



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Energia- ja ympäristötekniikka

# Verkkosivun kehitystyön hiilijalanjäljen arviointi Tovari Oy:lle

Simo Asikainen

Opinnäytetyö, joulukuu 2022

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Joulukuu 2022**  
**Energia- ja ympäristötekniikan koulutus**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
SUOMI  
+358 13 260 600

**Tekijä**  
Simo Asikainen

**Nimeke**  
Verkkosivun kehitystyön hiilijalanjäljen arviointi Tovari Oy:lle

**Toimeksiantaja**  
Kommunikoiva energia -hanke ja Tovari Oy

**Tiivistelmä**

Verkkosivut ohjaavat nyky maailmaa hyvin perinpohjaisesti, mutta elinkaarianalyysistä tai hiilijalanjälkiselvityksiä kyseiseltä sektorilta on laadittu varsin vähän. Perinteiset elinkaarianalyysin tekniikat ja periaatteet pätevät digitaalisissa kohteissa hyvin. Tässä työssä hyödynnetään standardinmukaista prosessia arviointia tehtäessä, eli työskentely toteutuu vaiheittain. Työtä ohjaavat pääasiassa standardit ISO 14040 sekä ISO 14067.

Tovari Oy on markkinointiin erikoistunut yritys, jonka verkkosivun kehitystyön hiilijalanjälkeä tässä opinnäytetyössä arvioidaan. Verkkosivun kehitystyö on toteutunut kahdella työasemalla, jotka ovat yhteydessä verkkoon. Pääasiallisesti päästöjä tässä tapauksessa tuottavat sähkön kulutus sekä verkkoyhteys, eli datansiirto. Kehitystyötä tehtiin 103 tuntia, josta syntyi 4,27 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia. Verkkosivun kehityksen hiilijalanjälki on itsessään todella pieni, yksittäistapauksessa merkityksetön. Verkkosivun ylläpidon aikaiset päästöt ovat useimmiten paljon suuremmat kuin kehityksen aikaiset päästöt.

Aktiivisia verkkosivuja on kuitenkin maailmassa satoja miljoonia. Kestävien verkkosivujen kehitys ja suunnittelu on isossa roolissa sektorin päästöjen vähentämisessä. Myös laitteiston energiatehokkuuksilla on iso merkitys. Toinen Tovarilla käytössä oleva työasema käytti 23 % enemmän energiaa. Ecodesignin lisäksi on hyvä käyttää verkkosivua kehitettäessä vähän energiaa kuluttavaa laitteistoa.

**Kieli**  
suomi

Sivuja 29  
Liitteet 5  
Liitesivumäärä 5

**Asiasanat**  
hiilijalanjälki, kasvihuonekaasu, verkkosivu, elinkaariarviointi



**THESIS**  
**January 2022**  
**Degree Programme in energy- and environmental engineering**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author  
Simo Asikainen

Title  
Carbon footprint evaluation of website development for Tovari Co

Commissioned by  
The Kommunikoiva energia -project and Tovari Co.

**Abstract**

Websites control the modern world very thoroughly, still there's a very low amount of life cycle analyses and research done from the sector. Traditional techniques used in LCA work in these digital cases as well. In this study, a standardized process is used and the study is done stage by stage. Standards ISO 14040 and 14067 guide this thesis.

The subject of this study is carbon footprint evaluation of website development. Tovari Co is a company specialized in marketing, whose website is the target of the study. The Development work has been done by using two desktop PC's, which are connected to internet via router. The elements mainly causing the carbon footprint are energy consumption and data usage. 103 hours of development had been done, which caused 4,27 kg CO<sub>2</sub>-equivalent. The carbon footprint is small and insignificant in an isolated case. Maintaining the website and the use stage produces more emissions.

There are hundreds of active websites in the world. Sustainable website development and design is a key act in reducing the sectors emissions. Also, the energy efficiency plays a big role. The other workstation used 23 % more energy. Besides ecodesign, it is reasonable to use low energy ICT equipment.

Language  
Finnish

Pages 29  
Appendices 5  
Pages of Appendices 5

Keywords  
carbon footprint, greenhouse gas, website, life cycle-analysis

## Sisältö

1	Digitaaliset palvelut ja niiden hiilijalanjälki.....	1
1.1	Tovari yrityksenä.....	2
2	Hiilijalanjäljen perusteet .....	2
2.1	Kasvihuonekaasut ja hiilijalanjälki.....	2
2.2	Työtä ohjaavat standardit: SFS ISO 14040, 14044 ja 14067 .....	4
2.3	Greenhouse Gas Protocol .....	6
2.4	SimaPro.....	7
2.5	LCA Book.....	7
3	Arvioinnin metodiikka .....	8
3.1	Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittäminen .....	9
3.2	Elinkaari-inventaarioanalyysi .....	10
3.3	Vaikutusarviointi.....	11
3.4	Hiilijalanjäljen tulkinta.....	14
3.5	Raportointi .....	14
4	Verkkosivun hiilijalanjäljen arviointi.....	15
4.1	Tavoitteet ja soveltamisala.....	15
4.2	Inventaariotiedot .....	16
4.2.1	Sähkö .....	16
4.2.2	Laitteisto .....	17
4.2.3	Verkkoyhteys .....	18
4.2.4	Käyttöprofiili .....	19
4.3	Hiilijalanjäljen vaikutusarviointi SimaPro-laskentaohjelmalla .....	19
4.3.1	Sähkö .....	20
4.3.2	Verkkoyhteys .....	21
4.3.3	Työasemat.....	21
4.3.4	Vaikutusarvioinnin tulokset .....	22
4.3.5	Vaikutusarvioinnin prosessipuu .....	22
4.3.6	Tulosten vertailu muuttamalla työasemien tehoa.....	24
4.3.7	Herkkyysanalyysi .....	24
4.4	Hiilijalanjäljen selvityksen tulosten tulkinta.....	25
5	Pohdinta.....	27
	Lähteet.....	29

### Liitteet

Liite 1	Prosessipuu, työasemien maksimiteholla laskettu
Liite 2	Prosessipuu, työasemien miniteholla laskettu
Liite 3	Herkkyysanalyysi, 1. testi
Liite 4	Herkkyysanalyysi, 2. testi
Liite 5	Sähkön prosessin muokatut outputit

# 1 Digitaaliset palvelut ja niiden hiilijalanjälki

Tämän opinnäytetyön aihe on verkkosivun hiilijalanjäljen arviointi. Tutkimus tehdään markkinointiin erikoistuneelle Tovari Oy:lle ja siinä kartoitetaan verkkosivuston kehitystyön hiilijalanjälkeä. Opinnäytetyö tehdään toimeksiantona Kommunikoiva Energia- hankkeeseen, johon kuuluu erilaisia projekteja koskien hiilineutraaleja ratkaisuja ja niiden kehittämistä. Projektin päämäärä on kehittää toimintamalli vähähiilisille verkkopalveluille ja edistää digitaalisten palveluiden kestävyttä. Opinnäytetyöstä saadaan tietoa verkkosivun kehitysvaiheen hiilijalanjäljestä, tarkemmin ottaen siitä mistä se koostuu ja kuinka suuri hiilijalanjälki juuri Tovari Oy:n verkkosivun kehittämisestä syntyy.

Digitaalinen murros on tapahtunut ja verkon digitaalisia palveluita käytetään yhä enemmän joka vuosi. Päivittäiset asiat ovat osittain siirtyneetkin verkossa oleviksi palveluiksi. Informaatiosektorin merkittävyys on kasvanut huomattavasti etenkin viime vuosina pandemian siivittämänä, kun töitä tehdään kotoa käsin ja jaetaan omaa, tai jonkun muun ruutua tai naamakuvaa jatkuvasti. Näiden asioiden ympäristövaikutukset eivät ole välttämättä negatiivisia. Digitaalisilla palveluilla on selkeitä positiivisia vaikutuksia ympäristöön ja ne voivat estää päästöjä syntymästä. Esimerkiksi videopuhelun avulla voidaan estää turhaa matkailua paikkojen välillä, jolloin säästyy polttoainetta, sekä työtunteja.

Päästölaskennan ja ympäristövaikutusten arvioinnin merkitys on korostunut muun muassa EU:n direktiivien ja päästötavoitteiden astuttua voimaan. Ympäristöministeriö on asettanut tiukat tavoitteet vuosille 2030 ja 2050. (EU REG 1119/2021.) Myös imagomotiivit ovat puskeneet yrityksiä ja organisaatioita selvittämään palveluidensa aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Halutaan saada selville, millä tavoin voidaan jatkuvasti parantaa omia toimintamalleja ympäristöystävällisempään suuntaan. Vähäiset päästöt tai hiilineutraaliin toimintaan pyrkiminen ovat osa yrityksen imagoa, ja kyseisillä asioilla voi olla vaikutuksia myös markkinoinnin näkökulmasta.

## 1.1 Tovarirytyksenä

Tovari Oy on puhuttelevaan markkinointiin erikoistunut pienyritys, jolla on toimipisteet Joensuussa, sekä Porissa. Tovarilla on alle 20 työntekijää, joilla kaikilla on omalaatuinen työnkuva ja rooli yrityksessä. Tovarin toiminnan voisi kiteyttää lauseeseen, "Tehdään mitä asiakas haluaa". Tovari tarjoaa asiakkailleen siis monipuolisesti käytännössä mitä vain, mutta verkkosivuillaan tuotteina mainitaan esimerkiksi brändäys, graafinen suunnittelu, livelähetykset, mainonta, hakukoneoptimointi, verkkosivut, sosiaalinen media sekä valokuvaus.



Kuva 1. Tovarirytyksen logo (Tovarirytyksen kotisivut 14.10.2021).

## 2 Hiilijalanjäljen perusteet

Tässä luvussa esitellään keskeisiä aineistoja ja käsitteitä liittyen hiilijalanjäljen laskentaan. Elinkaariarviointi ja hiilijalanjäljen määrittäminen ovat tarkemmalla tasolla hyvin vieraita aiheita monille, joten lukijan perehdytys hiilijalanjälkeen ja laskennan metodeihin on tärkeää. Tietoperustassa pyritään selittämään yksinkertaistetusti laskennan keskeiset käsitteet ja taustatieto, niin että työn voi ymmärtää henkilö, jolle aihe on entuudestaan vieras. Tässä opinnäytetyön osassa esitellään aiheeseen liittyviä standardeja ja muita kirjallisia viitekehyksiä. Verkkosivu arvioinnin kohteena on erikoinen ja tuo omat haasteensa, mutta yleisesti ottaen perinteiset tekniikat, mitä hiilijalanjäljen laskennassa käytetään toimivat myös tässä tapauksessa.

### 2.1 Kasvihuonekaasut ja hiilijalanjälki

Fossiilisista polttoaineista riippuvainen yhteiskunta on aiheuttanut kasvihuonekaasujen räjähdysmäisen kasvun, jota yritetään kovasti jarruttaa. Liiallinen kasvihuonekaasujen määrä ilmakehässä edesauttaa maapallon lämpenemistä, jonka seurauksia on jo nähtävillä eri osissa planeettaa. Tässä kappaleessa esitellään ja selitetään yksinkertaistetusti käsitteet kasvihuonekaasu, hiilijalanjälki sekä hiilidioksidiekvivalentti.

Kasvihuonekaasuilla tarkoitetaan kaasuja, joita esiintyy luonnollisesti tai ihmisen aiheuttamana maapallon ilmakehässä. Kyseisiin kaasuihin kuuluvat tärkeimpinä hiilidioksidi, metaani, typen oksidit, sekä otsoni. Niillä on monia eri käyttötarkoituksia ja esimerkiksi hiilidioksidi yksi kasvien yhteyttämisen edellytyksistä. Hiilidioksidin pitoisuus on vaihdellut ilmassa paljon maapallon historian aikana, mutta lähivuosina ihmisten toiminta on nostanut kyseisen kaasun pitoisuutta hyvin paljon.

Edellinen kappale johdattelee käsitteeseen hiilijalanjälki, jota tässä työssä lasketaan ja tarkastellaan. Hiilijalanjälki on harhaan johtava käsite, sillä siihen liittyy hiilidioksidin lisäksi myös muiden kasvihuonekaasujen, kuten esimerkiksi metaanin vaikutukset. Jokaisella asialla, tai aktilla mikä tuottaa päästöjä, on laskettavissa oleva hiilijalanjälki. Se ilmoitetaan massan yksikössä ja usein käytetään joko grammoja (g), kilogrammoja (kg) tai tonneja (t). Esimerkiksi kahvikupin hiilijalanjälki voidaan selvittää tarkastelemalla materiaaleja, prosesseja ja vaiheita, joita kyseisen tuotteen valmistukseen ja loppusijoitukseen liittyy. Nämä prosessit ja vaiheet muunnetaan laskettavaan muotoon, jotta hiilijalanjälki voidaan määrittää. Kappaleessa 3. esitellään hiilijalanjäljen laskennan metodeja, joita tässä työssä on olennaisesti hyödynnetty.

Kasvihuonekaasuilla on eri kokoiset ilmastoja lämmittävät vaikutukset. Esimerkiksi metaanilla ilmakehässä suurempi ilmastoja lämmittävä vaikutus verrattuna hiilidioksidiin. Jotta kaasujen vaikutuksia voidaan järkevästi vertailla, niille tehdään laskutoimitus, jossa tietyn kasvihuonekaasun massa kerrotaan

sen ominaisella lämmityspotentialilla. Tulokseksi saadaan hiilidioksidiekvivalentti, yksikkömuodossa CO<sub>2</sub> - ekv. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jonkin kasvihuonekaasun vaikutus muunnetaan vastaamaan hiilidioksidin vaikutusta. Tällöin ei tarvitse tarkastella jokaisen kaasun vaikutusta erikseen ja tuloksista saadaan yhtenäisemmät. Työssä laskettu hiilijalanjälki ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttina. (ISO 14067:2018, 13.)

## **2.2 Työtä ohjaavat standardit: SFS ISO 14040, 14044 ja 14067**

Tärkeä osa opinnäytetyön tietoperustaa sekä tekoa on aiheeseen liittyvien standardien soveltaminen. Standardit auttavat jäsentämään työn eri vaiheita ja ne tukevat työn toiminnallista sekä teoreettista perustaa. Standardien kuvailemaan viitekehykseen tehty työ on yhtenäisempi ja vertailukelpoisempi, joka kasvattaa työn läpinäkyvyyttä ja luotettavuutta. Standardien käyttö ei ole missään määrin pakollista, kuitenkin juuri edellä mainituista syistä standardit ovat laajalti käytössä. Viranomaiset voivat vaatia standardien käyttöä ja standardit tuovat kuluttajan näkökulmasta myös luottamusta. Työssä on hyödynnetty elinkaariarviointiin, hiilijalanjälkeen sekä digitaalisen kohteen hiilijalanjälkeen syventyvien standardien tietoa ja tekniikoita.

Työssä mainitut standardit sivuavat toisiaan ja pohjautuvat olennaisesti ISO 14040:2006-standardiin. Otsikossa mainitut standardit ohjeistavat lukijaa elinkaariarvioinnin ja hiilijalanjäljen laskennan toteutuksessa. Ne sivuavat toisiaan olennaisesti ja niissä esitellään hyvin pitkälti samoja käsitteitä ja metodeja liittyen elinkaariarviointiin ja hiilijalanjäljen laskentaan.

Opinnäytetyössä hyödynnetään näiden standardien esittämiä metodeja, ja tämä työ tehdään elinkaariarvioinnin standardin mukaisesti vaiheittain.

ISO 14040:2006- standardi on Suomen kansallinen standardi elinkaariarvioinnin periaatteista ja pääpiirteistä. Sen on laatinut ISO:n teknisen komitean ISO/TC 207 alakomitea SC/5. Standardi käsittää sisällään rungon arvioinnin laatimista varten ja siinä kuvaillaan elinkaariarvioinnin eri työvaiheita. Elinkaariarviointi tarkoittaa selvitystä, jossa käsitellään jonkin tuotteen tai esimerkiksi prosessin

elinkaaren ajan ympäristönäkökohtia ja syntyviä ympäristövaikutuksia. Standardissa lukija perehdytetään elinkaariarvioinnin periaatteisiin ja siinä esitellään elinkaariarvioinnin prosessi. (ISO 14040:2006)

Elinkaariarviointi ohjeistetaan tekemään neljässä vaiheessa, jotka ovat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysivaihe, vaikutusarviointivaihe, sekä tulkintavaihe. Standardissa toistuvasti kehoitetaan kriittiseen tarkasteluun ja läpinäkyvyyteen alusta loppuun saakka. Näitä neljää vaihetta ja niissä esiintyviä seikkoja esitellään myöhemmin luvussa 3. (ISO 14040:2006, 2-8.)

ISO 14044:2006- standardi on suunniteltu täydentämään edellä mainittua ISO 14040 standardia. Sen on laatinut tekninen komitea ISO/TC 207 Environmental management ja keskussihteeristö CEN. Standardin tarkoitus on kuvailla ja selventää niitä asioita, joita elinkaariarvioinnin päästandardissa ei tarkasteltu. Näin ollen standardi painottuu hyvin pitkälti raportointiin, sekä kriittiseen tarkasteluun. (ISO 14044:2006)

ISO 14067- standardi on hiilijalanjäljen laskentaan erikoistuva standardi. Se pohjautuu yleisesti ottaen 14040, sekä 14044 standardeihin. Tämä standardi kuitenkin keskittyy vain hiilijalanjäljen laskentaan, sekä raportointiin. Hiilijalanjäljen laskennan standardien hyödyntäminen kasvattaa selvityksien yhtenäisyyttä ja johdonmukaisuutta, mitkä ovat tärkeitä ominaisuuksia uskottavuuden ja läpinäkyvyyden ylläpitämiseksi. (ISO 14067:2018.) Tässäkin standardissa esitellään elinkaariarvioinnin neljä eri vaihetta, ja vaiheet esitellään hiilijalanjäljen laskennan kannalta optimaalisessa muodossa. Opinnäytetyön etenemisprosessi perustuu tässä standardissa esiteltyihin metodeihin ja suuntaviivoihin.

ETSI ES 203 199- standardi on Instituten tuottama standardi ICT laitteiston, sekä verkon ja palveluiden elinkaariarvioinnin metodeista. Standardi on kehitetty täydentämään aiemmin mainittuja elinkaariarvioinnin standardeja, mutta siinä keskitytään pelkästään ICT puolen skenaarioihin. (ETSI ES 203 199, 2015.) Standardi on suunniteltu todella perusteellisen ja

yksityiskohtaisen tutkimuksen tekoon, joten sen täydellinen noudattaminen on opinnäytetyön laajuuden kannalta liian monimutkainen. Standardi on kuitenkin mainittavan arvoinen tiedonlähde, ja sieltä löytyy monia näkökulmia ICT-sektorille tehtävässä arvioinnissa.

### **2.3 Greenhouse Gas Protocol**

Greenhouse Gas Protocol eli GHGP on World Resources Instituten, sekä World Business Council of Sustainable Developmentin vuonna 1998 perustama liike. GHGP:n toiminta perustuu sidosryhmäyhteistyöhön, ja sen tarkoitus on kehittää kasvihuonekaasujen laskennan ja raportoinnin metodeja. Greenhouse Gas Protocol on kehittänyt standardeja, jotka käsittelevät näitä metodeja erilaisissa viitekehyksissä. GHGP:n lippulaivastandardeja ovat Corporate Standard, The Value Chain tai Scope 3 Standard, The Product Standard sekä Project Protocol. Vaikka yksitellen standardit käsittelevät erilaisia asioita, ne yhdessä muodostavat kattavan kokonaisuuden, jonka avulla yritykset ja organisaatiot voivat pyrkiä paremmin hallitsemaan päästöjään. (Greenhouse Gas Protocol, 2021.)

Corporate Standard on kehitetty yrityksille ja organisaatioille, ja siinä käsitellään laajempien kokonaisuuksien päästölaskennan metodiikkaa. Standardissa esitellään päästöjen selvityksen ja raportoinnin pääperiaatteet, jotka ovat merkityksellisyys, täydellisyys, johdonmukaisuus, läpinäkyvyys ja tarkkuus. Standardissa kuvaillaan organisaation rajojen määrittäminen sekä yritystoiminnan rajojen määrittäminen käyttäen scopeja eli luokkia. Scope 1 käsittää suorat päästöt, jotka aiheutuvat yrityksen omistamista tai hallitsemista prosesseista. Scope 2 tarkoittaa jonkin toisen tahon omistamista tai hallitsemista toimista aiheutuvia päästöjä, joihin tarkasteltava yritys on kytköksissä. Esimerkiksi lämmitys ja viilennys, sekä sähkö kuuluvat scopeen 2. Scope 3 käsittää muut epäsuorat päästöt, esimerkiksi vuokratut palvelut. (Greenhouse Gas Protocol, 2015.) Tuotestandardi Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard on työn kannalta tärkein GHGn kehittämistä standardeista. Standardi on suunniteltu täydentämään ISO 14040 elinkaariarvioinnin standardia. GHGn tuotestandardiin

kuuluvassa ICT Sector Guidance osassa käsitellään standardin soveltamista ICT-puolen tuotteille ja palveluille. Näitä tuotteita ja palveluita ovat telekommunikaatiopalvelut, työasemien palvelut, pilvi- ja datakeskuspalvelut, laitteisto sekä ohjelmisto. Standardi käsittelee tarkemmin ICT - puolen järjestelmistä tehtävien selvitysten metodeja ja prosesseja. (Greenhouse Gas Protocol, 2015.)

## **2.4 SimaPro**

SimaPro on PRé Sustainabilityn kehittämä elinkaariarviointiin tarkoitettu ohjelma, jonka avulla voidaan rakentaa tarkka mallinnus halutusta kohteesta ja selvittää kyseisen tuotejärjestelmän mahdollisia ympäristövaikutuksia. Ohjelmaa käytetään tässä työssä vaikutusarvioinnin ja herkkyysanalyysin tekemiseen. SimaPro:sta saadaan visuaaliset kuvaajat ja mallinnukset, joiden avulla tuloksia voidaan esitellä helposti lähestyttävässä muodossa. Lopullinen prosessipuu on kaavio, josta nähdään kaikki työn tärkeimmät prosessit. Ohjelman avulla tehdään tämän työn herkkyysanalyysi.

SimaPro:ssa voidaan projektille valita sopivin tietokanta. Elinkaariarvioinnin tai hiilijalanjäljen laskennassa Ecoinvent- tietokanta toimii todella hyvin. Ecoinvent on suunniteltu nimenomaan LCA tutkimuksien tekoon ja siihen on mallinnettu tuhansia datasettejä, jotka perustuvat yhteiskunnan ja ihmisen jokapäiväiseen toimintaan. Tietokannasta valitaan sopivimmat prosessit ja vastikkeet vastaamaan työssä kerättyä inventaariotietoa ja niistä luodaan konnit.

## **2.5 LCA Book**

LCA Book on ilmainen julkaisu, jonka on kirjoittanut elinkaarianalyysin ammattilaiset H. Matthews, C. Hendrickson ja D. Matthews. 12 kappaleen julkaisussa käydään läpi tärkeimpiä elinkaariarviointiin liittyviä seikkoja ruohonjuuritasolta asti. Kirja on suunniteltu erityisesti opetuskäyttöön ja julkaisusta tekee erikoisen sen tyyli asioiden kerronnassa. Julkaisun kirjoittajat

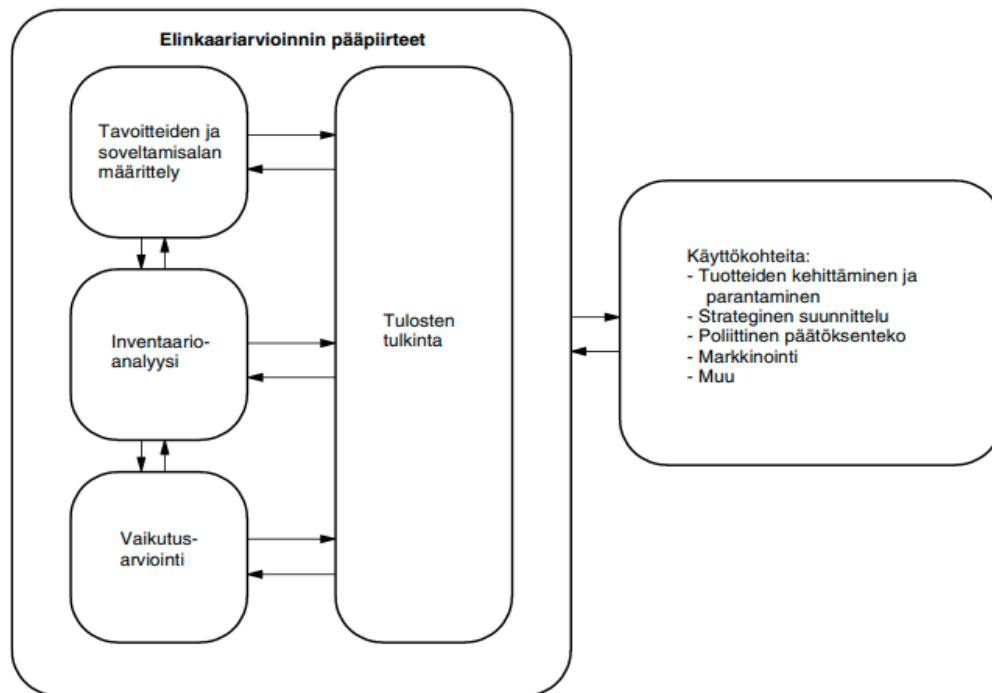
ovat taustoiltaan opettajia, joten asioiden esittely on hyvin oppikirjamaista, joka eroaa muista LCA ohjeistuksista. (LCAtextbook, 2022.)

Tekniikoita ja käsitteitä kuvaillaan esimerkkien avulla hyvin oppikirjamaisesti. Lukijalle muodostuu käytännöllisempi käsitys elinkaarianalyysien menetelmistä ja yleisesti elinkaaren tekemisen prosessista. Standardien kerronta on pääosin todella suoraviivaista ja väritöntä tekstiä. Metodeja sekä LCA:n tyypillisiä elementtejä ei välttämättä myöskään kuvailla aivan täydellisesti ja monessa tapauksessa lukijalle voi muodostua väärä käsitys jostain asiasta. LCA Book helpottaa monimutkaisten käsitteiden ymmärtämistä ja antaa niille inhimillisen kerronnan. (LCAtextbook, 2022.)

### **3 Arvioinnin metodiikka**

Elinkaaren tai hiilijalanjäljen arviointi ei ole täysin täsmällinen tieteen muoto. Selvitykset ovat vain suuntaa antavia arvioita, ja laskennassa käytettyjä tekniikoita ja metodeja on yhtä paljon, kuin on tekijöitäkin. Standardit luovat laskennalle viitekehyksen, mutta laskija voi joutua tekemään johtopäätöksiä ja soveltamaan omaa tietoaan arvioinnin toteuttamiseksi. Läpinäkyvyys ja tiedon varmentaminen on olennainen osa koko prosessia. Kaikki johtopäätökset on perusteltava, ja on näytettävä todisteita siitä, että esitelty tieto täyttää tietyt laatuvaatimukset.

Tässä luvussa käydään läpi opinnäytetyön kannalta olennaisia tekniikoita ja menetelmiä, joita elinkaariarviointiin liittyvät standardit sekä Greenhouse Gas Protocol esittelevät. Standardien suuntaviivoihin pohjautuvaa työtä voidaan pitää luotettavampana sekä vertailukelpoisempana. Tulosten läpinäkyvyyteen ja laatuun kiinnitetään huomiota jokaisessa työn vaiheessa. Elinkaariarvioinnin päästandardissa esitellään 4 vaihetta, jotka elinkaaren arviointiin kuuluvat. Ne ovat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittäminen, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta. (ISO 14040:2006, s. 22)



Kuva 2. Elinkaariarvioinnin pääpiirteet ja niiden interaktiivisuus kuvattuna (ISO 14040:2006, 24).

### 3.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittäminen

Tämä on arvioinnin ensimmäinen vaihe, ja tässä kohdassa arviointia selvitetään työn tavoitteet eli sille määritetty käyttötarkoitus, selvityksen laatimisen syyt, kohdeyleisö sekä tietojen mahdollinen viestintä. Standardissa ISO 14067 sanotaan, että ”Hiilijalanjälkiselvitysten suorittamisen yleistavoite on laskea tuotteen potentiaalinen vaikutus ilmaston lämpenemisen hiilidioksidiekvivalenttina ilmaistuna”.

Tavoitteissa tulee määrittää tarkemmin käyttötarkoitus, sekä selvityksen syyt. Käyttötarkoituksella voidaan tarkoittaa esimerkiksi tuotteen hiilijalanjäljen mahdollista pienentämistä tai tason seuranta. Selvityksen mahdollisia syitä voivat olla esimerkiksi yrityksen sisäiset päästötavoitteet tai lain mukaiset päästötavoitteet. Myös markkinointi voi olla osallinen syy selvityksen laatimiselle, sillä kuluttajat voivat valikoida ostamia tuotteita esimerkiksi ympäristöystävällisyyden perusteella. Kohdeyleisöllä tarkoitetaan tahoja, kenelle selvitystä on tarkoitus esitellä. Näitä tahoja voivat olla esimerkiksi

oppilaitokset, yritykset, organisaatiot tai valtion hallinnolliset elimet. (ISO 14067:2018, 23-28.)

Selvitetään työn soveltamisala, johon kuuluvat tutkittavan järjestelmän kuvaus, toiminnallisen yksikön määrittäminen, järjestelmän rajaaminen, tiedon ja laadun vaatimukset, tietojen ajallinen rajaaminen, oletukset, allokointi, kasvihuonepäästöt ja -poistumat, selvitysraportti, kriittisen arvioinnin tyyppi ja selvityksen rajoitukset. Yleisesti ottaen tässä osassa kuvaillaan kohdejärjestelmää ja sitä, miten työ tehdään. Tässä vaiheessa pitää esitellä ja kuvailla toiminnallinen yksikkö. Toiminnallisella yksiköllä tarkoitetaan tutkittavan systeemin suorituskykyä määrällisessä muodossa. Tutkimuksen järjestelmä pitää kuvailla niin, että määritetty toiminnallinen yksikkö on linjassa koko tuotejärjestelmän funktion kanssa. (ISO 14067:2018, 23-24.)

### **3.2 Elinkaari-inventaarioanalyysi**

Elinkaari-inventaarioanalyysi on vaihe, jossa kerätään arvioinnin rajauksen mukaisesti mitattua, laskettua tai arvioitua lähtötietoa. Kerätty tieto tulee varmentaa, sekä käsitellä laskettavaan muotoon. Näitä tietoja sanotaan inventaariotiedoksi. Inventaariotietojen laatu vaikuttaa merkittävästi työn lopputulokseen, joten tässä vaiheessa myös kriittisyys tiedon keruun menetelmiä kohtaan on tärkeää. Elinkaariarviointi on iteratiivinen tekniikka, eli tuloksia voidaan uudelleenarvioida ja niitä voidaan palata muokkaamaan arvioinnin myöhemmissä vaiheissa.

Tietojen autenttisuuteen ja läpinäkyvyyteen tulee kiinnittää huomiota jatkuvasti. Kriittisyys itse hankittua, sekä jostain muualta saatua tietoa kohtaan on osa elinkaariarvioinnin ja hiilijalanjäljen laskennassa esiintyviä pääpiirteitä. Kun puhutaan tiedon laadusta, kerätty tieto voidaan jakaa kahteen eri luokkaan, primääri- ja sekundaaridataan. Eroa näiden kahden luokan välillä voisi kuvailla tiedon lähdeketjuksi. Primääritieto on lähdetietoa suoraan itse tiedonkerääjältä, kun taas sekundaaritiedoksi voidaan sanoa esimerkiksi uutista, jossa viitataan jonkun muun tahon primääritietoon. Sekundaaritieto on vallitseva tiedon luokka,

ja useimmiten kaikki tieto, jota esimerkiksi internetistä löytyy, on sekundaaritietoa. Tiedon laatu voi muuttua, kun lähdeketju kasvaa ja viittauksia on monia. Tämän takia on tärkeää etsiä halutun tiedon primäärilähde. (LCA Book chapter 2, 35-38.)

GHG ICT Sector Guidancen ohjeistus sopii laitteiston inventaaritietojen selvitykseen hyvin. Ensin selvitetään teho, millä järjestelmä toimii. Tämän jälkeen luodaan käyttöprofiili, eli millä tavalla järjestelmää käytetään ja selvitetään järjestelmän käyttöaika. Kun järjestelmän tehon ja käyttöprofiilin tulo kerrotaan sähkön ominaispäästöillä, saadaan tulokseksi kasvihuonepäästöt ilmoitetulta käyttöajalta (Kaava 1). (GHG ICTSG, 22.)

$$\text{Use stage emissions} = \left( \sum_{i=1}^{i=n} \text{Power}_i \times \text{Use profile}_i \right) \times \text{Grid emission factor}$$

jossa (1)

Use stage emissions = käytön aikaiset päästöt

$\sum_{i=1}^{i=n} \text{Power}_i$  = laitteiston yhteenlaskettu teho

Use profile<sub>i</sub> = käyttöprofiili

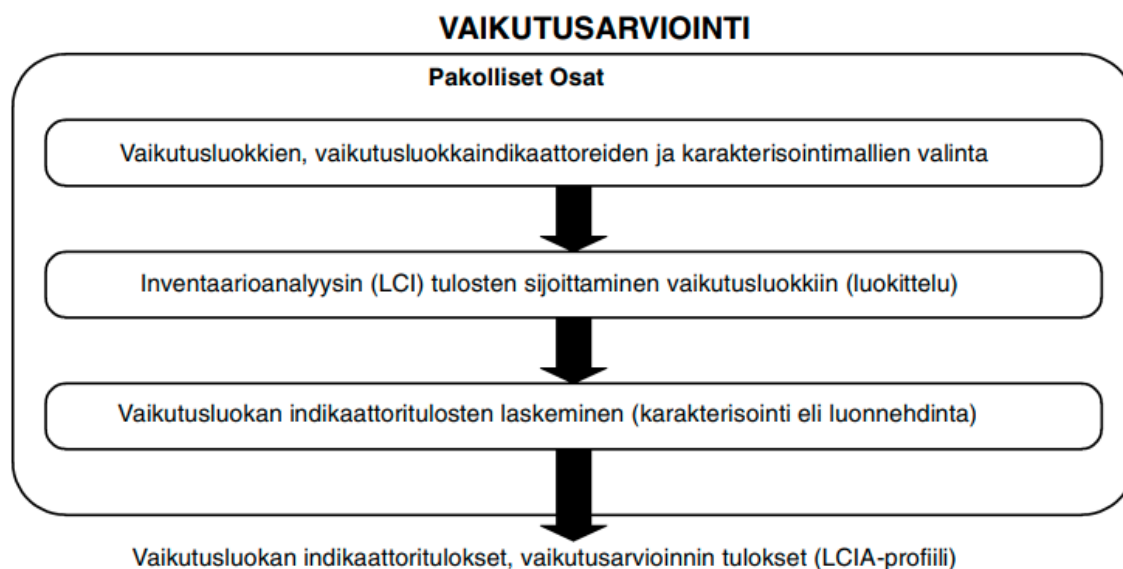
Grid emission factor = sähkön ominaispäästöt.

Ecoinvent v3.9 päivityksessä tietokantaan on lisätty paljon ICT-puolen prosesseja, joiden avulla voitaisiin mallintaa tässäkin työssä esiintyviä järjestelmiä. On kuitenkin otettava huomioon epävarmuus, joka valmiiden prosessien käytöstä voi ilmetä. Valmis prosessi ei välttämättä kuvaa oikeaa järjestelmää halutulla tavalla.

### 3.3 Vaikutusarviointi

Hiilijalanjäljen arvioinnin vaikutusarviointivaiheessa lasketaan kerätyistä inventaaritiedoista hiilijalanjälki. Vaikutusarviointi on järkevin tehdä osittain. Alla oleva kuva 3 selventää vaikutusarvioinnin prosessia, ja siinä kuvataan pääpiirteittäin jokaiseen osaan kuuluvat työskentelyvaiheet. Tämä vaihe voi

todistaa itsensä haastavaksi elinkaarianalyysissä, jossa vaikutusluokkia on monia



Kuva 3. Vaikutusarvioinnin osat (ISO 14040:2006, 36.)

Ensimmäisenä valitaan vaikutusluokat, vaikutusluokkaindikaattorit ja karakterisointimallit. Kun lasketaan hiilijalanjälkeä, vaikutusluokka on ilmastonmuutos ja sen indikaattori on hiilidioksidiekvivalentti.

Karakterisointimalliksi hiilijalanjäljen laskennan standardi ISO 14067 suosittelee 100 vuoden lämmityspotentiaalia, mutta muitakin malleja saa halutessaan käyttää. Muiden mallien käyttö tulee dokumentoida ja perustella.

Inventaariotulokset sijoitetaan vaikutusarvioinnin toisessa osassa vaikutusluokkiin. Tämän työn osalta ainut vaikutusluokka on ilmastonmuutos, mutta jos tehdään laajempaa arviointia erilaiset vaikutusluokat kuten esimerkiksi meluhaitat tai maisemahaitat voivat tulla kyseen. Tämän jälkeen viimeisessä osassa lasketaan indikaattoritulokset.

Vaikutusarvioinnin tuloksien laskemiseen voidaan käyttää LCA-tutkimuksiin räätälöityjä ohjelmia. Tässä työssä käytetään Pré Sustainablen kehittämää SimaPro- laskentaohjelmaa. On olemassa muitakin laskentaohjelmia, ja arvioinnin tekijä voi valita itselleen sopivimman vaihtoehdon vaikutusarviointia tehtäessä. Standardeissa ei ole mainintaa tai kehoitteita jonkin tietyn laskentaohjelman käytöstä. On kuitenkin tiedostettava käytettävän ohjelman tai

laskentatapojen johdonmukaisuuteen ja tarkkuuteen liittyvät epävarmuustekijät. Alla oleva taulukko auttaa ymmärtämään käytännön merkityksen vaikutusarvioinnin olennaisista käsitteistä ja jokaisen käsitteen kohdalla on käytännöllinen kuvaus asiasta. Taulukossa näkyy hiilijalanjälkiselvityksen vaikutusarvioinnissa käytetyt termit ja siinä selitetään esimerkkien avulla termit auki.

Termi	Esimerkki
Vaikutusluokka	Ilmastonmuutos
Inventaarioanalyysin tulokset	Kasvihuonekaasujen määrä toiminnallista yksikköä kohti
Karakterisointimalli	Kansainvälisen ilmastonmuutospaneelin (Intergovernmental Panel on Climate Change) 100 vuotta kattava vertailumalli
Vaikutusluokkaindikaattori	Infrapunasäteilypakote ( $W/m^2$ )
Karakterisointikerroin	Ilmaston lämpenemispotentiaali ( $GWP_{100}$ ) kunkin kasvihuonekaasun osalta (kg $CO_2$ -ekvivalenttia/kg kaasua)
Vaikutusluokan indikaattoritulos	Kilogrammaa $CO_2$ -ekvivalenttia toiminnallista yksikköä kohti
Vaikutusluokan loppupisteet	Koralliriutat, metsät, sato
Ympäristörelevanssi	Infrapunasäteilypakote vaikuttaa välillisesti potentiaalisiin ilmastovaikutuksiin ja riippuu kokonaisvaltaisesta ilmakehän lämpöadsorptiosta, jota aiheuttavat päästöt ja lämpöabsorption ajallinen jakautuminen.

Taulukko 1. Selitykset vaikutusarvioinnissa käytetyistä termeistä (ISO 14044:2006, 27).

Työn vaikutusarviointi tehdään käyttäen SimaPro-laskentaohjelmaa. Ohjelmaan sisältyy monia eri tietokantoja ja työssä käytetään pääasiallisesti Ecoinvent-tietokantaa. Ohjelmaan mallinnetaan inventaarioanalyysistä saadut tiedot mahdollisimman tarkasti valitsemalla sopiva vastike ohjelman tietokannasta. Tietokannasta valitut prosessit ja niihin liittyvät laskelmat perustellaan ja dokumentoidaan.

SimaPron avulla voidaan laskea halutun vaikutusluokan perusteella tehdyille mallille tulokset ja tuloksia voidaan tarkastella graafisesti sekä numeerisesti. Malli rakentuu prosessipuuna, joka on helposti ymmärrettävä graafinen esitelmä. Prosessipuussa jokainen prosessi kuvataan erillisenä laatikkona, johon voidaan asettaa näkyville erilaista haluttua tietoa. Tämän takia tuloksia on käytännöllistä tarkastella prosessipuukaavion kautta.

### 3.4 Hiilijalanjäljen tulkinta

Tulkintavaiheessa arvioidaan inventaarioanalyysistä ja vaikutusarvioinnista saatuja tuloksia yhdessä. Tuloksista pyritään tunnistamaan merkittävät seikat, joita tavoitteita ja soveltamisalaa määrittäessä yksilöidään. On pidettävä mielessä työlle asetetut tavoitteet. Näin tunnistetaan inventaarioanalyysin, sekä vaikutusarvioinnin tuloksista työn luonteen kannalta arvokkaimmat tiedot ja saadaan työn rajauksen mukaiset vastaukset. Tulkintavaiheeseen tulee myös sisällyttää täydellisyyttä ja johdonmukaisuutta käsittävät arvioinnit sekä herkkyysanalyysi. (ISO 14067:2018, 39.)

Herkkyysanalyysi on tekniikka, jolla testataan millä tavoin laskennan lopputulos muuttuu, jos laskennan muuttujia säädellään. Näin voidaan laskennasta löytää muuttujat, jotka ovat alttiita vaihtelulle, eli toisin sanoin testataan muuttujien herkkyyttä. Työn lähtötietoja voitaisiin muuttaa esimerkiksi 20 %, jonka jälkeen katsotaan, kuinka suuri vaikutus tällä muutoksella on lopputulokseen. Jos lopputulos muuttuu yli 20 %, voidaan tehdä johtopäätös lähtötietojen herkkyudesta. Tämä tarkoittaisi, sitä että lähtötiedot ovat herkkiä vaihtelulle ja niiden epävarmuutta tulisi tarkastella.

### 3.5 Raportointi

Standardissa työn lopulliset tulokset esitetään raporttina. Hiilijalanjäljen selvitysraportin tarkoitus on koota yhteen selvityksen tulokset niin, että työn tavoitteet, sekä hiilijalanjäljen standardissa mainitut vaatimukset täyttyvät. Tulokset tulisi esittää puolueettomasti ja avoimesti. (ISO 14067:2018, 40-42.)

Raportissa on selvennettävä toiminnallinen yksikkö, järjestelmän rajat, luettelo tärkeimmistä yksikköprosesseista, tietolähteet, huomioidut kasvihuonekaasut, karakterisointikertoimet, tietojen laadun arviointi, herkkyysanalyysin tulokset, tulosten tulkinta, soveltamisala, käyttöprofiilien kuvaus ja vaihtoehtoisten käyttöprofiilien kuvaus sekä hiilijalanjäljen ajanjakso. Tähän työhön ei tehdä erillistä raporttia. (ISO 14067:2018, 40-42.)

## 4 Verkkosivun hiilijalanjäljen arviointi

### 4.1 Tavoitteet ja soveltamisala

Opinnäytetyön tavoite on selvittää, kuinka suuri hiilijalanjälki Tovari Oy:n kotiverkkosivun kehitystyöstä aiheutuu. Verkkosivu toimii yrityksellä markkinointitarkoituksessa ja sivulla esitellään Joona Kotilaisen sanoin ”keitä olemme ja mitä teemme ja miten teemme”. Tovarin omaa mielenkiintoa hiilijalanjälkeä ja ympäristöystävällisyyttä kohtaan sekä Kommunikoiva energia -hankkeen pyrkimyksiä voidaan pitää perimmäisinä syinä arvioinnin toteutukselle. Työtä voidaan käyttää opetuskäytössä, ja työstä tehtyjä johtopäätöksiä esitellään osana Kommunikoiva energia -hanketta. Tovarin henkilöstö sekä Karelia-ammattikorkeakoulu ovat työn pääasiallinen kohdeyleisö.

Tutkittava järjestelmä on verkkosivun kehitystyön tekninen infrastruktuuri markkinointiyritys Tovarilla. Kehitystyöhön on osallistunut kaksi yrityksen omaa työntekijää, ja verkkosivun kehittämiseen on käytetty kahta työasemaa, jotka ovat yhdistetty reitittimen kautta verkkoon. Tuotejärjestelmä koostuu pääasiallisesti energiavirroista eli sähkön kulutuksesta. Näin ollen toiminnallinen yksikkö tässä työssä on tunti verkkosivun kehitystyötä. Lopullinen verkkosivun kehitystyön hiilijalanjälki saadaan kertomalla toiminnallinen yksikkö kehitystyöhön käytetyllä tuntimäärällä.

Verkkosivun valmistumisen ajankohdalle ei ollut tiedossa tarkkaa aikataulua, joten verkkosivun käytön aikaisia päästöjä ei tässä työssä tarkastella. Verkkosivun sisällön vienti myös rajattiin pois työstä, sillä ajankohdasta ei ollut varmuutta. Työ on siis rajattu käsittämään sisällään hiilijalanjäljen selvityksen verkkosivun rakenteellisesta kehitystyöstä. Verkkosivun kehitystyö on tapahtunut vuoden 2021 loppupuolelta vuoden 2022 kevääseen. Kuitenkin suurin osa kehityksestä on tapahtunut vuonna 2021. Kehitystyössä pääasiallinen päästöjen lähde on sähkö, ja sen alkuperä vaikuttaa tuloksiin

olennaisesti. Laitteiden omaa elinkaarta ei tarkastella, sillä kehitystyötä tehtiin tuntimääräisesti vähän.

## **4.2 Inventaariotiedot**

Työn inventaarioanalyysi kattaa verkkosivun rakenteelliseen kehitykseen kuuluvat osat, joita Tovarilla käytettiin. Tässä vaiheessa otetaan huomioon sähkö, laitteisto, verkkoyhteys, sekä käyttöprofiilit ja ilmoitetaan niistä saadut tiedot. Tiedonkeruun menetelmät perustuvat standardeissa ja muissa oppaissa esitettyihin malleihin ja metodeihin. Avoimuus ja läpinäkyvyys tiedon hankinnassa, sekä kriittisyys tulosten tarkastelussa on olennainen osa tätä työn vaihetta ja niitä arvoja pyritään noudattamaan jokaisessa työn vaiheessa. Inventaariotietoja on kerätty henkilökohtaisesti Tovarin toimistolta, sähköpostitse, standardeista ja julkaisuista, sekä verkkosivuilta. Tietoja käsitellessä ja laskuja tehdessä on käyty läpi mahdolliset virheet ja tiedot ovat todennettu.

### **4.2.1 Sähkö**

Kohteen hiilijalanjälki muodostuu pääosin sähkön kulutuksesta, joten sen alkuperä, sekä ominaispäästöt vaikuttavat olennaisesti työn lopputulokseen. Tovarilla on käytössä Optimi Takuu sähkösopimus Pohjois-Karjalan Sähköltä eli PKS:ltä. PKS on aiempina vuosina julkaissut tietoja myymänsä sähkön alkuperästä, sekä muista ominaisuuksista. Alla olevassa taulukossa on eritelty prosentuaalisesti sähkön alkuperät, sekä kuinka paljon hiilidioksidia yhden kilowattitunnin tuottaminen aiheuttaa päästöjä. Energialähdejakauma on julkaistu vuodelta 2020 ja se on viimeisin julkinen esite PKS:n sähkön alkuperästä. Tämä ei aiheuta juurikaan epävarmuutta työn tulosten suhteen, vuosittaiset sähkön ominaispäästöjen vaihtelut ovat prosenttien luokkaa. (PKS, 2022).

<b>PKS:n myymän sähkön energialähdejakauma 2020</b>	
Fossiiliset energialähteet ja turve	36,0 %
Uusiutuvat energialähteet	33,5 %
Ydinvoima	30,5 %
<b>Yhteensä</b>	<b>100 %</b>
<b>Sähkön ominaispäästöt:</b>	
Hiilidioksidi	235 g CO <sub>2</sub> /kWh
Käytetty ydinpolttoaine	1,49 mg U/kWh
<b>Muut erittelyt (sisältyvät yllä oleviin lukuihin):</b>	
ETA-alueen ulkopuolinen tuonti, Venäjä	0,0 GWh
Ostettu tukkusähkömarkkinoilta	404,3 GWh

Taulukko 2. Pohjois-Karjalan sähkön energialähdejakauma vuodelta 2020 (PKS, 2022).

Tässä työssä käytetään kuvassa esiteltyä tietoa hiilijalanjäljen laskemiseen. Verkkosivun kehitys on tapahtunut vuonna 2021 ja 2022 ja energialähde on vuodelta 2020. Toisin sanoen tieto sähkön alkuperästä ja energialähdejakaumasta on vanhempaa. Voidaan kuitenkin olettaa, että suuria muutoksia näihin lukemiin ei ole vuoden aikana syntynyt. Työssä sähkön ominaispäästöinä käytetään Pohjois-Karjalan Sähkön vuonna 2020 ilmoittamaa lukua 235 g/kWh.

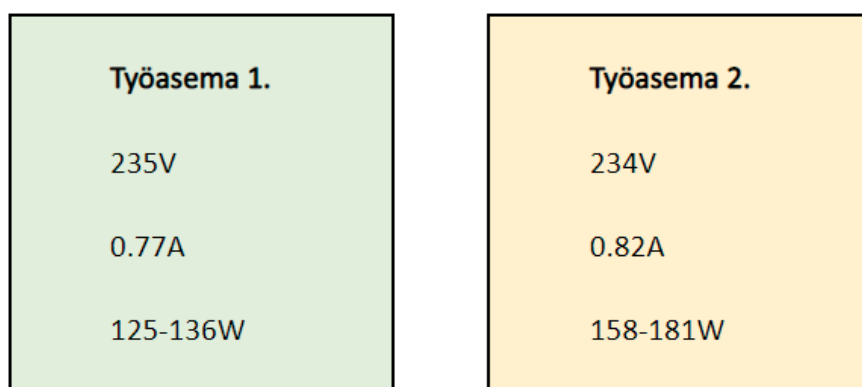
#### 4.2.2 Laitteisto

Verkkosivu on rakennettu kahdella työasemalla, joissa molemmissa käytettiin keskusyksikköä mukaan lukien lisälaitteet sekä kahta näyttöä. Lisälaitteet ottavat virran itse tietokoneesta, mutta näytöt tarvitsevat oman virtalähteen. Työasemat ovat kytketty reitittimeen, josta verkkoyhteys jakautuu kullekin asemalle.

Kokonaisvaltaisen käytössä olevan laitteiston mallintaminen SimaPro-ohjelmaan kaikkineen komponentteineen on lähestulkoon mahdoton prosessi tehdä ilman suuria virhepäätelmiä. Arvioinnin tavoitteet ja raja-  
aus huomioon

ottaen työmäärä olisi liian suuri. Tämän takia työssä päädyttiin erilaiseen ratkaisuun, ja energiankulutus selvitettiin sähkömittarilla, joka asennetaan pistorasian ja työaseman väliin. Työasemat ja niiden oheislaitteet olivat kiinni yhdessä jatkojohdossa niin, että yhden työaseman energiankulutus näkyi mittarista suoraan. Mittarista saatiin selville työasemien tarvitsema teho valmiustilassa ja työtilassa. Mittarina käytettiin Harju Energiankulutusmittaria, jonka on valmistanut Kauppahuone Harju Oy.

Mittauksen teki Tovarin verkkosivun kehittäjät ja tulokset ilmoitettiin sähköpostitse. Alla olevissa kuvissa on tiedot molempien työasemien mittauksista. Työasemista mitattiin teho lepotilassa ja maksimiteho, kun kehitystyötä tehtiin. Työaseman 1:n teho lepotilassa on 125W ja maksimiteho 136W. Työaseman 2:n teho lepotilassa on 158 W ja maksimiteho 181 W. Todellinen työasemien käyttämä teho sijaitsee näiden lukemien välisellä akselilla.



Kuva 4. Energiamittarin lukemat työasemien käyttötehosta.

### 4.2.3 Verkkoyhteys

Verkkoyhteyden aiheuttamat päästöt riippuvat palveluntarjoajan, sekä käyttöpään teknisistä ratkaisuista. Tovarilla on käytössä yrityksille tarkoitettu datayhteys, jonka palveluntarjoaja on TNNet. Datayhteyksien aiheuttamia päästöjä on laskettu yleisesti ottaen maailmassa varsin vähän, oletettavasti sen monimutkaisuuden ja myös tarpeellisuuden vuoksi. Laskentaa tehtäessä olisi otettava huomioon datakeskusten elinkaaret ja verkkoyhteyden aiheuttamien

päästöjen allokointi datakeskuksen ylläpidon, palveluntarjoajan sekä käyttäjän välillä.

Tässä työssä käytetään SimaPro laskentaohjelmassa Ecoinventin omaa prosessia verkkoyhteydelle. Se kattaa sisällään 0.2Mb/s verkkoyhteyden, sekä reitittimen käyttämän sähkön. Ratkaisu voi vähentää työn uskottavuutta ja mallinnuksen realistisuutta. Myös itse mallinnettu datakeskus ja tiedon hankinta on mahdollisesti riskialtis väärälle tiedolle. Lopulliseen hiilijalanjälkeen tällä valinnalla ei kuitenkaan ole varteenotettavaa vaikutusta.

Internet access, work, 0.2 Mbit/s (GLO)   market for   Conseq, U	hr	Ecoinvent 3 - consequential - unit
--	----	------------------------------------

Kuva 5. Verkkoyhteyden SimaPro vastike.

#### 4.2.4 Käyttöprofiili

Käyttöprofiililla tässä työssä tarkoitetaan sitä, kuinka paljon laitteistoa käytetään ajallisesti ja miten suurella teholla laitteistoa käytetään. Verkkosivun kehitystyön tunnit ovat kirjattu ylös tuntikirjanpitoon. Kuten luvussa 5.2.2 mainitaan, työasemien todellinen käytetty teho sijaitsee lepo- ja maksimikäyttötilan välillä. Tarkkaa hetkittäistä mittausta ei tehty, joten vaikutusarvioinnissa käytetään mittauksista saatujen lukujen keskiarvoa. Tämä kuvaa työskentelytilannetta, jolloin puolet ajasta työasema käyttää maksimimäärän virtaa.

Kehitystyön määrä jakautui epätasaisesti kehittäjien kesken Tovarilla.

Työasema 1:llä on tehty 66 tuntia kehitystyötä, ja työasema 2:lla kehitystyötä on tehty 37 h. Yhteenlaskettuna työasemista tulee yhteensä 103 tuntia kehitystyötä, joka on määrällisesti vähän. Työn toiminnallinen yksikkö on tunti kehitystyöstä, joka puolestaan voidaan selvittää jakamalla lopullinen hiilijalanjälki kehitystyöhön kuluneella tuntimäärällä.

### 4.3 Hiilijalanjäljen vaikutusarviointi SimaPro-laskentaohjelmalla

Selvityksen vaikutusarviointi tehdään SimaPro-laskentaohjelmalla. Hiilijalanjälkiselvityksessä vaikutusarvioinnin päämäärä on tulkita inventaariovaiheen tietoja ja laskea niiden avulla hiilijalanjälki. Etsitään SimaProsta oikeat vastikkeet inventaariotiedoille ja luodaan niistä prosessit sekä koonnit.

Vaikutusarvioinnin vaikutusluokka on ilmastonmuutos ja sen indikaattori on hiilidioksidiekvivalentti. Karakterisointimallina käytetään 100 vuoden ilmastoa lämmittävää potentiaalia. Yllä mainitut luokat, mallit ja indikaattorit pätevät työn jokaiselle prosessille ja yksikölle, sillä työn tavoite on laskea hiilijalanjälkeä. Toisin sanoen muita ympäristövaikutuksia ei oteta huomioon. Työssä käytetään Ecoinvent-tietokantaa, joka on laajalti käytetty kirjasto elinkaareen liittyvissä tutkimuksissa. Prosessit ja koonnit esitellään kuvina ja niiden sisältöä kuvaillaan kirjallisesti kappaleissa. Kuvissa olennaiset tiedot löytyvät kohdista Name, Materials/Assemblies, Processes sekä Amount.

### 4.3.1 Sähkö

Taulukko 2:sta voidaan nähdä PKS:n myymän sähkön prosentuaalinen alkuperäjakauma. Näiden prosenttimäärien perusteella voitaisiin luoda sähkölle oma prosessi, johon valitaan prosenttimäärien mukaisesti. Kuitenkin PKS on ilmoittanut myös suoraan myymänsä sähkön ominaispäästöt eli 235 g CO<sub>2</sub> / kWh, joten on suoraviivaisempaa tehdä prosessi yhdelle kilowattitunnille ja kirjata tämän prosessin päästöihin suoraan 235 g CO<sub>2</sub>.

Name	Status	Comment				
Sähkö	None					

Materials/Assemblies	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max	Comment
Add							


Processes	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min
Sähkö PKS Optimi takuu CO2/kwh	1	kwh	Undefined		

Add							
-----	--	--	--	--	--	--	--

Image



Kuva 6. Sähkön koonti SimaPro laskentaohjelmassa.

### 4.3.2 Verkkoyhteys

Kuten inventaariovaiheessa mainittiin, Ecoinvent tietokannassa on oma prosessi verkkoyhteydelle. Kullekin työasemalle kerrotaan tämä prosessi verkkosivun kehitystyötuntien perusteella. Työasema 1:llä verkkosivun kehitystyötä on tehty 66 h ja työasema 2:lla työtä on tehty 37 h. Tähän prosessiin sisältyy reitittimen energiankulutuksen, sekä internetyhteyden päästöt.

Name	Status	Comment		
Datayhteys ja reititin	None			
Materials/Assemblies	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD Min
Add				
Processes	Amount	Unit	Distribution	
Internet access, work, 0.2 Mbit/s {GLO}  market for   Conseq, U	1	hr	Undefined	

Kuva 7. Verkkoyhteydelle tehty koonti.

### 4.3.3 Työasemat

Molemmille työasemalle luotiin omat koonnit, joihin liitettiin verkkoyhteyden ja sähkön prosessit. Näiden prosessien avulla voidaan luvussa 4.2 esiteltyä kaavaa käyttäen laskea lopullinen energian kulutus. Toisin sanoen kerrotaan laitteiden energiantarve verkkosivun kehitystyön tuntimäärällä, josta tulokseksi saadaan kilowattitunteina verkkosivun kehitykseen kulunut energia. Kuten aiemmin todettiin, työasemilla tehtiin eri määrä työtunteja, joten työtunnit jakautuvat työasema 1:lle 66 h ja työasema 2:lle 37 h. Alla olevista kuvista nähdään molempien työasemien koonnit ja Amount -kohdasta laskutoimitukset energian kulutuksen suhteen.

Name	Status	Comment			
Työasema 1.	None				
Materials/Assemblies	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min
Sähkö	66*0,1305 = 8,61	p			
Datayhteys ja reititin	66	p	Undefined		
Add					

Kuva 8. Työasema 1:n koonti SimaPro laskentaohjelmassa.

Name	Status	Comment			
Työasema 2.	None				
Materials/Assemblies	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min
Sähkö	37*0,1695 = 6,27	p			
Datayhteys ja reititin	37	p	Undefined		
Add					

Kuva 9. Työasema 2:n koonti SimaPro laskentaohjelmassa.

#### 4.3.4 Vaikutusarvioinnin tulokset

Verkkosivun kehitystyöstä muodostuva hiilijalanjälki on 4,27 kg CO<sub>2</sub>-ekv. Joten tunti kehitystyötä tarkoittaa 41,45 g CO<sub>2</sub>-ekv. Lopullinen hiilijalanjälki koostui kahden työaseman sähkönkulutuksesta sekä verkkoyhteyden päästöistä.

Tavarin verkkosivun kehityksen hiilidioksidi päästöt ovat siis pienet.

Prosentuaalisesti työasemien hiilijalanjälki jakautui seuraavasti: 82 %

sähkönkulutuksesta ja 18 % verkkoyhteydestä. Jakauma on hieman

harhaanjohtava, sillä datakeskus ja verkkoyhteyden ylläpito myös itsessään

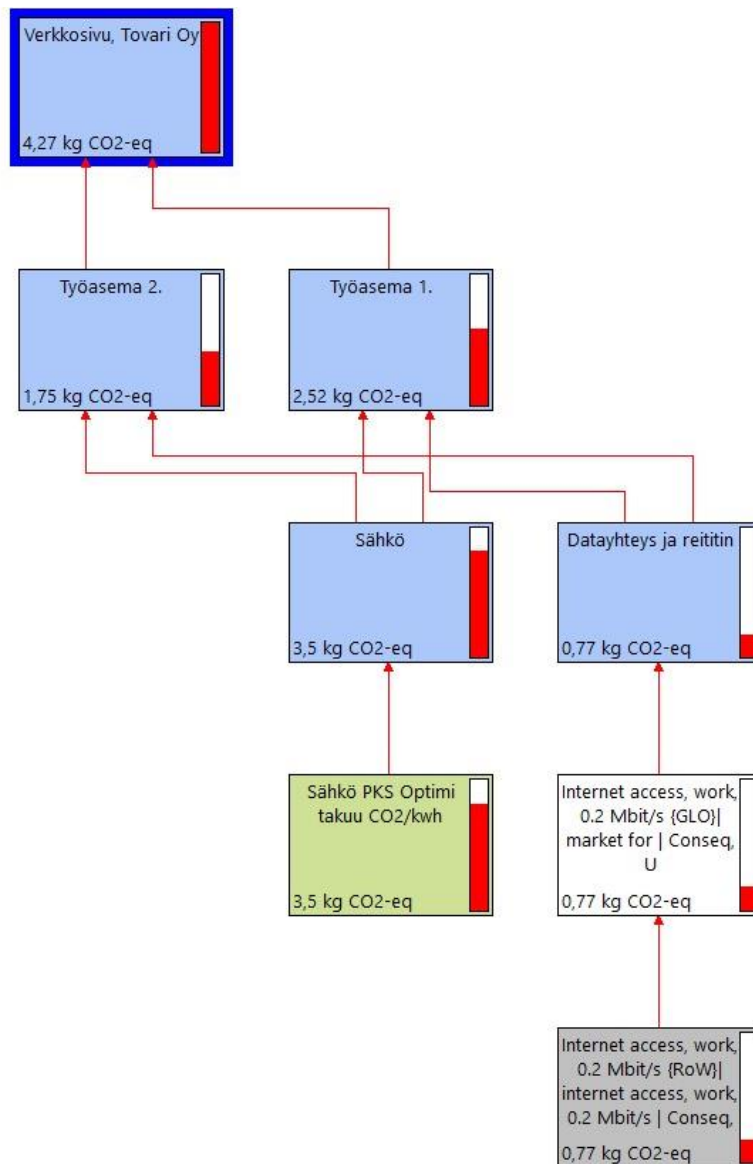
käyttää sähköä ja osa verkkoyhteyden päästöistä syntyy sähkönkulutuksesta.

Kappaleessa 4.3.5 esitellään SimaPro:lla tehty vaikutusarvioinnin prosessipuu.

#### 4.3.5 Vaikutusarvioinnin prosessipuu

Kun inventaariotulokset on mallinnettu prosesseiksi ja koonnit on tehty, projektia voidaan tarkastella visuaalisessa muodossa. Ohjelmasta valitaan haluttu

vaikutusluokka, mikä on tässä työssä 100 vuoden ilmastoalämmitävä vaikutus, minkä jälkeen painetaan Calculate-näppäintä. SimaPro laskee prosesseihin jyvitettyjen tietojen perusteella projektille hiilijalanjäljen ja näyttää koontin niin sanottuna prosessipuuna. Alla olevassa kuvassa on tämän työn vaikutusarvioinnissa tehty prosessipuun, joka on mallinnettu 103 h:n kehitystyöstä. Prosessipuusta nähdään, miten energiavirrat kulkevat, ja nähdään kuinka suuri, on kunkin prosessin tai koontin hiilijalanjälki.



Kuva 10. SimaPro mallinnuksen lopullinen prosessipuun. Laatikot kuvastavat prosesseja ja koontia.

#### 4.3.6 Tulosten vertailu muuttamalla työasemien tehoa

Selvitetään suurin mahdollinen poikkeama selvityksen hiilijalanjälkeen, vaihtelemalla lähtötietoja. Laskut perustuvat Tovarilta saatuihin inventaariotietoihin, joissa ilmoitettiin työasemien minimi, sekä maksimiteho. Alla olevassa taulukossa esitellään verkkosivun kehitystyön hiilijalanjälkeä, erilaisilla lähtötiedoilla laskettuna. Tulokset ovat laskettu 103 tunnin kehitystyöstä. Minimi- sarakkeessa kuvataan työn hiilijalanjälkeä, jos työasemien teho olisi pienin mahdollinen, kun taas Maksimi-sarakkeen kohdassa tehdään päinvastoin.

Sadan vuoden ilmastoa lämmittävä vaikutus, 100a GWP				
	Työasema 1.	Työasema 2.	Hiilijalanjälki	Poikkeama
Minimi	125 W	158 W	4,08 kg CO2 eq	0,37 kg
Maksimi	136 W	181 W	4,45 kg CO2 eq	8,3 %
KA	130,5 W	169,5 W	4,27 kg CO2 eq	

Taulukko 3. Tulosten vertailu työasemien tehoa muuttamalla. (Taulukossa eq. = ekv. eli ekvivalentti).

Laskujen perusteella saataisiin näiden tulosten välille 8,3 %:n poikkeama, eli noin 0,37 kg CO2-eq. Tämä on inventaariotietojen puitteissa laskettu teoreettinen maksimivaihtelu, jota ei kuitenkaan synny reaalityönteessä. Ääritilanteet käytännössä tarkoittavat sitä, että työasemia ei käytetä ollenkaan tai että kehitystyötä tehdään jatkuvasti.

#### 4.3.7 Herkkyysanalyysi

Herkkyysanalyysissä muutettiin laskennan lähtötietoja, minkä jälkeen katsottiin vaikuttavatko muutokset lopulliseen hiilijalanjälkeen. Testin lähtötiedoilla tarkoitetaan SimaPron sähkön prosessia sekä työasemien käyttötehoa. Herkkyysanalyysi tehtiin kahdella testillä, jossa kussakin muutettiin eri lähtötietoja. Ensimmäisessä testissä kaksinkertaistettiin sähkön määrä, jolloin kaikkien sähköä käyttävien prosessien hiilijalanjälki tulisi myös kaksinkertaistua.

Tulokset olivat odotusten mukaiset eli prosessien hiilijalanjälki kaksinkertaistui, jolloin voidaan todeta, että herkkyyttä ei esiinny sähköä käyttävien prosessien osalta.

Toisessa testissä testattiin työasemien tehon herkkyyttä, eli kaksinkertaistettiin työasemien prosessien tehon määrä ja katsottiin, onko tässä laskelmaketjussa häiriötä. Tuloksissa ei esiintynyt eroavaisuuksia ja tulokset olivat odotusten mukaiset.

#### **4.4 Hiilijalanjäljen selvityksen tulosten tulkinta**

Laskennassa selviää yhden tunnin verkkosivun rakenteellisesta kehitystyöstä aiheutuva hiilijalanjälki ja kuinka paljon kokonaisuudessaan koko verkkosivun kehitystyö aiheuttaa päästöjä. Kahdella työasemalla rakennetun verkkosivun kehityksen hiilijalanjälki on 4,27 kg CO<sub>2</sub>-ekv. Selvityksen kohde on itsessään hyvin yksinkertainen ja suoraviivainen työssä tehtyjen rajausten vuoksi. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, etteikö tuloksista voida tehdä varteenotettavia johtopäätöksiä.

Inventaarioanalyysin laskentamenetelmiä ja tuloksia voidaan pitää yleisesti ottaen luotettavina ja johdonmukaisina. Tehdyt laskut ja johtopäätökset on kuvailtu selkeästi ja dokumentoitu läpinäkyvästi, sekä työn menetelmät ovat standardinmukaisia. Työn inventaariotuloksissa on joitakin epävarmuustekijöitä, kuten verkkosivun kehitystä edeltävältä vuodelta saadut sähkön ominaispäästöt, sekä verkkoyhteyden mallinnukseen valittu prosessi SimaPro -ohjelmasta. Myös käyttöprofiilien vajaavaisuus käytön intensiteetin kannalta voi aiheuttaa teoreettisessa maksimitilanteessa noin 8,3 % heiton työn lopulliseen tulokseen. Käytännössä tämä on kuitenkin mahdotonta. Työn luotettavuutta kuitenkin kasvattaa itse hankittu ja mitattu tieto työasemien tehon tarpeesta, sekä käyttöprofiilien vertailu.

Sähkön alkuperä vaikuttaa olennaisesti lopulliseen hiilijalanjälkeen, joka verkkosivun kehityksestä syntyy. Valitsemalla fossiilivapaata tai esimerkiksi

uusiutuvaa energiaa voidaan vähentää päästöjä. 82 % lopullisesta hiilijalanjäljestä syntyi sähkön kulutuksesta. Myös työasemien käyttötehot olivat erilaiset, sillä työasema 1:n keskimääräinen teho oli 130,5 W ja työasema 2:n 169,5 W. Työaseman energiakulutuksella on iso vaikutus verkkosivun kehitysvaiheen hiilijalanjälkeen. Työasema 2 kuluttaa mittausten mukaan yleisesti ottaen 23 % enemmän sähköä. Se voi johtua itse tietokoneen komponenttien virrankulutuksesta, virransäästöasetuksista, näyttöpäätteistä tai jäähdytyksestä. Työasemien energiankulutusta vähentämällä voidaan vaikuttaa lopputulokseen olennaisesti.

Tässä tutkimuksessa ei otettu huomioon laitteiston elinkaaria, sisällön vientiä eikä ylläpidon päästöjä. Täydellisen kokonaiskuvan saaminen yhden verkkosivun aiheuttamista päästöistä on monimutkainen prosessi ja kannattavampaa tehdä isoille verkkosivuille, joilla on paljon ruuhkaa.

Kuvitellaan skenaario, jossa verkkosivua ylläpidetään vuoden ajan ja kuukausittaisia kävijöitä on noin 10 000. Palvelinkeskuksen energian kulutuksesta ja verkkosivun lataamisesta erilaisilla laitteilla syntyy päästöjä. Tyypillisen verkkosivun lataaminen tuottaa noin  $\pm 0,5$  g hiilidioksidia jokaisella latauskerralla (Websitecarbon, 2022). Jos vuosittaisia kävijöitä on 120 000 ja jokainen lataus tuottaa noin 0,5 g päästöjä, verkkosivun käytön ajan vuosittainen hiilijalanjälki olisi 60 kg CO<sub>2</sub>-ekv.

Website Carbon Calculator -sivustolla voidaan selvittää halutun verkkosivun hiilijalanjäljen syöttämällä vain internet osoitteen sivuston hakukenttään. Laskuri ottaa huomioon datansiirron, verkkodatan energiaintensiteetin, energian alkuperän ja verkkosivun ruuhkan. (Websitecarbon, 2022.) Sivun mukaan Tavarin kotisivun vuosittainen hiilijalanjälki oli 104,9 kg. Tuohon verrattuna kehitysvaiheen päästöt olisivat noin 4 %:n luokkaa kokonaiskuvassa.

Tästä voitaisiin vetää johtopäätös, että verkkosivun kehityksen aikaiset päästöt ovat miltei merkityksettömät, jos verkkosivu on aktiivisessa ruuhkassa ja se on pidemmän aikajakson käytössä. Verkkosivun kehitysvaiheella on olennainen rooli sen käytön ajan päästöissä. Kestävien web design tekniikoiden ja

strategioiden avulla voidaan tehdä verkkosivuista energiatehokkaammat ja ympäristöystävällisemmät. Työasemien energian kulutuksen pienentäminen, sekä ympäristöystävällinen sähkö ja ekologinen web design ovat tehokkaimmat tavat pienentää verkkosivun päästöjä.

## 5 Pohdinta

Digitalisaatio on maailmanlaajuinen ilmiö, jonka kasvua on lähivuosina kiihdyttänyt etenkin koronaviruksen aiheuttamat pakotteet. Tämä jatkuva kasvu johtaa palvelinkeskuksien kapasiteettien nousuun ja suurempaan energian kulutukseen. Myös vaativammat graafiset suoritteet, kuten suurikokoiset kuvat ja tarkkalaatuiset videot lisäävät rasitteita ympäristölle epäsuorasti sähkön kulutuksen kautta. Digitaalisten kohteiden hiilijalanjälkiselvitykset, sekä elinkaarianalyysit ovat todella ajankohtaisia, kun palvelut siirtyvät verkkoon ja ihmisten päivittäiset tottumukset ovat siirtyneet vahvasti digitaalisiin kohteisiin.

Verkkopalveluiden elinkaarianalyysien avulla voidaan kehittää energiatehokkuudeltaan parempia verkkosivuja ja myös saada laajempi käsitys siitä, kuinka suuri osa verkkoinfrastruktuuri on ihmiskunnan energian kulutuksesta. ICT puolen elinkaarianalyysien toteuttaminen on kuitenkin haastavaa. Laitteet sisältävät kymmenien eri valmistajien osia kymmeniltä eri tehtailta ja jopa kymmenistä eri maista. Yhdenkin emolevyn jyvitysketju on käytännössä mahdoton laskea tarkasti, ja tämänkin jälkeen on selvitettävä loputon allokaatioketju, jonka kuuluisi vastata kenelle päästöt ”kuuluvat”.

Siteefy tietää kertoa, että maailmassa on noin 197 000 000 aktiivista verkkosivua ja joka päivä noin 252 000 uutta sivua syntyy (N. Huck, <https://siteefy.com/how-many-websites-are-there/>, 21.11.2022). Jos jokainen sivu olisi samaa kokoluokkaa, kuin tässä työssä tarkasteltu nettisivu, niin yhteensä päästöjä pelkästä päivittäisestä sivujen kehityksestä syntyisi noin 1076 tonnia CO<sub>2</sub> ekvivalenttia. Sitran mukaan keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki on vuodessa noin 10 000 kg CO<sub>2</sub> ekv. Näiden oletuksien siivittämä

verkkosivujen kehitys tuottaisi pelkästään yhdessä päivässä yhtä paljon päästöjä kun 107 tuhatta suomalaista vuoden aikana. Tämä on täysin hypoteettinen oletus, sekä vaikka sivuja syntyisi noin paljon, niiden rakennukseen ei välttämättä ole käytetty yhtä paljon resursseja. Verkkosivujen kehitys on kuitenkin vain pieni osa siitä potentiaalisesta päästömäärästä, jonka pitkään palveleva verkkosivu tuottaa.

Tälle työlle hyviä jatkokehityskohteita ovat verkkosivun koko elinkaaren ajalta tehtävät selvitykset. Mallinnetaan laitteistolle elinkaaret ja tehdään selvemmat käyttöprofiilit, joiden avulla saadaan tarkemmin työasemien kuluttama energiamäärä selville. SimaPron Ecoinvent tietokantaan on juuri uusimman päivityksen myötä lisätty elektroniikkaan liittyviä prosesseja, kuten työssä käytettäviä kannettavia tietokoneita, sekä muita yleisesti käytössä olevia laitteita. Valmiita vastikkeita on hyvä käyttää, jos laitteiston elinkaarikehittämisen menevät liian monimutkaisiksi. Lisäksi itse mallinnetut kohteet saattavat olla riskialttiita virheille.

Olenaisimpana tarkasteltaisiin sivun aktiivisuusajan päästöjä esimerkiksi parin kuukauden ajalta. Palvelinkeskuksen energiankulutus, sekä verkkosivun vierailijoiden laitteet suurentavat verkkosivun hiilijalanjälkeä paljon ja kuvaavat niitä ympäristövaikutuksia, jotka syntyvät verkkosivun oikeasta käyttötarkoituksesta. Tutkimuksen kautta voidaan selvittää, mitkä ovat suurimmat käytön ajan päästöjen lähteet sekä millä tavoin käytön aikaisia päästöjä voitaisiin pienentää.

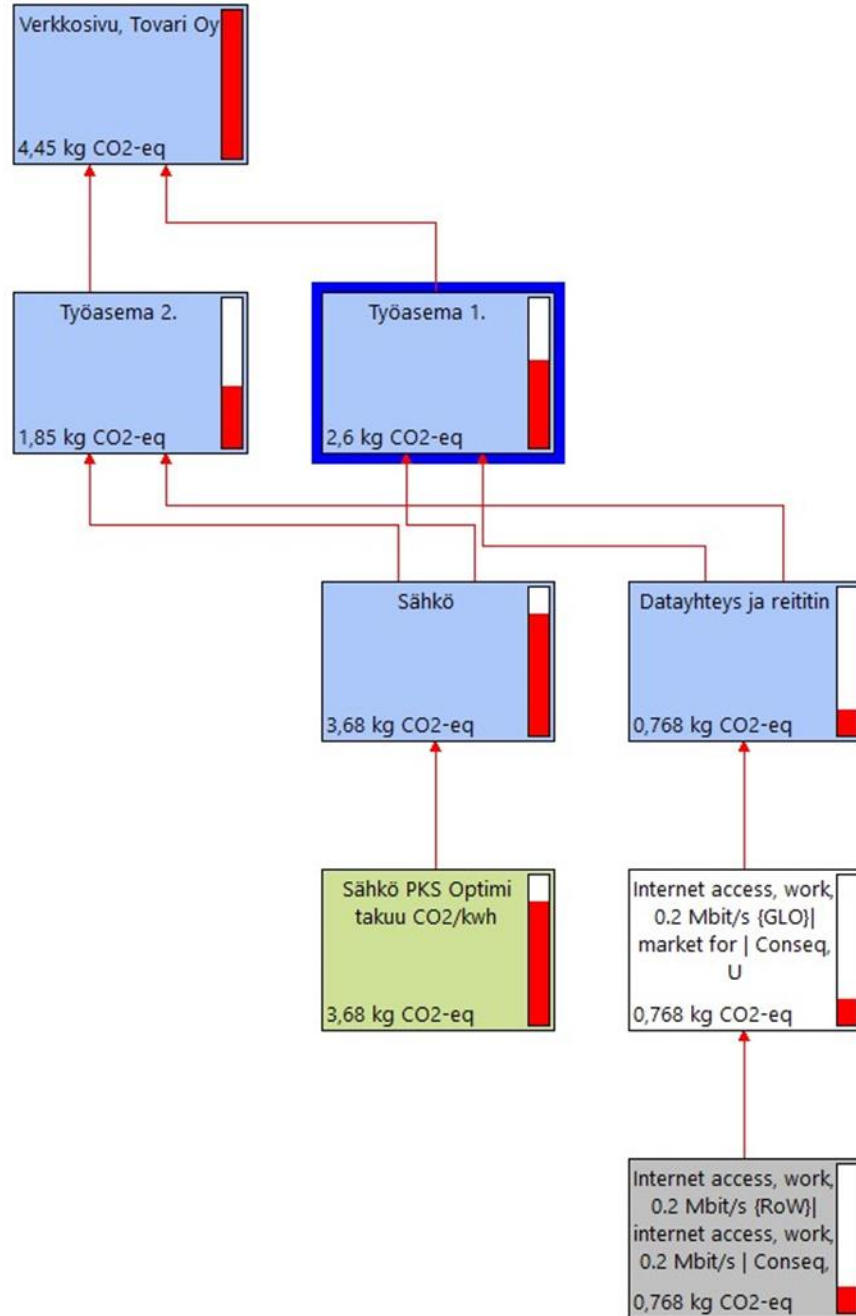
Työn tekeminen oli kiinnostavaa ja aiheena digitaalisten kohteiden hiilijalanjäljen laskenta oli todella antoisa. Työssä jouduttiin rajaamaan paljon olennaisia tekijöitä ulkopuolelle, mutta tuloksista saatiin irti paljon hyödyllistä tietoa koskien verkkosivun kehitysvaiheen päästöjä. On selvää, että tulevaisuudessa tullaan valvomaan myös virtuaalisen maailman päästöjä tarkemmin ja tämän tyyppiset tutkimukset ovat eturintamalla kyseisellä tieteen saralla.

## Lähteet

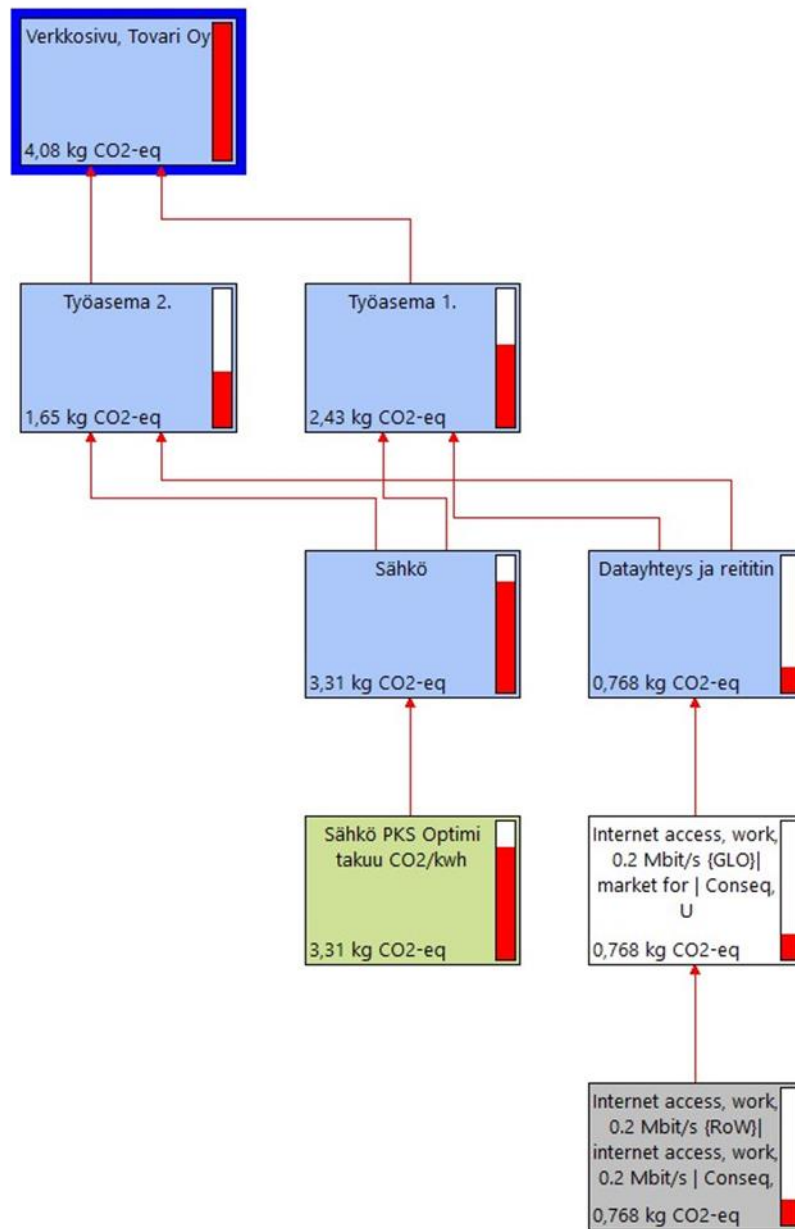
- European Telecommunications Standards Institute. 2015. ETSI EN 203 199 Methodology for environmental Life Cycle Assessment (LCA) of Information and Communication Technology (ICT) goods, networks and services.  
[https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_es/203100\\_203199/203199/01.03.01\\_60/es\\_203199v010301p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_es/203100_203199/203199/01.03.01_60/es_203199v010301p.pdf). 20.9.2021.
- Greenhouse Gas Protocol. 2015. GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard.  
<https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>. 25.9.2021.
- Greenhouse Gas Protocol. 2011. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard.  
[https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard\\_041613.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf). 26.9.2021.
- Greenhouse Gas Protocol. 2017. GHG ICT Sector Guidance.  
<https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/GHGP-ICTSG%20-%20ALL%20Chapters.pdf>. 5.10.2021
- ISO 14040:2006. Ympäristöasioiden Hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 20.9.2021.
- ISO 14044:2006. 2018. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 21.9.2021.
- ISO 14067:2018. 2018. Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet. 20.8.2022.
- LCAtextbook. 2022. 19.10.2022
- LCAtextbook. 2022. <https://www.lcatextbook.com/versions-of-textbook/19.10.2022>
- N. Huck. <https://siteefy.com/how-many-websites-are-there/>. 21.11.2022.
- Pohjois-Karjalan Sähkö. 2022. 16.10.2022.
- Pohjois-Karjalan Sähkö. 2022. <https://www.pks.fi/sahkotarjoukset/kotiin/sahkonalkupera/>. 6.9.2022
- SimaPro 2021. <https://simapro.com/>. 29.9.2021
- Tovari Oy. 2022. 6.10.2022
- Tovari Oy. 2022. <https://tovari.fi/>. 6.10.2022
- Websitecarbon. 2022. 20.10.2022
- Websitecarbon. 2022. <https://www.websitecarbon.com/website/tovari-fi/> 20.10.2022

## Tekstiä täydentävät lisäykset

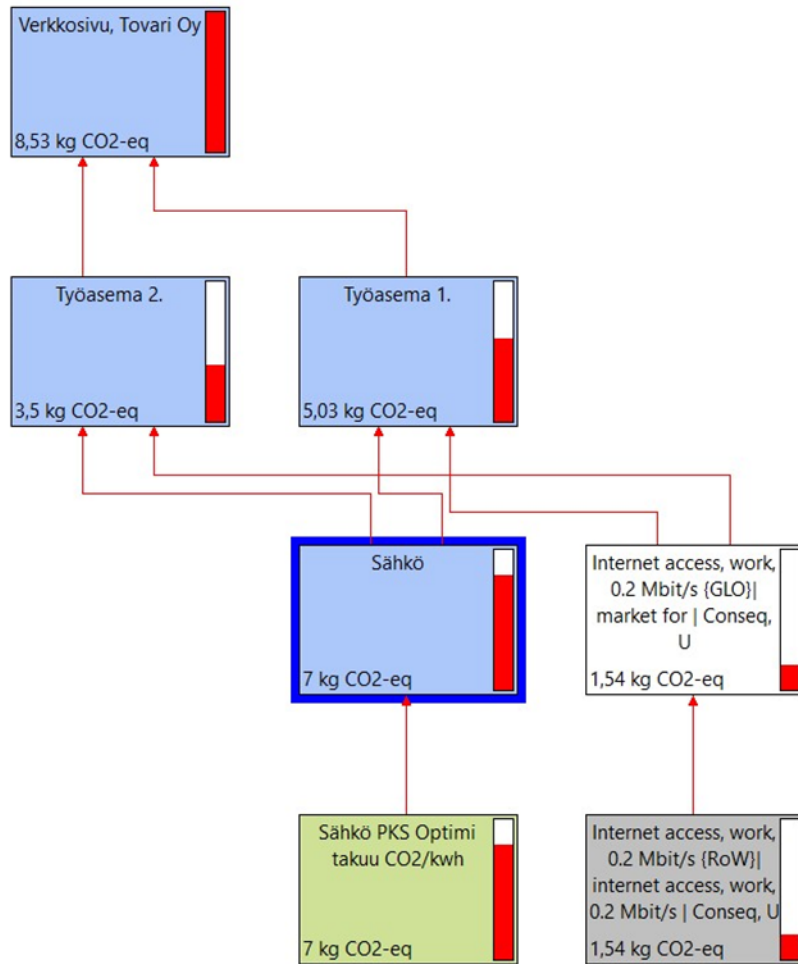
Liite 1. Prosessipuu, työasemien maksimiteholla laskettu



Liite 2. Prosessipuu, työasemien minimiteholla laskettu



Liite 3. Herkkyysanalyysi, 1 testi



Liite 4. Herkkyysanalyysi toinen testi

