä, Carbon Master

---

The Government has approved a new Building Act from the Decree of the Ministry of the Environment on the low-carbon nature of buildings and the climate study entering into force on January 1, 2025. The goal of the law is to direct the construction to be low carbon. Skanska's international goal is to be carbon neutral by 2045 in each of its business areas.

The aim of the thesis is to calculate the carbon footprint of the drilling piling unit, which includes emissions from material procurement, transportation and greenhouse gases caused by the work.

The Excel spreadsheet calculation program was used in the study and the calculations were carried out based on the data collected from one construction site. Commonly used emission databases and the companies' own databases were used for the calculation.

At the end of the study, the emission saving possibilities of the largest emission sources of drilled piling, that is steel and fuel, were investigated regarding existing and upcoming products.

Keywords: carbon footprint, climate change, carbon neutrality, greenhouse gas emissions, drilled piling, calculation.

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Porapaalutustyö ja sen toteutuminen	2
2.1	Porapaalutus	3
3	Hiilijalanjälki ja ilmastonmuutos	11
3.1	Hiilijalanjälki käsitteenä	12
3.1.1	Ekologinen jalanjälki	13
3.1.2	Kasvihuonekaasut	14
3.2	Elinkaariarviointi (LCA)	17
3.3	Hiilijalanjälkilaskentaa ohjaavat menetelmät, protokollat ja standardit	19
3.3.1	ISO-standardit	21
3.3.2	GHG-protokolla	23
3.3.3	PAS-2050-standardi	25
3.4	Hiilijalanjäljen mittayksiköt	26
3.5	Hiilijalanjäljen haasteet	27
4	Porapaalutuksen hiilijalanjäljen laskenta	28
4.1	Laskennan raja	28
4.2	Käytetty laskentamalli ja ohjelmisto	29
4.3	Tietojen kerääminen	30
4.4	Laskentatulokset	34
4.5	Epävarmuuksien tarkastelu	37
4.6	Laskentamallin soveltuvuus	38
5	Hiilineutraaliuden saavuttaminen	38
5.1	Päästöjen vähennys ja välttäminen	38
5.1.1	Biodiesel	39
5.1.2	SSAB fossiilivapaan teräksen käyttö	42
5.2	Hiilineutraalisuus	45
6	Yhteenveto	46
	Lähteet	48

## Liitteet

Liite 1: Hiilijalanjätkilaskenta porapaalutus – Excel-tilulukko-ohjelma

## Lyhenteet

FAME *Fatty acid methyl ester* eli rasvahapon metyyliesteri

EPD *Environmental Product Declaration* eli ympäristöselostetta

GWP *Global warming potential* eli ominaisuuslämmitysvaikutuskertoimia

LCA *Life-cycle assessment* eli Elinkaariarviointi

RME *Rape methyl ester* eli rypsimetyyliesteri

## 1 Johdanto

Ilmastonmuutos, ekologisuus ja ympäristötehokkuus ovat termejä, joita esiintyy yhä enemmän uutisten otsikoissa ja tulevaisuuden keskusteluissa. Tämän takia rakennusala on myös kohdannut uusia haasteita ja pääsee kehittymään.

Rakentamisen ympäristöohjaus on toistaiseksi Suomessa keskittynyt rakennuskannan käytönaikaisten päästöjen vähentämiseen ja energiatehokkuuden parantamiseen. Vuonna 2018 uudisrakentamisessa siirryttiin uusien energiamääräysten myötä lähes nollaenergiarakentamiseen, jäi uudisrakentamisen energiatehokkuuteen vain niukasti varaa vähentämiselle.

Ympäristöministeriö esitti 2021 lausuntopyynnön asetuksesta rakennuksen ilmastaselvityksestä, jonka tavoitteena oli toteuttaa hallitusohjelman mukaisesti vähähiilisen rakentamisen tiekarttaa. Tämän tavoitteena oli mahdollistaa uuden rakennuksen hiilijalanjäljen raja-arvojen asettaminen vuoteen 2025 mennessä. Asetuksen tavoite oli varmistaa luotettava ja yhdenmukainen vähähiilisyys arviointi. Pyrkimyksenä ympäristöministeriöllä on tehdä arvioinnista sujuva osa normaalia rakennussuunnittelua sekä mahdollistaa tietomallipohjaisen suunnittelun tuoma arvioinnin sujuvuus.

Eduskunta hyväksyi rakentamislain (751/2023) 1.3.2023 ja laki vahvistettiin 21.4.2023. Rakentamislaki tulee voimaan 1.1.2025. Ympäristöministeriön valmisteilla olevassa rakentamisen ohjauksessa on otettu tarkasteluun ennen kaikkia rakennuksen elinkaaren alku- ja loppupää, eli rakennusmateriaalien valmistus, rakennusjätteen synnyn ehkäisy, rakentaminen ja kierrätys.

Skanskalla on kansainvälisenä tavoitteena olla hiilineutraali vuoteen 2045 mennessä jokaisella liiketoiminta-alueellaan. Skanskan tavoite sisältää omien päästöjen lisäksi hankkeiden arvoketjuissa syntyvät päästöt. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on laskea Skanska Infra Oy:n porapaalutusyksikön työn hiilijalanjälki

ja tutkia mahdollisia tapoja vähentää päästöjä. Opinnäytetyö rajattiin materiaali-hankintoihin, kuljetuksiin sekä rakentamisvaiheesta syntyvät päästöihin.

Työssä selvitetään, mitä toimia pitää ottaa myös huomioon, jotta yritys saisi vähennettyä omia päästöjään tulevaisuudessa ja näin saisi omaa hiilijalanjälkeään sitä kautta pienennettyä.

## **2 Porapaalutustyö ja sen toteutuminen**

Skanska Infra Oy on yksi merkittävimmistä toimijoista pohjarakentamisessa Suomen rakennusosalalla. Porapaalutusyksikkö asentaa infra- sekä rakennustyömaille porapaalutuksia, joiden varaan voidaan perustaa rakenteita kuten siltoja tai rakennuksia sekä tukiseiniä eri työmaarakentamisvaiheisiin tai pysyviin ratkaisuihin.

Porapaalutus- ja tukiseinäyksikkö on erikoistunut nimensä mukaisesti työtehtäviin ja on kokoluokaltaan pieni yksikkö osa suurempaa Skanska Infra Oy:tä, jonka vuoksi se toimii pääasiallisesti muiden toimijoiden aliurakoitsijana. Yksikkö toteuttaa pienpaalutuksia, sekä toteuttaa tukiseiniä sekä niiden ankkurointeja monilla eri menetelmillä, omalla kalustolla ja usean kalusto yksikön voimin.

Nykyisellä kalustolla porapaalutusyksikkö asentaa RD porapaaluja, jotka ovat halkaisijaltaan 115–400 mm, joiden teräsputkien seinämän vahvuus vaihtelee 6,3–12,5 mm välillä. Teräslajeina tällä hetkellä käytössä on S440J2H – S550J2H terästä, riippuen suunnitelmista. Tämän hetken kalustolla kyetään poraamaan monessa paikassa, pienimmillä niin sanotuilla ”kellarikoneilla” pääsemään ahtaisiin ja mataliin paikkoihinkin poraamaan, yksikön pienin kone painaa tyhjänä vain 1500 kg, sekä mahtuu kulkemaan kuljettaessa 1500 mm korkeasta ja 800 mm leveästä aukosta. Tällä hetkellä yksikön uusimmilla Liebherr/SPD koneella taas kyetään poraamaan näillä 400 mm teräsputkia haluttuun syvyyteen.



Porapaalutusten lisäksi yksikkö toteuttaa stabilointeja ja tukiseiniä erilaisiin kaivantoihin. Nykyisellä kalustolla voidaan toteuttaa kaikenlaiset tukiseinärakenteet, niin teräsponsittiseinät, settiseinät, porapaaluponttiseinät sekä kaivinpaaluseinät ja näiden ankkuroinnit. [5.]

## 2.1 Porapaalutus

Porapaalutusta käytetään kaikentyyppisessä perustusrakentamisessa, kun tarvitaan nopea ja ennen kaikkea varma perustusratkaisu. Porapaalujen varaan voidaan perustaa rakenteita kuten siltoja tai rakennuksia sekä tukiseiniä eri työmaarakentamisvaiheisiin tai pysyviin ratkaisuihin. Porapaaluja käytetään Suomessa kallioon tukeutuvina tukipaaluina, jolloin voidaan käyttää tehokkaasti hyväksi materiaalin lujuus.

Porapaalua käytettäessä saavutetaan erinomainen kantavuus vähäisin kaltevuus- ja sijaintipoikkeamin välttämällä sekä puristus- ja vetojännityksiä. Vetojännityksiä syntyy tyypillisesti siltakohteissa jarrukuormista, jääkuormista ja törmäyskuormista sekä riippu- ja vinoköysisilloissa jo rakenteen omasta painosta. Vetojännityksiä syntyy myös esimerkiksi kohteista, joita ovat tuulivoimalat ja korkeat piiput.

Suomessa maaperä on kompleksinen: jääkauden jälkeiset savikerrostumat yhdessä soran, hiekan, moreenikerrosten ja erittäin kovan peruskallion kanssa muodostavat erittäin haastavan pohjan kaikentyyppiselle perustusrakentamiselle. Porapaalu erityisesti soveltuu rakennuspaikkoihin, joissa on voimakkaasti viettävä kalliopinta, vaikeasti läpäistäviä maakerroksia tai ympäröivät rakenteet ovat herkkiä tärinälle.

Porapaalutuksessa teräksinen maaputki viedään maakerroksista läpi suunniteltuun kalliosyvyyteen poraamalla paalun alapää ehjään peruskallioon. Teräsputki jatketaan jatkosholkilla tai hitsaamalla. Paalu mahdollisesti betonoidaan betonilla tai juotoslaastilla parantaakseen teräksen korroosiokestävyyttä. Tarvittaessa asennetaan raudoite paaluun, jolloin paalu toimii osana rakennetta.

Suomessa porapaalut asennetaan iskevällä porausmenetelmällä, joka perustuu neljään pääkomponenttiin, pyörytykseen, iskuun, syöttövoimaan ja huuhteluun.

Porapaaluja poratessa käytettävä kalusto koostuu, poravaunusta, joko pääl-  
tälyövästä kalustosta tai uppoporauskalustosta ja paineilmakompressorista. Mo-  
lemmat porauskalustot soveltuvat joko keskeiseen tai epäkeskeiseen poraus-  
menetelmään. Suomessa selvästi yleisin tapa porata on keskeisellä porausme-  
netelmällä uppoporaamalla. Tällä porausmenetelmällä tehdään työt nykyään lä-  
hestulkoon aina, koska epäkeskeinen menetelmä on huomattavasti hitaampaa,  
kysyntä porapaalutuksiin on siirtänyt porapaalutusmenetelmän keskeiseen po-  
rausmenetelmään uppoporaamalla.



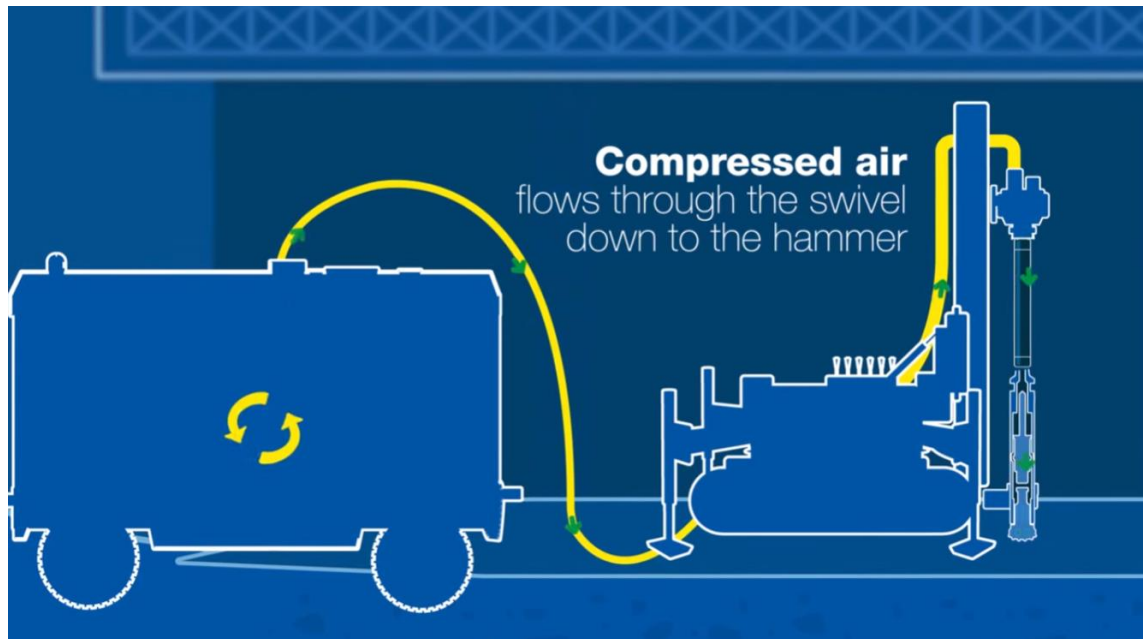
Kuva 1: Ylempänä päältälyövä porakalusto ja alempana uppoporaus kalusto (<https://www.inderes.fi/files/4419fe60-65d1-4c83-b48b-ed09d8714d4f> )

Päättälyövässä kalustossa iskuvasara on maanpinnan yläpuolella, isku välittyy porakangilla paalun alapäähän porakruunulle. Menetelmässä käytetään yleensä hydraulivasaraa. Tämän menetelmän etuna on se, että lyöntiä voidaan tarvittaessa suunnata myös ylöspäin. Se on tarpeellista silloin, kun porausputkea tarvitsee nostaa ylöspäin. Päättälyövää kalustoa käytettäessä maan häiriintyminen on vähäisempää.



Kuva 2: Porapaalutuksessa käytetty kalusto, muokattu sivulta (<https://www.ro-bitgroup.com/tuotteet/selaa-tuotteita/?a=paalutus> )

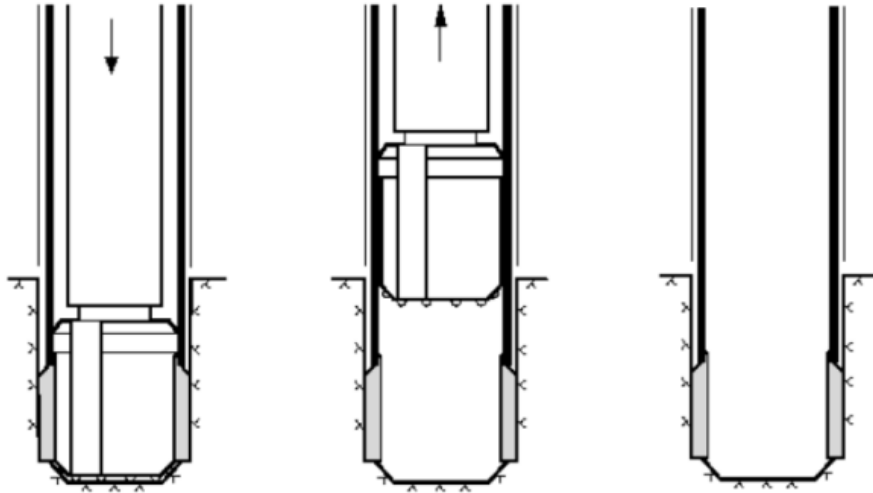
Uppoporauskalustossa vasara on porapaalun sisällä pilottikruunun yläpuolella. Vasara pyörii ja iskee pilotti- ja avarrinkruunua, jotka toimivat yksikkönä reiän pohjalla. Etuna uppoporauskalustolla on parempi hyötysuhde, joka mahdollistaa syvempien reikien porauksen verrattuna päättälyövään kalustoon. Uppoporausella tunkeutumisnopeus on päättälyövää tasaisempaa, ja paalusta tulee myös useimmiten suurempi. Uppoporauskaluston etuna on myös, että sillä voidaan porata jopa halkaisijalta 1500 mm porausputkea. [16.]



Kuva 3: Paineilma tuo energian porauskalustolle (kuvakaappaus: <https://min-con.com/products/dth-hammers/> )

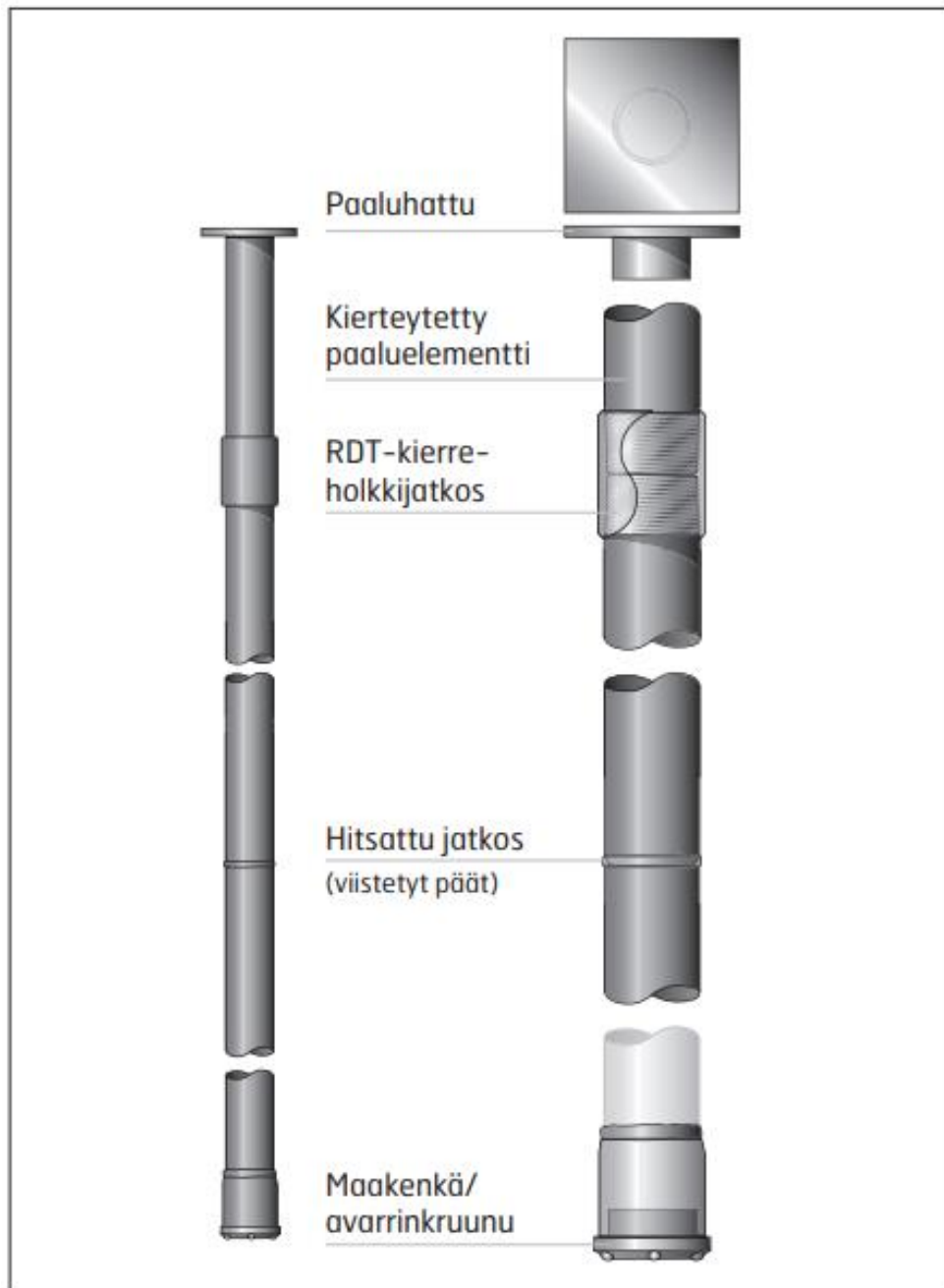
Uppoporausessa keskeisellä porausmenetelmällä paineilmakompressori tuottaa paineen poravaunun kautta poravasarelle, joka iskee ja pyörittää pilottia saman aikaisesti. Pilottikenkä pyörii ja lyö joko avarrinkruunua tai maakenkää riippuen teräsmallista. Maakenkä mikä on hitsattu paaluputkeen kiinni, vetää porauksessa paalua mukanaan. Avarrinkruunu pyörii samalla pilottikruunun kanssa ja laajentaa porausreikää suuremmaksi kuin porausputki.

Kun tavoitesyvyys on saavutettu, irrotetaan pilottikruunu avarrinkruunusta ja nostetaan ylös. Avarrinkruunu jää porausreikään. Tarvittaessa porausta voidaan jatkaa kallioporauksena.



Kuva 4: Keskeisen porausmenetelmän periaatekuva  
(<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/22889/Ahomies.pdf?sequence=3>)

Tässä menetelmässä etuna on pienemmät porauspoikkeamat sekä helpompi ja nopeampi poraussuoritus. Menetelmän etuna on myös isojen paalukokojen porauksen mahdollisuus.



Kuva 5. SSAB:n RD-pienpaalun rakenne. (<https://www.ssab.com/fi-fi/brandit-ja-tuotteet/terasluokat/teraspaalet-ja-paineputket/ladattavat-tiedostot> )

SSAB:n valmistamat porapaalut voidaan jatkaa joko hitsaamalla tai holkkisella kartiokierre-jatkoksella.

Porattava teräsputki toimii asennettaessa porausputkena ja valmis paalu kalli-  
oon tukeutuneena kantavana rakenteena. Porauksen jälkeen teräsputki huu-  
dellaan paineilmalla ja vedellä, tarvittaessa raudoitetaan ja valetaan. Paineilma  
kompressori on tärkeä osa porauskalustoa. Uppovasaroiden ajamiseen sekä  
maaputken huuhteluun tarvittava korkeapaine ilma voi nousta riippuen käyte-  
tystä kalustosta jopa yli 30 baariin. Porapaalutuksessa vasaran mäntää liikute-  
taan paineilmalla alas ja ylös, jolloin se lyö kallio- tai pilottikruunua, joiden kova-  
metallinastat rikkovat kiven yhdessä poratankojen välittämän pyöritys ja syöttö-  
voiman poravasaralle kanssa. Poravaunu ja paineilmakompressori käyttää  
energianlähteenä dieseliä. Paineilmaa tarvitaan myös yhdessä veden kanssa,  
kun puhalletaan paalu puhtaaksi porauksen jälkeen. [16] [18] [33.]





Kuva 6: Työmaalla teräspaaluun hitsattu maakenkä ja avarrin

### **3 Hiilijalanjälki ja ilmastonmuutos**

Siellä missä energiaa kuluu, syntyy myös päästöjä. Porapaalutuksessa päästöt syntyvät materiaalihankinnoista, joita ovat teräs ja betoni, kaluston ja teräksen

kuljetuksista, sekä rakentamisesta aiheutuvista päästöistä, joita ovat vesi ja polttoaine. Yrityksen hiilijalanjäljen tietäminen on tärkeä osa ympäristönsuojelua, sillä tämä tarjoaa tavan vertailla erityyppisten kansakuntien, organisaatioiden ja teollisuusalojen tuottamien hiilipäästöjen määrää. Organisaatioita se myös auttaa ymmärtämään niiden vaikutusta ympäristöön ja auttaa löytämään toimenpiteitä, joita on toteutettava luonnonvarojensa suojelemiseksi. Tämä on yksi tehokkaimmista tavoista seurata vaikutusta ilmastonmuutokseen.

Hiilijalanjäljestä ja ilmaston muutoksesta on tullut yleisiä keskustelunaiheita, silti molempia ymmärretään edelleen varsin huonosti. Aiheeseen liittyy monia väärinkäsityksiä ja uskomuksia. Hiilijalanjälkeen vaikuttavat lähestulkoon kaikki ihmisen toimet, ja sitä onkin arvioitava sekä henkilökohtaisella että kansallisella tasolla. Ilmaston muutos uhkaa luontoa ja ihmisiä.

### 3.1 Hiilijalanjälki käsitteenä

Hiilijalanjälki on mitta, jolla mitataan organisaation, tapahtuman, tuotteen tai yksilön suoraan ja välillisesti aiheuttamien kasvihuonepäästöjen kokonaismäärää. Hiilijalanjälki on ihmisen toiminnan johdosta syntyvien kasvihuonekaasujen määrä. Se on hyödyllinen väline ymmärtää ympäristövaikutustamme. Sitä voidaan käyttää myös vertailukohtana eri toimintojen välillä. Sillä voidaan selvittää, mitkä toiminnot auttavat pienentämään hiilijalanjälkeämme planeetalla ja mitkä toimet ovat ympäristöystävällisempiä.

Termi ”hiilijalanjälki” syntyi vuonna 1988, vaikka käsite on ollut olemassa ainakin jo 1960-luvulta lähtien. Ajatus on yksinkertainen, jos haluat vähentää vaikutustasi ilmaston hyväksi, sinun on lopetettava hiilidioksidipäästöjen lisääminen ilmakehään. Ongelmana on hiilidioksidin näkymättömyys, mistä siis tietäisimme, mikä aiheuttaa sen? [3.]

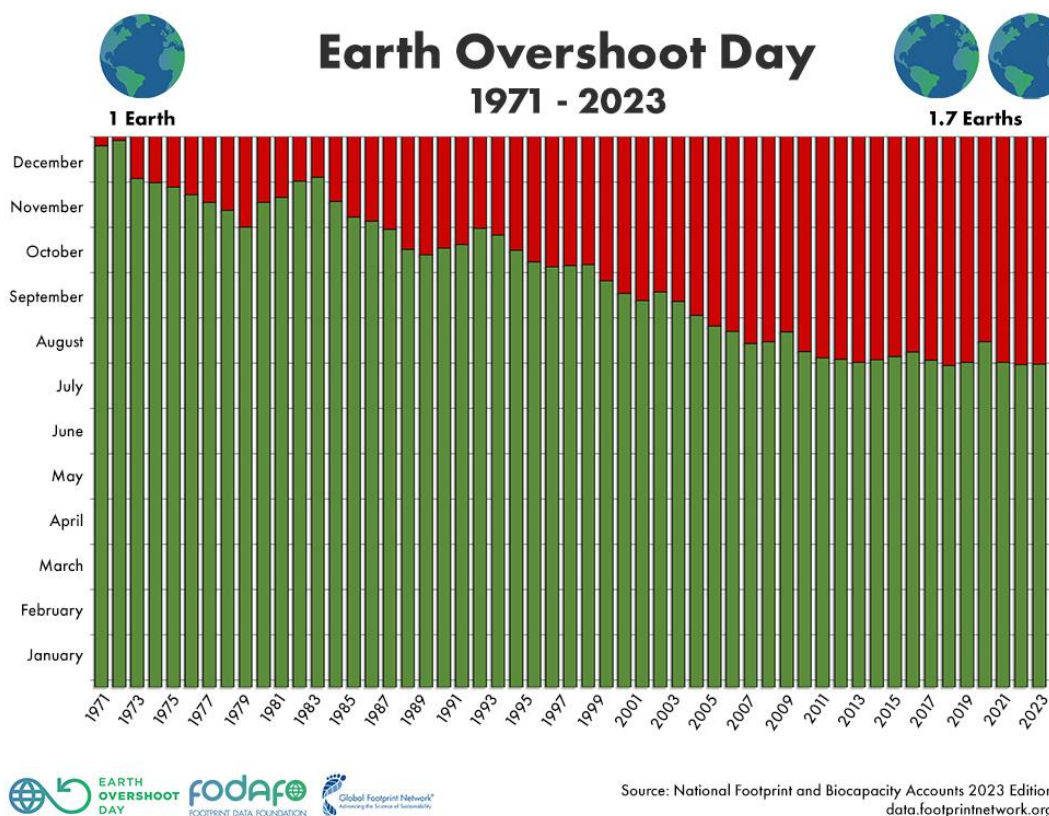
Hiilijalanjäljestä on hyvä tietää, että se on vuoden aikana ihmisen ilmakehään päästämien hiilidioksidin, metaanin ja monien muiden kasvihuonekaasujen kokonaismäärä [7].

### 3.1.1 Ekologinen jalanjälki

Ekologinen jalanjälki kuvaa, kuinka suuri maa tai vesialue vaaditaan ihmiskunnan materiaalien, energian ja ravinnon tuottamiseen, sekä niistä syntyneiden päästöjen ja jätteiden käsittelyyn tarvitaan. Ekologisen jalanjäljen pyrkimys on osoittaa, kuinka paljon ihmiskunta kuluttaa resursseja tällä hetkellä yli maapallon kantokyvyn.

Ekologinen jalanjälki on termi, jota käytetään mittarina kestäväälle kehitykselle. Se voidaan laskea esimerkiksi tuotteen, kotitalouden, ihmisen, kaupungin tai valtion tasolla. Yleensä ekologista jalanjälkeä mitataan globaalihehtaareina (gha). Yksi globaalihehtaari tarkoittaa hehtaarin kokoista aluetta, jonka tuottavuus vastaa maapallon keskiarvoa. Ekologista jalanjälkeä voidaan esittää myös ilmaisemalla maapalloissa. Näin yksi maapallo vastaa biokapasiteettia maailmalla kyseisenä vuonna. Tällä hetkellä koko maailman väestön kulutus vastaa 1,7 maapalloa.

Ekovelkapäivällä (Earth Overshoot Day) kuvataan, milloin maapallon vuosittainen kantokyky on ylittynyt. Ekovelkapäivällä havainnollistetaan vuosittaista maapallon kulutuksen ja kapasiteetin suhdetta. Tämä on laskennallinen vuorokaudenpäivä, jolloin ihmiskunnan kulutus ylittää maapallon ekosysteemin kestävä biologisen tuotannon. Vuonna 1970 ekovelkapäivä oli 23 joulukuuta, kun viime vuonna 2023 ekovelkapäivä oli 2 elokuuta.



Kuva 7: Maapallon kulutuksen ja kapasiteetin suhde (<https://overshoot.footprint-network.org/> )

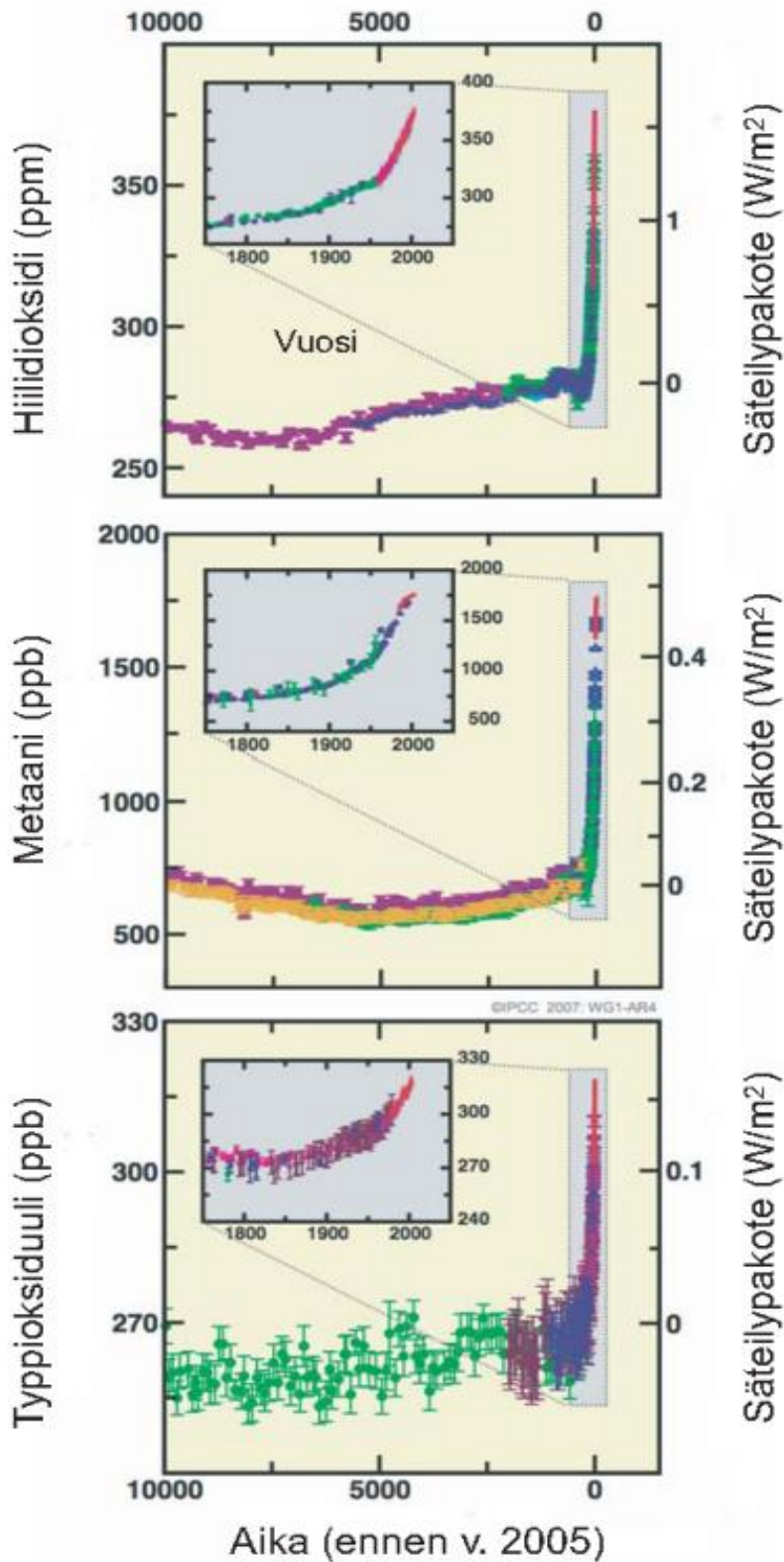
Jokainen voi omilla valinnoillaan vähentää maapallon kuormitusta, ja näin ekologisen jalanjäljen suuruutta, esimerkiksi vähentämällä autoilua, asumalla tiiviimmin, kuluttamalla vettä vähemmän, syömällä enemmän kasvisruokaa ja suosimalla ekologisia ja kestäviä kulutustuotteita. [10.]

### 3.1.2 Kasvihuonekaasut

Ihmiskunta lämmittää tällä hetkellä maapalloa nopeasti päästämällä ilmakehään lisää kasvihuonekaasuja. Ihmisen aiheuttama kasvihuonekaasujen pitoisuuden kasvaminen johtaa kasvihuoneilmaston kasvamiseen, eli ilmastonmuutokseen. Tärkeimmät ilmakehässä luonnostaan esiintyvistä kasvihuonekaasuista ovat vesihöyry (H<sub>2</sub>O), metaani (CH<sub>4</sub>), hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), dityppioksidi (N<sub>2</sub>O) ja troposfäärin otsoni (O<sub>3</sub>). Ilmakehän valta-kaasut happi ja typpi eivät aiheuta kasvihuoneilmiötä. Kasvihuonekaasujen molekyylin rakenne on sellainen, että ne

kykenevät tietyillä aaltopituuksilla imemään lämpösäteilyä. Kasvihuonemolekyylit kykenee muuttamaan saamansa energian uudelleen säteilyksi, osa säteilyn energiasta karkaa avaruuteen ja osa palaa takaisin maan pintaa lämmittämään.

Voimakkain kasvihuonekaasu ilmakehän alimmassa kerroksessa on vesihöyry, joka itsessään selittää luonnollisen kasvihuoneilmaston aiheuttamasta maapallon lämmityksestä yli puolet. Toisena seuraa hiilidioksidi. Kasvihuonekaasuja ovat myös niin sanotut F-kaasut kuten perfluorivedyt, fluorihilivedyt ja rikkiheksafluoridi. Fluorattuja kasvihuonekaasuja eli F-kaasuja käytetään kylmäaine jäähdytys-, ilmastointi-, lämmönsiirto- ja lämpöpumppulaitteistoissa. F-kaasut lämmitävät voimakkaasti ilmastoa ja niitä ei saa päästää ilmakehään.



Kuva 8: Typpioksidin, metaanin ja hiilidioksidin pitoisuuksien vaihtelu ilmakehässä kuluneen 10000 vuoden aikana, pieni kuva kuvaa vuodesta 1750 nyky-päivään (<https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/globalit-paastovahennyskeinot>)

Ilmakehässä luonnostaan esiintyvien kasvihuonekaasujen määrää lisäävät koko ajan ihmiskunnan päästöt. Edellisestä kuvasta nähdään kuinka parin viime vuosisadan aikana hiilidioksidin, dityppioksidin ja metaanin määrät ovat kasvaneet. Ilmaston lämmitessä vesihöyryn määrä kasvaa väistämättä, joten voidaan ajatella, että muiden kasvihuonekaasujen päästöt lisäävät epäsuorasti vesihöyryn määrää. Edellisen kuvan arvot perustuvat jäätikkökairausten tuloksiin. Hiilidioksidin määrää on merkitty tilavuuden miljoonasosina (ppm), muiden kaasujen tilavuutta miljardisosina (ppb). [11], [12], [13.]

### 3.2 Elinkaariarviointi (LCA)

Elinkaariarviointia (LCA) käytetään monimutkaisten arvoketjujen tutkimiseen ymmärtääkseen niiden ympäristövaikutusta. Elinkaariarviointi on tärkeä tukiväline päätöksentekoon, jota viranomaiset, yritykset, tutkijat ja päättäjät käyttävät ihmisten toiminnasta aiheutuvien kriittisten ympäristövaikutusten tunnistamiseen, sekä näiden lieventämiseen. Kaikenkattava elinkaariajattelu on Suomen ympäristökeskuksessa tehdyn tutkimuksen peruspilareita.

LCA on menetelmänä vakiintunut, tämän avulla selvitetään useita ympäristövaikutuksia samanaikaisesti. LCA on ISO-standardoitu ja vakiintunut menetelmä analysointiin, jolla saadaan samanaikaisesti määritettyä useita ympäristövaikutuksia, jotka aiheuttavat palvelun tai tuotteen koko elinkaaren ajalta. LCA on työkalu, jolla arvioidaan eri toimijoiden päätöksiä tai näihin vaikuttavien tekijöiden määrittelyyn.

Palvelun tai tuotteen elinkaari voi olla monimutkainen, alkaen itse raaka-aineesta prosessointiin ja tuotantoon, kaupan hyllyltä käyttäjälle päättyen lopuksi poistoon tai kierrätykseen. Samalla eri vaiheissa vaikuttavat monet tekijät, kuten veden ja sähkön kulutus sekä kuljetus. Nämä kaikki on otettava huomioon elinkaariarvioinnissa.





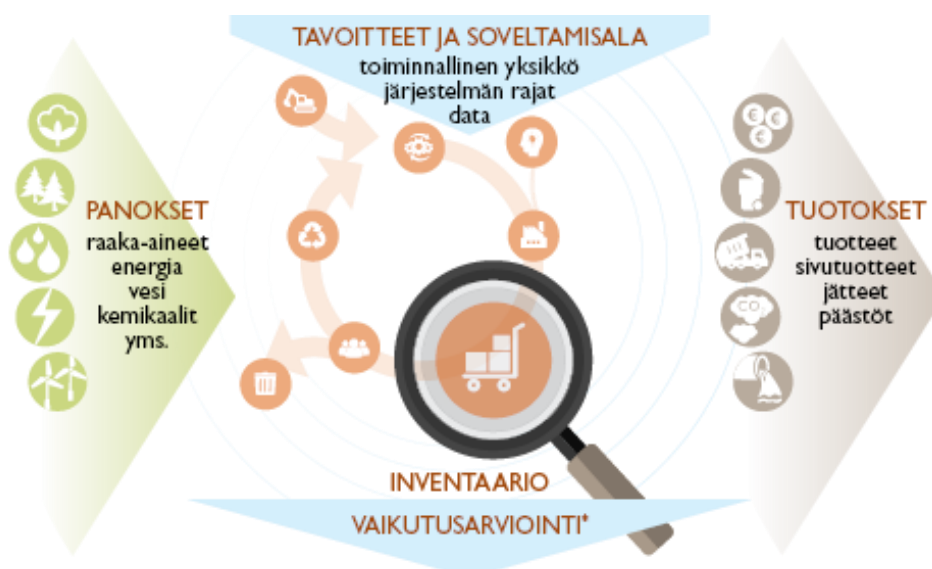
Kuva 9: Tuotteiden tai palveluiden elinkaariarviointi voi olla monimutkaista (<https://www.syke.fi/elinkaariarviointi> )

Elinkaariarviointi koostuu neljästä vaiheesta, soveltamisalan ja tavoitteiden määrittely, vaikutusarviointi, inventaarioanalyysi ja tuloksen tulkinta. Kattamalla koko elinkaaren ja ottaen huomioon samanaikaisesti useita ympäristövaikutuksia, vältetään siirtämästä ongelmia eri vaikutusten välillä ja arvoketjun sisällä.

Lähtötietojen kerääminen, eli inventaarioanalyysi on iso osa LCA-tutkimusta, siinä kootaan yhteen analysoitavan järjestelmän tuotokset ja panokset. Panoksia ovat esimerkiksi raaka-aineet vesi ja energia, tuotoksia taas päästöt, jätteet ja sivutuotteet.

Tyypillisimmät esimerkit vaikutuskategorioista, missä ympäristövaikutuksia arvioidaan, ovat esimerkiksi toksisuus, rehevöityminen, ilmastonmuutos, luonnonvarojen käyttö, pienhiukkaset, happamoituminen, maankäyttö ja otsonikato.





Kuva 10: Palvelun tai tuotteen elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia voidaan arvioida datainventaarion avulla. (<https://www.syke.fi/elinkaariarviointi> )

### 3.3 Hiilijalanjälki laskentaa ohjaavat menetelmät, protokollat ja standardit

Hiilijalanjälkilaskenta perustuu kahteen muuttujaan, aktiviteettiin ja päästökertoimeen. Aktiviteettimuuttuja on mitä tahansa toimintaa, josta syntyy päästöjä. Aktiviteetin arvo voidaan ilmoittaa esimerkiksi kilogrammoina, kilowattitunteina tai tonninkilo-metreinä.

Päästökerroin on toiminnan intensiteetti. Kasvihuonekaasupäästöjen määrää ilmaistaan hiilidioksidiekvivalentteina, eli päästöjen yhteismitalla, tämän avulla pystytään laskemaan yhteen eri kasvihuonekaasujen vaikutuksia.

Päästökertoimet muodostetaan matemaattisesti erilaisten artikkeleiden, tutkimusten ja raporttien avulla. Asiantuntija käy kirjallisuutta läpi ja mallintaa tuotteiden päästökertoimia, eli laskee, kuinka paljon päästöjä syntyy. Asiantuntijoiden mallinnusten lisäksi voidaan laskennassa käyttää myös yleisiä tietokantoja, jotka sisältävät erilaisia päästökertoimia. [7.]

Ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen ilmastaselvityksestä mukaan rakennesuunnittelijan, pääsuunnittelijan ja erityissuunnittelijan on tehtäviensä

mukaisesti arvioitava laajamittaisesti korjattavan tai uuden rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki ( $C_{\text{jalanjälki}}$ ). Ennen rakennuksen käyttöä, käytön aikana sekä käytön jälkeen aiheutuvien eloperäisten sekä fossiilisten kasvihuonepäästöjen ( $\text{kgCO}_2\text{e}$ ), sekä näiden poistumat on laskettava seuraavalla kaavalla:

$$C_{\text{jalanjälki}} = GWP_{\text{valmistus}} + GWP_{\text{vaihdot}} + GWP_{\text{jätteenkäsittely}} + GWP_{\text{loppusijoitus}} + GWP_{\text{kuljetukset}} + GWP_{\text{työmaa}} + GWP_{\text{käyttöenergia}}$$

- $GWP_{\text{valmistus}}$  on rakennustuotteiden raaka-aineiden hankinnasta (A1), niiden kuljetuksista (A2) ja valmistuksesta (A3) aiheutuva kasvihuonekaasujen nettopäästö
- $GWP_{\text{vaihdot}}$  on rakennustuotteiden vaihdoista aiheutuva kasvihuonekaasupäästö (B4).
- $GWP_{\text{jätteenkäsittely}}$  on rakennustyömaalla (A5), rakennustuotteita vaihdettaessa (B4) ja purkutyömaalla (C3) syntyvän rakennus- ja purkujätteen käsittelystä aiheutuva kasvihuonekaasupäästö.
- $GWP_{\text{loppusijoitus}}$  on rakennus- ja purkujätteen loppusijoituksesta aiheutuva kasvihuonekaasupäästö (A5, B4, C4).
- $GWP_{\text{kuljetukset}}$  on rakennustuotteiden kuljetuksista valmistuspaikalta rakennustyömaalle (A4, B4) ja rakennus- ja purkujätteen kuljetuksista purkupaikalta jätteenkäsittelyyn aiheutuva kasvihuonekaasupäästö (A5, B4, C2).
- $GWP_{\text{työmaa}}$  on rakennustyömaalla (A5), rakennustuotteita vaihdettaessa (B4) ja purkutyömaalla (C1) kulutetusta energiasta aiheutuva kasvihuonekaasupäästö.
- $GWP_{\text{käyttöenergia}}$  on rakennuksen käytön aikana kulutetusta energiasta aiheutuva kasvihuonekaasupäästö (B6) [1].

Elinkaaren vaihe																		
A1-A3			A4-A5		B1-B8								C1-C4				D	
Tuotevaihe			Rakentamisvaihe		Käyttövaihe								Elinkaaren loppuvaihe				Potentiaaliset hyödyt ja haitat	
Raaka-aineiden hankinta			Rakentaminen ja asentaminen														Tuotejärjestelmän ulkopuoliset hyödyt ja haitat, uudelleen-	
Kuljetus																	käyttö, kierrätys, energiakäyttö ja muu talteenotto	
Valmistus																	Hyödykkeiden vieminen toiseen tuotejärjestelmään	
Kuljetus																		
Käyttö																		
Kunnossapito																		
Korjaaminen																		
Uusiminen																		
Laajamittainen korjaaminen																		
Energian käyttö																		
Veden käyttö																		
Käyttäjien hyödyntäminen																		
Purkaminen																		
Kuljetus																		
Käsittely																		
Loppusijoitus																		
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	D1	D2

Kuva 11: Elinkaaren vaiheet [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavrasto/vo\\_2023-43\\_vahahiilisyyden\\_arviointimenetelma\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavrasto/vo_2023-43_vahahiilisyyden_arviointimenetelma_web.pdf)

### 3.3.1 ISO-standardit

Tärkeimmät raamit hiilijalanjälkilaskennalle ja elinkaarilaskennalle määrittelevät kansainväliset ympäristöstandardit, eli ISO-standardit. ISO-standardien tarkoituksena on luoda maailmanlaajuisille markkinoille yhteisiä pelisääntöjä. Hiilijalanjälkilaskentaa ohjaa ISO 1400 -standardisarja. Tämä sarja keskittyy ympäristön suojelutason parantamiseen ja ympäristöasioiden hallintaan. Sen avulla organisaatio pystyy tavoitteellisesti ja kokonaisvaltaisesti parantamaan ympäristöasioidensa hallintaa sekä edistää kestävästä kehitystä. Standardit soveltuvat kaikenkokoisille organisaatioille eri toimialoilla, niin julkisella kuin yksityisellä sektorilla.

ISO 1400 -sarjan standardit sisältävät:

- Suunnittelun ja tuotekehityksen ympäristönäkökohdat
- Ympäristöjärjestelmät
- Ympäristömerkinnät
- Elinkaariarviointi
- Ympäristösuojelun tason arviointi
- Materiaalivirtojen kustannusanalyysi
- Tuotteiden vesi- ja hiilijalanjälki
- Ympäristöviestintä
- Ilmastonmuutokseen sopeutuminen
- Ympäristöviestintä
- Kasvihuonepäästöjen hallinta
- Ympäristöauditoinnit ja tarkastukset.

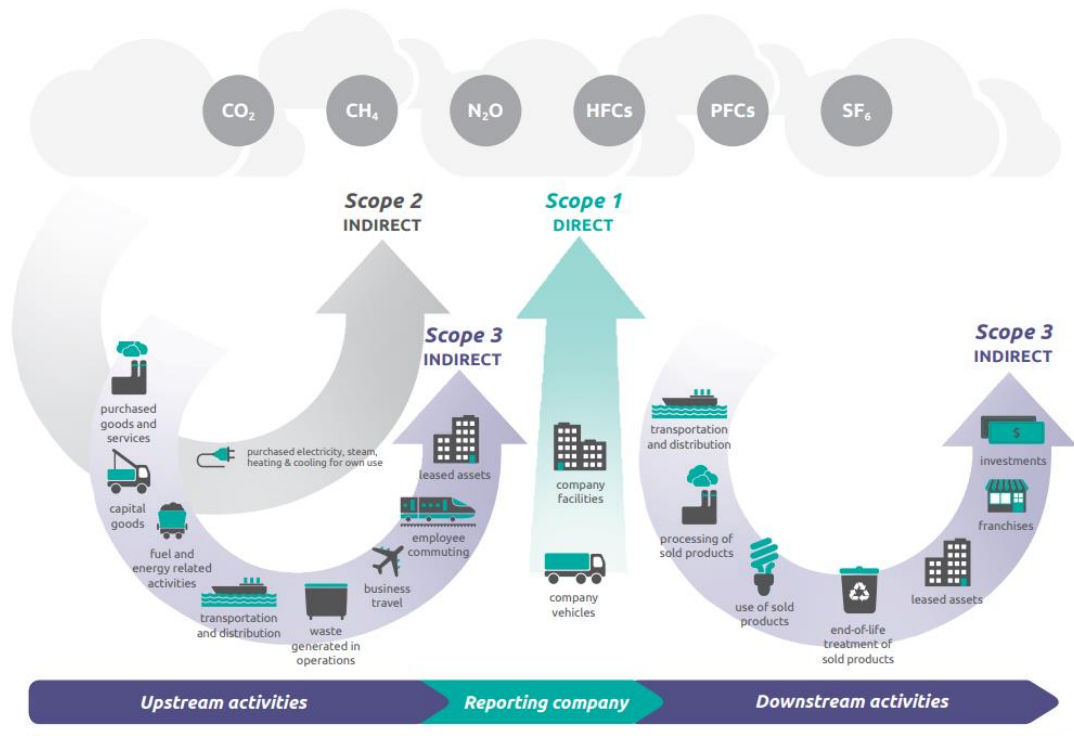
EU-tasolla on myös tehty tarkempia ohjeistuksia hiilijalanjälkilaskennalle. Euroopan komissio on kehittänyt tuotteiden ympärille ympäristöjalanjälkimenetelmän (PEF eli Product Environmental Footprint). PEF ohjaa tuotteiden koko elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten arviointia. Tämä ohjeistaa, kuinka tuotteen ympäristövaikutukset mallinnetaan. Tuotteen ympäristöjalanjälki koostuu kuudesta ympäristövaikutusluokasta. PEF-ohjeessa määritellään vaikutusarviointimallit jokaiselle ympäristövaikutusluokalle, ja määritellään, minkälaisia lähtötietoja eri tuoteryhmille vaaditaan. [6][17.]

### 3.3.2 GHG-protokolla

GHG-protokolla (Greenhouse Gas) on yleisimmin käytetty laskentatapa. GHG-protokolla on maailmanlaajuinen raportointi- ja laskentastandardi päästöjen määrittämiseen. GHG-protokollan tavoite on antaa yhtenäinen rakenne päästöjen laskentaan ja raportointiin. Menetelmä määrittelee raportoinnissa periaatteena koskien seitsemää kasvihuonekaasua. Eri kasvihuonekaasujen mittaamiseen käytetään GWP:tä (global warming potential) eli ominaisuuslämmityskerroimia.

GHG-protokolla luokittelee kolmeen luokkaan organisaation toiminnasta aiheutuvat päästöt kolmeen luokkaan, (Scope 1, 2 ja 3 -päästöt), joiden tarkoituksena on tarkentaa ihmisille, mitä vaiheita arvoketjussa on päästölaskentaan mukaan otettu.

- Scope 1: Kattaa organisaation tai yrityksen suorat päästöt, jotka syntyvät omasta energiantuotannosta ja organisaation hallinnoimista ja omistamista ajoneuvoista.
- Scope 2: Ostoenergiasta (sähkö, jäähdytys ja lämpöhöyry) aiheutuvat päästöt.
- Scope 3: Kaikki organisaation tai yrityksen toimintaan liittyvät epäsuorat päästöt, jotka aiheutuvat päästölähteistä, jotka eivät ole organisaation tai yrityksen omistuksessa tai hallinnassa. Scope 3 -päästöt jaetaan Downstream- ja Upstream-päästöihin.



Kuva 12: GHG-protokolla toimintaperiaate ([https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard\\_041613\\_2.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613_2.pdf))

Scope 3 Downstream -päästöt sisältävät palveluiden ja myytyjen tuotteiden käytöstä syntyvät päästöt ja ne jaotellaan seuraaviin luokkiin:

- Jakelu ja kuljetukset.
- Myytyjen tuotteiden prosessointi.
- Myytyjen palveluiden ja tuotteiden käyttö.
- Myytyjen palveluiden ja tuotteiden käytöstä poisto.
- Ulos vuorattu omaisuus.
- Franchising.
- Sijoitukset.

Scope 3 Upstream -päästöt sisältävät hankittujen palveluiden ja tuotteiden valmistuksesta syntyvät päästöt ja ne jaotellaan seuraaviin luokkiin:

- Ostetut palvelut ja tuotteet.
- Käyttöomaisuus.
- Energiaan ja polttoaineisiin liittyvät toiminnot, jotka eivät sisälly Scope 1- tai Scope 2 -päästöihin.
- Jakelu ja kuljetukset.
- Jätteet.
- Liikematkustus.
- Työmatkaliikenne.
- Itselle vuokrattu omaisuus.

[8.]

### 3.3.3 PAS-2050-standardi

PAS-2050 (Publicly Available Standard) on hyvin samankaltainen kuin GHG-protokolla, PAS-2050-standardin on tuottanut BSI (British Standards Institute). PAS-2050:n tavoitteena on tarjota riittävän tarkka, mutta helposti käytäntöön sovellettavissa oleva ohjeistus hiilijalanjäljen laskennalle. Kohderyhmä tälle standardille on kaikenlaiset yritykset ja näiden kaikenlaiset tuotteet. PAS-2050 sisältää ohjeita, miten tulisi järjestelmän rajaus toteuttaa, että se auttaa vähentämään eri laskentamallien eroavaisuuksia.

PAS-2050 pyrkii hiilijalanjäljen laskemisessa elinkaariarviointiin, tämän lisäksi PAS-2050:tä ohjaa viisi periaatetta, täydellisyys, merkityksellisyys, johdonmukaisuus, täsmällisyys ja läpinäkyvyys. PAS-2050 nojaakin pitkälti ISO 14067 -standardiin, josta nuo viisi periaatetta ja lähestymistavat tulevat.

PAS-2050 laskee hiilijalanjäljen tuotteelle tai palvelulle viiden vaiheen kautta, nämä ovat

- Prosessikartan laatiminen
- Rajausten ja tärkeysjärjestyksen määrittäminen
- Tiedonkeruu
- Hiilijalanjäljen laskeminen
- Vapaavalintainen epävarmuustekijöiden tarkistaminen.

Näitä viittä laskennan vaihetta edeltää laskentaa valmistelevia vaiheita, eli asettaa tavoitteet, toimittajien sitouttaminen ja tuotteiden valinta hiilijalanjäljen laskentaa varten. Laskennan vaiheiden jälkeen vahvistetaan vielä tulokset, pienentää päästöjä, hiilijalanjäljen ilmoittaminen ja vaatia vähennyksiä.

PAS-2050-standardi soveltuu vain tuotteen elinkaaren aikana syntyneisiin kasvihuonepäästöihin, se ei ota huomioon tuotteen mahdollisia ympäristövaikutuksia, esimerkiksi vaikutuksia vedenkäyttöön tai biodiversiteettiin. [15.]

### 3.4 Hiilijalanjäljen mittayksiköt

Hiilijalanjälki ilmoitetaan yleisesti hiilidioksidiekvivalentteina (CO<sub>2</sub>e) ja yksiköinä käytetään massaa, joko tonneja (t CO<sub>2</sub>e), kilogrammoja (kg CO<sub>2</sub>e) tai grammoja (g CO<sub>2</sub>e). Kun puhutaan hiilidioksidiekvivalenteista, on siihen laskettu kaikkien eri kasvihuonekaasujen vaikutus hiilidioksidin vastaavaksi vaikutukseksi, jotka lämmittävät ilmastoa.

Hiilijalanjälki yleensä ilmoitetaan vertailuyksikköä kohti, kuten henkilö, vuosi, kuljetut kilometrit, proteiinikilo ja vastaavat. Esimerkiksi suomalaista henkilöä kohden hiilijalanjälki on keskimäärin 10000 CO<sub>2</sub>/henkilö/vuosi. Tai tämän voi ilmaista 10 tn CO<sub>2</sub>/henkilö/vuosi. Kaukolämmöntuotantoa voidaan esimerkiksi ilmaista keskiarvona yhteistuotannolle 158 kg/CO<sub>2</sub>/MWh [9.]



Omaa hiilijalanjälkeä voi mitata esimerkiksi ruuan liikkumisen muodossa. Ilmastoystävällinen ruokavalio sisältää runsaasti vihanneksia, juureksia, hedelmiä, marjoja, palkokasveja ja viljatuotteita. Esimerkiksi perunalla ja juureksilla hiilijalanjälki on 0,3–1 CO<sub>2</sub>e/kg, kun taas nauta on yksi suurimmista päästöjä aiheuttava liha tuote jonka päästöt ovat 25–50 CO<sub>2</sub>e/kg. Autoilun päästöt voi yksinkertaisimmillaan laskea vuoden kilometrimäärän ja keskimääräisen matkustajamäärän perusteella. Näin käytetään autolla ajon polttoainekulutuksen päästöinä 200 CO<sub>2</sub>e/ ajetut kilometrit. [31][32.]

### 3.5 Hiilijalanjäljen haasteet

Vaikka Hiilijalanjäljen laskenta on tärkeää, ei se aina silti ole yksinkertainen prosessi. Laskentaan voi liittyä monia haasteita, jotka voivat vaikuttaa lopputulokseen ja käyttökelpoisuuteen. Hiilijalanjäljen laskentamalleja on maailmalla monia useita erilaisia, mutta hiilijalanjäljen laskemiselle ei löydy yksiselitteistä tapaa, joka sopisi kaikille organisaatioille. Erilaisia toimialojen hankkeita hiilijalanjäljen laskemiseksi on useita. Hankkeiden tarkoitus on tukea alan yritysten hiilijalanjäljen laskentatyötä, sekä yhtenäistää laskentamenetelmiä, näin saman toimialan yritysten hiilijalanjälkeä pystyttäisiin vertailemaan keskenään jollakin tasolla. [7.]

Hiilijalanjäljen laskennassa on monia haasteita, näitä ovat tiedon puute ja laatu. Hiilijalanjäljen laskemiseen tarvitaan tarkkaa tietoa palvelun tai tuotteen koko elinkaaren vaiheista, mukaan lukien raaka-aineiden valmistus, hankinta, käyttö ja kuljetukset. Tiedon saaminen näistä kaikista vaiheista voi olla vaikeaa, erityisesti silloin kun tuotantoketju on hajanainen ja monimutkainen. Lisäksi tiedon laatu saattaa vaihdella, mikä vaikuttaa laskelmien luotettavuuteen ja tarkkuuteen.

Vaikka laskelmat perustuisivatkin tarkkaan tietoon, saattaa olla haasteellista näiden tulkinnessa. Erilaisia tekijöitä huomioidessa ja eri menetelmiä käytettäessä laskelmat voivat johtaa erilaisiin tuloksiin.

Kun ei ole tarkkaa dataa saatavilla, joudutaan usein tekemään oletuksia ja arvioita esimerkiksi päästöjen määrästä tietyssä vaiheessa. Nämä oletukset ja arviot voivat vaikuttaa tarkkuuteen laskemissa ja tehdä niistä alttiita virheille.

Toimiala- ja ympäristöolosuhteet voivat muuttua nopeasti. Esimerkiksi uudet tekniset innovaatiot tai energiasopimuksen vaihto voi vaikuttaa päästöjen määrään ja vaikuttaa sitä kautta hiilijalanjäljen laskelmiin.

Vertailukelpoisuus saattaa olla rajoitettua. Hiilijalanjälkeä pystytään vertailemaan keskenään vain, jos laskelmissa on käytetty samanlaisia tietoja, oletuksia ja menetelmiä. Tämä saattaa rajoittaa eri tuotteiden tai yritysten vertailtavuutta. [9.]

## **4 Porapaalutuksen hiilijalanjäljen laskenta**

Porapaalutuksen hiilijalanjälkilaskenta suoritettiin keräämällä dataa Helsingin Postipuiston alueen työmaalta. Työmaalta kerättiin tiedot paalumääristä, paalujen ja kaluston kuljetuksista, polttoaineen ja veden kulutuksesta, sekä betoni valumääristä.

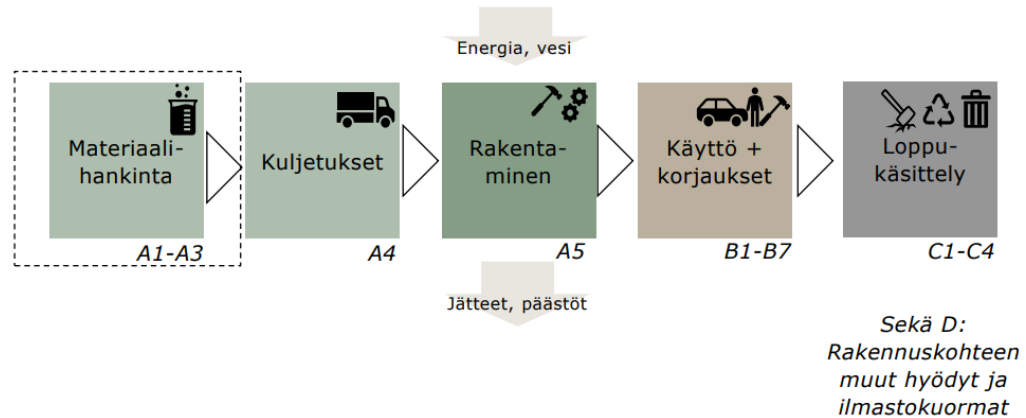
### **4.1 Laskennan rajaus**

Opinnäytetyö päätettiin rajata päästöihin, jotka porapaalutusyksikkö tuottaa omilla materiaalihankinnoillaan (A1-A3), eli raaka-aineen tuotanto, näiden kuljetuksiin ja tuotteen valmistukseen. Omien kalustojen kuljetuksiin (A4). Sekä rakentamisen aikaisiin päästöihin ja jätteisiin (A5). Omiin jätteisiin kuuluvat polttoaineen kulutuksesta johtuvat päästöt, sekä porapaalutusprosessissa tarvittava veden kulutus.

Rajauksen apuna käytettiin apuna Skanska Infra Oy:n aikaisemmassa kohteessa käytettyä rajausta, tämän mukaan päätettiin rajata opinnäytetyön laskenta A1-A5.

HIILIJALANJÄLKILASKENTA

## Laskennan rajaus



Kuva 13: Skanska Infra Oy:n aikaisemman kohteen rajausesitys.

Laskennan ulkopuolelle jätettiin B1-B7, joita ovat rakennuksen käyttö ja korjaukset. C1-C4, jotka sisältävät loppukäsittelyn, sekä D:n, joka on rakennuskohteen muut hyödyt ja ilmastokuormat. Nämä päätettiin jättää rajauksessa ulkopuolelle koska eivät ole osana porapaalutusyksikön tuottamia päästöjä.

Rajauksesta ulos jätettiin myös osa materiaalihankinnoista, esimerkiksi paalut, pilotit, porakanget, sekä työntekijöiden työmatkat. Laskennasta poisjätetyillä tuotteilla ja matkoilla on niin pieni vaikutus hiilijalanjälkeen.

### 4.2 Käytetty laskentamalli ja ohjelmisto

Laskennassa käytettiin Excel-laskentataulukko-ohjelmaa. Tein Excel-taulukon, jonka avulla pystytään laskemaan tulevaisuudessakin työmaakohtaisen hiilijalanjäljen porapaalutusyksikön osalta. Laskentaan tarvitaan tiedot veden kulutuksesta, paalukoosta, poratuista metreistä, polttoaine menekin, polttoaineen

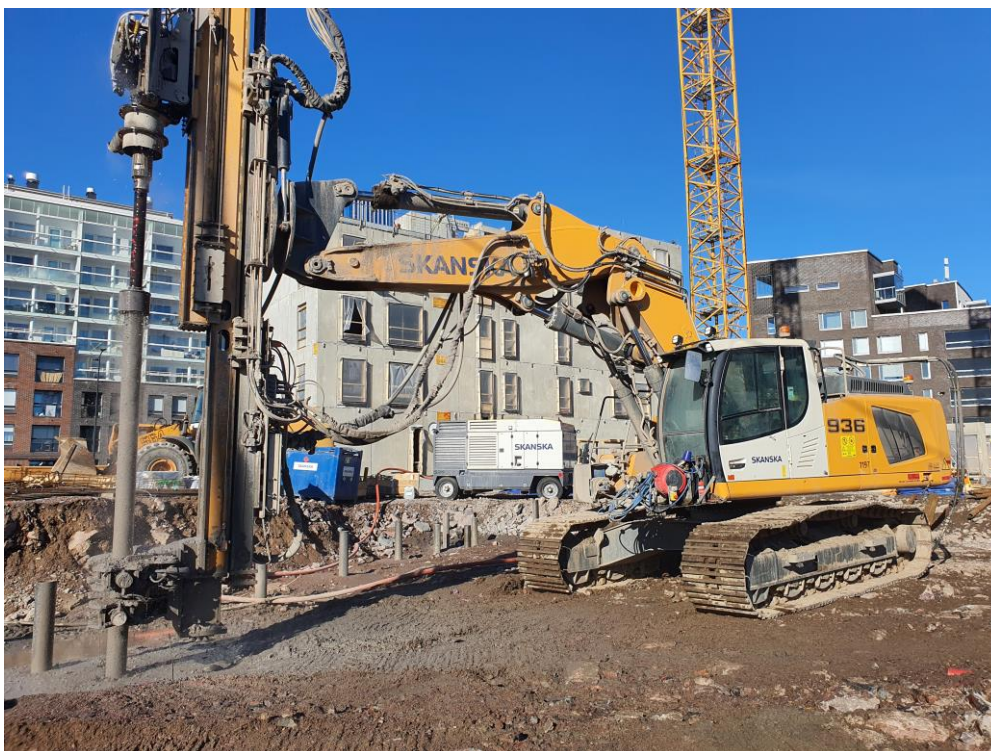
tyypin, teräksen kuljetusmatkan, kuormien määrän ja kaluston kuljetuksiin tarvittavien mobilisaatioiden määrän.

Työmaakohtainen hiilijalanjälki					
Työmaa:	Postipuisto, Helsinki				
	Tyyppi	Määrä	Yksikkö	Päästö	Huom.
Veden kulutus		5,5	m <sup>3</sup>	3,795	kgCO <sub>2</sub> e
Teräs	RD170/10	362,5	m	36192,0	kgCO <sub>2</sub> e
Teräs	RD320/12,5	0	m	0	kgCO <sub>2</sub> e
Betoni	RD170/10	362,5	valettu metri	1374,1	kgCO <sub>2</sub> e
Betoni	RD320/12,5	0	valettu metri	0,0	kgCO <sub>2</sub> e
Kalusto		362,5	m	4130,4	kgCO <sub>2</sub> e
Diesel		2150	l	7181	kgCO <sub>2</sub> e
	Matka	Kuormat			
Teräs kuljetukset	550	1	kpl	0,0319	kgCO <sub>2</sub> e
Kaluston kuljetus	40	4	kpl	13,12	kgCO <sub>2</sub> e
				Summa	
				37583,0	kgCO <sub>2</sub> e
				7181,0	kgCO <sub>2</sub> e
			Diesel		Ilman kalustoa / polttoainetta
					Kaluston tai polttoaineen kanssa
				44764,0	kgCO <sub>2</sub> e

Kuva 14: Tehty Excel-taulukko laskentaa varten.

### 4.3 Tietojen kerääminen

Tietojen kerääminen aloitettiin samana päivänä, kun kalusto saapui työmaalle, ottamalla ylös polttoainesäilön kapasiteetin, sekä koneissa olevan polttoaineiden tiedot ylös. SPD-poravaunun perään asennettiin vesimittari, jotta saadaan tiedot vedenkulutuksesta koko ajalta, kun työmaalla porataan.



Kuva 15: Liebherr R936 A7 / SPD (Scandinavian Pile Driving AB)



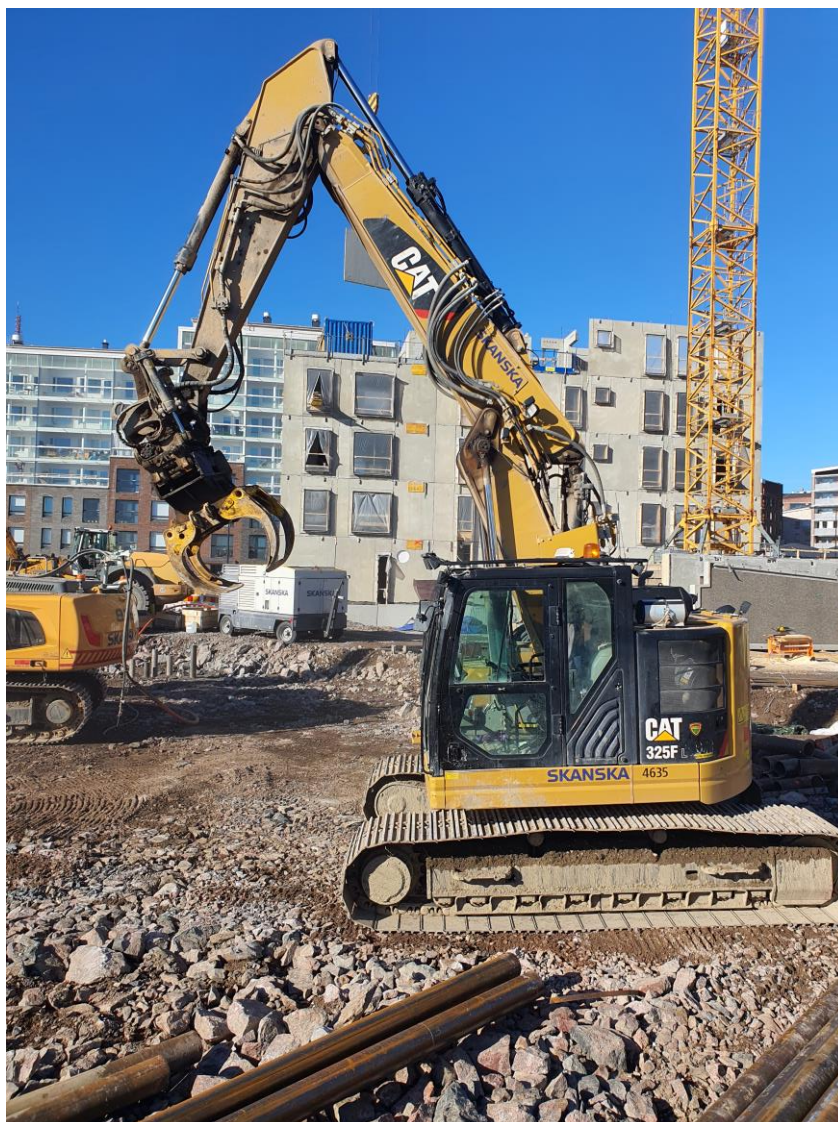
Kuva 16: Atlas Copco V39 Stage V

Työmaan kalusto koostui SPD poravaunusta, Atlas Copco V39 kompressorista ja Caterpillar 325 F kaivinkoneesta, jota käytetään apukoneena lataamaan teräs-paaluja poravaunulle. Laskennassa käytettiin tietona näiden kolmen yhdessä kuluttamaa polttoainetta. Dieseliä kului työmaan aikana noin 2150 litraa kolmella koneella.

Poraustiedot paalujen pituuksista ja kallioporaussyvyyksistä kerättiin päivittäin työmaalla pöytäkirjoja varten, niin samassa sai nämä tiedot opinnäytetyötä varten. Paalua porattiin 107 pistettä ja pituutta porauksille 366,5 metriä. Paalukoko oli 170/10. Paalut porattiin keskeisellä uppoporausmenetelmällä ja paalut porattiin kallioon 3 x paalun halkaisija, eli reilun puolimetriä jokaista pistettä kohden.

Teräspaalut tulivat SSAB:n Oulaisten tehtaalta, täältä kuljetukselle työmaalle tuli matkaa 530 km. Teräskuormia tuli yksi kappale.





Kuva 17: Kouralla varustettu Caterpillar 325 F

#### 4.4 Laskentatulokset

Laskentaan käytettiin sekä yleisesti käytettyjä päästöarvoja, jotka saatiin polttoaineen, kuljetuksien, ja betonin päästöjen osalta käyttämällä CO2data.fi antamia tietoja:

- Teräspaalujen kuljetus – 0,058 kgCO<sub>2</sub>e/tkm - Puoliperävaunuyhdistelmä 40 t, 80 %, maantieajo
- Kaluston kuljetus – 0,082 kgCO<sub>2</sub>e/tkm - Puoliperävaunuyhdistelmä 40 t, 50 %, maantieajo
- Kalusto:
  - Kompressori – 44,5 kgCO<sub>2</sub>e/h
  - Kaivinkone – 40,66 kgCO<sub>2</sub>e/h
  - Poravaunu – 18,1 kgCO<sub>2</sub>e/h
- Betoni – 230 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> - valmisbetoni, C25/30, ei huokostettu, GWP.REF
- Vesi – 0,69 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>
- Polttoaine:
  - Diesel - 3,34 kgCO<sub>2</sub>e/l
  - Neste My uusiutuva polttoaine - kertoimella 0,2 dieseliin nähden 0,67 kgCO<sub>2</sub>e/l [19], [22].

Teräspaalujen ja kaluston kuljetuksissa käytettiin eri päästöarvoja, koska teräspaalut tulevat Oulaisista asti ja on suurimmaksi osaksi maantieajoa. Laskentaan otettiin mukaan vain matka tehtaalta työmaalle. Kaluston kuljetukseen suurempaa arvoa, koska kaluston kuljetus lyhyempi matka ja enemmän katuajoa terästoimitukseen verrattuna. Päästöihin laskettiin kaluston kuljetukseen edestakainen matka kahdella puoliperävaunuyhdistelmällä.



Kuljetuksien osuus päästöistä oli sen verran pieni, tämän takia kuljetukset laskettiin yhteen, näiden yhteispäästöt olivat 13,2 kgCO<sub>2</sub>e.

Betonin menekki laskettiin suoraan poratuista metreistä vähentämällä paalun koosta seinämävahvuus ja laskemalla kaavalla:

$$V = \pi r^2 \cdot h$$

Betonia meni työmaalla 17,7 litraa metrille, kokonaisuudessa 362,5 metrille 6416,25 litraa, tälle annettiin hukkakertoimeksi 1,1, eli kokonaisuudessa lasketaan tuli 7057,9 litraa. Päästöjä betonille tuli 1374,1 kgCO<sub>2</sub>e.

Työkoneiden päästöt CO<sub>2</sub>data.fi sivulla on annettu käyttötunneissa, niin lasketaan nämä saatiin laskettua jakamalla poratut metrit jakamalla työpäivillä ja tehdyillä tunneilla, jotta saatiin tietoon poratut tunnit ja kertomalla ne CO<sub>2</sub>data.fi:n ilmoittamilla kertoimilla. Kolmen koneen yhteiset päästöt olivat 4130,4 kgCO<sub>2</sub>e

Polttoainetta työmaalla kului noin 2150 litraa, dieselin päästöiksi saatiin 7181 kgCO<sub>2</sub>e

Laskentaan otetaan vain toinen, joko kulutettu polttoaine tai CO<sub>2</sub>data.fi:n laskennallinen arvo koneille. Laskennassa haluttiinkin ottaa molemmat huomioon, että nähdään todellinen päästö.

Vesi mitattiin työmaan alusta loppuun, vettä kului poraukseen ja paalujen huuhteluun noin 5,5 m<sup>3</sup>, tästä päästöjä syntyi yhteensä 3,795 kgCO<sub>2</sub>e.

Teräksen osalta käytettiin SSAB:ltä saatua EPD (Environmental Product Declaration) pdf-tiedostoa, josta käytettiin taulukon A1-A3 GWP-Total arvoa 2,56 kgCO<sub>2</sub>e/kg. Co2data.fi olisi antanut teräksen päästöarvoksi 2,5 CO<sub>2</sub>e/kg, mutta käytettiin tuota SSAB:n ilmoittamaa arvoa, kun paalut SSAB:ltä tulivat. työmaalla porattu RD170/10 teräspaalu painaa 39 kg metriltä. Näin porattujen metrien kanssa kertomalla teräksen päästöt 36192 kgCO<sub>2</sub>e. [20.]

## 5. Environmental information

### POTENTIAL ENVIRONMENTAL IMPACT – MANDATORY INDICATORS ACCORDING TO EN 15804

Results of macro piles per declared unit								
Indicator	Unit	Tot.A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
GWP-fossil	kg CO <sub>2</sub> eq.	2,54E+03	5,43E+01	2,29E+00	4,49E+00	0,00E+00	7,40E-01	-1,54E+03
GWP-biogenic	kg CO <sub>2</sub> eq.	1,58E+01	2,46E-01	5,84E-03	1,96E-02	0,00E+00	5,64E-03	5,46E+00
GWP-luluc	kg CO <sub>2</sub> eq.	8,21E-01	1,48E-02	2,44E-04	1,13E-03	0,00E+00	2,03E-04	-6,02E-02
GWP-total	kg CO <sub>2</sub> eq.	2,56E+03	5,46E+01	2,29E+00	4,51E+00	0,00E+00	7,46E-01	-1,54E+03
ODP	kg CFC 11 eq.	5,90E-06	1,02E-05	4,03E-07	8,63E-07	0,00E+00	2,67E-07	3,65E-05
AP	mol H <sup>+</sup> eq.	7,08E+00	2,56E-01	2,36E-02	1,91E-02	0,00E+00	7,32E-03	-3,51E+00
EP-freshwater	kg P eq.*	1,00E-02	4,45E-03	1,63E-04	3,59E-04	0,00E+00	8,51E-05	1,94E-01
EP-marine	kg N eq.	1,79E+00	7,20E-02	1,02E-02	5,63E-03	0,00E+00	2,42E-03	-7,70E-01
EP-terrestrial	mol N eq.	1,94E+01	7,95E-01	1,12E-01	6,22E-02	0,00E+00	2,66E-02	-8,26E+00
POCP	kg NMVOC eq.	5,31E+00	2,40E-01	3,03E-02	1,94E-02	0,00E+00	7,55E-03	-2,79E+00
ADP-minerals&metals**	kg Sb eq.	4,15E-03	1,24E-04	1,15E-06	8,42E-06	0,00E+00	8,33E-07	3,31E-03
ADP-fossil**	MJ	2,81E+04	8,39E+02	3,27E+01	7,06E+01	0,00E+00	2,24E+01	-1,47E+04
WDP	m <sup>3</sup>	-1,57E+02	-9,17E-02	-2,73E-04	-5,98E-03	0,00E+00	2,72E-03	2,76E+00
Acronyms	GWP-fossil = Global Warming Potential fossil fuels; GWP-biogenic = Global Warming Potential biogenic; GWP-luluc = Global Warming Potential land use and land use change; ODP = Depletion potential of the stratospheric ozone layer; AP = Acidification potential, Accumulated Exceedance; EP-freshwater = Eutrophication potential, fraction of nutrients reaching freshwater end compartment; EP-marine = Eutrophication potential, fraction of nutrients reaching marine end compartment; EP-terrestrial = Eutrophication potential, Accumulated Exceedance; POCP = Formation potential of tropospheric ozone; ADP-minerals&metals = Abiotic depletion potential for non-fossil resources; ADP-fossil = Abiotic depletion for fossil resources potential; WDP = Water (user) deprivation potential, deprivation-weighted water consumption							

\* The EP-freshwater indicator is calculated in unit kg P eq. \*\* Disclaimer: The results of this environmental impact indicator shall be used with care as the uncertainties of these results are high or as there is limited experience with the indicator.

Results of micro piles per declared unit								
Indicator	Unit	Tot.A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
GWP-fossil	kg CO <sub>2</sub> eq.	2,43E+03	5,56E+01	3,04E-01	4,49E+00	0,00E+00	7,40E-01	-1,53E+03
GWP-biogenic	kg CO <sub>2</sub> eq.	1,06E+01	2,52E-01	7,76E-04	1,96E-02	0,00E+00	5,64E-03	7,36E+00
GWP-luluc	kg CO <sub>2</sub> eq.	8,21E-01	1,52E-02	3,24E-05	1,13E-03	0,00E+00	2,03E-04	-3,27E-02
GWP-total	kg CO <sub>2</sub> eq.	2,44E+03	5,59E+01	3,04E-01	4,51E+00	0,00E+00	7,46E-01	-1,52E+03
ODP	kg CFC 11 eq.	1,03E-05	1,05E-05	5,36E-08	8,63E-07	0,00E+00	2,67E-07	3,71E-05
AP	mol H <sup>+</sup> eq.	6,80E+00	2,62E-01	3,14E-03	1,91E-02	0,00E+00	7,32E-03	-3,46E+00
EP-freshwater	kg P eq.*	1,44E-02	4,55E-03	2,16E-05	3,59E-04	0,00E+00	8,51E-05	1,95E-01
EP-marine	kg N eq.	1,71E+00	7,37E-02	1,35E-03	5,63E-03	0,00E+00	2,42E-03	-7,57E-01
EP-terrestrial	mol N eq.	1,86E+01	8,14E-01	1,48E-02	6,22E-02	0,00E+00	2,66E-02	-8,12E+00
POCP	kg NMVOC eq.	5,10E+00	2,46E-01	4,02E-03	1,94E-02	0,00E+00	7,55E-03	-2,75E+00
ADP-minerals&metals**	kg Sb eq.	4,05E-03	1,27E-04	1,53E-07	8,42E-06	0,00E+00	8,33E-07	3,35E-03
ADP-fossil**	MJ	2,67E+04	8,60E+02	4,34E+00	7,06E+01	0,00E+00	2,24E+01	-1,46E+04
WDP	m <sup>3</sup>	-1,47E+02	-9,39E-02	-3,63E-05	-5,98E-03	0,00E+00	2,72E-03	1,82E+00
Acronyms	GWP-fossil = Global Warming Potential fossil fuels; GWP-biogenic = Global Warming Potential biogenic; GWP-luluc = Global Warming Potential land use and land use change; ODP = Depletion potential of the stratospheric ozone layer; AP = Acidification potential, Accumulated Exceedance; EP-freshwater = Eutrophication potential, fraction of nutrients reaching freshwater end compartment; EP-marine = Eutrophication potential, fraction of nutrients reaching marine end compartment; EP-terrestrial = Eutrophication potential, Accumulated Exceedance; POCP = Formation potential of tropospheric ozone; ADP-minerals&metals = Abiotic depletion potential for non-fossil resources; ADP-fossil = Abiotic depletion for fossil resources potential; WDP = Water (user) deprivation potential, deprivation-weighted water consumption							

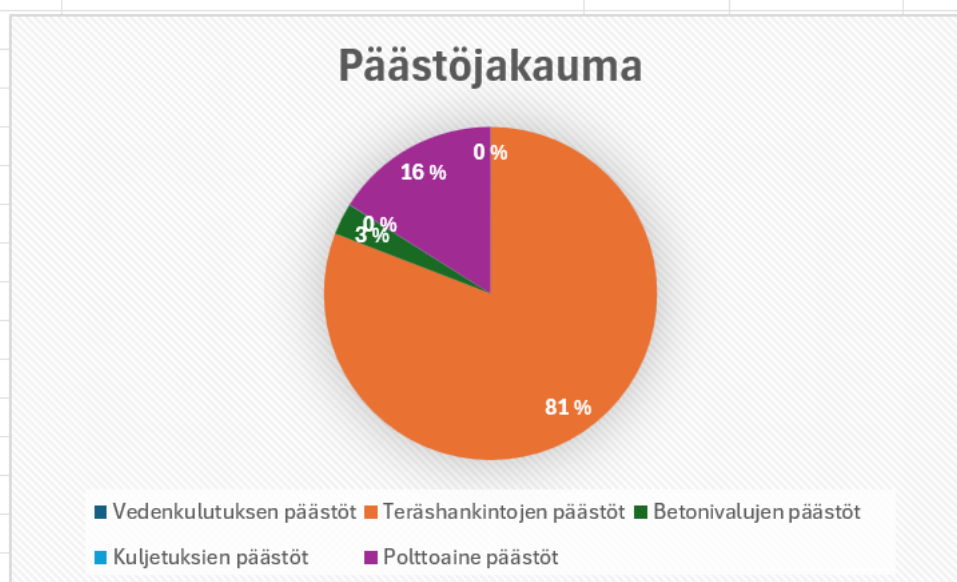
\* The EP-freshwater indicator is calculated in unit kg P eq. \*\* Disclaimer: The results of this environmental impact indicator shall be used with care as the uncertainties of these results are high or as there is limited experience with the indicator.

Kuva 18: SSAB:n päästökertoimet. EPD-Steel-piles.pdf

Työmaalla syntyi päästöjä porapaalutuksesta yhteensä 44764 kgCO<sub>2</sub>e. Selvästi suurin päästölähde tuli teräshankinnoista, sen osuus oli lähes 81 % porapaalutuksen päästöistä. Toiseksi suurin päästölähde oli polttoaine 16 % ja

betonivaluista syntyi reilu 3 % kokonaispäästöistä. Veden ja kuljetuksen päästöt olivat aivan marginaaliset päästöjakauman kannalta, molempien päästöt olivat alle 0,1 % työmaan porapaalutuksen kokonaispäästöistä.

	kgCO2	%
Vedenkulutuksen päästöt	3,8	0,008 %
Teräshankintojen päästöt	36192,0	80,9 %
Betonivalujen päästöt	1374,1	3,1 %
Kuljetuksien päästöt	13,2	0,029 %
Polttoaine päästöt	7181,0	16,0 %
Päästöt yhteensä	44764,0	kgCO2e



#### 4.5 Epävarmuuksien tarkastelu

Helsingin Postipuiston alueella olevalla työmaalla porattiin todella matalaa paalua, paalun keskipituus oli vain noin 3,4 metriä. Veden ja polttoaineen todellinen kulutus mitä luultavammin kasvaa, kun paalun pituuskin kasvaa. Maaperä vaikuttaa suuresti kumpaankin, mitä kovempaa maa on, tarvitsee kompressorin tuottaa enemmän ilmanvirtausta ja painetta, tämän takia tarvitsee nostaa kompressorin tehoja ja polttoaineen kulutuskin kasvaa. Mitä syvemälle porataan, tarvitsee paalun huuhtelukin enemmän painetta ja vettä.

CO2data.fi antoi vain yhden päästöarvon kompressoreille ja poravaunulle, eli ei pystynyt saamaan luotettavaa arvoa valitsemalla kompressorin tai poravaunun koon mukaan eri päästöarvoa. Kaivinkoneen koon mukaan sai suhteellisen luotettavan arvon apukoneelle, mutta ollessa apukoneena porapaalutuksessa kaivinkone ei ole läheskään samanlaisella yhtä suurella käytöllä ja kuormituksilla, kuin esimerkiksi maanrakennustoissa.

CO2data.fi:n vajavaisen kalusto koon valinnan takia laskentaan otettiin juuri todellinen dieselin kulutus, josta nähdään, paljonko koneilta todellisuudessa tulee päästöjä. Tässä tapauksessa dieselillä saatiin noin 7200 kgCO<sub>2e</sub>, kun olemassa olevalla datalla olisi saatu vain reilu 4100 kgCO<sub>2e</sub>.

#### 4.6 Laskentamallin soveltuvuus

Laskentamalli ei sovellu määrittämään pätevästi hiilijalanjälkeä. Laskentamalli on suuntaa antava ja tätä voidaan hyödyntää saamaan käsitys mistä suurimmat päästöt porapaalutuksesta johtuvat. Laskentamallia voidaan käyttää ainakin tilanteissa, joissa asiakas haluaa tietää mistä päästöt porapaalutuksessa aiheutuvat antamalla suhdelukuja. Laskentaan kannattaa kuitenkin suhteutua kriittisesti, tarvitsisi tarkempaa dataa useammalta työmaalta, jotta saataisiin keskiarvoa lukemille.

Laskennan avulla voidaan tarkastella myös omaa tekemistä, tutkimalla mihin pystyttäisiin vaikuttamaan, jotta saataisiin oman tekemisen päästöjä alemmaksi.

## 5 Hiilineutraaliuden saavuttaminen

### 5.1 Päästöjen vähennys ja välttäminen

Porapaalutuksessa veden ja kuljetusten osuus on niin pieni, että hankinnoilla ja koneiden valinnoilla voidaan saada suuriakin vähennyksiä päästöihin.

Paikallisia päästöjä voitaisiin luonnollisesti vähentää tehokkaasti investoimalla uudempiin kalustoihin esimerkiksi uusimmilla diesel- tai sähkömoottoreilla varustettuihin koneisiin. Tämänlaiset investoinnit eivät kuitenkaan ole aina mahdollisia, niin voi muillakin tavoin omaa hiilijalanjälkeä pienentää.

Kaluston optimoinnilla paalukoon mukaan käyttämällä sopivan kokoisia poravaunuja, vasaroita ja kompressoreita saataisiin varmasti omaan polttoainekulutukseen jonkin verran säästöjä. Näistä ei löydy selviä ohjeita esimerkiksi paalutusohjeista minkä kokoisia kompressoreita ja minkälaisilla virtauksilla tai vasaroita käytettäessä kulutukset olisivat pienempiä. Ne ovat lähinnä kokemusperäistä tietoa porareilla esimerkiksi minkä kokoisella kompressorilla kannattaa mitään paalua porata, ja niitäkään ei varmasti ole mietitty päästöjen kannalta.

Piloteissa olevat nastat kuluvat poratessa, mitä kuluneempi pilotti on, vaatii se enemmän tehoja kompressorilta tehdäkseen saman työn verrattuna uuteen pilottiin. Laskemalla missä vaiheessa pilotin kuluneisuutta ruvetaan kuluttamaan kompressorilla enemmän tehoja Saatettaisiin saada säästöjä kulutuksessa, kun pilotti huollettaisiin teroittamalla tietyssä vaiheessa sen elinkaarta.

Suurimmat päästövähennykset kuitenkin saavutettaisiin varmasti keskittymällä suurimpiin päästölähteisiin, eli dieselin ja teräksen valinnalla sekä kalusto hankinnoilla. Teräksen osalta tulossa lähivuosina vähähiilisiä vaihtoehtoja, joiden avulla saadaan suuria päästövähennyksiä, mutta jo nykyisillä terästoimittaja valinnoilla voidaan saada päästöjä pienennettyä, esimerkiksi Ruotsalaisen Scandic Steelin EPD:n mukaan heidän teräksellensä  $GWP_{total}$  arvo teräsputkille on 2,41. Heidän teräksellä päästöt teräksen osalta tällä työmaalla olisi tippunut noin 2%. [34.]

### 5.1.1 Biodiesel

Biodieselillä yleensä tarkoitetaan rasvahappojen etyyli- ja metyylieristeistä koostuvaa polttoainetta.

Biodieseliä valmistetaan esteröimällä, eli kemiallisen reaktion avulla eläin- tai kasvirasvoilla alkoholin avulla. Metanolin avulla valmistettua biodieseliä kutsutaan yleisesti termillä FAME (fatty acid methyl ester) tai RME (rape methyl ester).

Merkittävämpiä biodieselin raaka-aineita tällä hetkellä ovat auringonkukka-, rapsi- rypsi-, soija- ja palmuöljy, tai muita syötäväksi kelpaavia kasviöljyjä. Biodieseliä valmistetaan jonkin verran myös käytetyistä paistorasvoista ja -öljyistä sekä muista eläinrasvoista ja teurasjätteestä. Jätteiden hyötykäyttö on energiataseeltaan edullista ja kannattavaa.

Standardissa EN 14214 on määritetty biodieselin ominaisuuksista. Biodiesel toimii fossiiliseen dieseliin sekoitettuna kaikissa dieselmootoreissa, mutta jotkin työkonetta- ja ajoneuvovalmistajat sallivat myös 100 % biodieselin käytön. Joissakin tapauksissa puhtaaseen biodieseliin vaihtaminen edellyttää tiivisteiden ja letkujen vaihtoa. Puhtaalla biodieselillä kylmäkäynnistysominaisuudet eivät ole saman veroiset kuin fossiilisella dieselillä ja tämän samepiste on melko korkea. Täytyy muistaa myös, että fossiilisen dieselin talvilaatuun lisätään apuaineita varmistamaan sen toiminta Suomen talviolosuhteissa. [23.]

Esimerkiksi Neste valmistaa tuotetta nimeltään Neste My Uusiutuva Diesel. Neste lupaa tuotteen olevan 100 % uusiutuvaa ja vastuullista. Tuote on valmistettu tähteistä, jäterasvoista ja kasviöljystä ja on luokiteltu vetykäsittelyksi kasviöljyksi.

Neste lupaa tuotteen vähentävän kasvihuonepäästöjä polttoaineen osalta jopa 90 %. Nesteen tuotteessa eroaa biodieselistä korkean setaanilukunsa (75-95) ansiosta varmistaen tehokkaan ja puhtaan palamisen, normaalisti biodieselissä vaaditaan setaaniluvuksi minimissään 51 ja normaalin dieselin setaaniluku on 40-55. Neste takaa tuotteen sopivan Suomen kylmiin olosuhteisiin.

Nesteen uusiutuvan dieselin hiilidioksidien vähennyspotentiaali perustuu sen koko elinkaaren aikana syntyneiden päästöjen kokonaisuusmäärään.

Kenttäkokeissa ja tutkimuksissa on saatu osoitettua, että Neste uusiutuvan dieselin käytön avulla on saatu seuraavia hyötyjä verrattuna perinteiseen rikittömään dieseliin:

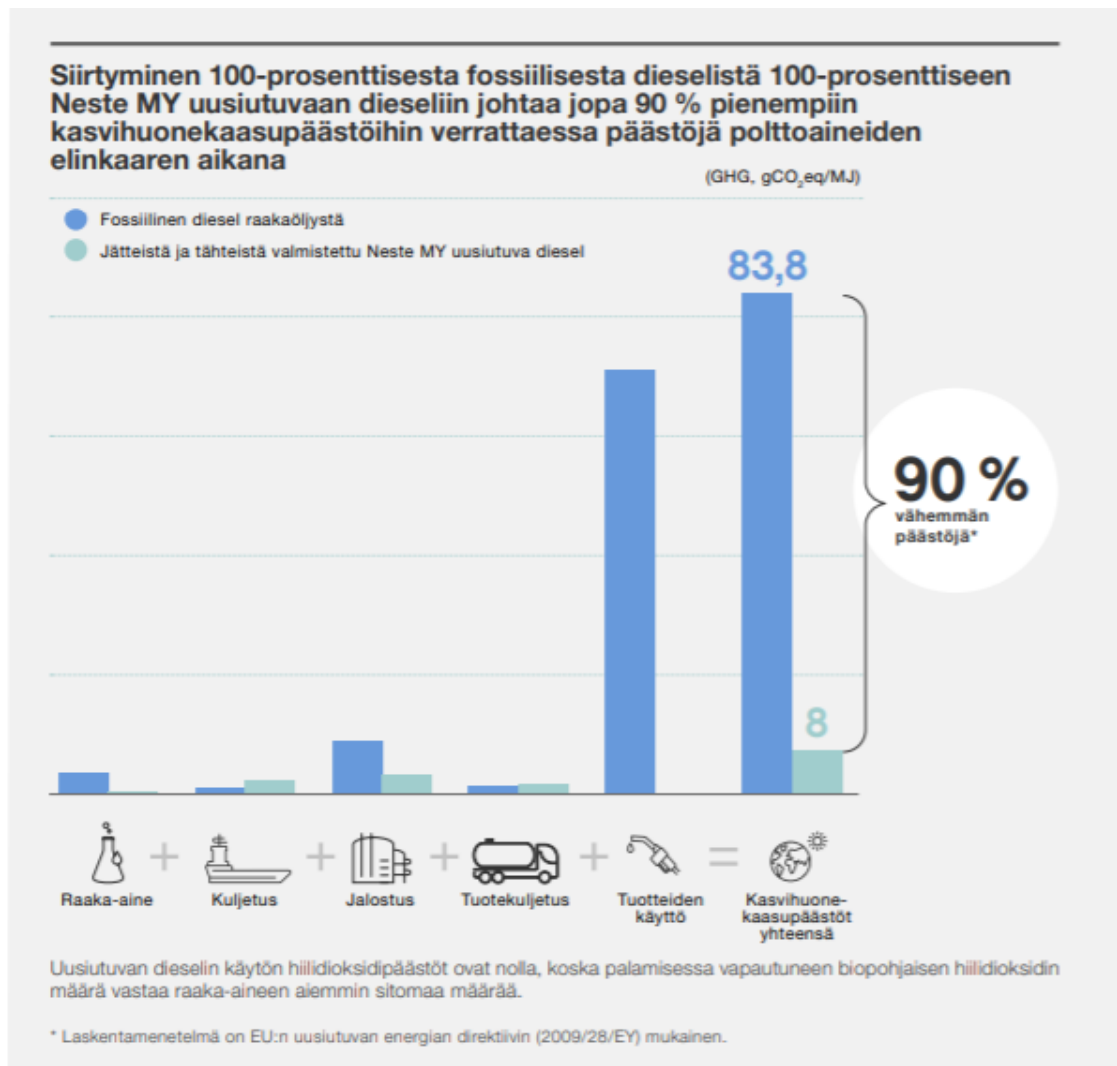
9 % vähemmän typen oksideja (NO<sub>x</sub>)

30 % vähemmän hiilivetyä (HC)

33 % vähemmän pienhiukkaspäästöjä (hiukkasten määrä myös pienempi)

24 % vähemmän hiilimonoksidipäästöjä (CO)

vähemmän polyaromaattisia hiilivetyjä (PAH).



Kuva 19: Neste MY uusiutuvan dieselin hiilidioksidipäästöt.

<https://www.neste.fi/vastuulliset-ratkaisut/ratkaisut/uusiutuvat-polttoaineet/pienemat-paastot>

[22] [24].

### 5.1.2 SSAB fossiilivapaan teräksen käyttö

Perinteinen teräksen valmistus on merkittävin hiilidioksidipäästöjen tuottaja teollisuudessa. Teräksen valmistuksen osuus CO<sub>2</sub>-päästöistä maailmanlaajuisesti on tällä hetkellä 7 %. Yksi keino vähentää teräksen osuutta kasvihuonepäästöissä, on teräksen kierrätys. Tällä hetkellä kuitenkin käytettävissä olevan romuteräksen määrä ei riitä kuin täyttämään neljänneksen maailmanlaajuisesta



kysynnästä. Teräksen valmistuksessa hiilidioksidipäästöt johtuvat valmistuksessa käyttämällä hiiltä polttamalla masuuneissa

poistamaan happea rautamalmista, tämä vapauttaa prosessissa valtavan määrän CO<sub>2</sub>-päästöjä.

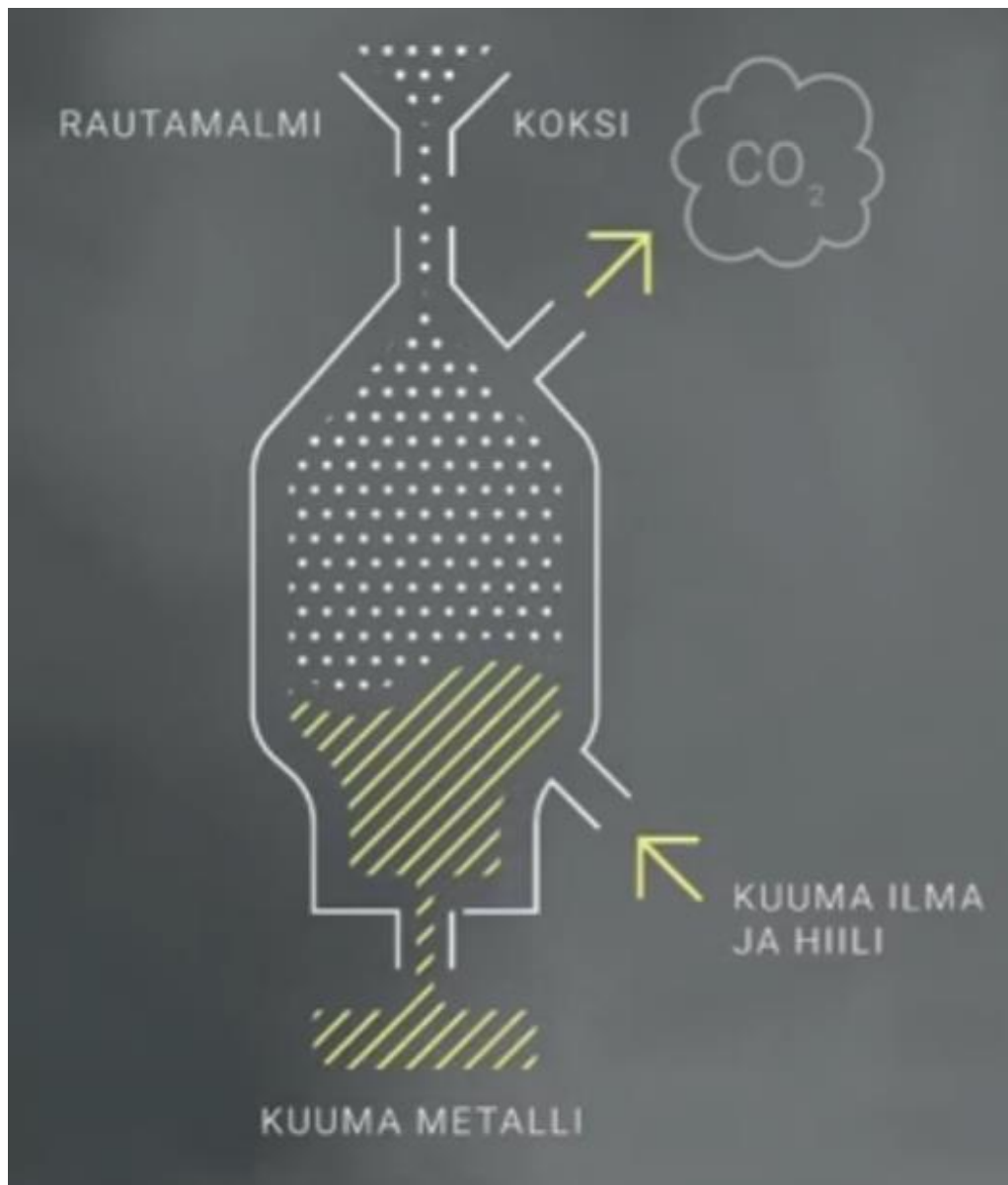
SSAB on ottanut askeleen kohti kestävämpää tulevaisuutta kahdella ainutlaatuisella teräksellä, jotka ei käytännössä aiheuta fossiilisia hiilidioksidipäästöjä, ja avaa näin tietä vihreämpään tulevaisuuteen.

Ensimmäinen SSAB:n tuotteista on SSAB Zero Steel, joka lanseerattiin markkinoille vuonna 2023. SSAB Zero Steel on valmistettu kierrätystä teräksestä sekä tuotettu fossiilivapaalla biokaasulla ja sähköllä. Tämän tuloksena on teräs, joka ei aiheuta käytännössä hiilidioksidipäästöjä.

Zero Steelillä on toimituksella tällä hetkellä reunaehtoja, toimitus tilauksesta on noin 6–9 kk ja mittaryhmät ovat vielä melko rajattuja. Paksuin seinämävahvuus on 10 mm ja lujin saatavilla oleva teräslaatu on S460MH. Ennen tilausta tulee myös ulkohalkaisija hyväksyttää SSAB:n tuotepuolen kanssa.

Zero Steelin saatavuus paaluille tulee paranemaan 2026–2027, kun SSAB:n Ruotsin Oxelösundin tehtaan nykyinen masuuni vaihdetaan valokaarimasuuniin.

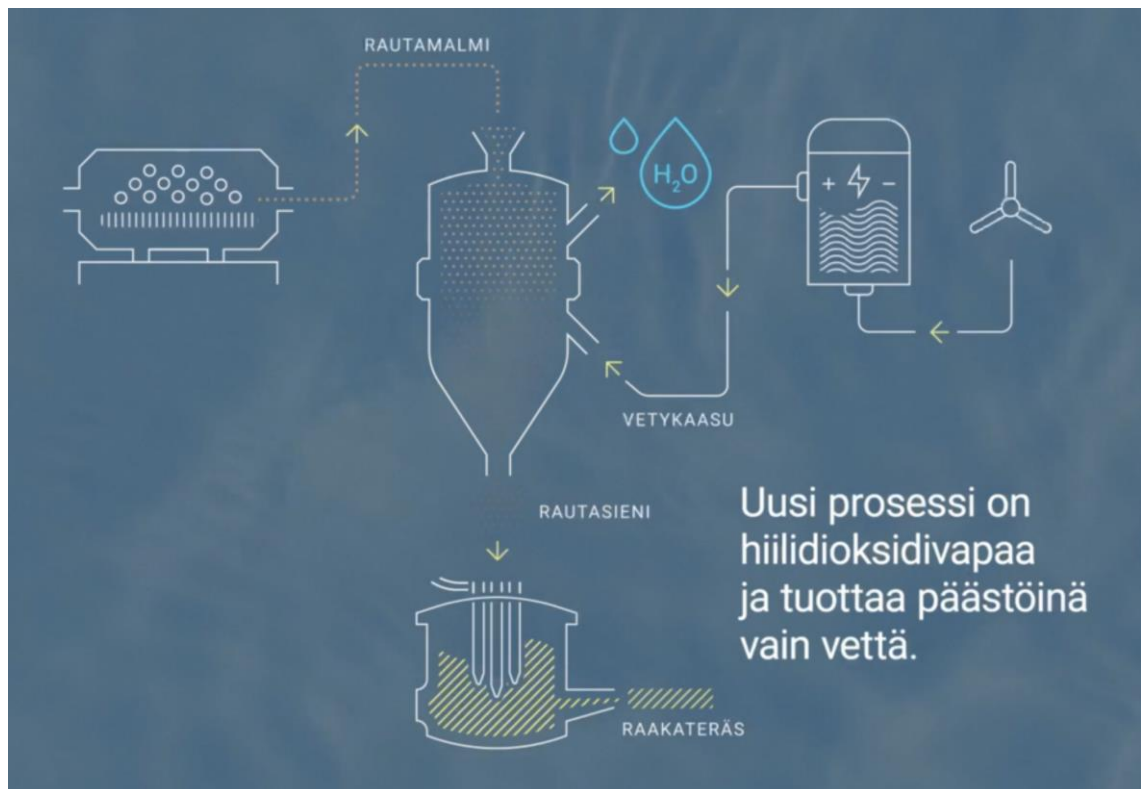
SSAB:ltä on tulossa markkinoille 2026 alkaen fossiilivapaata terästä tuotenimellä SSAB Fossil Free Steel. Tuotteen aloite lanseerattiin jo vuonna 2016. Vuonna 2017 SSAB, LKAB ja Vattenfall muodostivat yrityksen Hybrit Development AB:n ja 2020 vihittiin käyttöön HYBRIT-pilottitehdas rautasiemen tuotantoa varten Ruotsin Luulajassa. Vuonna 2021 ensimmäiset erät vedyllä pelkistettyä rautasientä saatiin tuotettua ja näin tuotettua maailman ensimmäiset erät fossiilivapaata terästä, samana vuonna Volvo Group sai valmistettua maailman ensimmäisen ajoneuvon käyttäen fossiilivapaata terästä.



Kuva 20: Kuvakaappaus SSAB:n HYBRIT teknologia videolta.

<https://www.ssab.com/fi-fi/fossiilivapaa/oivallus/hybrid-uusi-vallankumouksellinen-teraksenvalmistuksen-teknologia>

Kuvan 22 mukaisesti perinteisessä teräksen valmistusprosessissa käytetään hiiltä ja koksia, mikä tuottaa hiilidioksidia.



Kuva 21: Kuvakaappaus SSAB:n HYBRIT teknologia videolta.

<https://www.ssab.com/fi-fi/fossiilivapaa/oivallus/hybrit-uusi-vallankumouksellinen-teraksenvalmistuksen-teknologia>

Uudella HYBRIT-teknologia käyttää suorapelkistysprosessia, siinä kooksi, hiili sekä maakaasu on korvattu vetykaasulla. Prosessiin tarvitaan kahta avainkomponenttia: rautamalmipellettejä, jotka tuotetaan kokonaan ilman fossiilisia polttoaineita ja hiilidioksidipäästöjä, sekä fossiilivapaata vetyä. Uusi prosessi on hiilidioksidivapaata ja tuottaa vain vettä päästöinä.

Porapaalujen osalta SSAB:n fossiilivapaata terästä on saatavilla 2030-luvulla SSAB:n Raahen tehtaan uudistuksen jälkeen [26][27][28].

## 5.2 Hiilineutraalisuus

Skanskalla on tavoitteena olla hiilineutraali vuoteen 2045 mennessä jokaisella liiketoiminta-alueellaan, globaali kaksiosainen välitavoite vuoteen 2030 mennessä. Tämä sisältää kasvihuonepäästöjen vähentymisen 50 % vuoteen 2030

mennessä Skanskan omissa toimitila- ja asuntohankkeissa. Lisäksi tavoitteena on vähentää Skanskan omia ostoenergiasta ja polttoaineista aiheutuvia kasvi-huonepäästöjä 70 %.

Kuten porapaalutuksen osalta huomasi, Skanskalla suurimmat päästöt aiheutuivat epäsuorista päästöistä, eli hankkeissa käytetyistä materiaaleista ja niiden käytön aikaiseen energiankulutukseen liittyvistä päästöistä, Skanskalla nykyraportoinnin valossa näitä ovat yli 90 % Skanskan päästöistä. Skanska ottaakin nämä osaksi omaa tavoitettaan kulkemaan käsikädessä asiakaslähtöisen ajattelun kanssa.

Skanska laskee kaikille talonrakennuspuolen suunnitteluvastuuta sisältäville hankkeille hiilijalanjäljen ympäristöministeriön menetelmän mukaisesti ja pyrkii tunnistamaan soveltuvimmat päästövähennyskeinot, sekä muissa hankkeissa tarjoaa vähähiilisiä vaihtoehtoja, joiden päästösäästöpotentiaali on osoitettu esimerkiksi hiilijalanjälkilaskelmin. Infrahankkeissa samalla tavalla, lukuun ottamatta kaikkein pienimpiä hankkeita. Rakenteiden optimointi ja keventäminen on usein kustannustehokkain keino päästöjen vähentämisessä. Lisäksi Skanskalla hyödynnetään vähähiilisempiä materiaaleja ja edistetään kiertotaloutta. Olemassa olevia rakennustuotteita uudelleen käytetään ja suositaan kierrätysraaka-aineita sisältäviä tuotteita, tämä mahdollistaa valmistukseen liittyvien päästöjen pienentämisen.

Skanskalla työmailla käytetään uusiutuvaa sähköä ja on aloitettu siirtymään biopolttoaineiden sekä kaukolämmön käyttöön. Samanaikaisesti sähköistetään kalustoa ja parannetaan rakentamisen aikaista energiatehokkuutta. [29] [30.]

## 6 Yhteenveto

Hiilijalanjälki ja vähähiilisyys on ajankohtaista eri yrityksillä rakentamisen eri sektoreilla, kun ympäristöministeriön asetus rakennusten vähähiilisydestä ja

ilmastoselvityksestä valtioneuvosto on hyväksynyt uuden rakennuslain, joka on astumassa voimaan 1.1.2025. Lain tavoitteena on ohjata rakentamista vähähiiliseksi.

Skanskalla onkin kansainvälisenä tavoitteena olla hiilineutraali vuoteen 2045 mennessä jokaisella liiketoiminta-alueellaan, jonka takia tämä opinnäytetyö toteutettiin.

Opinnäytetyössä perehdyttiin hiilijalanjälkeen käsitteenä ja hiilijalanjälkeä ohjaaviin standardeihin ja protokolliin.

Opinnäytetyössä onnistuttiin laskemaan Excel-taulukko ohjelmalla porapaalutusyksikön hiilijalanjälki päästöt työmaalta, sekä selvitettiin suurimmat päästölähteet kyseisessä työnkuvassa. Työ rajattiin porapaalutusyksikön omien hankintojen, kuljetusten ja työstä aiheutuville päästöille yhdellä työmaalla, josta kerettiin työn aikana riittävän kattavasti dataa porapaalutuksen päästöistä. Työstä rajattiin pois pienimmät päästölähteet, esimerkiksi kulutusosat, joiden keraamiseen tarvittaisiin pidempiaikaista seuraamista. Tuotetun Excel-taulukkolaskelmaohjelman avulla voidaan tulevaisuudessa laskea työmaakohtaisesti porapaalutuksen hiilijalanjälki ja tarkentaa dataa, kuinka esimerkiksi maaperä, kallion laatu tai paalupituus vaikuttavat päästöihin.

Hiilijalanjälkilaskentaan kerätyt päästötiedot on kerätty yleisesti käytetyistä päästötietokannoista sekä yrityksien omista tietokannoista. Laskenta luotettavista lähteistä huolimatta ei sovellu määrittelemään pätevästi työstä aiheutuvaa hiilijalanjälkeä ja on lähinnä suuntaa antava antamaan käsityksen, mistä päästöt kyseisessä työssä aiheutuvat.

Työssä saatiin selvitettyä porapaalutuksen suurimpien päästölähteiden, eli teräksen ja polttoaineen päästösäästömahdollisuuksia tulevaisuudessa olemassa olevilla sekä tulevien tuotteiden osalta.

## Lähteet

- 1 Valtioneuvosto, esitys rakentamislaista. <<https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=YM078:00/2023>>. Luettu 18.1.2024
- 2 Ympäristöministeriö, vähähiilinen rakentaminen. <<https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen>>. Luettu 18.1.2024
- 3 NGS Finland, mitä tulisi hiilijalanjäljestä tietää. <<https://ngsfinland.fi/hiilijalanjalki-kaikki-mita-sinun-tulisi-tietaa-hiilijalanjaljesta/>>. Luettu 18.1.2024
- 4 KFS, porapaalutus. <<https://kfs.fi/palvelut/terasputkipaalutus/>>. Luettu 20.1.2024
- 5 Skanska Infra Oy, porapaalutuksen asiantuntia. <<https://www.skanska.fi/4951e0/siteassets/palvelut/rakentamispalvelut/maa-ja-pohjarakentaminen/maa-ja-pohjarakentaminen-porapaalujen-asiantuntija.pdf>>. Luettu 20.1.2024
- 6 Biocode, mitä hiilijalanjäljessä pitää ottaa huomioon. <<https://biocode.io/fi/hiilijalanjaljen-laskeminen/#mita-huomioida>>. Luettu 21.1.2024
- 7 Tofuture, päästöjen laskenta. <<https://tofuture.fi/paastojen-laskenta-vai-hiilijalanjalki>>. Luettu 21.1.2024
- 8 Greenhouse Gas Protocol, hiilijalanjälkilaskenta ghg protokollalla. <[https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard\\_041613\\_2.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613_2.pdf)>. Luettu 21.1.2024
- 9 Havultava, mikä on hiilijalanjälki. <<https://havulatva.fi/mika-on-hiilijalanjalki/>>. Luettu 24.1.2024
- 10 Overshoot, ekovelkapäivä. <<https://overshoot.footprintnetwork.org/>>. Luettu 24.1.2024
- 11 Ilmasto-opas, mitä ilmastonmuutos on. <<https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/kasvihuonekaasut-lammittavat>>. Luettu 28.1.2024
- 12 Sitra, kasvihuonekaasut. <<https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/kasvi-huonekaasu/>>. Luettu 28.1.2024

- 13 Ympäristö.fi, kasvihuonekaasut. <<https://www.ymparisto.fi/fi/luvat-ja-velvoitteet/f-kaasut-ja-otsonikerrosta-heikentavat-aineet>>. Luettu 2.2.2024
- 14 Suomen ympäristökeskus, elinkaariarviointi. <<https://www.syke.fi/elinkaararviointi>>. Luettu 2.2.2024
- 15 Oulun yliopisto, Rikkinen Roosa, kandidaatintyö. <<http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-202105197914.pdf>>. 2.2.2024
- 16 Tampereen teknillinen yliopisto, Ahomies Marko, diplomityö. <<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/22889/Ahomies.pdf?sequence=3>>. Luettu 15.2.2024
- 17 Suomen standardit, ISO 1400 sarja. <<https://sfs.fi/standardeista/tutustu-standardeihin/suosittut-standardit/iso-14000-ymparistojohtamisen-standardisarja/>>. Luettu 15.2.2024
- 18 RIL 254-2016 Paalutusohje PO-2016. Luettu 27.2.2024
- 19 CO2data.fi, infrarakentamisen päästötietokanta. <<https://co2data.fi/infra/>>. Luettu 21.2.2024
- 20 SSAB, paalutusohje. <[www.SSAB\\_RR\\_ja\\_RD\\_paalut\\_suunnitelu\\_ja\\_asennusohjeet.pdf](http://www.SSAB_RR_ja_RD_paalut_suunnitelu_ja_asennusohjeet.pdf)>. Luettu 21.2.2024
- 21 Tolvanen, K. 2021. Tampereen korkeakouluuyhteisön hiilijalanjälki 2019 – raportti hiililaskentatyöstä. S. 14. Luettu 28.2.2024
- 22 Neste Oy, Neste My Uusiutuva Polttoöljy. <<https://www.neste.fi/yritysasiakkaat/tuotteet/polttoaineet/neste-my-uusiutuva-polttoöljy>>. Luettu 8.3.2024
- 23 Bioste, biodiesel. <<https://bioste.fi/bioenergia/biodiesel/>>. Luettu 8.3.2024
- 24 Neste Oy, uusiutuvat polttoaineet. <<https://www.neste.fi/vastuulliset-ratkaisut/ratkaisut/uusiutuvat-polttoaineet/pienemmat-paastot>>. Luettu 8.3.2024
- 25 SSAB, fossiilivapaa teräs. <<https://www.ssab.com/fi-fi/fossiilivapaa/oivalus/kaikki-vihrea-teras-ei-ole-fossiilivapaata>>. Luettu 9.3.2024
- 26 SSAB, fossiilivapaa teräs. <<https://www.ssab.com/fi-fi/fossiilivapaa>>. Luettu 9.3.2024
- 27 SSAB, kierrätetty teräs. <<https://www.ssab.com/fi-fi/fossiilivapaa/ssab-zero>>. Luettu 9.3.2024

- 28 Haastattelu – Mikael Lammassaari, SSAB. Sähköpostin välityksellä 6.3.2024
- 29 Skanska Oy, ilmastoviisaus. <<https://www.skanska.fi/tietoa-skanska/vastuullisuus/ilmastoviisaus/>>. Luettu 10.3.3.2024
- 30 Skanska Oy, ympäristövastuullisuus. <<https://www.skanska.fi/tietoa-skanska/vastuullisuus/ymparisto/>>. Luettu 10.3.2024
- 31 Yle, artikkeli hiilijalanjäljestä. <<https://yle.fi/a/3-10603217>>. Luettu 11.3.2024
- 32 Ilmastodieetti.fi, mihin ilmastopainot perustuvat. <<https://ilmastodieetti.ymparisto.fi/ilmastodieetti/#/calculationinfo#transportCar>>. Luettu 11.3.2024
- 33 Mincon, porapaalutus. <<https://mincon.fi/paalunporaus/>>. Luettu 24.3.2024
- 34 Scandiasteel, ympäristöseloste. <[https://scandiasteel.se/downloads/EPD\\_S-P-06705\\_ScandiaSteel\\_SS\\_SSdr.pdf](https://scandiasteel.se/downloads/EPD_S-P-06705_ScandiaSteel_SS_SSdr.pdf)>. Luettu 24.3.2024



## **Hiilijalanjälki laskenta - porapaalutus**

Excel-taulukko ohjelma porapaalutuksen hiilijalanjälki laskentaan.