

Samu Anselmi Greus

## **HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINTI TEOLLISUUSPUTKISTOJEN SUUNNITTE- LUSSA**

# **HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINTI TEOLLISUUSPUTKISTOJEN SUUNNITTE- LUSSA**

Samu Anselmi Greus  
Opinnäytetyö  
Kevät 2023  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Samu Anselmi Greus

Opinnäytetyön nimi: Hiilijalanjäljen arviointi teollisuusputkistojen suunnittelussa

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Carbon Footprint Assessment of Industrial Pipes in the Design Phase

Työn ohjaaja: Timo Kiviahde

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2023

Sivumäärä: 50 + 1 liite

---

Teollisuuden päästöjen osuus ihmisen toiminnassa on valtava, teollistumisen aikana ilmaston lämpeneminen on kiihtynyt hälyttävää tahtia. Teollisuuden toimintaa ja päätöksiä täytyy ohjata parempaan suuntaan, jotta päästään Pariisin ilmasopimuksen tavoitteeseen pitää maapallon keskilämpötilan nousu selvästi alle kahden asteen suhteessa esiteolliseen aikaan. Sopimuksen mukaisesti pitää pyrkiä toimiin, joilla lämpeneminen rajataan alle 1,5 asteen. Työkaluja päästöjen arviointiin on olemassa, myös elinkaariarviointi ohjelmia on markkinoilla. Suunnittelussa tehtävää hiilijalanjälkiarviota varten ohjelmaa tai laskuria ei vielä ole otettu yleisesti käyttöön teollisessa suunnittelussa.

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä hiilijalanjälkeen, päästöjen laskentaan ja tämän kautta löytää tai luoda parhaiten soveltuva työkalu putkiston hiilijalanjäljen arviointia varten. Tulosten esittämistä varten on myös graafisesti toteutettava yksinkertainen leima, millä putkistojen hiilijalanjäljen ilmoittaminen käy suunnitteludokumenteissa. Työ on tehty Sweco Finland Oy:n teollisuus ja energia toimialalle, laskennassa on käytetty esimerkkiputkistona yritykseltä saatua keskisuurta mallia. Työssä saatiin laskettua riittävän tarkkoja arvioita hiilijalanjäljestä. Putkistojen materiaalivalinnoilla havaittiin olevan suuri merkitys hiilijalanjäljelle, kuitenkin prosessien toimivuuden ja turvallisuuden kannalta on oleellista mennä prosessi edellä.

Suomen ympäristökeskuksen hiilijalanjälkitietokanta huomattiin hyväksi lähteeksi putkistojen laskentatyökalulle. Huomattiin myös kehitettäviä kohtia työkalun laajuudessa ja tarkkuudessa, joita on mahdollista parantaa tulevaisuudessa. Työkalun rakentaminen ja sen tuloksen saaminen oli haastava, mutta mielekäs projekti. Tuloksien saaminen on ajankohtaista ja hyödyllistä liikuttaessa kiihtyvällä vauhdilla kohti vihreämpää tulevaisuutta.

---

Asiasanat: hiilijalanjälki, päästölaskenta, teollinen suunnittelu, materiaalivalinnat, kestäväkehitys

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme of Energy Technology

---

Author: Samu Anselmi Greus

Title of thesis: Carbon Footprint Assessment of Industrial Pipes in the Design Phase

Supervisor: Timo Kiviahde

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2023

Number of pages: 50 + 1 appendix

---

The role of industrial activities in contributing to emissions and accelerating global warming cannot be understated. It is crucial to steer industrial activities and decisions towards a more sustainable direction, in order to reach the goal of the Paris climate agreement to keep global warming below 2 degrees Celsius compared to pre-industrial times and to strive for actions to keep warming below 1.5 degrees Celsius. While there are tools available for assessing emissions from products and processes, and some life cycle assessment programs on the market, there isn't yet a widely used program or calculator for evaluating the carbon footprint of industrial designs.

In this thesis, the goal was to delve into the concept of carbon footprint, emissions calculation, and identify or develop the best-suited tool for assessing the carbon footprint of piping systems. Additionally, it was aimed to create a simple visual stamp that can be included in design documents to communicate the carbon footprint of piping systems. This research is conducted for Sweco Finland Oy's Energy and Industry division, using a medium-sized piping project as an example for carbon footprint calculation. The results yielded fairly accurate estimates of the carbon footprint, and it was discovered that material choices play a significant role in the emissions of piping systems, while process functionality and safety are also crucial considerations.

The carbon footprint database of the Finnish Environment Institute was found to be a valuable resource for the development of the piping emissions calculation tool. However, there are areas that can be improved in terms of the tool's scope and accuracy, future enhancements are also possible. Building the tool and obtaining results was a challenging yet fulfilling project while continue moving towards a more sustainable and carbon-neutral society at an accelerating pace, achieving these results is timely and meaningful.

---

Keywords: carbon footprint, emission calculation, industrial design, material choices, sustainable development

## **ALKULAUSE**

Paremmen maailman luominen on meidän kaikkien tehtävä. Teollisuuden ja rakennetun ympäristön päästöillä on suuri merkitys ilmastonmuutoksen pysäyttämisessä. Tekninen suunnittelu ja insinööriosaaaminen ovat luomassa tulevaisuudelle pohjaa elää kestävämmässä ja paremmassa maailmassa.

Tahdon kiittää perhettäni ja kaikkia läheisiä, ilman heitä tämä tie olisi ollut monin verroin raskaampi kulkea. Kiitän kaikkia energiatekniikan opettajia ja opiskelukavereitani, te loitte uskoa, kannustitte ja annoitte tukea koko opintojen aikana.

Kiitän erityisesti opinnäytetyön ohjaajaa Timo Kiviahdetta ja esihenkilöäni Jussi Kokkoa opastuksesta ja neuvoista. Tuellanne sain lopputuloksen, joka tyydyttää itseäni. Suuret kiitokset myös kielikeskuksen Pirjo Partaselle tekstin tarkastuksesta.

Oulussa 2.5.2023

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	9
2	ILMASTONMUUTOS .....	11
2.1	Hiilijalanjälki .....	11
2.2	Hiilikädenjälki .....	13
2.3	Hiiliekvivalenttiin vaikuttavat asiat .....	14
2.3.1	Kiertotalous .....	15
2.3.2	Tekniset ratkaisut .....	16
2.3.3	Kierrätys .....	17
2.3.4	Materiaalivirta .....	18
2.3.5	Materiaalin valinta .....	20
2.4	Suunnittelun vaikutus .....	21
2.5	Hiilijalanjäljen laskenta .....	22
2.6	Määritellyt elinkaaren vaiheet .....	23
2.7	Logistiikka ja kuljetus .....	26
2.8	Laskentasovellukset .....	27
3	TIETOMALLIPOHJAINEN PÄÄSTÖTYÖKALU .....	29
3.1	Työkalun parametriset oletukset .....	30
3.2	Työkalun parametriset rajaukset .....	30
3.3	Tietokanta .....	32
3.4	Työkalun rakentaminen CAD-ohjelmaan .....	34
4	ESIMERKKILASKENTA KESKIVAIKEALLE PUTKELLE .....	37
4.1	Esimerkkilaskenta .....	37
4.2	Tuloksen esitystapa .....	41
5	HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINTI .....	45
5.1	Eniten vaikuttavat tekijät .....	45
5.2	Työn kustannukset .....	46
5.3	Ohjaako hiilijalanjäljen arviointi päätöksentekoa .....	46
5.4	Työkalun kehitysmahdollisuudet .....	47
5.5	Imago ja vaikutus .....	47

6	POHDINTA.....	48
	LÄHTEET.....	49

## SANASTO

Käsite	selite
CAD	Computer assisted drawing
DB	Database
EPD	Environmental product declaration
GHG protocol	Greenhouse gas protocol
Globalisaatio	Valtioiden välisiä taloudellisia suhteita koskevien kattavien maailmanlaajuisten kuvioiden kehittyminen
GWP	Global warming potential
LCA	Life cycle assesment
LCI	Life cycle inventory
Parametri	Käytössä olevan teoreettisen jakauman tunnusluku, esim. keskiarvo tai hajonta
PPM	Parts Per Million
SQL	Structured query language
Vihreä siirtymä	muutos kohti ekologisesti kestäväää taloutta ja kasvua, joka ei perustu luonnonvarojen ylikulutukseen ja fossiilisiin polttoaineisiin.



# 1 JOHDANTO

Putkistot ovat teollisen prosessin kulmakivi, kuitenkin niitä arvostetaan vähän suhteessa muihin komponentteihin ja prosessin osiin. Putkistot ovat tärkeässä asemassa, kun siirretään aineita teollisuudessa. Yhteiskunnan tärkeimmät hyödykkeet, kuten käyttö- ja jätevesi kulkevat putkistoja pitkin. Lämpöenergia liikkuu kaukolämmössä pitkiäkin matkoja putkistoja pitkin. Fossiiliset polttoaineet, kuten raakaöljy ja maakaasu virtaavat putkistoja pitkin maailman jokaisessa kolkassa vielä toistaiseksi.

Putkistoilla on pitkä historia ihmisen kehityksen auttajana, esimerkiksi parituhatta vuotta sitten Rooman imperiumi sai juomavetensä lyijypinnoitettuja akvedukteja pitkin vuoristoista puroista ja järvistä. Pitkiäkin matkoja ylittäen ne seisovat tänäkin päivänä osassa Italiaa ja Etelä-Eurooppaa insinööriosaimien näytteinä tuleville sukupolville. Muinaiset kiinalaiset onnistuivat kuljettamaan maakaasua Pekingiin valaistuksen ylläpitämiseen Zhou-dynastian aikana 400 eaa. vahakankailla vuoratuilla bambuputkillä. Egyptiläiset hyödynsivät viemäriverkostoissaan saviputkia mahdollisesti jo 6000 vuotta sitten. (Liu 2003.)

Todellinen harppaus tapahtui Euroopassa 1700-luvulla, kun saavutettiin valurautaisten putkistojen teollinen tuotanto. Niillä pystyttiin luotettavasti siirtämään käyttövetä, kaasua ja viemäri-  
lietettä. Siitä seuraavana jatkumona 1800-luvulla alkoi teräsputkien valmistus. Höyrymoottoreiden ja raakaöljyn käytön kasvu vauhditti teräsputkien kysyntää ja kehitystä valtavasti. 1900-luvulle tultaessa putkistot olivat jo kehittyneet nykyiseen muotoonsa, mutta valokaarihitsauksen myötä pystyttiin tekemään suuriakin linjakokonaisuuksia ilman pelkoa vuotoista, mikä oli siihen asti ollut ongelma laippa- ja kierreliitoksilla rakennetuissa putkistoissa. Korkean korroosiokestävyyden austeiniittinen kromirautaseos, tutummin ruostumaton teräs mahdollisti ennestään haastavampien materiaalien ja karumpien olosuhteiden hyödyntämisen. Tälle vuosituhannelle tultaessa markkinoilla on valtavat määrät erilaisia putkimateriaalivaihtoehtoja jo pelkästään metalliputkista, muoveista puhumattakaan. Hitsaus, standardointi, tarkastukset ja paineet ovat myös kehittyneet. Yritykset ja julkiset toimijat vaativat tarkempia tietoja suunnitelmista jatkuvasti, joten on hyvä olettaa, että kehityksen suunta on putkistoissakin eteenpäin. (Liu, 2003)

Yksi kehityksen kohta, missä ei vielä olla kovinkaan pitkällä on se, miten hiilijalanjälkeä ja elinkaarta arvioidaan jo suunnittelun yhteydessä. Päätöksiä voitaisiin tehdä sen perusteella, miten kuormittava projekti on ympäristölle. Mikäli teollisuuden toimijoille pystytään antamaan suuntaa antavaa tietoa suunnitellun putkiston tai projektin päästöistä koko arvioidun elinkaaren ajalta, voidaan ennakoida tulevia vaatimuksia hiilijalanjäljen ilmoittamisesta. Arvio putken tai tuotteen elinkaaresta vie myös kiertotaloudellista ajattelua eteenpäin. Ihmisten tehdessä kiihtyvällä tahdilla enemmän töitä ilmastomuutoksen pysäyttämiseksi ja luontokadon estämiseksi. Tulee huomattava tarve kartoittaa ja vähentää myös teollisuuden päästöjä, olivat ne sitten pieniä ja yksittäin merkityksettömiä tai suuria prosesseja.

Tässä työssä on tavoitteena perehtyä hiilijalanjälkeen. Työssä käydään läpi päästölaskentaa ja elinkaariarvion määrittelyä. Tavoitteena on edellä mainittujen kohtien kautta löytää putkistosuunnitteluun parhaiten soveltuva työkalu hiilijalanjäljen arviointia varten. Lisäksi tulosten esittämistä varten luotaisiin selkeä ja yksinkertainen ”leima”, jonka avulla hiilijalanjäljen ilmoittaminen tapahtuu suunnitteludokumenteissa.

Opinnäytetyön tilasi Sweco Finland Oy:n Teollisuus ja energia -toimiala. Sweco on aktiivisesti mukana energiamurroksessa sekä kestävässä ja resurssitehokkaassa teollisuussuunnittelussa. Euroopan johtavana insinööri- ja arkkitehtitoimistona se edistää kestävästä kehitystä ja ilmastomuutoksen torjuntaa kaikilla liiketoimintansa osa-alueilla. Swecolla on globaalisti 18500 työntekijää, joista Suomessa on 3000. Sweco Finland on rakennetun ympäristön ja teollisuuden asiantuntija, ja se on osa Sweco AB konsernia.

## 2 ILMASTONMUUTOS

Teollisuus on merkittävä tekijä ilmastonmuutoksessa, sillä se aiheuttaa suuria päästöjä, kuten hiilidioksidia, metaania ja typpioksiduulia. Teollisen toiminnan päästöt tulevat esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden käytöstä, teollisista prosesseista ja tuotteiden valmistuksesta. Teollisuuden kasvihuonekaasupäästöt ovat yksi suurimmista syistä ilmaston lämpenemiselle, ja ne vaikuttavat ilmastonmuutokseen globaalisti. Siksi on tärkeää ohjata teollisuuden päätöksiä ja toimintaa kohti kestävämpää ja vähäpäästöisempää tuotantoa ja prosesseja, jotta voidaan hillitä ilmastonmuutosta ja saavuttaa kansainväliset ilmastotavoitteet. (Ilmasto-opas 2010.)

Putkistoille voidaan määrittää elinkaari raakamateriaalin alkuhankintavaiheesta aina siihen pisteeseen, kun putkisto-osat kierrätetään tai hävitetään. Putkistoja on monenlaisia, ja tässä työssä keskitytään teollisuudessa käytettyihin metallisiin putkistoihin. Nykyisin valtaosa metalleista on jo kertaalleen kierrätettyä ja uudelleen sulatettua.

Kestävyyden ja lujuuden takaamisen takia uudelleen valussa massaan lisätään uutta malmia. Seuraavissa luvuissa kerrotaan yleisesti materiaalien ympäristövaikutuksista, mitä tarkoittaa hiilijalanjälki ja vähemmän tunnettu hiilikädenjälki. Käsitellään yleisesti vaikuttavia parametrejä ja sitä, miten dataa kerätään ja käsitellään sitä varten, että saadaan vertailukelpoista tietoa erilaisista materiaaleista.

### 2.1 Hiilijalanjälki

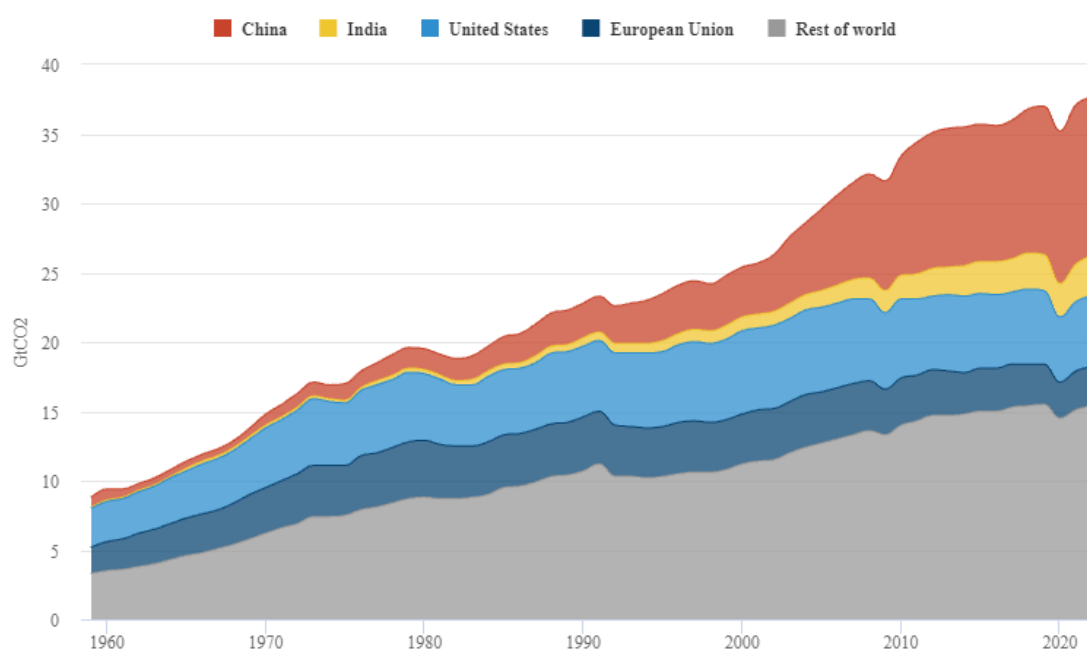
Ihmisen nykyisellä kuluttamisen tahdilla on negatiivinen vaikutus maapallon ilmastoon ja elinkelpoisuuteen. Ihmisen teoilla on valtava merkitys, miksi maapallon ilmasto lämpenee kiihtyvällä tahdilla. Kasvihuonekaasupäästöt vaikuttavat merten happamoitumiseen ja lämpenemiseen, luontokatoon ja aavikoitumiseen. Päästöjen mittaamiseksi on luotu hiilijalanjälki käsitteeksi, joka pohjautuu amerikkalaisten tutkijoiden William E. Reesin ja Mathias Wackernagelin luomaan ekologiseen jalanjälkeen. Yleisesti ekologinen jalanjälki määrittelee, kuinka monta maapalloa ihmiset tarvitsevat nykyisellä kuluttamisella ja kuinka paljon se tarvitsee ylläpitääkseen nykyistä elämäntyyliä niin, että maapallo pystyisi ylläpitämään ja uusiutumaan samaa tahtia. Tällä hetkellä luku on 1,75 maapalloa. (Global Footprint Network 2021.)

Hiilijalanjälki puolestaan kertoo niin kutsutuissa hiiliekvivalenttitonneissa sen, kuinka paljon jokin asia, yksilö, yhteisö, tapahtuma, palvelu tai tuote on vapauttanut elinkaarensa aikana hiilidioksidia ilmakehään. Hahmottamisen helpottamiseksi on päätetty verrata kaikkia kasvihuonekaasuja suhteutettuna hiilidioksidiin. Tämä yksinkertaistaa tilastointia ja datan esittämistä. Kasvihuonekaasuiksi luetaan nykyisin monta erilaista kaasua ja niiden yhdistettä, mutta alkuperäiset ovat hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ) ja metaani ( $\text{CH}_4$ ), joiden perusteella lasketaan hiiliekvivalentti tonnia käyttäen suhdelukuna GWP arvoa. GWP-luku, eli lämmityspotentiaali kertoo kuinka paljon, kasvihuonekaasu sitoo itseensä lämpöenergiaa tietyllä ajanjaksolla suhteessa samaan massayksikköön hiilidioksidia.

Nykyisin GHG-protokolla on luokitellut kasvihuonekaasuihin myös ilokaasun ( $\text{N}_2\text{O}$ ), rikkiheksafluoridin ( $\text{SF}_6$ ), typpitrifluoridin ( $\text{NF}_3$ ), fluorihilivedyt (HFC) ja perfluorihilivedyt (PCF). Edellä luetellut yhdisteet lisättiin mukaan kasvihuonekaasuiksi Kioton ilmastosopimuksessa 1997. (Ilmasto.org 2020.)

Suurin osa kasvihuonekaasupäästöistä vapautuu teollistuneissa maissa kuten Amerikan Yhdysvallat ja Kiina. Kuvassa 1 on esitetty globaalilla tasolla hiilidioksidipäästöjä hahmottamaan, kenen vastuulla valtaosa päästöistä on. Esimerkiksi Yhdysvaltojen keskimääräinen hiilijalanjälki yhtä ihmistä kohden vuodessa on tällä hetkellä 16 hiilidioksidiekvivalenttitonnia. Luku on yksi suurimmista hiilijalanjäljistä ihmistä kohden. Mikäli ilmaston lämpenemistä halutaan hillitä Pariisin sopimuksen mukaiseen kahteen asteeseen, on tehtävä töitä myös hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Tavoitteena on vähentää maailmanlaajuisesti hiilijalanjälkeä kahteen tonniin vuodessa ihmistä kohden (United Nations. 2015).

Global CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuels by region, 1959-2022



KUVA 1 Globaalit päästöt fossiilisista polttoaineista (Dr. Hausfather Zeke 2022)

Teollisuuden toimijoiden päätöksillä ja ratkaisulla on osaltaan suuri merkitys siihen, miten paljon hiilijalanjälkeä halutaan ja pystytään pienentämään. Yleinen tietoisuus ja sen myötä huoli ilmastonmuutoksesta ja luontokadosta on alkanut painostaa yrityksiä miettimään ratkaisuja kohti kestävämpää tulevaisuutta. Hiilijalanjälki voidaan jopa saada nettonegatiiviseksi, ja seuraavassa luvussa puhutaan tästä asiasta tarkemmin.

## 2.2 Hiilikädenjälki

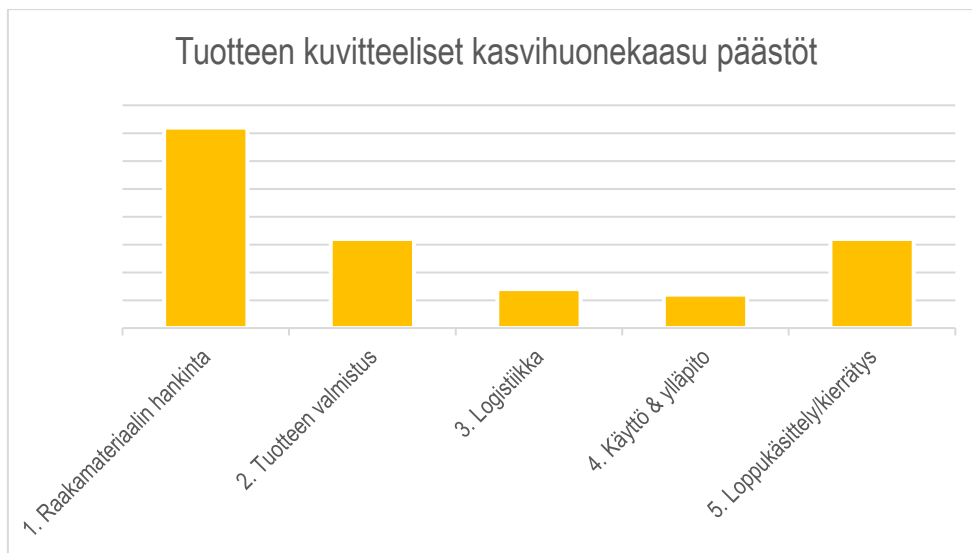
Tavallisesti esitetään ihmisen osuutta ympäristölle negatiivisina johtuen siitä, että ihmisen teoilla on ollut negatiivinen vaikutus ilmastoon ja ympäristöön. Huomioitavaa on kuitenkin, että ihminen on pystyvä myös korjaamaan omia virheitään ja näin ollen vaikuttamaan positiivisesti ympäristöönsä ja ilmastoon. Edellisessä luvussa puhuttiin hiilijalanjäljestä, mikä kertoi yksinkertaisesti, kuinka suuren kuorman jokin asettaa maapallolle. Hiilikädenjälki on puolestaan laajempi käsite sille, kuinka paljon jokin asia, yksilö, yhteisö, tapahtuma, palvelu tai tuote on pystyvä sitomaan tai vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä. Hiilikädenjäljellä ei teknisesti ole tavoitteellisesti rajoja vaan se voi kasvaa vapaasti. Lyhyesti hiilikädenjälki esittää positiivisia tekoja ympäristöön ja maapalloon.

Kädenjäljen ja jalanjäljen ollessa saman mitta-asteikon eri päissä osoittamassa dataansa. Molempia tekijöitä tulee tarkastella ja ottaa huomioon. Hiilijalanjälkeä tulisi pyrkiä pienentämään mahdollisimman paljon ja hiilikädenjälkeä taas puolestaan kasvattamaan suuremmaksi. Hiilikädenjäljen tavoitteiden saavuttamiseksi on esimerkiksi laadukkaampien materiaalivalintojen kautta mahdollista pidentää tuotteiden aktiivista elinkaarta ja näin ollen päästöt vähenevät pitemmällä tarkasteluajalla. Energiankäytön näkökulmasta on materiaalivalinnalla myös merkitystä.

Tuotteen kestävämmällä materiaalilla ja suunnittelulla voidaan tehostaa resurssien käyttöä ja pienentää sen ilmastovaikutusta. Resurssien tehokkaalla käytöllä on hiilikädenjäljen kasvattamisessa myös merkitystä, tällä tarkoitetaan sitä, että kulutetaan kaikki ympäristöstä otettu raaka-aine tehokkaasti ja vähennetään pois heitettävää materiaalia. Kierrätysmateriaaleilla ja uudelleen käytöllä voidaan saavuttaa kerrannaisvaikutus kädenjäljessä. Tuotteiden käyttöiän pidentämiseen vaikuttaa hyvä käytönaikainen kunnossapito ja ajantasainen päivittäminen. Edellä luetellut keinot toimivat yksin ja ne voidaan ottaa myös yhtäaikaaisesti kaikki käyttöön. (Pajula ym. 2021, s.8–13). Seuraavassa luvussa tullaan käsittelemään tarkemmin hiiliekvivalenttiin vaikuttavia parametrejä tarkemmin.

## **2.3 Hiiliekvivalenttiin vaikuttavat asiat**

Lähes kaikki laskennalliset parametrit vaikuttavat hiiliekvivalenttiin. Tärkeää onkin nostaa merkittävimmät vaikuttajat tarkempaan tarkasteluun, jotta voitaisiin katsoa kerättyä dataa luottavaisesti ja ymmärtää, mitkä vaikuttavat eniten. Tämän opinnäytetyön teeman mukaisesti tullaan keskittymään enemmänkin tuotteiden ja tekniikan merkittäviin tekijöihin, mutta esimerkiksi henkilöiden ja yhteisöiden parametreilla on myös merkitystä. Kasvihuonekaasuja vapautuu ilmakehään asioiden ja tuotteiden elinkaaren kaikissa vaiheissa. Kaaviossa 1 hahmotellaan tilannetta, missä on esitetty tuotteen kasvihuonekaasupäästöjä elinkaaren aikana nykyisessä talousputkiajattelumallissa.



KAAVIO 1 Tuotteen päästöt

### 2.3.1 Kiertotalous

Megatrendinä kiertotalous määrittää, kuinka paljon kuormitamme ympäristöä tulevaisuudessa. Kiertotalous on ajattelutavaltaan lähellä kierrätystä, mutta se ei ole sama asia. Kiertotalous on paljon laajempi ajattelutavaltaan ja keskittyy arvoketjujen jokaiseen kohtaan kierrätyksen ollessa ketjun loppupäässä. Teollisen ajan ainoana ja parhaana ajattelumallina pidetty läpivirtausmalli antaa tilaa kiertotaloudelliselle ajattelulle. Kiertotalous mahdollistaa kuvassa 2 esitetyn lähes suljetun kierron, joka sitoisi kasvihuonekaasuja ja parhaassa tapauksessa jopa kuluttaisi niitä. Ihmisen ulottuvissa olevien raaka-aineiden rajallisuuden takia onkin tärkeää huomata, että resursseja ei kannata heittää hukkaan. Ratkaisumalleista kierrätys on tunnetuin, mutta kiertotalouden kannalta ei ensisijaisin. Pidentämällä tuotteiden pitkäikäisyyttä, monikäyttöisyyttä ja lisäämällä yhteiskäyttöä saavutetaan ympäristön kannalta merkittävimpiä tuloksia. (Piha 2018.)



KUVA 2 Kiertotalouden periaatteellinen materiaalikierto (Euroopan parlamentti 2015)

### 2.3.2 Tekniset ratkaisut

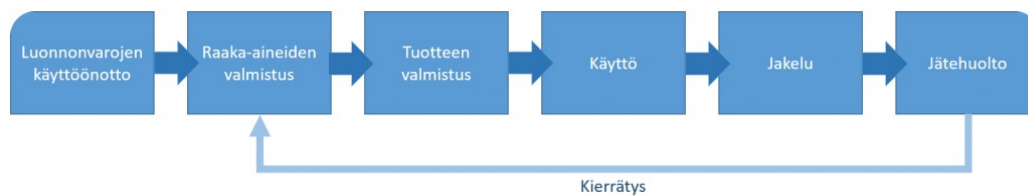
Ihmisen tekemät tekniset ratkaisut ovat keskiössä tehokkuuden lisäämiseksi, kuten energiansäästö tai prosessin nopeuttaminen. Päästöihin vaikuttaa, kuinka paljon johonkin asiaan käytetään materiaalia. Tavoitteena on vähentää päästöjä ratkaisulla niin, että se ei vaikuttaisi negatiivisesti tehokkuuteen. Teknisillä innovaatioilla voidaan yksinkertaistaa tai vähentää prosessin tarvitsemia vaiheita. Näin ollen kasvattavat ne teknisenä ratkaisuna hiilikädenjälkeä koska yksinkertaisempi prosessi vaatii vähemmän laitteita ja tämä taas pienentää kuormittavuutta. Teknisiä ratkaisuja voidaan myös tehdä prosessoitavan materiaalin käsittelyssä ja logistiikassa valitsemalla vähemmän kuormittavia vaihtoehtoja tai tehokkaampia välineitä, jotka säästävät energiaa tai toimivat suuremmalla hyötysuhteella.

Tekniset ratkaisut ovat avainasemassa myös vihreässä siirtymässä ja hiilikädenjälkeä lisäävässä toiminnassa. Hiilikädenjälkeä voidaan kasvattaa ratkaisulla, joita teknisen ratkaisun elinkaaren aikana voidaan saavuttaa ja joita ei syntyisi ilman tätä ratkaisua.



### 2.3.3 Kierrätys

Tuotteen tai asian elinkaaren vaiheissa syntyy vielä toistaiseksi jätettä, jota ei pystytä tai haluta käyttää hyödyksi. Lähtökohtaisesti kaikki jäte on maapallolta otettuja luonnonvaroja, mitä on rajoittavasti. Ennen teollistumista ihmiset käyttivät luonnonvaroja harkitummin ja tarkemmin, koska niiden hankkiminen oli työläämpää. Teollisen vallankumouksen aikana ihminen on siirtynyt enemmässä määrin kuvassa 3 esitettyyn läpivirtaukseen. Läpivirtauksessa otetaan resursseja eli luonnonvaroja käyttöön, niitä jalostetaan raaka-aineiksi ja edelleen valmiiksi tuotteiksi. Käyttöajan jälkeen tuotteet hävitetään joko sijoittamalla kaatopaikoille tai uudelleen käsittelemällä ne eli kierrättämällä. Luonnonvarat kulkevat siis ihmisen tarvitseman ajan niin kutsutussa talousputkessa.



KUVA 3 Tuotteiden läpivirtauksen kulku talousputkessa (Piha 2018).

Jätettä ei synny ainoastaan putken loppupäästä vaan putken kaikissa vaiheissa. Päästökin ovat alun perin väärään paikkaan, tai väärään muotoon joutuneita luonnonvaroja. Talousputki hukkaa siis arvoaan nykyisin läpivirtauksen kaikissa vaiheissa. Kierrättämisen tärkein tehtävä on säästää luonnonvaroja- samalla parantaen talousputken arvoa. (Piha 2018.)

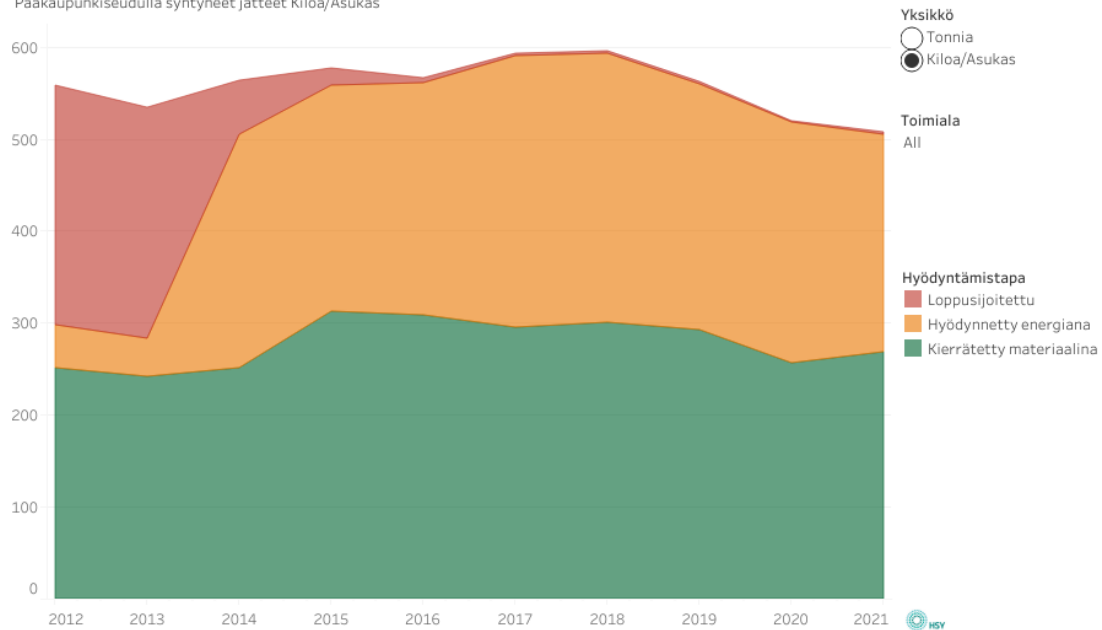
Kierrätysaste on Suomessa kohtuullinen, esimerkiksi pääkaupunkiseudulla kierrätettiin vuonna 2021 kotitalousjätteestä 47 % ja yhdyskuntajätteestä 53 %. Loppua kierrättämätöntä jätettä ei ohjata hyödyntämättömänä loppusijoitukseen eli kaatopaikoille, vaan ne hyödynnetään energiana jätteenpolttovoimaloissa. Jätteen hyödyntämisaste oli 2021 pääkaupunkiseudulla 99,61. Kuvassa 4 on esitetty jätteiden hyödyntämisen kuvaaja ajanjaksolla 2012–2021. (Ikonen Harri 2021).

## Pääkaupunkiseudun jätteiden hyödyntäminen

Kierrätysaste 2021 52,90% Kierrätysasteen kehitys ↗ 3.38 Hyödyntämisaste 2021 99,61% Hyödyntämisasteen kehitys ↘ 0.0 Vuosivalinta 2021

### Yhdyskuntajätteet

Pääkaupunkiseudulla syntyneet jätteet Kiloa/Asukas



KUVA 4 Pääkaupunkiseudun jätteiden hyödyntäminen (Ikonen 2021)

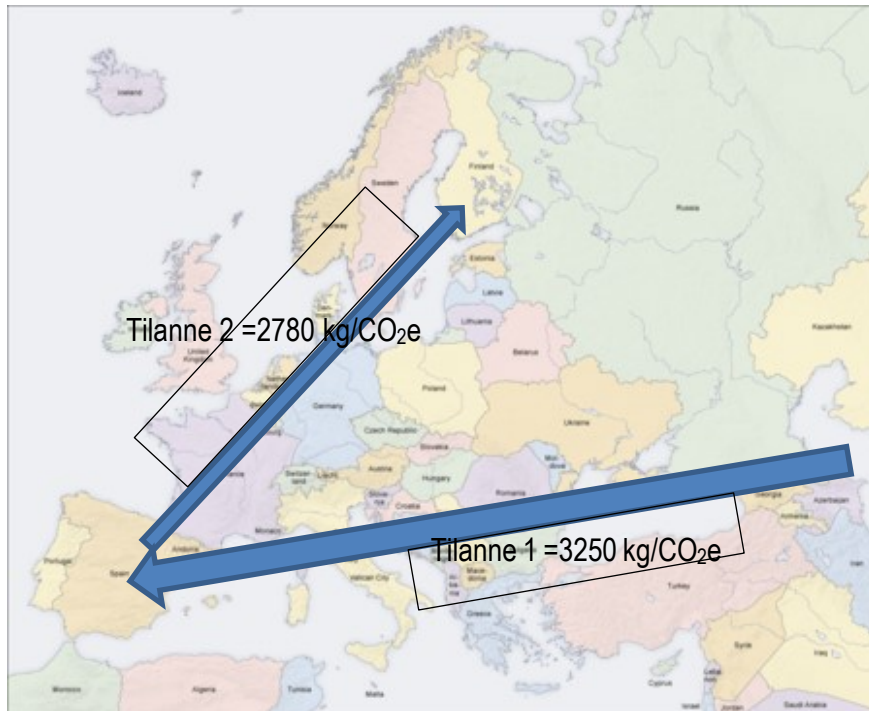
### 2.3.4 Materiaalivirta

Suunniteltaessa tuotetta on otettava aina huomioon, mistä siihen tarvittava materiaali saadaan. Materiaalin hankinta voi vaikuttaa tuotteen valmistuspaikkaan tai vastavuoroisesti materiaalin kysyntään tuotteen valmistusalueella. Siksi onkin ympäristön kannalta tärkeää miettiä missä tuotteita valmistetaan. Globalisaatio mahdollistaa pitkien materiaalivirtojen muodostamisen ja näin ollen parantaa kansainvälistä kaupankäyntiä. Tarkastellaan esimerkkinä kuvassa 5 esitettyä kahta ratkaisua materiaalin hankinnasta ja niiden päästöistä:

Tilanteessa 1 suomalainen teollisuus tarvitsee tonnin terästä. Tuote ostetaan Espanjasta, missä se on tuotettu vähähiilisestä kierrätysteräksestä valokaariuunilla. Tämän materiaaliaketjun GWP-luku olisi yhteensä 600 kg/CO<sub>2</sub>e valmistus + 40 kg/CO<sub>2</sub>e kuljetus. Kysynnän vuoksi espanjalaisen tuottajan täytyy hankkia itselleen terästä muualta, koska oma kapasiteetti on myyty Suomeen, esimerkiksi tuottaja korvaa oman kapasiteettina kiinalaisella teräksellä. Kiinalaisen teräksen GWP-

luku on (2450 kg/CO<sub>2</sub>e valmistus + 140 kg/CO<sub>2</sub>e kuljetus). Kokonaishiilijalanjälki lasketaan summaamalla nämä kaksi yhteen, jolloin tulokseksi saadaan:

$$600+60+2450+140 = 3250 \text{ kg/CO}_2\text{e}$$



KUVA 5 Hiilioksidin määrä eri materiaalinhankinta vaihtoehtoissa (Kesti 2021.)

Tilanteessa 2 teollisuuden tarvitsema teräs hankitaan kotimaiselta malmiteräksen tuottajalta, jonka GWP luku on (2160 kg/CO<sub>2</sub>e valmistus + 10 kg/CO<sub>2</sub>e kuljetus). Tässä tilanteessa espanjalainen asiakas ostaa kotimaista valokaariuunilla tuotettua kierrätysterästä GWP-luvun ollessa (600 kg/CO<sub>2</sub>e valmistus + 10 kg/CO<sub>2</sub>e kuljetus). Yhteenlaskettuna tämän GWP-luku olisi 2160+10 + 600+10 = 2780 kg/CO<sub>2</sub>e. (Kesti 2021.)

Kahden vaihtoehdon välillä on siis materiaalin hankinnassa isoja eroja. Tilanteessa 1 suomalainen yritys vähentäisi omaa hiilijalanjälkeään ostamalla ympäristöystävällisemmin tuotettua espanjalaisista terästä, mutta kokonaiskuvassa GWP-luku olisi suurempi. Vaihtoehto 2 on GWP-luvultaan 14,4 % pienempi osittain siksi, koska terästä ei tarvitse siinä hankkia kaukaa. Huomioitavaa on,

että teräksen tuotannossa ollaan Suomessakin siirtymässä kierrätysteräksen käyttöön valokaariuuneilla. Tämän myötä voidaan GWP-lukua madaltaa ja saavuttaa ympäristöhyötyjä materiaalivirtojen lyhentämisellä. (Kesti 2021.)

### **2.3.5 Materiaalin valinta**

Rakennustekniikan suunnittelussa voidaan pohtia, valmistetaanko talo puusta vai sementistä, teknisesti asiasta voitaisiin olla montaa mieltä, mutta tarkasteltaessa asiaa ympäristön kuormittavuuden kannalta on asia varsin yksiselitteinen. Puurakentamisessa hiilijalanjälki negatiiviseksi ja betonin valmistus taas kuormittaa ympäristöä runsaasti, näin tarkasteltuna puurakentaminen on ympäristölle parempi vaihtoehto. Teollisessa tuotannossa ja putkistoissa on vaikeampaa tehdä materiaalivalintoja perustuen valintojen ympäristön kuormittavuuteen, mutta se ei ole täysin mahdotonta. Materiaalin voi valita paremman kestävyysperusteella pidentäen käyttöaikaa, kuten valitsemalla laadukkaan pinnoituksen tai maalin. Materiaalin valintaa voidaan perustella myös laadun parantamisella. Sertifioitujen ja vastuullisesti toimivien valmistajien tuotteita valitsemalla kunnossapidollisia toimia ei tarvita yhtä paljon, kuin huonompilaatuisella materiaalilla.

Tuotteen valmistusmenetelmällä on myös merkitystä päästöjä mitatessa. Aikaisemmassa kappaleessa kerrottiin valokaariuunilla kierrätysmateriaalista valmistetusta uusioteräksestä. Valmistusmenetelmiin perustuvat materiaalivalinnat voivatkin olla teollisessa ympäristössä merkittävämpiä, kuin itse materiaali. Yritykset ovatkin alkaneet kilpailemaan ja markkinoimaan tuotteitaan ja toimintaansa pienempien päästöjen näkökulmasta, valitsemalla tuotteiden valmistukseen vähemmän päästöjä aiheuttavan energialähteen tai lisäämällä kierrätetyn materiaalin osuutta raaka-aineissa. Terästeollisuudessa on esimerkiksi alettu puhumaan niin kutsutusta vihreästä teräksestä. Vihreällä teräksellä ei ole vielä vakiintunutta määritelmää, mutta sen keskiössä olisi olla fossiilivapaa. Fossiilivapaan tuotteen valmistuksessa ei käytetä tai tuoteta fossiilisia polttoaineita. Vihreä teräs valmistettaisiin tuottamatta hiilidioksidipäästöjä ja käyttämällä fossiilivapaita energianlähteitä.

## 2.4 Suunnittelun vaikutus

Prosessien ja tuotteiden on mahdollista olla parempia, jos ne suunnitellaan jo lähtökohtaisesti hyvin ja ekologisuutta silmällä pitäen. Paremmalla suunnittelulla pyritään vähentämään energiankulutusta ja käyttämään saatavilla olevat resurssit paremmin - tämän tapainen toiminta heijastuu myös yritysten ja loppukäyttäjien kustannuksiin. Tuotteet, jotka siirtävät, tuottavat, käyttävät tai mittaavat energiaa voivat mahdollistaa merkittäviä säästöjä, kun ne suunnitellaan hyvin energiansäästölliset perusparametrit mielessä. Tuotteiden ekologinen suunnittelu on ennaltaehkäisevä lähestymistapa, jonka tarkoituksena on optimoida tuotteiden ympäristötehokkuus ja säilyttää samalla käyttöminaisuudet. Ekologinen suunnittelu tarjoaa uusia mahdollisuuksia valmistajille, kuluttajille ja koko yhteiskunnalle. (Direktiivit 2009. s. 1)

Ekologisen suunnittelun kannalta on huomioitavaa määrittää samat elinkaaren vaiheet kuin elinkaarianalyysien moduuleissa. Tästä on kerrottu lisää luvussa 2.5.1. Kunkin moduulin osalta on soveltuvien osien arvioitava ympäristönäkökohtia EU direktiivin 2009/125/EY mukaisesti

- ennakoitavat päästöt ilmaan, veteen tai maaperään
- ennustettu materiaalien, energian ja muiden resurssien kuten makean veden kulutus
- ennakoitu fyysikaalisista vaikutuksista kuten melusta, värinästä, säteilystä ja sähkömagneettisista kentistä johtuva saaste
- odotettu jätteen syntyminen
- mahdollisuudet materiaalien uudelleenkäyttöön, kierrätykseen ja hyödyntämiseen.

Suunnittelussa käytetään soveltuvien osien alla listattuja mahdollisia parametreja ympäristönäkökohdat silmällä pitäen

- massa ja tilavuus
- kierrätetyn materiaalin käyttö
- energian, veden ja muiden resurssien kulutus elinkaaren aikana
- asianmukaiseen käyttöön ja kunnossapitoon tarvittavien kulutushyödykkeiden määrä ja laatu
- uudelleen käyttö ja kierrätyksen helppous seuraavien seikkojen avulla: käytettyjen materiaalien ja komponenttien lukumäärä, standardikomponenttien käyttö, purkamiseen tarvittava aika, purkamiseen tarvittavien välineiden monimutkaisuus, komponenttien ja materi-

aalien koodausstandardien käyttö uudelleenkäyttöön ja kierrätykseen sopivien komponenttien ja materiaalien tunnistamiseksi (mukaan luettuna muoviosien merkintä ISO-standardien mukaisesti), helposti kierrätettävien materiaalien käyttö, arvokkaiden ja muiden kierrätettävien komponenttien ja materiaalien erottelun helppous, vaarallisia aineita sisältävien komponenttien ja materiaalien erottelun helppous

- käyttöiän pidentäminen, jota ilmentävät taattu vähimmäiskäyttöikä, varaosien saatavuuden vähimmäisaika, modulaarisuus, ajanmukaistettavuus ja korjattavuus. (Direktiivit 2009. Liite 1)

## 2.5 Hiilijalanjäljen laskenta

Jalanjäljen laskenta pohjautuu siihen, että päästölähteillä ja päästökertoimilla pitäisi olla samat yksiköt, jotta laskenta voidaan suorittaa. Luvussa 2.3.4 käsiteltiin valmiiksi laskettujen hiilidioksidiekvivalenttilukujen (kg/CO<sub>2</sub>e) yhteenlaskemista. Tässä luvussa käsitellään kyseisen arvon laskentaa. Hiilijalanjälki luvussa 2.1 mainittiin GWP-luku, joka on ”säteilyominaisuuksiin perustuva indeksi kasvihuonekaasuille, joka seuraa tietyn kasvihuonekaasun yksikkömassan pulssipäästöä nykypäivän ilmakehään integroituna valitulle aikavälille suhteessa hiilidioksidiin” (ISO 14064-1:2018, 3.1.12).

GWP-luku on siis kerroin, jota käyttämällä voidaan kasvihuonekaasuja suhteuttaa vastaavaan määrään hiilidioksidia. Hiilidioksidilla tämä arvo on 1 ja eri kaasuilla se vaihtelee tarkastelun aikavälillä. GWP-lukuja löytyy laskettuna tietokannoissa lähes kaikille materiaaleille, kuten on myös valmiita laskureita hiilijalanjäljellekin. Kaava 1 esittää yksinkertaistettuna, kuinka massaan perustuva hiilijalanjälki lasketaan.

$$CO_2e = M \times GWP \quad (KAAVA\ 1)$$

jossa

CO<sub>2</sub>e            Hiilidioksidiekvivalentti / hiilijalanjälki (CO<sub>2</sub>/kg)

M                Tuotteen massa (kg)

GWP             Indeksi kasvihuonekaasulle 100 vuodessa (kg CO<sub>2</sub>/kg)

Kansainvälinen ilmastopaneeli IPCC suosittelee käytettäväksi aikahorisontiksi sataa vuotta tietokantoihin tehdyille GWP-luvuille, jotta saadaan vertailukelpoisia arvoja. Esimerkiksi metaanin (CH<sub>4</sub>) GWP-luku sadalle vuodelle on 25 mutta kahdellekymmenelle vuodelle luku on 86. GWP-luvun laskenta vaatii derivointia ajansuhteen, koska sen arvo vaihtuu tietyn ajanjakson suhteessa. Kaavassa 2 on esitetty lämmityspotentiaalin laskenta.

$$GWP(x) = \frac{\alpha_x \int_0^{TH} [x](t) dt}{\alpha_t \int_0^{TH} [r](t) dt} \quad (\text{KAAVA 2})$$

jossa

TH                      Aikahorisontti

$\alpha_x$                       Säteilypakote

$[x](t)$                       Ainemäärän ajasta riippuvainen hajoaminen

Kaikki lämmityspotentiaalin laskenta vertailee suhdetta hiilidioksidin lämmityspotentiaaliin, jonka hajoaminen on epälineaarinen. Tämä vaikuttaa kaikkiin GWP-lukujen laskentoihin. Mikäli laskennassa tehdään oletus, että kaikkien kaasujen hajoaminen olisi lineaarista, se muuttaa aineiden GWP-lukua pienemmäksi kuin yksityiskohtaisempi tarkastelu. Tämän asian selventämisen myötä hiilidioksidin lisääntymisellä on vähemmän vaikutusta säteilyn imeytymiseen ppm-pitoisuuksien kasvaessa. Kuormittavimmilla kasvihuonekaasuilla kuten typpioksiduulilla ja metaanilla on erilaiset lämpöabsorptiivisuudet kuin hiilidioksidilla. Tämän takia niiden määrä päästöissä on merkittävämpi kuin hiilidioksidilla.

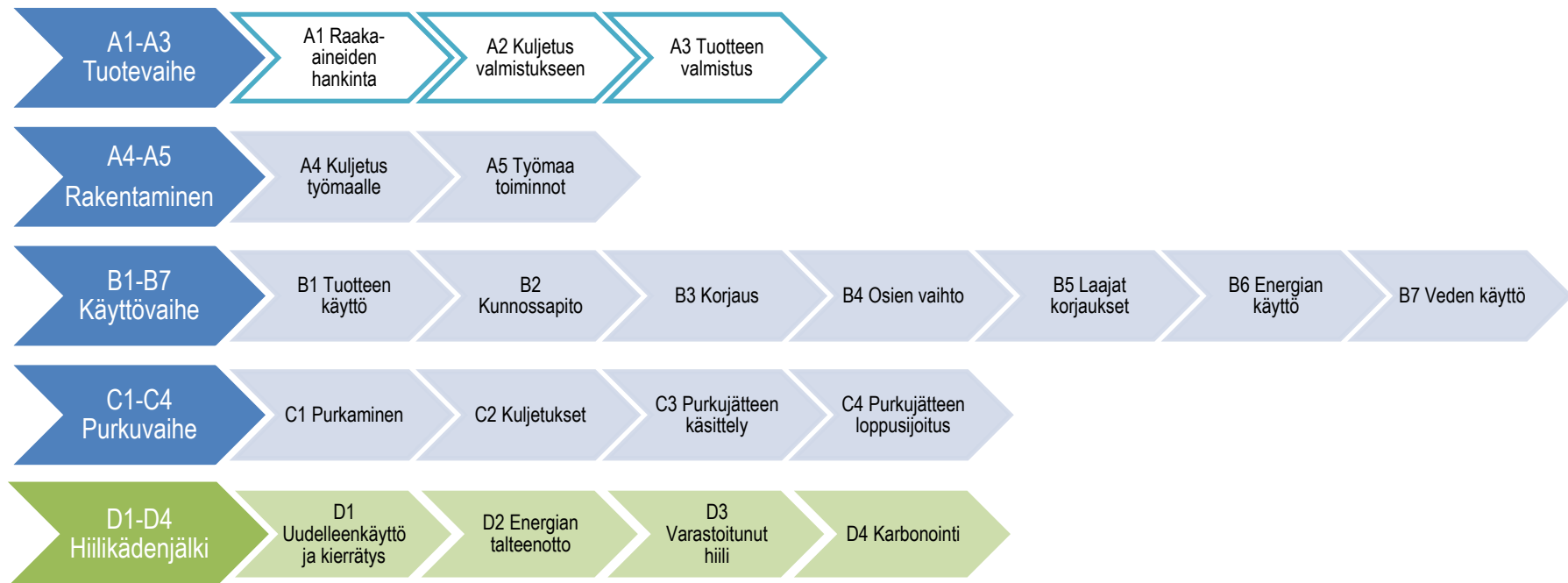
## 2.6 Määritellyt elinkaaren vaiheet

Elinkaariarviointi eli LCA on menetelmä, jossa tuotteen tai palvelun käyttämiä resursseja ja vaikutuksia ympäristölle analysoidaan ja arvioidaan koko elinkaaren aikana kehdosta hautaan. Tuotteen koko elinkaari kattaa täydellisesti sen talousputken, jossa tuotteeseen tarvittavat resurssit otetaan luonnosta tai kierrosta ja se päättyy kierrätykseen tai hylkäämiseen. Kokonaisen elinkaarianalyysin tekeminen kaikille tuotteille on työlästä. Usein onkin niin, että elinkaariarviointi toteutetaan osittaisena, mikäli sille on perusteluja tai halutaan tarkastella ainoastaan jotakin tiettyä elinkaaren vaihetta. (Syvänen ym.2017. s.19).

EPD ympäristöselosteen EN 15978 standardissa on määritelty viralliset vaiheet, joita käytetään tietokannoissa ja laskennassa. Kuvassa 6 on esitetty standardin mukaiset rakentamisen vaiheet. Samaa jaottelua voidaan soveltaa myös osaltaan teollisuuden tuotteille.

Vaiheet A1 – A3 on yleisesti ilmoitettu tietokannoissa, koska niistä saadaan kerättyä dataa valmistajilta EPD-raporttien muodossa. Logistiikan ja rakentamisen vaiheet A4-A5 voidaan myös ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa arvioituna kertoimena. Käytön ja purkuvaiheen päästöt saadaan mitattua vasta, kun projekti on saatu suunniteltua ja laskentasovelluksiin voidaan antaa asetusarvoja kyseisille vaiheille. Myös D1-vaiheen kierrätys ja uudelleenkäyttö voidaan ilmoittaa ennalta joillekin tuotteille, kuten metalleille niiden uudelleen käytettävyyden takia. Toisaalta moduulien vaiheille voidaan arvioida kertoimia keskimääräisten arvioiden pohjalta.





KUVA 6 Elinkaariarvioinnin moduulit ympäristöselosteen EN 15978 mukaan

## 2.7 Logistiikka ja kuljetus

Tuotteiden liikuttaminen tapahtuu logistisia reittejä pitkin maapallolla. Perinteisimpiä logistiikan muotoja ovat rautatiet, merireitit, lentorahti ja tieliikenne. Harvoissa tapauksissa tuotteiden elinkaaren vaiheet ovat maantieteellisesti sijoitettu samaan paikkaan, yleisemmin moduulien välissä tapahtuu logistiikkaa ja tuotteiden kuljettamista. Vuonna 2019 Suomen liikenteessä syntyi päästöjä 11,1 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia. Tilastokeskuksen tutkimuksen mukaan tieliikenteen osuus tästä oli 94 % ja loput 4 % ja 2 % tulivat vesi- ja lentoliikenteestä. Raideliikenteen osuus oli alle yhden prosentin. Liikenteen päästöt vastaavat noin viidennestä Suomen kokonaispäästöistä. (Andersson ym. 2020 s.14).

Onkin siis tärkeää määrittää tässä projektissa kuljetuksien kilometrimäärät ainakin kohtuullisella tarkkuudella. Tuotteiden tai rakennusten elinkaariarviointi kuvassa 6 on esitetty elinkaarenvaiheet moduuleina, moduulit A2 ja A4 on osoitettu kuljetukselle. Moduuli A2 on tuotteen kuljetus valmistuksessa eli vaihe, missä raaka-aine hankitaan luonnosta tai kierrosta ja se kuljetetaan tuotantolaitokseen muokattavaksi. Seuraava moduulin logistinen vaihe on A4 eli kuljetus työmaalle.

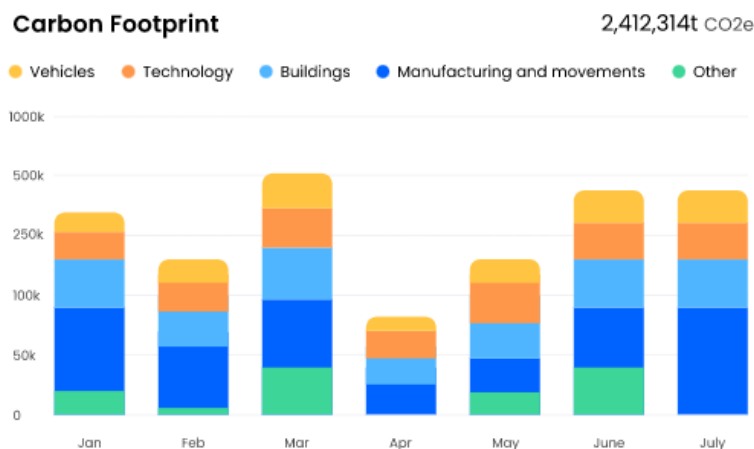
Kuvitteellisena esimerkkinä voitaisiin ottaa putkisto Oulun alueella toimivan laitoksen purkutyömaalta. Urakassa saataisiin kierrätysterästä, mikä kerätään ja kuljetetaan noin 140 kilometriä uudelleensulatukseen Outokummun tehtaalle Tornioon. Tehtaalla teräs sulatettaisiin ja valmistettaisiin uudelleen putkeksi. Myöhemmin putki ostettaisiin uuteen projektiin, työmaa sijaitsee 780 km:n päässä Turussa. Kuljetusta tulisi tässä tapauksessa moduuleihin A2 140 km + A4 780 km= 820 km.

Esimerkissä kerrottu teräs olisi voinut kiertää samankaltaisen kierron jo useaan kertaan koska n. 90 % käytössä olevasta teräksestä on kierrätettyä, haponkestävissä ja ruostumattomissa luku on n. 85 %. Kuljetuksen kilometrien lisäksi täytyisi määrittää, mitä logistiikan muotoa materiaalin liikuttamiseen on käytetty. Merireittejä tai rautateitä pitkin päästöt ovat huomattavasti pienemmät tieliikenteeseen verrattuna.

## 2.8 Laskentasovellukset

Yrityksille tuotteiden, rakennusten ja prosessien päästöt ovat haluttua tietoa. Siksi niiden tuottaminen onkin taloudellisesti kannattavaa liiketoimintaa nyt ja tulevaisuudessa. Laskentaa voidaan tehdä tietokantoja hyödyntämällä itse tai alihankintana, mikä on kuitenkin työlästä ja virhealtista työtä. Sovelluksilla kerätty ja tuotettu data pysyy tallessa pilvipalvelimissa ja servereillä. Tietoa voidaan myös tarkastella myöhemmin helposti. Laskennasta saatua dataa käytetään sertifikaatteihin, jotka vaativat käytettävän vahvistettuja tietokantoja. Hyödyllistä onkin tässä tilanteessa harkita elinkaari ja/tai hiilijalanjälkilaskurin käyttöä.

Hiilijalanjälkilaskuri kertoo yksinkertaistettuna, kuinka monta hiiliekvivalenttikiloa tai -tonnia jokin asia tuottaa tarkastelu ajanjaksolla. Laskureita on verkkoselaimissa ja hankittavissa sovelluksina, mutta toimintaperiaatteeltaan ne ovat samanlaisia. Sovelluksissa valitaan yleensä alue tai maa, missä toimitaan ja sen jälkeen kerrotaan aikaväli, jolla laskentaa suoritetaan. Yleensä aikaväleiksi määritellään 10, 50 tai 100 vuotta. Seuraavaksi sovellukset kysyvät energiankulutusta, kuinka paljon jonkin asian kulutus on ollut. Sovellukset kysyvät myös yksityiskohtaisesti paljonko johonkin käytetään resursseja, paljonko tehdään investointeja, paljonko liikutaan ajoneuvoilla tai käytetään julkisia kulkuneuvoja ja lopuksi sovellus laskee GWP-suhdelukujen ja tietokantojen avulla hiilijalanjäljen. Kuvassa 8 on esitetty erään sovelluksen pylväskaavio yrityksen hiilijalanjäljestä 8 kuukauden tarkkailuajalta. Hiilijalanjälki on siis osa tuotteen elinkaarta ja näin ollen sisältyy osaksi elinkaari-analyysiä.



KUVA 7 Yrityksen hiilijalanjälki (Net0 GHG emissions 2023.)

Elinkaarianalyysi käsittää siis sanan mukaisesti arvion tuotteen koko talousputkesta, yhdellä tapaa ilmaistuna ”kehdosta hautaan” periaatteella. Luvussa 2.6 esitettiin elinkaarenvaiheet ja LCA analyysisovellukset poimivat näistä vaiheista kuhunkin tilanteeseen tarvittavat osat ja analyysi rakentuu niiden ympärille. Elinkaarianalyysijä voidaan sisällyttää suunnitteluohjelmiin kuten Teklaan tai Vertexiin, lisäksi on selainpohjaisia ohjelmia, joihin syöttämällä datan saadaan EPD ympäristöselosteita.

Sovellukset ottavat huomioon elinkaaren aikana käytetyn energiantuotantotavan, siihen käytetyn veden määrän ja paljonko maapinta-alaa prosessi tai tuote varaa. Lisäksi otetaan huomioon logistiikan tyyppi ja loppukäsittely. Elinkaarianalyysien teko on tuotteiden kiertotalousajattelun kannalta merkittävä askel. Kun tuotteen tai prosessin talousputken kokoelinkaari päästöineen nähdään datana, on mahdollista kasvattaa kädenjälkeä ja vähentää päästöjä. (Ecochain 2023.)

### 3 TIETOMALLIPOHJAINEN PÄÄSTÖTYÖKALU

Ilmastomuutoksen hidastamisessa teollisuuden yritykset ovat merkittävässä asemassa. Haasteiden ratkaiseminen on keskipitkällä aikavälillä taloudellisesti kannattavaa yrityksille ja Suomelle. Suuryritykset asettavat askelmerkit muille ilmastotavoitteissaan ja ilman suurten toimijoiden liikkeitä muutos ei ole tarpeeksi nopea. Osakkeenomistajat ja sijoittajat ovat onneksi alkaneet esittää vaatimuksia hiili- ja ilmastoriskeistä yrityksille. Teollisuudessa putkistosuunnitelmien tilaajina yleensä toimivat suuret monikansalliset yritykset. Yritysten strategioihin kuuluu nykyisin ilmastotavoitteet ja dataa putkistojen hiilijalanjäljestä voidaan käyttää välittömästi markkinoinnissa tai apuna EPD-raporttien laatimisessa. (Sjöstedt 2018.)

Käytännöllistä hyötyä putkiston hiilijalanjäljen arvioinnilla on, kun onnistutaan luomaan luotettavaan dataan pohjautuvaa selkeää informaatiota. Arvion laatiminen jostakin asiasta tarkoittaa yleensä lähtötietoihin perustuvaa summittaista laskelmaa. Rakennetun ympäristön ja rakennusten elinkaarista arvioidaan nykyään jo suunnittelussa, joten rakennusten ympärillä olevat prosessit ja niiden komponentit seuraavat perässä.

Putkistot ovat arvioinnin kohteena varsin hyvä mittari teollisen järjestelmän ympäristön kuormittavuudesta, koska niitä on teollisuudessa niin paljon ja putkistot ovat massaltaan suuria. Lisäksi materiaalit vaihtelevat varsin vähän, joten moduulien A1 - A3 arvioita voidaan tehdä kohtuullisen helposti.

Tietomallipohjaiseen suunnitteluun integroitu automatisoitu työkalu antaisi näkyvyyttä hankkeen kokonaiskustannuksista, joihin kuuluu yhtä tärkeinä elementteinä ympäristöpäästöt ja taloudelliset kustannukset. Kumpikin pitäisi olla tiedossa hankkeita suunniteltaessa ja niitä tulisi seurata ja yhtälöstä viestiä avoimesti. Työkalusta tulisi olla tulostettavissa asiakkaalle helppolukuinen raportti päätöksenteon tueksi.

Tässä työssä päätettiin lähteä kehittämään laskentatyökalua nykyisen mallinnussovelluksen rinnalle. Perusteluina työkalun rakentamiselle mallinnuksen yhteyteen voidaan pitää putkistokomponenttien tarkkoja tietomallipohjia ja suunnittelun yksinkertaistuksen kannalta oleellista helppoutta.

### 3.1 Työkalun parametriset oletukset

Työn tuloksien kannalta on tärkeää määrittää, kuinka tarkkaan hiilijalanjälkeä halutaan arvioida. Arvion alueeksi voidaan päättää, että lasketaan ainoastaan putkiosia ja varusteita. Putkiosiksi määritellään yleensä suorat osuudet, käyrät, t-haarat, kartiot, laipat ja päädyt. Varusteina pidetään venttiileitä, suodattimia, lauhteenpoistimia ja pumppuja. Oletuksen perusteluna voidaan pitää sitä, että putkiston tyypillisille osille löytyy massojen valmiiksi laskettuja arvoja erilaisista mallinnussovelluksista. Merkille pantavaa on esimerkiksi se, että kauluslaipan valmistuksessa käytetään enemmän energiaa kuin putkikäyrän valmistuksessa. Riittävän tarkan arvion saamiseksi riittää kuitenkin työkalun oletuksena, että lasketaan kaikki osat valmistuksen energiankulutuksen kannalta samansuuruisiksi.

Putkistomateriaalien tuotantomenetelmät oletetaan geneeriseksi arvoksi. Tähän on syynä suunnitteluvaiheessa se, ettei voida perustellusti päättää, miltä valmistajalta putkiston osat pitäisi hankkia. Kuitenkin kolmannes Euroopan markkinoilla olevasta ruostumattomasta teräksestä valmistetaan Outokummun ja yhtiön muiden toimijoiden tehtailla. (Häkkinen, 2020). Paineastiatäräksien valmistus keskittyy SSAB:n tehtaalle ja molempien toimittajien EPD-raportteja on käytetty tietokantojen datan pohjana. Tietokantoihin on laskettu keskiarvo kunkin materiaalintuottajien GWP-luvuista, näin on saatu konservatiiviset ja geneeriset arvot materiaalin tuotannolle A1 - A3 moduuleissa.

### 3.2 Työkalun parametriset rajaukset

Tässä yhteydessä päädyttiin tekemään rajausta laskettavista materiaaleista. Erityyppisiä putkimateriaaleja on teollisuudessa paljon. Ajankäytön kannalta ja laskentatyökalun toiminnan testaamisen puolesta on perusteltua rajata yleisimmin käytössä olevia putkimateriaalilaatuja. Myöhempiä käyttöä ajatellen voidaan laskuriin lisätä muitakin materiaalilaatuja.

Työkalun pohjana käytetään Suomen ympäristökeskuksen päästötietokannasta saatua geneeristä dataa ruostumattomalle teräkselle ja paineastiatäräkselle. Työssä rajataan numerotunnuksiltaan seuraavat EN 10088-5 standardin mukaiset ruostumattomat teräkset. (SFS-EN 10088-4:2009, 21)

- 1.4301 (X5CrNi18-10)
- 1.4307 (X2CrNi18-9)
- 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2)

- 1.4432 (X2CrNiMo17-12-3)
- 1.4462 (X2CrNiMoN22-5-3)
- 1.4539 (X1NiCrMoCu25-20-5)

Mainituille ruostumattoman teräksen laaduille käytetään konservatiivista A1 - A3 vaiheiden GWP lukua 4,3 kg CO<sub>2</sub>e /kg (Hänninen 2020–1).

Paineastiateräksille rajataan numerotunnuksiltaan seuraavat EN 10219 standardinmukaiset laadut. (SFS-EN 10028-2:2017, 9)

- 1.0345 (P235GH)
- 1.0352 (P245GH)
- 1.0425 (P265GH)

joille käytetään konservatiivista A1 - A3 vaiheiden GWP-lukua 2,8 kg CO<sub>2</sub>e /kg (Hänninen 2020–2).

Käytön kannalta oleellista on siis massatieto. Materiaaliin massatiedon puuttuminen vaikeuttaa laskentaa. Toisena rajauksena voitaisiinkin pitää mallinnuksessa massatiedon puuttumista, tällöin osalle ei lasketa päästötietojaan. Putkiosien massoille lasketaan yksinkertaiset tiheyteen perustuvat kaavat kaavan 3 mukaisesti. Laskentaan tarvitaan pyöreän poikkileikkauksen omaavan putkimateriaalin massa, tuotteen ulkohalkaisija, seinämän paksuus, materiaalin ominaispaino ja segmentin kokonaispituuden.

$$M = \pi * \rho * s * (D_u - s) * L \quad \text{(KAAVA 3)}$$

jossa

M	tutkitun putken haluttu massa
$\pi$	piin vakio
$\rho$	materiaalin ominaispaino
S	seinämän paksuus
D <sub>u</sub>	putken kehän ulkohalkaisija
L	tuotteen pituus

Rajaavana tekijänä putkiston varusteille on se, että mallinnetulle varusteelle on annettu materiaalitieto. Materiaalitiedon perusteella työkalu voi laskea hiilijalanjäljen myös varusteelle. Perusteltua on muistaa varusteiden koostuvan useammasta kuin yhdestä erilaisesta materiaalista. Varusteiden runko ja osat voivat vaihdella, mutta materiaalitiedoissa ilmoitettu materiaali perustuu rungon materiaaliin ja sen perusteella laskentakin suoritetaan.

Yleensä putkilinjoissa ei käytetä eri materiaaleja varusteissa kuin itse putkiosissa, jotta ei tapahtuisi galvaanista korroosiota, mutta myös kulumisen kannalta on perusteltua valita samaa materiaalia samoissa oloissa oleviin putkilinjoihin.

Rajataan siis työkalun käyttöä seuraavasti:

- Lasketaan vain projektien ruostumattomat ja paineastiateräket.
- Lasketaan vain putkiosat, joilla on mallinnuksessa laskettuna massa.
- Laskennassa käytetään geneerisiä arvoja GWP luvuille, jotka on otettu Suomen ympäristökeskuksen CO2data.fi tietokannasta.

### 3.3 Tietokanta

Tietokanta (database) tarkoittaa sitä, että dataa on tallennettuna tietokoneelle, jota käyttäjä voi tarkastella ja muuttaa. Tietokantoja on luotu erilaisiin tarkoituksiin, perinteisimmät tietokantojen käyttötarkoitukset ovat käyttäjärekisterit, inventaariolistat, pankkien asiakas ja tilitapahtumat, lentoliikenteen lokikirjat ja meteorologiset merkinnät. Tietokannat ovat teknisesti haastavia kokonaisuuksia tehdä ja ylläpitää niin että ne toimivat halutulla tavalla. Tallennettava datan suurimäärä ja jatkuva tietojen haku ja muokkaus luovat kysynnän hyvin ohjelmoidulle sovellukselle. Nykyisin yleisimmin käytössä oleva ohjelmointikieli tietokannoissa on SQL ja relaatiomalli. (Laaksonen, 2020)

Relaatiomallissa kaikki tieto tallennetaan tauluihin riveinä, jotka viittaavat toisiinsa ja käyttäjä käsittelee tietoa SQL-kielellä, joka kätkee sisäisen toiminnan yksityiskohdat. Tietokannan rakenne relaatiomallissa esitetään tauluina, joissa on kiinteät sarakkeet. Tauluihin syötetään tietoa riveinä. Kaikki tieto on luettavissa tauluista ja sarakkeen määrittäminen viittaa seuraavaan tauluun, jolloin voidaan käsitellä tietoa helpommin. Alla on esimerkki kuvassa 9. Taulut "Tuotteet" ja "Asiakkaat"



määrittävät id-numerot kyseisille parametreille ja "Ostokset"-taulu yhdistää datan helpommin luet-  
tavaan muotoon hakemalla datan id-numeron perusteella. (Laaksonen 2020)

Tuotteet			Asiakkaat		Ostokset	
id	nimi	hinta	id	nimi	asiakas_id	tuote_id
1	retiisi	7	1	Uolevi	1	2
2	porkkana	5	2	Maija	1	5
3	nauris	4	3	Aapeli	2	1
4	lanttu	8			2	4
5	selleri	4			2	5

KUVA 8 SQL-tietokanta toimintaperiaate (Laaksonen, 2020)

SQL-ohjelmointikielen teoria luotiin jo 1970-luvulla ja sen perusidea on, että käyttäjällä on englan-  
ninkielisiä komentoja, kuten SELECT ja WHERE, joilla voidaan lisätä, hakea, muuttaa ja poistaa  
tietokannan dataa. SQL-kielen hienous piilee sen kyvyssä suorittaa haluttuja tehtäviä halutun da-  
tan kuvailun perusteella. Käyttäjän ei tarvitse itse kaivaa tietokannan uumenista dataa vaan ko-  
mmennot hoitavat työn. (Laaksonen, 2020)

Opinnäytetyössä on hyödynnetty CO2data-nimistä tietokantaa. Dataa löytyy niin infrastruktuuri  
rakentamiselle kuin tekniselle rakentamiselle. Palvelussa julkaistaan geneeristen tuotteiden ja  
palvelujen elinkaarisia ominaispäästötietoja. Näitä tietoja voi käyttää elinkaaristen päästöjen las-  
kentaan. Datasettejä on kerätty tietokantaan esimerkiksi rakennusmateriaaleista, kemikaaleista,  
muoveista, energiamuodoista, puumateriaaleista metalleista, tekstiileistä, kierrätyksestä ja muista  
teollisintason virroista.

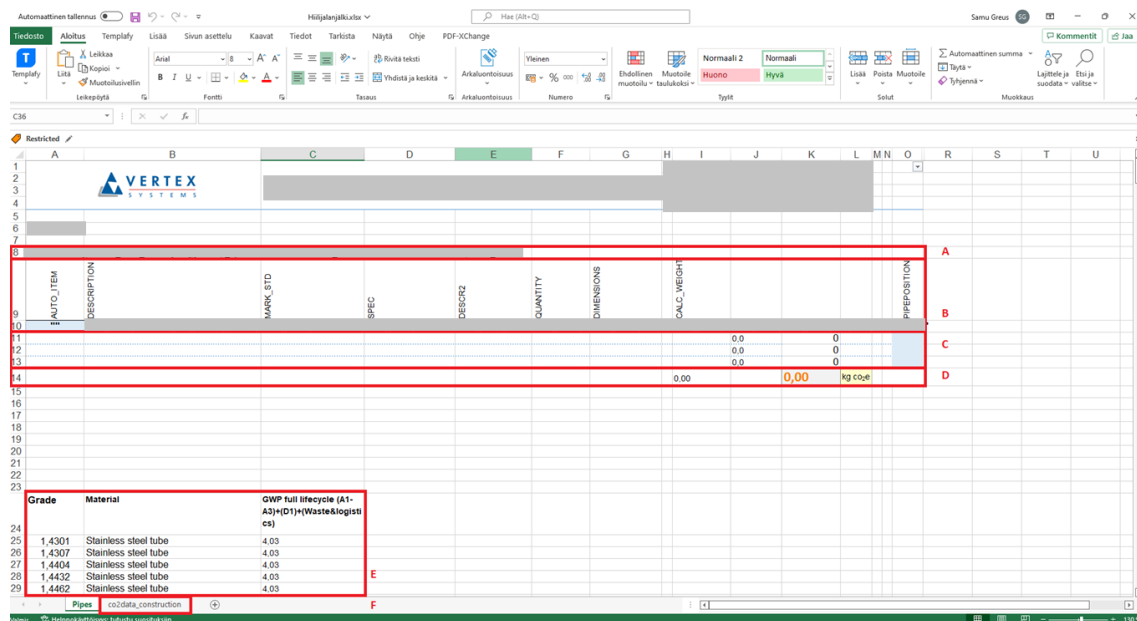
### 3.4 Työkalun rakentaminen CAD-ohjelmaan

Cad-ohjelmilla mallinnetaan ja piirretään putkistosuunnitelmia. Yksi Swecolla käytössä olevista cad-ohjelmista on kotimainen Vertex G4plant 3D-mallinnusohjelma. Ohjelmalla voidaan luoda suuria teollisuuskokonaisuuksia ja mallintaa putkistoja. Tietomallipohjaiseen mallinnusohjelmaan on koodattuna tietokantoja tyypillisistä putkiluokista ja materiaaleista.

Työkalu rakennettiin Vertexin Excel-raporttipohjaa apuna käyttäen. Vertexin VXM-mallinnusformaattista haettu tieto, asettelu ja sen järjestely määritettiin ensin XLSX-tiedosto pohjassa. Tiedot noudetaan XPath-kyselykielen avulla XML-tiedostosta. Raporttipohjaan noudetaan mallista mallin nimiketiedoista seuraavaa dataa

- osan kuvaus
- mittatieto
- **materiaali**
- putkiluokka
- määrä
- pituus/kulma
- **massa**
- putkipositio

Lihavoituna ovat työkalun toiminnan kannalta oleellimmat parametrit, ja XML-tiedosto listaa datan tietoaalueeseen. Kuvassa 9 esitettynä määrittelyrivillä (A) kerrotaan, mitä lähdetiedostosta haetaan, miten listauksen rivit ryhmitellään, mikä on rivien järjestys jne. Sarakealueella (B) määritetään listauksen sarakkeet ja niiden otsikot. Tietorivialueelle (C) listataan lähdetiedostosta saatavat tiedot. Tietoaalueeseen kuuluu yhteenvetoalue (D). Kenttä (E) on datamatriisi, mistä (C) alueella tehtävä laskenta hakee osien GWP arvon. Datamatriisi hakee puolestaan tiedot toiselta välilehdeltä (F).



KUVA 9 Tietoalueiden määrittelyt

Sarakealueelle (B) on luotu kaksi generoituvaa riviä, joita on esitetty kuvassa 10. Rivillä (G) työkalu etsii tietorivillä (C) olevassa materiaalitietosarakkeessa ennalta määrättyä materiaalia. Mikäli jos-funktio löytää datamatriisia vastaavan materiaalin, se antaa materiaalille lasketun GWP-kertoimen. Esimerkkinä kuvassa esitettynä laadulle 1,4432 funktio noutaa datamatriisista (E) kertoimen 4,03 kg /co<sub>2</sub>e kg.

Sarake (H) laskee yhteen kertoimen ja materiaalin lasketun massan. Lisäksi funktio muuntaa virheelliset ja tyhjät kentät nolliksi, koska putkiston kokonaishiilijalanjäljen summaaminen helpottuu. Summaaminen tapahtuu kentässä (I) ja summalausekkeen lisäksi funktio ohittaa piilotetut rivit, virhearvot sekä sisäkkäiset välisumma- ja koostefunktiot.

SPEC	DESCR2	QUANTITY	DIMENSIONS	CALC_WEIGHT	G	H	PIPEPOSITION
1.4432				6,00	4,03	24,18	"Positio"
					0,0	0	
				6,00		24,18	kg co <sub>2</sub> e

KUVA 10 Generoituvat tietorivit

Datamatriisi kenttä (C) perustuu co2data-tietokantaan, joka on tuotu JSON-tiedostomuodossa toiselle välilehdelle. Kuvassa 11 esitetään kohdassa (J) ruostumattoman teräksen moduulien A1-A3 aikainen konservatiivinen hiilijalanjälki. Datamatriisiin (C) summataan moduulin A4-A5 logistiikan ja materiaalin hukkakertoimet, jotka on esitetty kuvassa (L) kohdassa. Lisäksi kierrätyksen hiilikädenjäljen negatiivinen tekijä D1 on otettu huomioon summassa kohdassa (K). Tietokanta on ajettu työkaluun kokonaisuudessaan ja laskentaa voidaan myöhemmin laajentaa helposti muillekin materiaaleille.

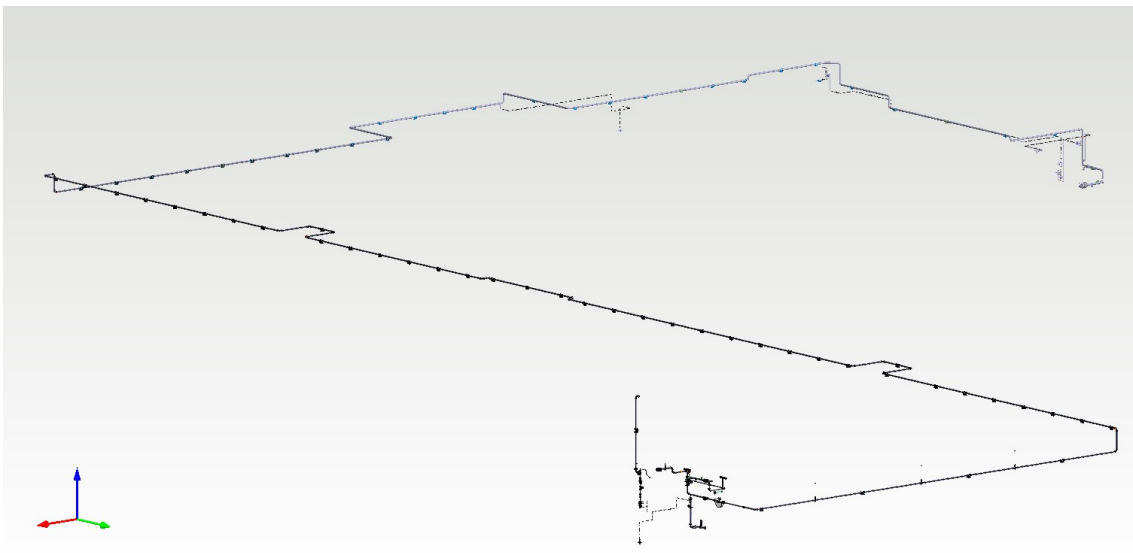
Column1.ResourceType	Column1.Name	Column1.DataItemName	Column1.DataItemValue	Column1.DataItemUnit	Column1.Conversions.Field	Column1.Conversions.Unit	Column1.ConservativeDataConversionFactor	Column1.Waste&LogisticsFactor	Column1.RefServiceLife
Material	Stainless steel tube	Global Warmi kg CO2e/kg	A1-A3 Conservative	4,300 Volume	m3		1.2	1.03	>50 years
Material	Stainless steel tube	Global Warmi kg CO2e/kg	A1-A3 Conservative	4,300 Volume	m3		1.2	1.03	>50 years
Material	Stainless steel tube	Global Warmi kg CO2e/kg	A1-A3 Conservative	4,300 Volume	m3		1.2	1.03	>50 years
Material	Stainless steel tube	Global Warmi kg CO2e/kg	D1	-1,300 Volume	m3		1.2	1.03	>50 years
Material	Stainless steel tube	Global Warmi kg CO2e/kg	D1	-1,300 Volume	m3		1.2	1.03	>50 years
Material	Stainless steel tube	Global Warmi kg CO2e/kg	D1	-1,300 Volume	m3		1.2	1.03	>50 years
Material	Steel profile and grill, light-weight, gr	Global Warmi kg CO2e/kg	A1-A3 Conservative	2,800 Volume	m3		1.2	1.03	>50 years
Material	Steel profile and grill, light-weight, gr	Global Warmi kg CO2e/kg	A1-A3 Conservative	2,800 Volume	m3		1.2	1.03	>50 years
Material	Steel profile and grill, light-weight, gr	Global Warmi kg CO2e/kg	D1	-1,400 Volume	m3		1.2	1.03	>50 years
Material	Steel profile and grill, light-weight, gr	Global Warmi kg CO2e/kg	D1	-1,400 Volume	m3		1.2	1.03	>50 years

KUVA 11 co2data-tietokanta työkalussa

GWP-luvun linkittäminen materiaaliin putkikomponenttien sijaan mahdollistaa kokonaisvaltaisen laskemisen. Suunnitelmissa on muitakin ruostumattomasta teräksestä valmistettuja osia kuin putkiosat. Materiaaliin linkitetty GWP-luku laskee siis kattavammin mukaan kaikki.

## 4 ESIMERKKILASKENTA KESKIVAIKEALLE PUTKELLE

Opinnäytetyössä on hiilijalanjäljen laskentaan käytetty esimerkkiprojektia, kyseessä on kemikaalin lastausputkisto. Putkisto on suunniteltu pääosin PSK 4240\_4p\_K-standardin putkiluokan E16H2A mukaan. Materiaalina on käytetty putkiluokkaan kuuluvien DN10...DN1000 putkille austeniittista ruostumatonta terästä 1.4432 (X2CrNiMo17-12-3). Pituutta putkistolla on 345 metriä ja putkiosien yhteenlaskettu kokonaismassa on 2353 kg. Kuvassa 12 on esitettyä koko projekti, missä on 6 suurempaa putkilinjaa ja 6 pienempää kokonaisuutta. Seuraavassa luvussa lasketaan koko projektin kaikille putkilinjoille linjakohtaiset hiilijalanjäljet ja koko projektin yhteenlaskettu hiilijalanjälki.

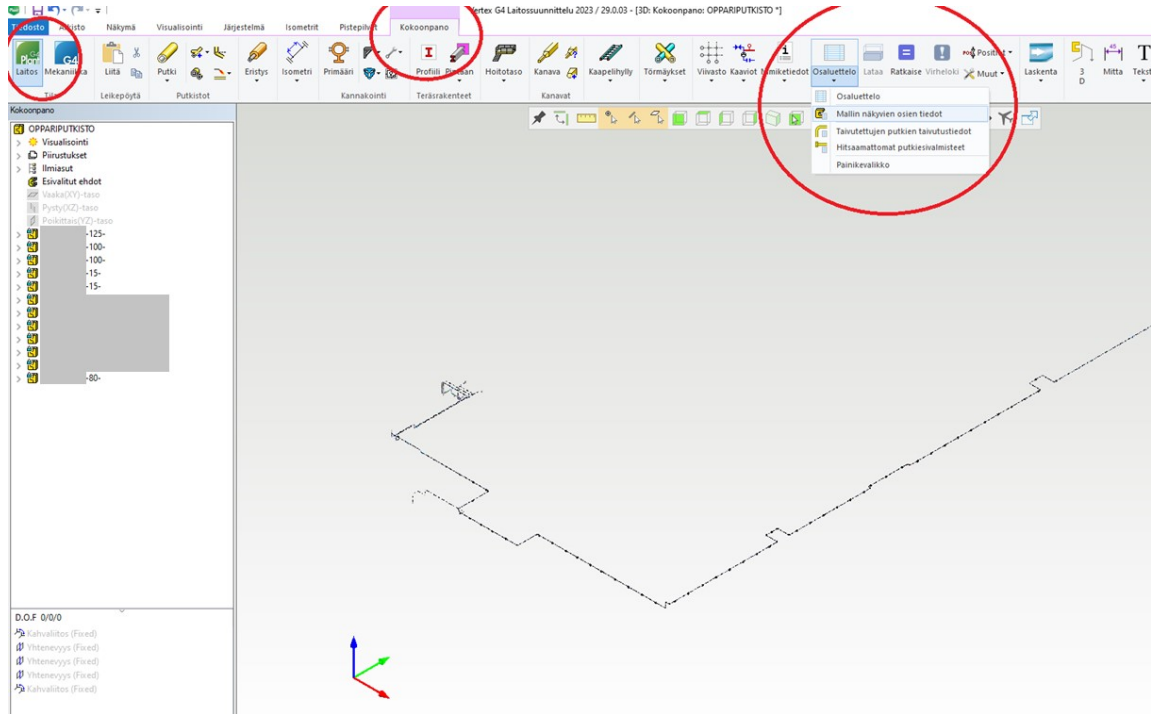


KUVA 12 Esimerkkiprojektin putkisto

### 4.1 Esimerkkilaskenta

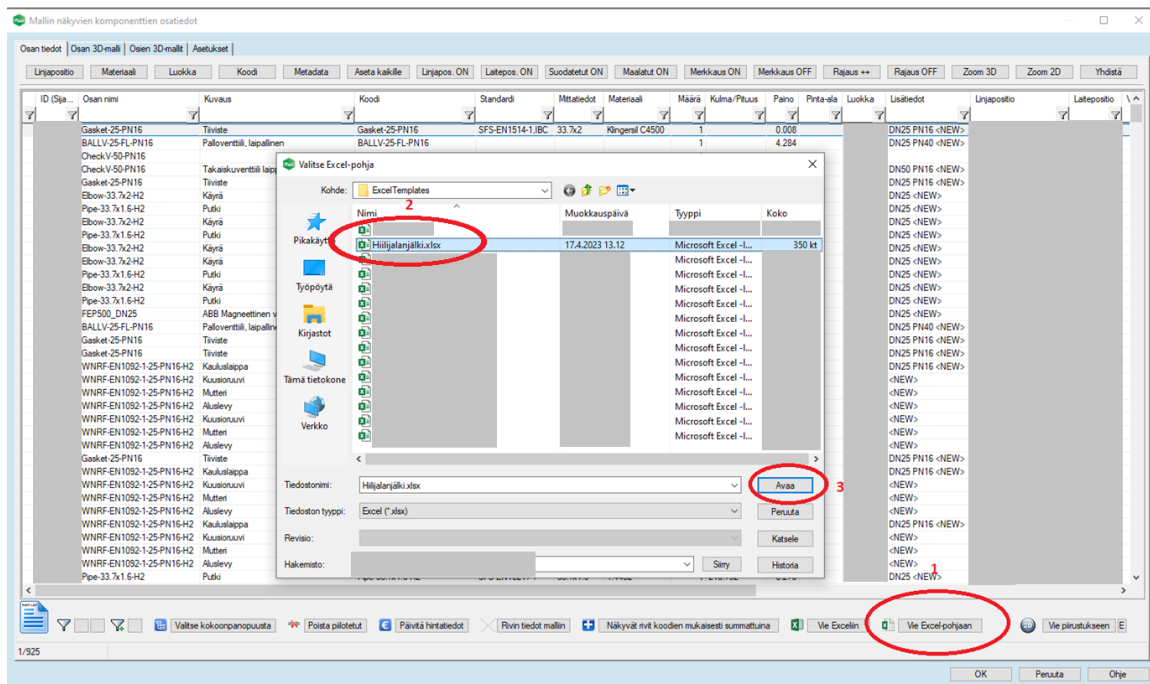
Työkalun helppous ja yksinkertaisuus on olennaista käytön yleistymisen kannalta. Tämän takia hiilijalanjäljen saaminen projekteista on pyritty tietoisesti tekemään mahdollisimman suoraviivaiseksi. Vaatimuksena työkalun käytölle on, että tietokoneelta löytyy asennettuna Microsoft Excel ja Vertex G4-plant laitossuunnitteluversio 29.0.03. Toimiakseen tarkoitetulla tavalla työkalu pitää viedä G4-Plantin asennuskansioon.

Seuraavaksi avataan kuvassa 13 näkyvä putkistoprojekti Vertexillä tavalliseen tapaan. Navigoidaan yläpalkista kokoonpano osioon ja valitaan tilaksi laitosmallinnus. Työkaluista löytyvä osaluettelo ominaisuuden alta avataan ”Mallin näkyvien osien tiedot”



KUVA 13 Työkalun käyttö, vaihe 1

Mallin näkyvät osatiedot kirjaimellisesti näyttävät jokaisen mallissa näkyvän osan. Osatietoja on mahdollista muokata tässä näkymässä ja tietoja on mahdollista suodattaa halutun mukaiseksi. Valitaan kuvassa 14 näkyvä kohdan 1 mukaisesti ”Vie Excel pohjaan”. Valitaan avatusta ikkunasta kohdassa 2 näkyvä hiilijalanjälki.xlsx raporttipohja ja lopuksi suoritetaan toiminto painamalla kohdan 3 ”avaa” painiketta.



KUVA 14 Työkalun käyttö, vaihe 2

Toiminto avaa Excel-ohjelmalla hiilijalanjälkilaskurin, jonka toimintaa on luvussa 3.4 kuvattu. Työkalu vertaa mallinnettuja osia tietokannassa löytyviin materiaaleihin. Kun työkalussa määritettyjä materiaaleja löytyy, se laskee GWP-luvun kertoimella osalle hiilijalanjälkiarvion. Putkilinjakohtaisesti työkalu summaa osien hiilijalanjäljet yhteen ja antaa putkilinjakohtaisen arvion alhaalla kuvan 15 kohdassa 1.

Restricted													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2		VERTEX								Päivys	2023-04-17		
3										Projekti			
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10		Kuvaus	Mittatiedot	Materiaali	Luokka	Määrä	Pituus/Kulma	Paino	Kerroin	Hiilijalanjälki		Positio	
11	1	Vuotostapa laipan ympärille	DN80			1		0,15	0,0	#ARVO!			
12	2	Tavine, EPDM Kumi	90x8,2	EPDM		1		0,15	#PUUTTU!	0			
13	3	Tavine, EPDM Kumi	90x8,2	EPDM		1		0,15	#PUUTTU!	0			
14	4	Tavine	88 3/2	Klingeril Top-Chem 20		1		0,03	#PUUTTU!	0			
15	5	Tavine	21 3/2	KLINGER top-chem 20		1		0,00	#PUUTTU!	0			
16	6	Tavine	21 3/2	KLINGER top-chem 20		1		0,00	#PUUTTU!	0			
17	7	Putki DN80 d SDR11	90x8,2	PEH(PE 100)		1	553,9	3,16	#PUUTTU!	0			
18	8	Putki DN80 d SDR11	90x8,2	PEH(PE 100)		1	210,0	3,47	#PUUTTU!	0			
19	9	Putki DN80 d SDR11	90x8,2	PEH(PE 100)		1	1732,0	29,65	#PUUTTU!	0			
20	10	Putki	168 3/2	1,4432		1	1471,7	12,00	4,03			48,33985	
21	11	Putki	168 3/2	1,4432		1	192,0	1,57	4,03			6,30695	
22	12	Putki	168 3/2	1,4432		1	466,9	3,81	4,03			15,33415	
23	13	Putki	88 3/2	1,4432		1	150,0	0,64	4,03			2,57517	
24	14	Putki	33 1/2	1,4432		1	108,5	0,14	4,03			0,55211	
25	15	Pallotventtiili, lapallinen				1		2,26	0,0			0	
26	16	Munari	M12			4			0,0	#ARVO!			
27	17	Munari	M12			4			0,0	#ARVO!			
28	18	Leikkakara / istaleire	114 3/4 104 (14 Suutale)	A15 316		1		1,57	4,03				
29	19	Käysä	168 3/2-6	1,4432		1	90,0	3,80	4,03			15,30191	
30	20	Käysä	168 3/2-6	1,4432		1	90,0	3,80	4,03			15,30191	
31	21	Kuustonauk	M12x50			4			0,0	#ARVO!			
32	22	Kuustonauk	M12x50			4			0,0	#ARVO!			
33	23	Kaukulaippa	DN80 PN16	1,4432		1		3,86	4,03			15,53968	
34	24	Kaukulaippa	DN80 PN40	1,4432		1		2,49	4,03			10,01455	
35	25	Kaukulaippa	DN25 PN16	1,4432		1		1,30	4,03			5,22288	
36	26	Kaukulaippa	21 3/2	1,4432		1		0,77	4,03			3,09101	
37	27	Kaukulaippa	21 3/2	1,4432		1		0,77	4,03			3,09101	
38	28	Karto K	168 3/2-114 3/2	1,4432		1		1,11	4,03			4,46524	
39	29	Karto K	88 3/2-60 3/2	1,4432		1		0,31	4,03			1,23721	
40	30	Intolaippa EN 1092-1 maalaus E2103	90x8,2	P285GH		1		5,85	2,43			13,73193	
41	31	Intolaippa EN 1092-1 maalaus E2103	90x8,2	P285GH		1		5,85	2,43			13,73193	
42	32	Intolaippa EN 1092-1 maalaus E2103	90x8,2	P285GH		1		5,85	2,43			13,73193	
43	33	Hirsipä		1,4432		1		1,55	4,03			6,25053	
44	34	Elbow DN80	90x8,2	PE 100		1	90,0	2,34	#PUUTTU!	0			
45	35	Aluslevy	M12			4			0,0	#ARVO!			
46	36	Aluslevy	M12			4			0,0	#ARVO!			
47	37		21 3/2			1		0,08	0,0			0	
48								102,69					
										1	193,82	kg co2e	

KUVA 15 Työkalun käyttö, vaihe 3

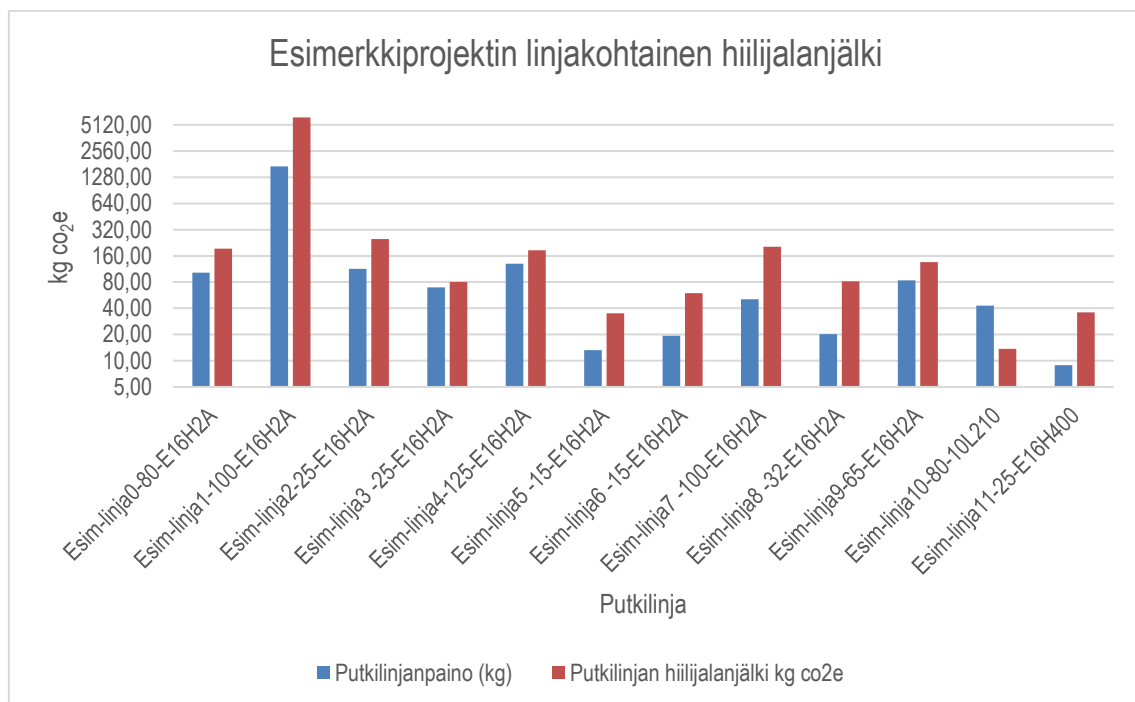
Työkalussa alaspäin navigoitaessa löytyy laskettuna kaikki putkilinjat erikseen, joita mallissa oli näkyvillä. Esittämisen selkeyden vuoksi listataan putkilinjat, massat ja hiilijalanjäljet alla olevaan taulukkoon 1.

TAULUKKO 1 Putkiston massat ja hiilijalanjäljet

Putkilinja	Paino(kg)	Hiilijalanjälki(kgco <sub>2</sub> e)
Esim-linja0-80-E16H2A	102,69	193,82
Esim-linja1-100-E16H2A	1700,77	6226,94
Esim-linja2-25-E16H2A	113,64	249,17
Esim-linja3 -25-E16H2A	69,55	80,26
Esim-linja4-125-E16H2A	130,35	185,62
Esim-linja5 -15-E16H2A	13,29	34,98
Esim-linja6 -15-E16H2A	19,43	59,73
Esim-linja7 -100-E16H2A	50,73	204,31
Esim-linja8 -32-E16H2A	20,21	81,35
Esim-linja9-65-E16H2A	83,68	135,44
Esim-linja10-80-10L210	43,00	13,73
Esim-linja11-25-E16H400	8,92	35,83
<b>Yhteensä</b>	<b>2356,26</b>	<b>7501,18</b>



Putkilinja Esim-linja1-100-E16H2A käsittää merkittävän osan projektin putkista, joten on syytä havainnollistamisen takia tuloksia esitetään myös logaritmisella palkkikaaviolla kaaviossa 2. Voidaan havaita, että kaikilla linjoilla hiilijalanjälki ei ole tällä laskennalla aivan yhtä verrannollinen, mitä GWP-luku vastaa. Tämä johtuu siitä, että laskuri ottaa huomioon ennalta määritellyt teräkset. Osassa putkilinjoissa on varusteita, joilla ei ole materiaali- tai massatietoja, jotka osaltaan vääristävät tuloksia. Voidaan kuitenkin kohtuudella sanoa, että tulos on tarpeeksi tarkka ja sitä voidaan käyttää putkilinjan arvioidun hiilijalanjäljen leimassa. Tuloksen esittämisestä kerrotaan seuraavassa luvussa.



*KAAVIO 2 Linjakohtainen massan ja hiilijalanjäljen vertailu*

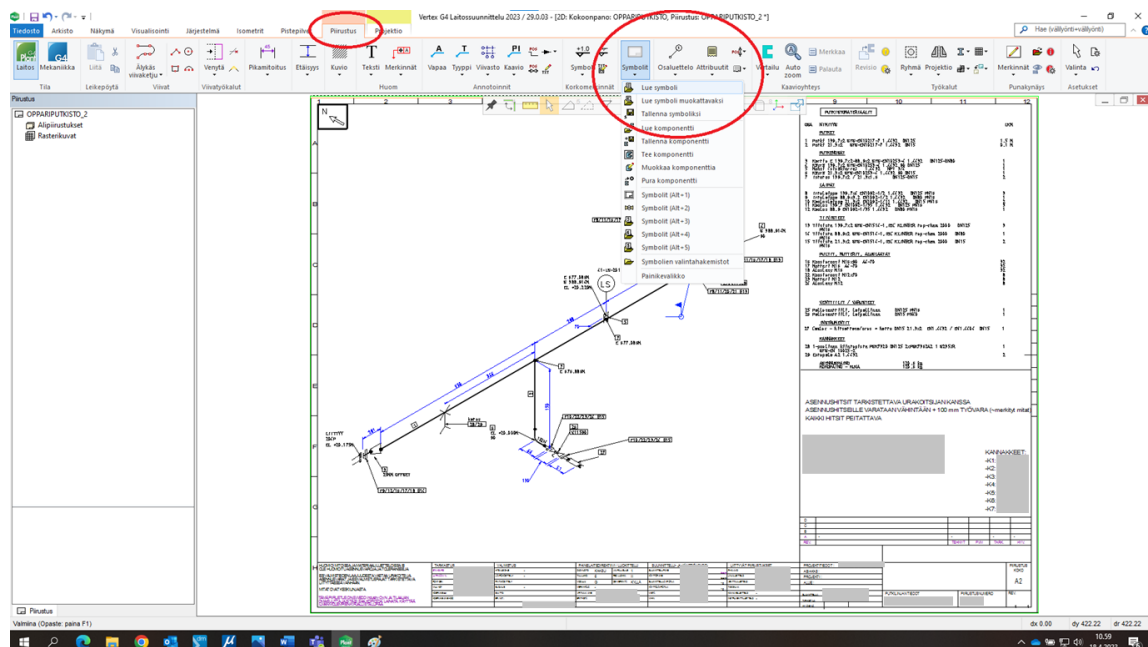
## 4.2 Tuloksen esitystapa

Laskurilla tehdyn hiilijalanjälkiarvion jälkeen voidaan tuloksia esittää isometreissä tai muissa putkistokohtaisissa piirustuksissa, kuten tasokuviissa. Työkalun tuloksien esittämistä varten luotiin Ver-texin symbolikirjastoon uusi symboli. Symbolin ulkoasu haluttiin pitää tietoisesti yksinkertaisena ja selkeänä. Esitettäväksi asioiksi valittiin linjatunnus, putkiston massa ja itse hiilijalanjälki. Laskennan pohjana käytetty tietokanta esitettiin symbolissa sekä elinkaaren lasketut moduulivaiheet. Symbolikirjastoon luotu leima on esitetty kuvassa 16.

Pipeline estimated carbonfootprint. based on Co2data.fi database		
Incl. life cycle modules (A1-A3)+(A4-A5)+(D1)	Pipeline weight kg	Carbonfootprint kg co2e
<Line id>	<Weight>	<GWP estimate>

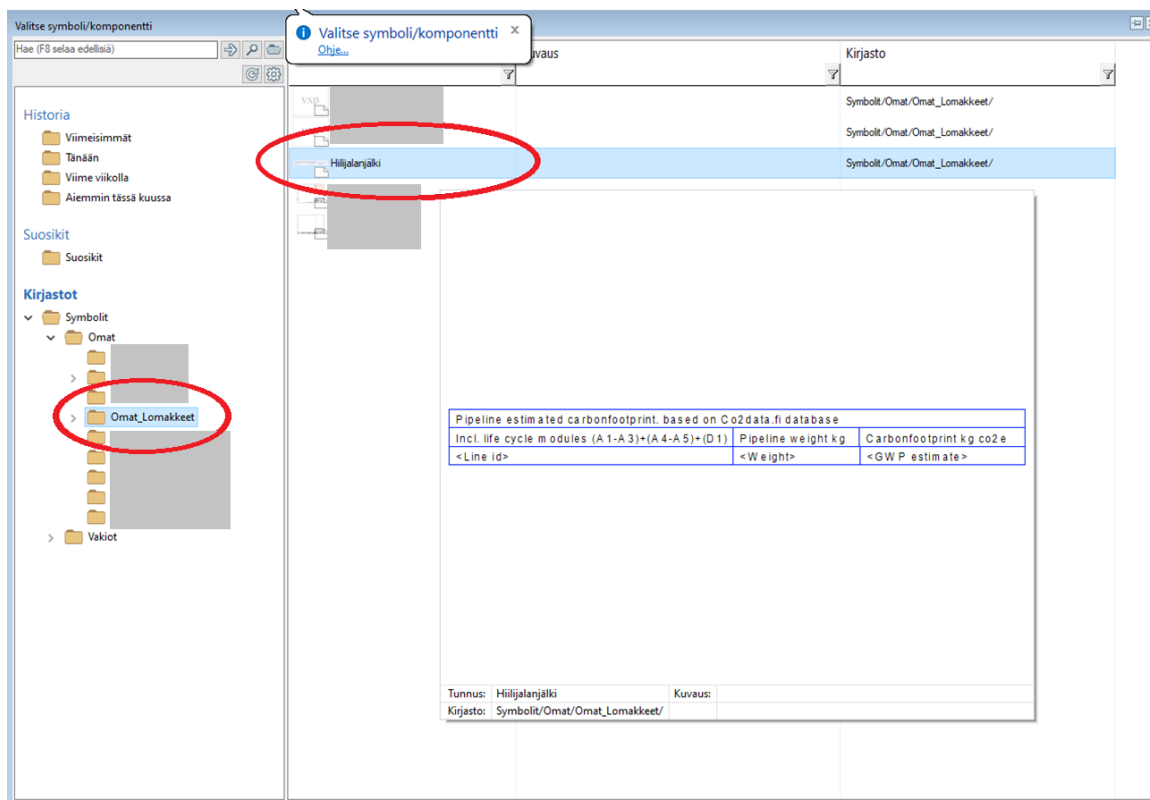
KUVA 16 Hiilijalanjälki leima

Putkistoisometriin hiilijalanjälki-leiman lisääminen on selitetty seuraavaksi. VXP-formaatissa oleva isometrinen putkistopiirustus täytyy olla avattuna Vertexissä. Kuvan 17 mukaisesti yläpalkista avataan piirustus ”osio” ja symbolien alta valitaan ”Lue symboli” ominaisuus. Tämä ominaisuus antaa tuoda aktiivisena olevaan piirustukseen symbolikirjastosta symboleja.



KUVA 17 Leiman asettaminen, vaihe 1

Symbolivalikosta navigoidaan kuvan 18 mukaisesti kansioon, missä hiilijalanjälki symboli on. Tässä työssä se sijoitettiin Omat lomakkeet -kansioon. Valitaan hiilijalanjälki symboli ja asetetaan se haluttuun paikkaan isometrilomakkeessa. Tyypillisesti isometrisen putkistopiirustukseen massa esitetään osaluetteloinnin alla piirustuksen oikealla puolella. Hiilijalanjälki-leima seuraisi myös tätä asettelua.



KUVA 18 Leiman asettaminen, vaihe 2

Kuten ennalta määriteltiin, symbolin tekstikenttiin täytetään putkiston linjatunnus, paino ja hiilijalanjälki. Tiedot voidaan ottaa suoraan laskurista kopioimalla. Tekstikentät saadaan muokattavaksi painamalla hiiren oikealla symbolia ja valitsemalla alasvetovalikosta "Pura ryhmä", minkä jälkeen painetaan kaksoisnapautuksella kenttää, näin avautuu tekstinmuokkausikkuna. Täytetty leima ja sen sijoittelu on esitetty kuvassa 19. Esimerkkinä käytettiin putkilinjan Esim-linja4-125-E16H2A isometria. Liitteenä 1 on valmis isometrinenpiirustus hiilijalanjälkileimalla.



## 5 HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINTI

Työkalun tuloksia analysoitaessa huomataan, että olisi hyvä, jos laskurista itsestään saataisiin ulos eri tavoin eriteltyä tietoa myös graafisessa muodossa. Tällä tavoin tulosten vertailu helpottuisi ja monipuolistuisi. Tämän opinnäytetyön tulosten analysointi toteutettiin luomalla taulukot erikseen. Esittämisen selkeyden kannalta oli kuitenkin huomioitavaa pitää lopullinen esitystapa yksinkertaisena ja selvänä. Esittämällä ne piirustuksissa lisätään tietoa suunnitelman ympäristövaikutuksista.

Laskuri todettiin käyttökelpoiseksi ja suhteellisen selkeäksi hiilijalanjäljen arviointia varten. Koettiin, että laskurin avulla saatiin vertailukelpoinen tulos putkistojen hiilijalanjäljestä jo varhaisessa vaiheessa suunnittelua. Laskentaa tehtäessä havaittiin, että helpoin tapa suorittaa hiilijalanjäljen arviointia tulevaisuudessa olisi lukea päästötiedot suoraan suunnittelijan laatimasta tietomallista.

Arviointityökalun käyttö oli tietoisesti tehty helpoksi ja yksinkertaiseksi. Tietomallipohjainen laskurin rakentaminen CAD-ohjelman sisään oli toimivuuden ja käytön kannalta olennaista. Työkalu toimi pääosin hyvin, mutta kehitettävääkin voidaan todeta olevan etenkin materiaalien määrässä ja mitä työkalu laskee. Tavoitteena on paremman koodin rakentaminen tietokannan ja työkalun välille.

### 5.1 Eniten vaikuttavat tekijät

Teollisuuden putkistoissa hiilijalanjälkeen vaikuttaa monta asiaa, kuten putkien määrä, materiaali, käytetty valmistaja ja logistiikka. Mallinnusohjelman tietokantoihin määritellyt arvot materiaaleille ja standardeihin perustuvat mitat mahdollistavat kohtuullisen tarkan massanlaskennan ja sen myötä myös hiilijalanjäljen suhteellisen tarkan arvioinnin. Täydentävää työtä voidaan tehdä, mikäli mallinuksessa tarkastetaan, että osille on annettu materiaalit nimiketiedoissa.

Työssä rajattiin tuotteiden valmistajien EPD-raportteja geneerisiksi keskiarvoiksi, jotta saataisiin vertailukelpoisia tuloksia. Putkistojen pintakäsittelyllä on myös elinkaarta pidentävä vaikutus, joka pienentää hiilijalanjälkeä tarkasteluajanjaksolla. Teollisuuden prosessitekniset tekijät, kuten virtaava aine, paine, olomuoto tai lämpötila, määrittelevät varsin yksinomaan käytettävän putkiluokan ja lisäksi myös materiaalin. Merkittävä tekijä hiilijalanjäljessä onkin tämän kategorian projekteissa

esimerkiksi logistiikan määrä, käyttöiän pituus ja esisuunnittelun taso. Hyvällä esisuunnittelulla voidaan vaikuttaa lopullisen tuotteen päästöihin ja kustannuksiin madaltavasti.

## **5.2 Työn kustannukset**

Päästölaskentatyökaluja on markkinoilla monen tasoisia ja osa laskureista on käytettävissä ilman kustannuksia. Elinkaarianalyysien laatiminen rakennuksille ja tuotteiden EPD-raporttien teko on li-sensoitua ja yksittäiset sovelluksien käyttöoikeudet voivat maksaa alkaen tuhannesta eurosta kal-liimpiin ja suurempiin organisaatioiden lisenssipaketteihin, joiden hinnat voivat olla kymmenissä tuhansissa euroissa.

Tässä työssä käytettiin Sweco Finlandin yrityslisenssiä SFS-EN standardikirjastoon, Vertex G4-plant -ohjelmaa ja Microsoft Office -ohjelmakokonaisuutta. Ilmaisen saatavissa olivat Suomen ympäristökeskuksen co2data-tietokanta ja PSK-standardikirjasto.

## **5.3 Ohjaako hiilijalanjäljen arviointi päätöksentekoa**

Hiilijalanjäljen arviointi tulee todennäköisesti olemaan tärkeä osa teollisuuden toimintaa tulevaisuudessa. Teollisuus on yksi suurimmista kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajista, ja ilmastotavoitteiden saavuttaminen edellyttää teollisuudenalan merkittävää päästöjen vähentämistä.

Hiilijalanjäljen arviointi auttaa teollisuutta tunnistamaan ja ymmärtämään päästöjen lähteitä ja määrää, ja se voi toimia perustana kestävämmän toiminnan suunnittelulle ja päätöksenteolle. Hiilijalanjäljen arvioinnin avulla yritykset voivat selvittää, mitkä osat niiden toiminnasta aiheuttavat eniten päästöjä ja tunnistaa mahdollisia vähennyskeinoja. Tämä voi sisältää esimerkiksi energiatehokkuuden parantamista, uusiutuvien energialähteiden käyttöä, prosessien tehostamista, materiaalien kierrättämistä ja kuljetusten optimointia.

Lisäksi hiilijalanjäljen arviointi voi olla tärkeä osa yritysten ilmastoraportointia ja viestintää sidosryhmille, kuten sijoittajille, asiakkaille ja kuluttajille. Yhä useammat sidosryhmät ovat kiinnostuneita yritysten ympäristövaikutuksista, mukaan lukien kasvihuonekaasupäästöt ja ne odottavat yrityksiltä avoimuutta ja vastuullisuutta.

Tulevaisuudessa hiilijalanjäljen arviointi voi myös olla osa lainsäädäntöä ja määräyksiä, kun valtiot ja viranomaiset asettavat tiukempia ilmastotavoitteita ja vaatimuksia yritysten ympäristöraportoinnille. Teollisuudenalan yritysten on voitava osoittaa, miten ne vähentävät päästöjään ja edistävät kestävä kehitystä. Hiilijalanjäljen arviointi voi olla yksi tärkeä työkalu tässä prosessissa.

#### **5.4 Työkalun kehitysmahdollisuudet**

Hiilijalanjäljen arvioiminen on vain yksi mahdollinen tapa tarkastella projekteja. Mahdollista on parantaa laskuria ottamaan huomioon kustannuksia tai energiankulutusta. Mahdollista on myös materiaalitietojen vertailu päivitettyjen mallinnusten kanssa. Kustannuksien laskeminen osakohtaisesti vaatisi tarkkojen kustannustietokantojen hankkimisen ja niiden linkittämisen työkaluun. Mikäli päästöt ja kustannustiedot saataisiin vertailtaviksi graafisesti tai taulukoituna, se mahdollisesti helpottaa investointipäätösten tekemistä ympäristön kestävä kehityksen näkökulmasta.

Opinnäytetyön yhteydessä käytyjen keskustelujen pohjalta heräsi myös ajatusta mallinnustyökalun koodaamiseen niin, että ohjelma laskisi päästökertoimien pohjalta -automaattisesti generoituihin piirustuksiin hiilijalanjälkiarviot.

#### **5.5 Imago ja vaikutus**

Yrityksillä on kova tarve tulevaisuudessa onnistua markkinoimaan itsensä ympäristöystävälliseksi ja hiilineutraaliksi. Markkinat ja sijoittajat ohjaavat toimintaa suurissa pörssiyrityksissä ja YK:n ilmastotavoitteet asettavat askelmerkkejä kestävälle toiminnalle. Selvää on, että hiilijalanjäljen laskenta yleistyy teollisessa suunnittelussa näiden faktojen vuoksi. Onkin järkevää olla edelläkävijä päästöjen laskennassa ja arvioinnissa. Opinnäytetyössä laaditut työkalut mahdollistavat matalan tason markkinoinnin ja paremman imagon muodostamisen suunnittelun alkutasolta lähtien. Putkisto- ja teollisuussuunnittelun piirustukseen lisättävä leima kertoo vähintäänkin siitä, että asiaa on pohdittu ja päästöjä voidaan haluttaessa laskea myös tämän kaltaisille projekteille.

## 6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää hiilijalanjäljen arviointimenetelmä teollisuudenputkistoille suunnittelun ja mallintamisen yhteyteen. Putkiston arvioitu hiilijalanjälki laskettiin Sweco Finlandin teollisuus ja energia toimialalle. Työn keskeinen tavoite oli hiilijalanjäljen arviointityökalun ohella perehtyä, miten arviointia tehdään ja mihin GWP-luku ja hiilijalanjälki perustuvat.

Arviointityökalua rajattiin laskemaan teollisuuden putkistoja ja niiden varusteita. Varusteet ja putkiosat laskettiin tietoisesti massan mukaan samalla päästökertoimella. Päästökertoimeen laskettiin valmistuksen, logistiikan ja materiaalin hukkakertoimet sekä kierrätyksen tuoma negatiivinen kerroin. Työkalu rakennettiin ottamaan huomioon yhdeksää eri metallilaatua, kolmea paineastiateräslaatua ja kuutta austeniittista ruostumatonta teräslaatua. Työkalun pohjana toimi Vertex G4-plant sovelluksen XML-tiedosto raporttipohja ja Suomen ympäristökeskuksen julkaisema co2data-tietokanta rakentamisen hiilijalanjäljestä. Laskennan ulkopuolelle jätettiin puutteelliset putkiosatiedon omaavat palikat, teollisuudenrakenteet ja materiaalivirrat. Rajausta tehtiin sen perusteella, mikä nähtiin olennaiseksi tässä työssä.

Opinnäytetyössä tehty selvitystyö koettiin haastavana mutta mielenkiintoisena. Vastaavia tutkimuksia tai selvityksiä teollisuuden rakenteille ja tuotteille oli varsin vähän. Tulevaisuudessa hiilineutraalisuus tavoitteet tulevat toivottavasti viemään tutkimuksen tasoa pidemmälle.

Suunnittelijat ovat avainasemassa teollisuuden vähähiilisyyden arvioinnissa ja suunnittelun kautta myös toteutuksessa. Materiaalien alkutuotanto ja logistiikka ovat elinkaaren vaiheet, missä päästöjä voidaan ja täytyy pienentää.



## LÄHTEET

Andersson, Atro, Jääskeläinen, Saara, Saarinen, Noomi, Mänttari, Janne, Hokkanen, Eero Liikenne- ja viestintäministeriö 2020. Fossiilittoman liikenteen tiekartta -työryhmän loppuraportti. Hakupäivä 5.4.2023. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162508/LVM\\_2020\\_17.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162508/LVM_2020_17.pdf?sequence=4&isAllowed=y).

Direktiivit 2009. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/125/EY, annettu 21 päivänä lokakuuta 2009, energiaan liittyvien tuotteiden ekologiselle suunnittelulle asetettavien vaatimusten puitteista. Euroopan unionin virallinen lehti 31.10.2009. Hakupäivä 15.3.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125&rid=1>.

Dr Hausfather, Zeke 2022. Valokuva artikkelissa Maailman hiilidioksidi päästöt vuonna 2022. Hakupäivä 20.3.2023. <https://www.carbonbrief.org/analysis-global-co2-emissions-from-fossil-fuels-hit-record-high-in-2022/>.

Ecochain 2023. Life Cycle Assessment – Complete Beginner’s guide. Hakupäivä 15.3.2023. <https://ecochain.com/knowledge/life-cycle-assessment-lca-guide/>.

Euroopan parlamentti 2015. Valokuva artikkelissa Mitä kiertotalous on ja miksi sillä on merkitystä. Hakupäivä 20.3.2023. <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/economy/20151201STO05603/mita-kiertotalous-on-ja-miksi-silla-on-merkitysta>.

Global Footprint Network 2021. How the Footprint Works. Hakupäivä 16.2.2023. <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/>.

Hänninen, Tarja 2020-1. Generic data for metals- Stainless steel 2020, SYKE. Helsinki. Hakupäivä 12.4.2023. <https://co2data.fi/rakentaminen/reports/Metal-stainless-steel-2.pdf>.

Hänninen, Tarja 2020-2. Generic data for metals- Steel products (excluding stainless) 2020, SYKE. Helsinki. Hakupäivä 12.4.2023. <https://co2data.fi/rakentaminen/reports/Metal-steel-excluding-stainless-steel-1.pdf>.

Ikonen, Harri HSY 2021. Jättemäärät ja kierrätysaste. Hakupäivä 28.2.2023. <https://www.hsy.fi/jat-teet-ja-kierratys/jatemaarat-ja-kierratysaste/>.

Ilmasto-opas. 2010. Ilmastomuutoksen vaikutukset teolliseen tuotantoon. Hakupäivä 19.4.2023. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/ilmastonmuutoksen-vaikutukset-teolliseen-tuotantoon>.

Ilmasto.org 2020. Kansainvälinen ilmastopolitiikka, Kioton pöytäkirja. Hakupäivä 16.2.2023. <http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/ilmastopolitiikka/kansainvalinen-ilmastopolitiikka/kioton-poytakirja.html>.

ISO 14064-1:2018 Greenhouse gases - Part 1 Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. Hakupäivä 24.4.2023. <https://www.iso.org/standard/66453.html> Vaatii lisenssin.

Kesti, Jyrki. Terästuotteiden Hiilijalanjälki. Ruukki Oy 2021. Hakupäivä 1.3.2023. [https://www.te-rasrakenneyhdistys.fi/document/1/1043/59c7ab2/Teraksen\\_hiilijalanjalki.pdf](https://www.te-rasrakenneyhdistys.fi/document/1/1043/59c7ab2/Teraksen_hiilijalanjalki.pdf).

Laaksonen, Antti. Tietokantojen perusteet kevät 2023. Helsingin Yliopisto 2020. Hakupäivä 27.3.2023 <https://tikape.mooc.fi/kevat-2023/index>.

Liu, Henry 2003. Pipeline Engineering, Florida, USA: CRC press 1st edition (28.5.2003).

Niemistö, Johanna, Myllyviita, Tanja, Holma, Anne, Judl, Jáchym, Sironen, Susanna, Antikainen, Riina & Leskinen, Pekka. Elinkaariajattelu pk- ja startup-yritysten ympäristövaikutusten arvioinnissa ja tuotekehityksen tukena. Suomen Ympäristökeskus 2017. Hakupäivä 14.3.2023. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/228240>.

Net0 GHG emissions 2023. Valokuva verkkosivulla. Hakupäivä 15.3.2023. <https://net0.com/>.

Pajula, Tiina, Saija, Vatanen, Behm, Katri, Grönman, Kaisa, Lakanen, Laura, Kasurinen, Heli, Soukka, Risto 2021 Carbon handprint guide V.2.0 Applicable for environmental handprint. Helsinki: VTT. Hakupäivä 27.2.2023. [https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2021/Carbon\\_handprint\\_guide\\_2021.pdf](https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2021/Carbon_handprint_guide_2021.pdf).

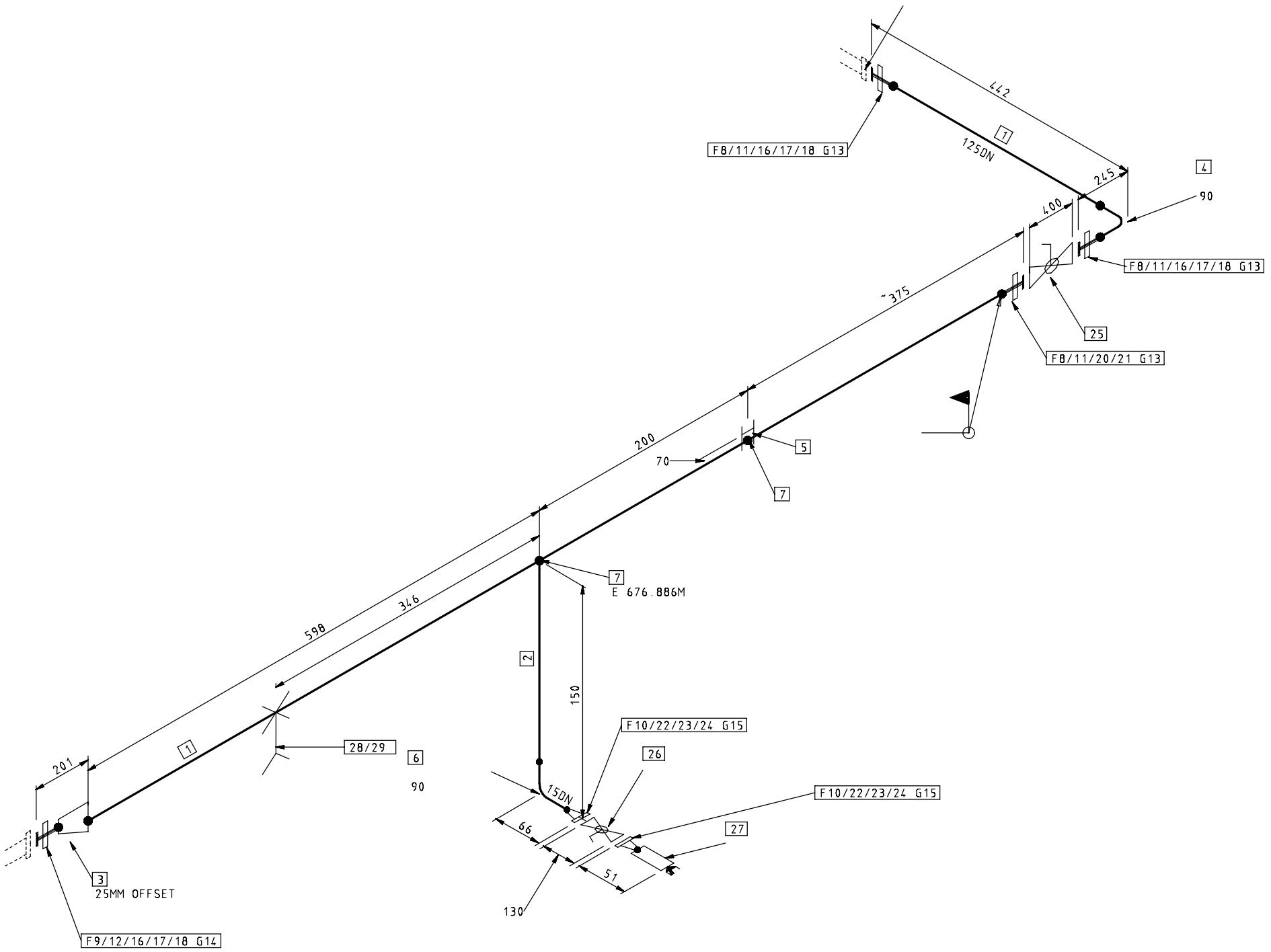
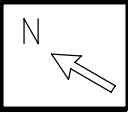
Piha, Aura. Kolme kovaa ammattilaiselle 2018. Ammattilaisen kädenjälki blogi 18.04.2018. Hakupäivä 28.2.2023 <https://kadenjalki.fi/kolme-kovaa-ammattilaiselle-mita-ovat-kestava-kehitys-kier-totalous-ja-kierratys/>.

SFS-EN 10088-4 2009. Ruostumattomat teräkset. Osa 4: Rakennuskäyttöön tarkoitetut korroosionkestävät levyt ja nauhat. Tekniset toimitusehdot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Hakupäivä 12.4.2023. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx> Vaatii lisenssin.

SFS-EN 10028-2:2017. Painelaiteteräkset. Levytuotteet. Osa 2: Kuumalujat seostamattomat ja seostetut teräkset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Hakupäivä 12.4.2023. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx> Vaatii lisenssin.

Sjöstedt, Tuula Sitra 2018. Mitä nämä käsitteet tarkoittavat. Hakupäivä 29.3.2023. <https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarchoittavat/>.

United Nations 2015. Paris agreement. Hakupäivä 20.3.2023. [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf).



PUTKISTOMATERIAALIT				
OSA	NIMITYS			LKM
PUTKET				
1	Putki 139.7x2 SFS-EN10217-7 1.4432 DN125			1.5 M
2	Putki 21.3x2 SFS-EN10217-7 1.4432 DN15			0.1 M
PUTKENOSAT				
3	Kartio E 139.7x2-88.9x2 SFS-EN10253-4 1.4432 DN125-DN80			1
4	Käyrä 139.7x2 SFS-EN10253-4 1.4432 90 DN125			1
5	Muhvi (sisäkierre) 1.4432 NPT 3/4			1
6	Käyrä 21.3x2 SFS-EN10253-4 1.4432 90 DN15			1
7	Isfutus 139.7x2 / 21.3x1.6 DN125-DN15			2
LAIPAT				
8	Intolaippa 139.7x4 EN1092-1/2 1.4432 DN125 PN16			3
9	Intolaippa 88.9x3.2 EN1092-1/2 1.4432 DN80 PN16			1
10	Kauluslaippa 21.3x2 EN1092-1/11 1.4432 DN15 PN16			2
11	Kaulus 139.7 EN1092-1/35 1.4432 DN125 PN16			3
12	Kaulus 88.9 EN1092-1/35 1.4432 DN80 PN16			1
TIIIVISTEET				
13	Tiiviste 139.7x2 SFS-EN1514-1,IBC KLINGER top-chem 2000 DN125 PN16			3
14	Tiiviste 88.9x2 SFS-EN1514-1,IBC KLINGER top-chem 2000 DN80 PN16			1
15	Tiiviste 21.3x2 SFS-EN1514-1,IBC KLINGER top-chem 2000 DN15 PN16			2
PULTIT, MUTTERIT, ALUSLAATAT				
16	Kuusioruuvi M16x90 A4-70			32
17	Mutteri M16 A4-70			32
18	Aluslevy M16			32
22	Kuusioruuvi M12x70			8
23	Mutteri M12			8
24	Aluslevy M12			8
VENTTIILIT / VARUSTEET				
25	Palloventtiili, laipallinen DN125 PN16			1
26	Palloventtiili, laipallinen DN15 PN40			1
INSTRUMENTIT				
27	Camloc - hitsattava/uros + haftu DN15 21.3x2 EN1.4432 / EN1.4404 DN15			1
KANNAKKEET				
28	1-puolinen kiintopiste PSK7320 DN125 2xPSK7362A2 1 S235JR SFS-EN 10025-2			1
29	Estopala A2 1.4432			2
ASENNUSPAINO		120.6 kg		
KOKOPAINO - KUVA		130.4 kg		

Pipeline estimated carbonfootprint. based on Co2data.fi database		
Incl. life cycle modules (A1-A3)+(A4-A5)+(D1)	Pipeline weight kg	Carbonfootprint kg co2e
ESIM_LINJA_4-125-E16H2A	130,35	185,62

D				
C				
B				
A	-	-	-	-
REV.		TEHNYT	PVM	TARK. HYV.

HUOMIO! MITOISSA JA MATERIAALILUETTELOISSA EI OLE HUOMIOITU ASENNUSVAROJA JA TOLERANSSEJA  ESIVALMISTEIDEN LAAJUUDESTA VASTAA URAKOITSIJÄ. ASENNUSVARAT JA ESIVALMISTUSRAJAT TARKISTETTAVA LIITYTTÄESSÄ VANHAAN.  MITAT OVAT KESKILINJASTA	TARKASTUS	VALMISTUS	PAINELAITEDIREKTIIVI / LUOKITTELU		SUUNNITTELU- JA KÄYTTÖARVOT	LIITTYVÄT PIIRUSTUKSET	PROJEKTITIEDOT :			PIIRUSTUS KOKO  A3				
	STANDARDI	HITSAUSOHJE	-	DILOMUOTO	VAARALLISUUS	SUUNNITTELUPAINE	PIKÄÄRVIÖ	ASIAKAS :						
	ULTRAÄÄNI %	LAMPOKASITTELY	-	TAULUKKO	PED LUOKKA	KÄYTTÖPAINE	LINJALUETTELO	PROJEKTI :						
	RÖNTGEN	PINTAKASITTELY		MODUULI	CE-MERKINTÄ	SUUNNITTELULÄMPÖTILA	VENTTIILILUETTELO	ALUE :						
	MUU NDT	SUOJAUS	-	MERKINTÖJÄ		KÄYTTÖLÄMPÖTILA	TASOKUVA							
	KOEPAINE bar	SAATTO		VIRTAAVA AINE		MISTÄ	KANNAKELUETTELO	SUUNNITTELUJA			PUTKILINJAN TIEDOT  Esim-linja4-125-E16H2A	PIIRUSTUSNUMERO	REV.  1 1	
	KOEPAINE aine +20C	ER. MAT.		ERITYISTÄ		MIHIN	INSTRUMENTTILUETTELO	TARKASTAJA						LEHTI 1/1
								HYVÄKSYJÄ						