



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri AMK, energia- ja ympäristötekniikka

Digitaalisen palvelun elinkaari- analyysi

Hiilijalanjälkilaskenta Kuopion Eläinpuiston
verkkopalvelulle

Alma Pohjonen

Opinnäytetyö, helmikuu 2022

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2022
Energia- ja ympäristötekniikan
koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Alma Pohjonen

Nimeke
Digitaalisen palvelun elinkaarianalyysi Hiilijalanjälkilaskenta Kuopion Eläinpuiston verkkopalvelulle

Toimeksiantaja
Hurry Oy

Tiivistelmä

Työssä tutkittiin digitaalisen palvelun hiilijalanjälkeä elinkaarianalyysimetodin avulla. Elinkaarianalyysi tehtiin Kuopion Eläinpuiston verkkopalvelulle, johon kuuluu verkkosivusto, verkkokauppa ja mobiilisovellus. Opinnäytetyön toimeksiantaja on verkkopalvelun tuottaja Hurry Oy. Työssä pohdittiin myös hiilijalanjäljen pienentämismahdollisuuksia.

Elinkaarianalyysissä mukailtiin ISO 14040- ja 14044-standardien ohjeita. Inventaarioanalyysi koottiin Hurrylta SimaPro Collect ohjelmistolla tehdyn kyselyn avulla. Elinkaari-mallinnus ja hiilijalanjälkilaskenta toteutettiin SimaPro-ohjelmiston avulla. Tutkimuk-sessa keskityttiin verkkopalvelun tuottamisen ja kulutuksen hiilijalanjälkeen. Verkkosi-vun kulutusprofiili laskettiin kahdelle eri ajanjaksolle, kolmelle kuukaudelle ja yhdelle se-sonkiviikolle. Kolmen kuukauden tarkastelujaksoksi valittiin heinä-, elo- ja syyskuu, ja sesonkiviikoksi heinäkuun toinen viikko.

Kuopion Eläinpuiston verkkosivun ja mobiilisovelluksen kolmen kuukauden hiilijalanjäl-jeksi saatiin 1 900 kg CO₂e. Suurimmat päästöt muodostuvat verkkosivuston ja mobiili-sovelluksen tuottamisesta. Käytönaikaiset päästöt ovat huomattavasti tuotantoa pie-nemmät. Yrityksen on mahdollista pienentää digitaalisen palvelun hiilijalanjälkeä osta-malla uusiutuvilla energianlähteillä tuotettua sähköä ja kompensoimalla syntyviä kasvi-huonekaasupäästöjä.

Kieli
suomi

Sivuja 53
Liitteet 4
Liitesivumäärä 15

Asiasanat
Elinkaarianalyysi, hiilijalanjälki, digitalisaatio, tieto- ja viestintäteknikka



Karelia
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
February 2022
Degree Programme in Energy and Environmental Engineering

Tikkarinne 9
Fi 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. +358 13 260 600

Author
Alma Pohjonen

Title
Life Cycle Analysis of Digital Service Carbon Footprint Calculation for Kuopion Eläinpuisto Web Service

Commissioned by
Hurry Oy

Abstract

The aim of this thesis was to research the carbon footprint of digital services. The life cycle analysis was made for Kuopion Eläinpuisto online services including website, e-commerce and mobile app. The commissioner of the thesis was Hurry Oy producer of web service. Also reducing of carbon footprint was contemplated.

The guidelines of the ISO 14040 and 14044 standards were followed in the life cycle analysis. The inventory analysis was compiled using a survey from Hurry with SimaPro Collect software. The Life cycle modeling and the carbon footprint computing were operated using SimaPro software. The research focused on the carbon footprint of online services generation and consumption. The consumption profile of the website was calculated for two different periods, three months, and one peak season week. The three-month review period was selected for July, August and September, and peak season week for the second week of July.

The three-month carbon footprint of Kuopion Eläinpuisto website and mobile application was 1,900 kg of CO₂ eq. Producing website and mobile application produced largest emissions. Use-phase emissions are significantly lower than productions emissions. It is possible for a company to reduce the carbon footprint of the digital service by purchasing electricity generated by renewable energy sources and compensating for the produced greenhouse gas emissions.

Language
Finnish

Pages 53
Appendices 2
Pages of Appendices 15

Keywords
life cycle analysis, carbon footprint, digitalization, information, and communications technology

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Taustaa	5
1.2	Kuopion Eläinpuiston verkkosivu	6
2	Hiilijalanjälki ja ilmastonmuutos	7
2.1	Ilmastonmuutos	7
2.2	Hiilijalanjälki	8
2.3	ISO 14067	9
2.4	Hiilikädenjälki	10
3	Digitaalisen palvelun elinkaarianalyysi	12
3.1	Elinkaarianalyysi	12
3.2	Digitalisaatio	14
3.2	Digitaalinen palvelu	15
3.3	Tiedonsiirto ja datakeskukset	16
3.4	GHG-protokolla	17
3.5	Digitaalisten palvelujen kestävyys	18
4	Tarkoitus ja tehtävä	22
4.1	Tarkoitus	22
4.2	Aiheen rajaus	22
4.3	Tutkimustehtävä	23
5	Menetelmät	24
5.1	ISO 14040 ja 14044	24
5.2	SimaPro	26
6	Elinkaarianalyysi	28
6.1	Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely	28
6.2	Inventaarioanalyysi	30
6.2.1	Tiedon kerääminen	30
6.2.2	Verkkosivun ja sovelluksen suunnittelu	31
6.2.3	Verkkosivun ja sovelluksen koodaus	31
6.2.4	Datakeskus	32
6.2.5	Kulutusprofiili	33
7	Verkkopalvelun hiilijalanjälki	36
7.1	Kokonaishiilijalanjälki	36
7.1.1	Verkkosivusto	38
7.1.2	Mobiilisovellus	39
7.1.3	Käytönaikaiset päästöt	40
7.2	Hiilijalanjälki sesonkiaikana	42
7.3	Herkkyyshanalyysi	44
7.4	Hiilijalanjäljen pienentäminen	47
8	Pohdinta	49
8.1	Tulosten tarkastelu	49
8.2	Jatkokehitysmahdollisuudet	51
	Lähteet	53

Liitteet

Liite 1	Kysely SimaPro Collect ohjelmalla.
Liite 2	Inventaarioanalyysin laskut.
Liite 3	Kuopion Eläinpuiston digitaalisen palvelun hiilijalanjälkikuvaajat.
Liite 4	Verkkopalvelun tuotannon ja kulutuksen päästöt.

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Digitaalisia palveluita on nykyään kaikkialla ja olemme niiden kanssa tekemisissä lähes joka päivä. Digitalisaatio johtaa fyysisten tuotteiden korvaamiseen virtuaalisilla ja digitaalisilla palveluilla (Liikenne- ja viestintäministeriö 2021, 124). Tämän ansiosta olemme monin paikoin saaneet helpotusta arkeen ja työelämään, kun emme enää huku kopiopaperiin tai voimme lähettää kuvia ja videoita ystävillemme, vaikka toiselta puolelta maapalloa.

Toisaalta digitalisaation massiivinen kasvu aiheuttaa luonnonvarojen kulumista ja päästöjen syntymistä. Frédéric Bordagen vuonna 2020 tehdyn tutkimuksen mukaan digitaaliset palvelut olisivat kattaneet 4 % kaikista ihmisten tuottamista kasvihuonekaasupäästöistä. Suurin päästöjen aiheuttaja digitaalisella sektorilla on energian ja etenkin sähkönkulutus. Vuonna 2017 ICT (Information and communications technology) -sektorin sähkökäytön osuus oli 1 % koko Suomen sähkönkulutuksesta (Hiekkanen, Seppänen & Ylhänen 2020, 5).

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan elinkaarianalyysimenetelmien avulla verkkopalvelun hiilijalanjälkeä. Tarkasteltavana verkkopalveluna työssä on Kuopion Eläinpuiston verkkosivusto, johon kuuluu digitaalinen lipunmyyntijärjestelmä sekä kesäpassi-mobiilisovellus (Kuopion Eläinpuisto 2021). Työn tavoitteena on kartoittaa digitaalisesta palvelusta syntyvät päästöt ja pohtia päästöjen pienentämismahdollisuuksia. Elinkaarianalyysissa mukaillaan ISO 14040- ja 14044-standardien ohjeita. Elinkaarimallinnus ja hiilijalanjälkilaskenta tehdään SimaPro-ohjelmiston avulla.

Tutkimus tehdään Kuopion Eläinpuiston verkkopalvelun toteuttajalle Hurry Oy:lle, joka on markkinointi-, paino- ja tapahtuma-alan yritys. Hurrylla on toimipisteet Joensuussa, Kuopiossa, Varkaudessa sekä Tampereella. Hurry tarjoaa kuluttajille mm. markkinoinnin sekä brändin suunnittelua, palvelumuotoilua, visuaalista suunnittelua, verkkosivujen tuottamista, digimarkkinointia ja tapahtumien järjestämistä. (Hurry 2021.)

Opinnäytetyö on osa Karelia-ammattikorkeakoulun Kommunikoiva Energia hanketta. Hankkeen tavoitteena on lisätä tietämystä energiayhteisöjen ja digitaalisten palvelujen hiilineutraalisuudesta. Hanke tekee yhteistyötä Pohjois-Karjalaisien yritysten kanssa. (Kommunikoiva Energia 2021.)

1.2 Kuopion Eläinpuiston verkkosivu

Elinkaarianalyysi toteutetaan Kuopion Eläinpuiston verkkopalvelulle. Se on tehty Eläinpuistolle keväällä 2021. Verkkosivustolla kerrotaan Kuopion Eläinpuiston toiminnasta, palveluista ja tapahtumista, eläinkuvien kera. Sivustolla on esitelty Kuopion Eläinpuistoon kuuluvat eläinpuistot Vehmasmäellä ja Rauanlahdella. (Kuopion Eläinpuisto 2021.)



Kuva 1. Kuopion Eläinpuiston logo (Kuopion Eläinpuisto 2021).

Osana verkkosivustoa on digitaalinen lipunmyyntijärjestelmä, joka mahdollistaa kesäpassin ostamisen. Sen avulla Eläinpuistossa voi vieraila koko kesäkauden ajan rajattomasti. Kesäpassin voi ostaa myös paperisena eläinpuistojen lipunmyyntipisteiltä. Lipunmyyntijärjestelmän osana toimii kesäpassi-mobiilisovellus, jonka kautta voi ostaa kesäpassin sekä tunnistautua eläinpuistojen lipunmyyntipisteillä. (Kuopion Eläinpuisto 2021.)

2 Hiilijalanjälki ja ilmastonmuutos

2.1 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutos tarkoittaa kaikkia muutoksia, joita ilmastossa tapahtuu. Nykyään ilmastonmuutoksesta puhutaan, kun tarkoitetaan ihmisen toiminnan aiheuttamaa ilmaston lämpenemistä. Maapallon keskilämpötila on mittausten mukaan noussut 0,6 astetta 1900-luvun aikana. (Berghäll, Ahonen, Sinivuori & Säkin 2003, 9.)

Ilmaston lämpeneminen johtuu kasvihuoneilmiön voimistumisesta (Sitra 2021). Maapallon ilmakehä päästää lävitseen auringosta tulevaa lyhytaaltoista säteilyä, joka säteilee takaisin avaruuteen lämpösäteilynä (Berghäll, Ahonen, Sinivuori & Säkin 2003, 7). Osa lämpösäteilystä imeytyy maapallon ilmakehässä oleviin kasvihuonekaasuihin, josta lämpö säteilee avaruuteen sekä takaisin maapalolle. Tätä ilmiötä kutsutaan kasvihuoneilmiöksi. Luonnollinen kasvihuoneilmiö mahdollistaa elämän maapalolla. (Ilmasto-opas 2021.)

Luonnollisia maapallon ilmakehässä esiintyviä kasvihuonekaasuja ovat mm. hiilidioksidi, vesihöyry ja otsoni (Ilmasto-opas 2021). Ihminen on toiminnallaan aiheuttanut kasvihuonekaasujen lisääntymisen ilmakehässä. Merkittävin ihmisen toiminnasta aiheutuva kasvihuonekaasu on hiilidioksidi. Sen pitoisuus ilmakehässä on kasvanut kolmanneksella esiteolliseen aikaan verrattuna. (Berghäll, Ahonen, Sinivuori & Säkin 2003, 7.)

Ilmastonmuutos aiheuttaa monia ongelmia, jotka vaikuttavat luonnon ekosysteemeihin, luonnon monimuotoisuuteen, ihmisten turvallisuuteen ja terveyteen sekä ruuantuotantoon. Varmimpia ilmastonmuutoksen aiheuttamia ongelmia ovat merenpinnan nousu, sateiden voimistuminen, kuivuus ja jäätiköiden sulaminen (Berghäll, Ahonen, Sinivuori & Säkin 2003, 9.) Ilmastonmuutosta ei voida pysäyttää, mutta sitä voidaan hillitä vähentämällä kasvihuonekaasupäästöjen päätymistä ilmakehään. (Berghäll, Ahonen, Sinivuori & Säkin 2003, 11.)

2.2 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki kuvaa tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikana syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä (Sitra 2021). Se kuvaa usein ns. suorina ympäristövaikutuksia, joita voi olla esimerkiksi ICT-sektorilla verkkojen energiankulutus. Hiilijalanjälkeä kuvataan hiilidioksidiekvivalenttina (CO₂e), joka kuvaa eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittäviä vaikutuksia suhteutettuna hiilidioksiidiin massayksikköä kohden (IPCC 2014, 137). Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki vuodessa on 10 300 kg CO₂e/henkilö (Sitra 2018).

Kasvihuonekaasujen lämmittävä vaikutus ilmaistaan GWP (Global Warming Potential) -kertoimen avulla. Esimerkiksi metaanin GWP-kerroin on 28 eli metaanin lämmitysvaikutus on 28 kertaa suurempi kuin hiilidioksidin. Hiilidioksidiekvivalentti ilmaistaan usein massayksikkönä, kuten kiloina tai tonneina. Hiilidioksidiekvivalentin on tarkoitus yhtenäistää kasvihuonekaasujen vaikutuslaskentaa päästöjen vertailun helpottamiseksi. Taulukossa 1 on esitettynä kolmen yleisimmän kasvihuonekaasun lämmitysvaikutukset 100 vuoden tarkastelujaksolla. GWP-kertoimia tarkennetaan lisääntyvän tiedon myötä, jonka takia kertoimissa on eroja eri vuosien välillä. (Myhre ym. 2013, 52.)

Kasvihuonekaasu	Kemiallinen kaava	GWP-kerroin		
		IPCC (1995)	IPCC (2007)	IPCC (2014)
Hiilidioksidi	CO ₂	1	1	1
Metaani	CH ₄	21	25	28
Dityppioksidi	N ₂ O	310	298	265

Taulukko 1. Yleisimpien kasvihuonekaasujen GWP-kertoimet (Myhre ym. 2013, 73–79).

GWP-kerrointa tarkastellaan usein 100 vuoden tarkastelujaksolla, vaihtoehtoisia tarkastelu ajanjaksoja ovat myös 20 ja 500 vuotta. GWP-kertoimen käyttöön liittyy epävarmuustekijöitä, sillä kasvihuonekaasujen elinikä ja ominaislämmitysvaikutus vaihtelee huomattavasti. (SYKE 2010, 27.) Toisaalta GWP-kertoimia pyritään päivittämään, jotta tieto olisi mahdollisimman tarkkaa, tästä johtuu GWP-kertoimien eri luvut taulukossa 1.

2.3 ISO 14067

ISO 14067 on standardi, joka määrittelee hiilijalanjäljen laskennan ja raportoinnin pääperiaatteet ja metodit. ISO 14067-standardin vaiheet hiilijalanjäljen laskennalle ovat samankaltaiset elinkaarianalyysistandardien ISO 14040 ja 14044 kanssa. Hiilijalanjälkilaskennan tavoitteena on standardin mukaan laskea tuotteen mahdollinen vaikutus ilmaston lämpenemiseen ilmaistuna CO₂e:na. Hiilijalanjäljen laskennan pääperiaatteita ovat standardin mukaan tarkoituksenmukaisuus, täydellisyys, johdonmukaisuus ja läpinäkyvyys.

Tarkoituksenmukaisuus tarkoittaa sitä, että laskennassa ja raportoinnissa otetaan huomioon yrityksen vaatimukset. Työssä käytetään menetelmiä, jotka soveltuvat tutkittavan kohteen aiheuttamien päästöjen arviointiin. (ISO 14067, 12.)

Raportoinnin läpinäkyvyydellä tarkoitetaan sitä, että lukijan on mahdollista nähdä, mistä tiedot ovat tulleet ja miten tietoa on käytetty. Kaiken tiedon pitäisi olla jäljitettävissä, eli raporttiin pitää tehdä lähdeluettelo kaikista lähteistä, josta tietoa on haettu. (ISO 14067, 13.)

Täydellisyydellä tarkoitetaan sitä, että laskentaa varten kerätyn tiedon on oltava tarkkaa ja kerätty tieto näkyy inventaarioanalyysissä. Laskennassa pyritään ottamaan kaikki tuotteen/palvelun osa-alueet kattavasti huomioon ja mikäli jotain jätetään raportoinnin ulkopuolelle, on se hyvin perusteltu. (ISO 14067, 12.)

Johdonmukaisuudella standardissa tarkoitetaan selostusta siitä, mitä tutkitaan, millaisia metodeja käytetään tutkimusta tehdessä. Johdonmukaisuuteen kuuluu, että kerätty tieto ja tutkimuksessa tehdyt johtopäätökset ovat yhdenmukaisia raportoinnin tavoitteiden ja rajauksen kanssa. (ISO 14067, 12.)

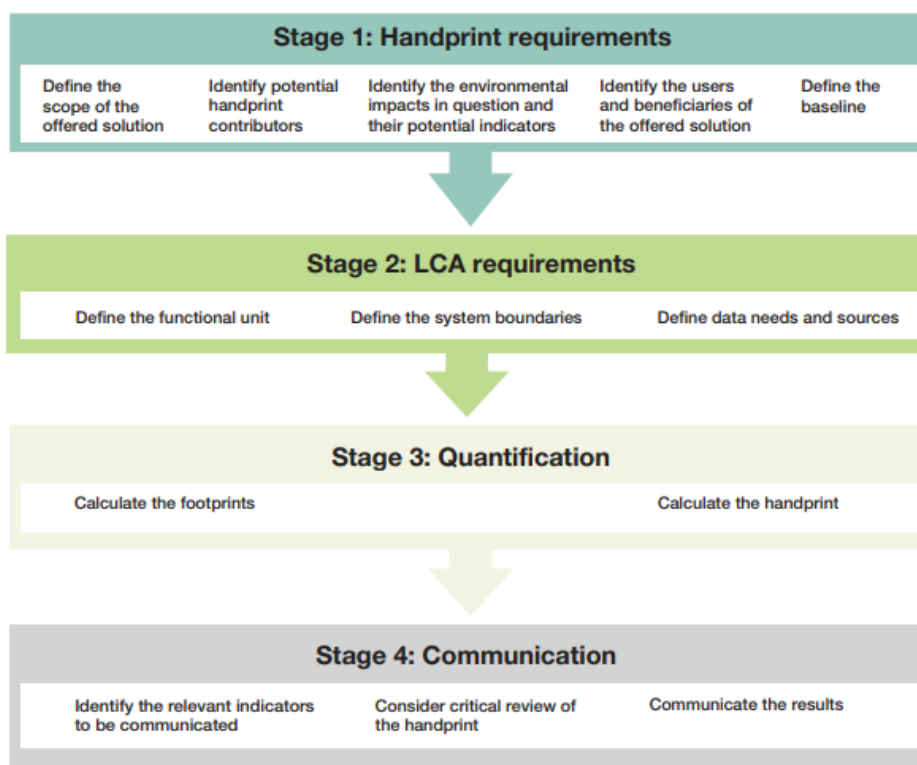
Tuotteiden ja palveluiden elinkaaren aikana kasvihuonekaasupäästöt saattavat vaihdella ajan myötä, minkä takia inventaarioanalyysin tiedonkerääminen kannattaa kohdentaa ennalta määrättyyn ajanjaksoon. Tuotteen tai palvelun elinkaareen voi kuulua prosesseja, jotka liittyvät tiettyyn ajanjaksoon.

Hiilijalanjätkilaskennassa otetaan huomioon tämä tietty ajanjakso sekä kyseisen ajan ulkopuolella tapahtuva toiminta, jotka kuuluvat tuotteen tai palvelun elinkaareen. (ISO 14067, 19.) Esim. digitaalisen palvelun elinkaareen kuuluu palvelun tuottaminen ja kuluttaminen. Kuluttamista voidaan tarkastella tietyn ajanjakson aikana, eli elinkaareen liitetään tämän ajanjakson kulutusprofiili ja palvelun tuottaminen.

2.4 Hiilikädenjälki

Hiilikädenjälki kuvaa yrityksen, tuotteen tai palvelun positiivisia ympäristövaikutuksia, jotka pienentävät kuluttajan hiilijalanjälkeä. Tämä ei ole toimintaa, joka vähentäisi yrityksen omaa hiilijalanjälkeä. Hiilikädenjälki muodostuu toiminnasta, joka pienentää toisen toimijan, kuten asiakkaan hiilijalanjälkeä. Hiilikädenjälkeä kasvattavia tekijöitä voivat olla esim. tuotteiden kierrätettävyyden, pitkä elinikä, uusiutuvien materiaalien käyttö sekä tuotteiden toimiminen hiilinieluna. (Pajula, Vatanen. Behm, Grönman, Lakanen, Kasurinen & Soukka 2021, 11–14.)

VTT ja LUT ovat kehittäneet ohjeistuksen hiilikädenjäljen laskentaan. Tämän laskennan pohjana on elinkaarimallinnus. Ohjeistus on jaettu neljään päävaiheeseen, jotka ovat esitetty alla olevassa kuvassa 2. Hiilikädenjälkilaskenta pohjautuu elinkaarianalyysin käytäntöihin, ja sen pohjana ovat ISO-standardit. Ensin lasketaan tuotteen tai palvelun hiilijalanjälki, minkä jälkeen tunnistetaan hiilikädenjälkitekijät ja lasketaan niiden vaikutukset. (Pajula, Vatanen. Behm, Grönman, Lakanen, Kasurinen & Soukka 2021, 16.)



Kuva 2. Hiilikädenjäljen laskeminen (Pajula, Vatanen, Behm, Grönman, Lakanen, Kasurinen & Soukka 2021, 16).

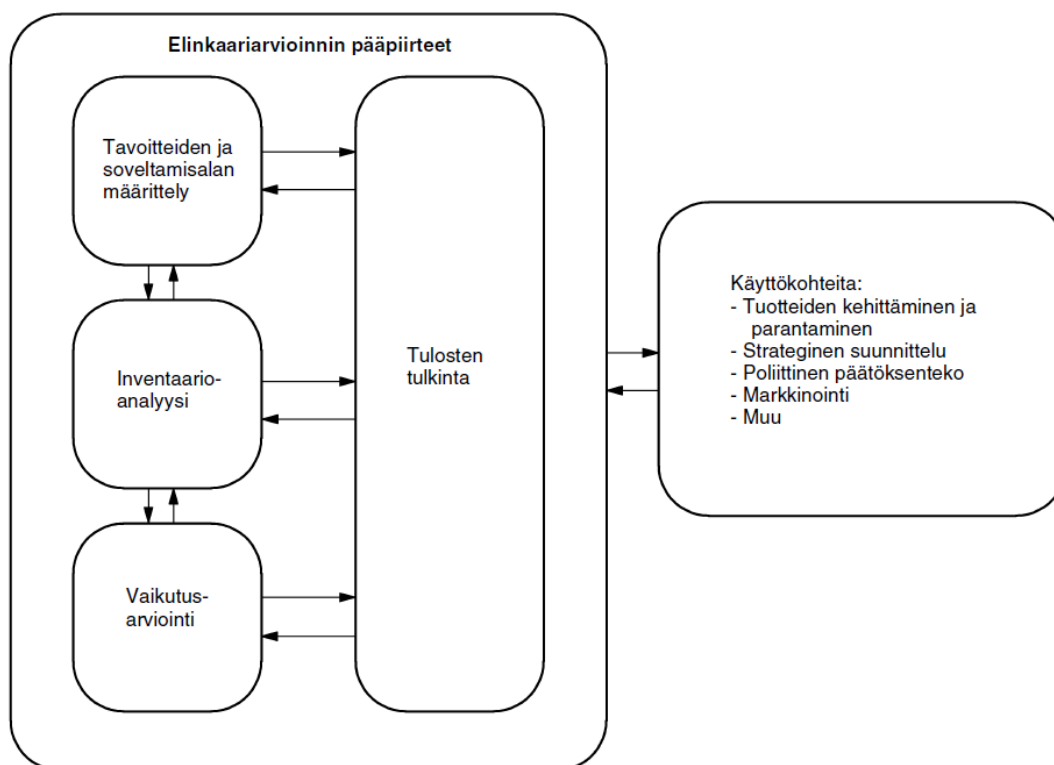
Hiilikädenjälkeä voidaan käyttää tuote- ja tuotantokehittelyssä, poliittisen päätöksenteon tukena, markkinoinnissa sekä asiakkaiden ja sidosryhmien päätöksenteon tukemisessa. (Pajula, Vatanen, Behm, Grönman, Lakanen, Kasurinen & Soukka 2021, 15).

3 Digitaalisen palvelun elinkaarianalyysi

3.1 Elinkaarianalyysi

Ympäristötietoisuuden kasvaessa yritykset kiinnostuvat omien tuotteiden ja palvelujen ympäristövaikutuksista. Elinkaarianalyysi on hyvä menetelmä tuotteen tai palvelun elinkaaren tutkimiseen. Life Cycle Analysis (LCA) eli elinkaarianalyysi tarkastelee tuotteen tai palvelun aiheuttamia ympäristövaikutuksia sekä tuotteen tai palvelun kuluttamia resursseja sen elinkaaren aikana. Elinkaari tarkoittaa tuotteen koko matkaa raaka-aineista kulutustuotteeksi, ja lopulta jätteen tai uudelleen kierrätettäväksi. Elinkaarianalyysin käyttökohteita voivat olla tuotesuunnittelu ja kehittäminen, poliittinen päätöksenteko tai markkinointi. (Ympäristö.fi 2013.) Elinkaarianalyysin avulla voidaan tarkastella tuotteen tai palvelun keskeisiä parannuskohteita ympäristön kannalta (SYKE 2010, 15). Tämä on iteratiivinen prosessi, eli työn yksittäiset vaiheet vaikuttavat muiden vaiheiden tuloksiin (ISO 14040, 22).

ISO eli International Organization for Standardization on kansainvälinen standardointijärjestö, joka tuottaa kansainvälisiä standardeja (ISO 2021). ISO on tuottanut elinkaarianalyysistandardeja helpottamaan ja yhtenäistämään elinkaariarvioinnin tekemistä. Näitä ovat ISO 14040 ja 14044, jotka määrittelevät elinkaariarvioinnin seuraavasti ”elinkaari on tuotejärjestelmän peräkkäiset tai vuorovaikutteiset vaiheet raaka-aineiden hankinnasta tai tuottamisesta luonnonvaroista loppusijoitukseen”, (ISO 14040, 12). Alla olevassa kuvassa 3 on esitetty standardin määrittelemät elinkaariarvioinnin pääpiirteet.



Kuva 3. Elinkaariarvioinnin pääpiirteet (ISO 14040, 24).

Elinkaarianalyysin tekemistä helpottaa analyysin laatimiseen luodut ohjelmat, kuten SimaPro. Ohjelmistoilla voi mallintaa elinkaarta sekä laskea ja mallintaa tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksia. Ohjelmistot sisältävät usein omia ja ulkopuolisia tietokantoja, jotka helpottavat elinkaaren kokoamista. (SYKE 2010, 22.)

Elinkaarianalyysia voidaan lähestyä haitanjaollisen tai seurausvaikutuksellisen tarkastelun kautta. Haitanjaollinen elinkaariarviointi (attributional LCA) tarkastelee elinkaaren perusvirtoja ja mahdollisia ympäristö vaikutuksia muuttumattomassa tilassa. Haitanjaollisessa lähestymistavassa huomioidaan ne ominaisuudet, jotka vaikuttavat suoraan tutkittavaan elinkaareen. Seurausvaikutuksellinen tutkii (consequential LCA) ns. ”mitä jos”-skenaarioita, eli se pyrkii mallintamaan, miten eri päätökset vaikuttavat tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksiin. Siinä huomioidaan prosessit, jotka voivat muuttua tietyn päätöksen jälkeen tai tuotteen/palvelun kysynnän muuttuessa. (SYKE 2010, 32–33.)

3.2 Digitalisaatio

Digitalisaatio korvaa fyysisiä tuotteita virtuaalisilla ja digitaalisilla palveluilla (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020, 124). Digitaaliset palvelut yleistyvät jatkuvasti ja ne vaikuttavat yhteiskuntaan muokkaamalla vuorovaikutustapoja ihmisten välillä sekä teollisuuden prosesseja. Palvelujen digitalisoinnilla on tarkoitus helpottaa ihmisten elämää sekä parantaa yhteiskunnan toimintaa ja yritysten tuottoja. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020, 20.) Suomi on yksi digitalisaation kärkimaita. Suomessa on mm. mobiilidatan käyttö lisääntynyt eniten maailmassa asukaslukuun suhteutettuna. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020, 21.)

Digitaaliset palveluiden ajatellaan olevan aineettomia, vaikka ne kuluttavat energiaa ja raaka-aineita. ICT-sektorin palvelujen lisääntyessä jatkuvasti joudutaan tuottamaan kuluttajille uusia laitteita. Laitteiden valmistamiseen tarvitaan paljon energiaa ja materiaaleja, kuten harvinaisia metalleja. Raaka-aineiden valmistaminen tuottaa myös paljon kasvihuonekaasupäästöjä. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020, 21–22.) Lisäksi internetin, datan ja mobiiliyhteyksien kasvu johtaa suuriin kasvihuonekaasupäästöihin. Toisaalta samaan aikaan tietoliikenneverkot ja kuluttajien laitteet kehittyvät koko ajan energiatehokkaimmiksi. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020, 30.)

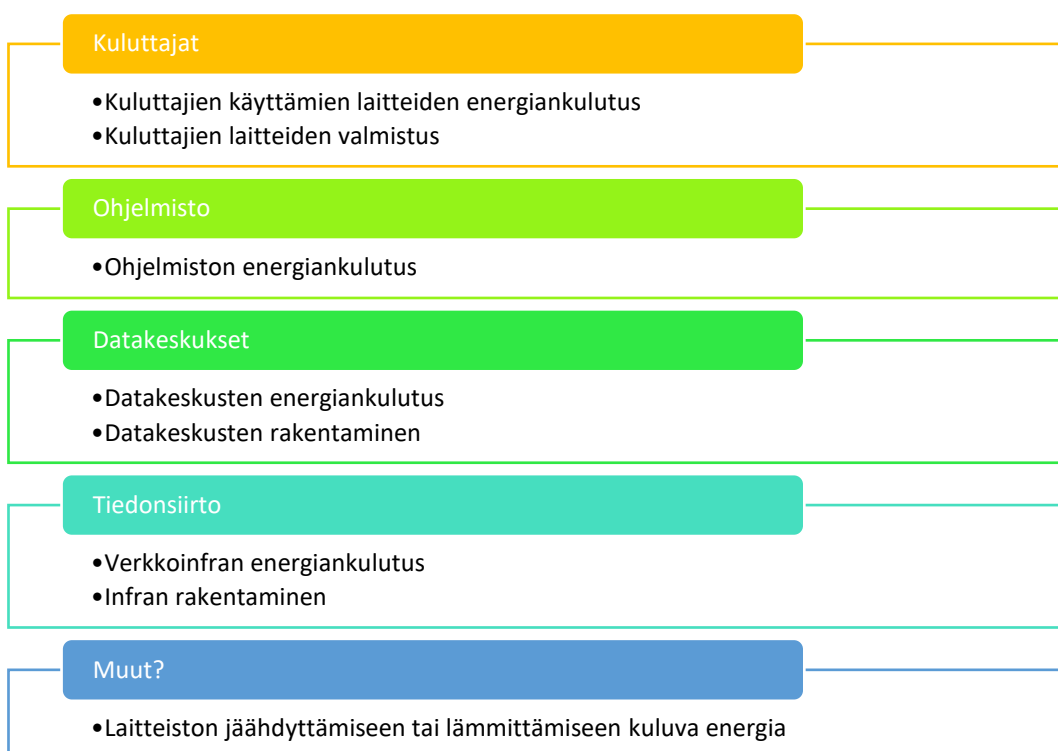
Digitalisaation ongelmana on, ettei ympäristövaikutuksia voida välttämättä tarkastella vain toimiala- tai maakohtaisesti. Digitaalisten palvelujen tuottamat päästöt voivat olla maiden rajojen ylittäviä, esimerkiksi jos Suomessa katsotaan suoratoistopalvelusta videota, on mahdollista, että se aktivoi toisessa maassa datakeskuksen, jonka energia on tuotettu fossiilisilla polttoaineilla. (Toivanen 2021.)

Toisaalta digitaalisten palvelujen ja tuotteiden avulla voidaan vähentää päästöjä esimerkiksi korvaamalla autolla liikkuminen etäyhteyksillä. (Sitra 2021.) Digitaalisilla palveluilla voidaan pienentää muiden toimijoiden hiilijalanjälkeä esim. korvaamalla fyysisiä tuotteita digitaalisilla tai optimoida energia tai resurssitehokkuutta sovelluksien avulla (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020, 22–23).

3.2 Digitaalinen palvelu

Digitaalisen palvelun elinkaarianalyysin vaiheet ovat samanlaiset kuin normaalin elinkaarianalyysin. Digitaalisen palvelun toiminnallinen yksikkö voi olla esim. datan megatavu (Mt), laitteiden kappalemäärä, vuosittainen käyttö tai energiankulutus. Digitaalisen tuotteen inventaarioanalyysissä otetaan huomioon mm. materiaalien tuotantoprosessit, palvelualusta ja digitaalinen kulutuskäyttäytyminen (Bordage & GreenIt.fr 2019, 11). Elinkaarianalyysin loppuosa on vaikeaa määrittellä, sillä usein ei tiedetä, mitä digitaaliselle palvelulle tai tuotteelle tapahtuu käytön jälkeen. Poistetaanko vanha verkkosivusto vai jääkö se kuormittamaan ympäristöä pysymällä bittiavaruudessa.

Digitaaliset palvelut koostuvat monista sektoreista, jotka voidaan jakaa esimerkiksi kuluttajiin, ohjelmistoon, datakeskuksiin, tiedonsiirtoon ja muihin mahdollisiin tekijöihin, joita ei välttämättä voida suoraan sijoittaa eri kategorioihin. Alla olevassa taulukossa on havainnollistettu yksi tapa jakaa verkkopalvelu sektoreihin. Koska digitaalinen palvelu sisältää useita sektoreita, on systeeminrajaus olennaista digitaalisen palvelun elinkaarta määrittäessä. Tämän opinnäytetyön rajaukseen kuuluu verkkopalvelun rakentaminen ja tuottaminen.



Taulukko 2. ICT-sektorien jako.

3.3 Tiedonsiirto ja datakeskukset

Digitaalisten palvelujen suurimmat ympäristövaikutukset syntyvät niiden käytön- aikaisesta energiankulutuksesta. Suuret ympäristövaikutukset johtuvat datakeskusten ja tietoliikenneverkon suuresta energiankulutuksesta. (Sitra 2021.) Datakeskukset sisältävät palvelimia, jotka ovat tietoliikenneverkkoon liitettyjä tietokoneita. Palvelimet käsittelevät ja tallentavat dataa, jota jaetaan kuluttajien ja yritysten välillä. Datakeskukset tuottavat toimiessaan paljon lämpöä, ja niitä on jäähdytettävä, etteivät laitteet ylikuumene. Suomessa palvelinkeskusten hukkalämpöä on käytetty hyödyksi Espoon, Kirkkonummen ja Kauniaisten kaukolämpöverkoissa. (Fortum 2021.)

Digitalisessa muodossa olevaa tietoa siirretään tavujen muodossa tietoliikenneverkkoja pitkin. Tietoliikenneverkot voidaan jakaa kiinteisiin ja langattomiin verkkoihin. Verkot voivat olla yksityisiä tai julkisia. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020, 53.) Alla olevassa kuvassa 4 on havainnollistettu tietoliikenneverkkojen rakennetta. Suurin osa kiinteistä yhteyksistä ovat valokuituverkkoja, jotka toimivat myös nopeiden langattomien yhteyksien siirtoverkon pohjana (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020, 54).



Kuva 4. Viestintäverkko (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020, 53).

Dataliikenteestä puhuttaessa puhutaan myös IP (internet protocol) -liikenteestä. Kaikki tieto internetissä liikkuu IP:n muodossa. Suurin osa IP-liikenteestä kulkee kiinteässä verkossa, kun kuluttajat ostavat palveluita operaattoreilta tai sovelluksista. Datakeskukset kuuluvat osaksi kiinteää IP-verkkoa. IP-liikenne kulkee myös mobiiliverkon kautta, se välittää liikennettä kuluttajien ja palvelun tarjoajien välillä. (Hiekkanen, Seppälä & Ylhänen 2020, 8–9.)

Suomessa käytetään paljon matkaviestintäverkkoa, mobiilitiedonsiirron suosiota selittävät kattavat matkaviestintäverkot ja rajoittamattomat liittymät. Suuri osa internetin dataliikenteestä koostuu videoiden lataamisesta ja lähettämisestä. On arvioitu, että vuonna 2020 videot kattaisivat 78 % kaikesta globaalista internetliikenteestä. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020, 30.)

3.4 GHG-protokolla

GHG-protokolla antaa ohjeita ICT-sektorin kasvihuonekaasujen laskemiseen ja raportointiin. Sen tarkoituksena ei ole tukea tuotteiden vertailua, vaan luoda ohjeistus, kuinka ICT-sektorilla voidaan välttää kasvihuonekaasupäästöjä. Protokolla tarjoaa yleisiä ohjeita ICT-tuotteiden soveltamisalanmäärittelyyn, tiedonkeruuseen, epävarmuustekijöihin ja rajojen asetteluun. Protokolla antaa myös yrityksille ohjeita kasvihuonekaasulaskennan kirjanpitoon. (GeSi, Carbon Trust 2017, 1–7.)

ICT-tuotteiden allokontiin saadaan ohjeita GHG-protokollasta. Digitaaliset tuotteet käyttävät paljon infrastruktuuria yhtäaikaaisesti esim. datakeskuksista jaetaan monia eri nettisivustoja yhtä aikaa. Paras tapa allokontia ICT-tuotteita on kohdentaa tarkastelu jaetun komponentin, kuten datan käytön mukaan. Internet-yhteyden käyttöä voidaan allokontia datan perusteella esim. Mt/s (megatavua/sekunti). Sovelluksen käyttö voidaan allokontia datan kulutuksen mukaan ja datakeskuksen käyttö voidaan allokontia tiedon käsittelyyn kuluneen ajan tai käytettyjen serverien mukaan. (GeSi, Carbon Trust 2017, 2–15.)

Protokollassa todetaan, että suurin osa päästöistä ICT-sektorilla syntyy verkkosivuja ylläpitävien laitteistojen energiankulutuksesta. Protokolla esittää ohjeen, jolla voidaan laskea ICT-palvelun hiilijalanjälki energiankulutuksen avulla. Tämä ohje (GeSi, Carbon Trust 2017, 23) sisältää viisi kohtaa, jotka ovat:

1. energiankulutuksen mittaus tai arviointi
2. käyttöprofiilin mittaaminen
3. käytetyn energian laskeminen
4. yleisen energiankulutuksen tunnistaminen
5. energiankulutuksen muuntaminen kasvihuonekaasupäästöiksi.

Kohdan 4 energiankulutuksella viitataan vaihtuviin energiaa kuluttaviin toimintoihin kuten laitteiden jäähdyttämiseen tai lämmittämiseen. Energiankulutuksen päästöt saadaan selville alueellisten päästökertoimien avulla tai syöttämällä energiankulutustiedot elinkaarianalyysiohjelmaan. (GeSi, Carbon Trust 2017, 23.)

3.5 Digitaalisten palvelujen kestävyys

Hanna Pihkola kuvaa FiComing 2020 blogissaan ICT-sektorin jalanjälkeä ja hiilikädenjälkeä. Pihkola pohtii sitä, kuinka voimme kehittää digitaalisia palveluita, jotka korvaavat materiaalin ja ovat samalla vähäpäästöisiä.

Jotta voisimme varmistaa sen, ettei kasvava kulutus syö parantuneella tehokkuudella saavutettuja säästöjä, olisi tärkeää ymmärtää, miten digitaaliset palvelut vaikuttavat kuluttajien käyttäytymiseen. Näiden välillisten vaikutusten mittaaminen saattaa olla se kaikkein hankalin osa sekä jalanjälkien että kädenjälkien määrittäystä. Jatkossa kaikkien meidän pitäisi pystyä paremmin tunnistamaan oman toimintamme vaikutukset, ja lisäksi pyrkiä aktiivisesti vähentämään niitä. Tämä koskee sekä yksilöitä että yrityksiä. Jokaisesta laskelmasta voidaan yleensä tunnistaa eniten ja vähiten kuluttavat elinkaaren vaiheet, mutta kaikkein olennaisinta olisi keskittyä siihen, miten koko ketjun muodostamaa kuormitusta voidaan pienentää. Kuluttajat ja muut loppukäyttäjät tulisi nähdä osana tätä ketjua. (Pihkola 2020.)

Ekodesign eli suomennettuna ekologinen suunnittelu on keskeisessä osassa, kun digitaalisella palvelulla halutaan korvata fyysinen palvelu, esim. kopiopaperin korvaaminen pdf-tiedostolla. Ekologisen suunnittelun tavoitteena on pienentää tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksia jo suunnitteluvaiheessa. (Bordage & Greenlt.fr 2019, 33.) Verkkosivun hiilijalanjäljen pienentämisessä voidaan käyttää apuna mm. web eco-design checklist-listaa, jonka ovat laatineet Frédéric Bordage yhteistyössä Greenlt.fr:n kanssa. Lista sisältää 115 käytäntöä, joilla voidaan muuttaa verkkosivustoa ekologisemmaksi. Ekologisia tekijöitä verkkosivulla voivat olla esim. kuvien ja videoiden koko. Kokoon voi vaikuttaa myös muoto, jossa kuvat tai videot ovat.

Verkkosivuston päästöihin voivat vaikuttaa sen käytönaikaiset ominaisuudet. Välimuisti kerää väliaikaista tietoa verkkosivustojen, selaimista ja sovelluksista nopeuttaen niiden latautumisaikoja. Välimuistiin kerääntyneen tiedon ja tiedostojen ansiosta sivusto latautuu seuraavalla käyttökerralla nopeammin. Tiedostojen tallentuminen välimuistiin säästää energiaa, kun tiedosto tarvitsee ladata vain kerran. (Jonson 2020.)

Tim Frick esittelee kirjassaan *Designin for Sustainability* kestäväen verkkosivun suunnittelun periaatteita. Kirjassa annetaan ohjeita, kuinka verkkosivujen tekijät voivat huomioida kestävyden sivuston suunnittelussa ja toteuttamisessa. Kirjan pääperiaatteina on, että mitä pienempi on verkkosivuston ladattavan datamäärä, sitä pienemmät on sivuston päästöt ja verkkosivusto on kestävämpi, jos sen tekemiseen ja ylläpitämiseen käytetään uusiutuvaa energiaa. (Frick 2016.)

Datakeskusten suuren energiankulutuksen vuoksi helppo tapa pienentää verkkosivun ympäristövaikutuksia on käyttää datakeskuksia, jotka käyttävät uusiutuvia energianlähteitä. Ympäristöystävällisistä palvelimista käytetään nimitystä green host, joka tarkoittaa vihreää ylläpitäjää. Vihreät ylläpitäjät voivat tuottaa oman uusiutuvan energiansa esimerkiksi aurinkopaneelien tai tuulivoimaloiden avulla. Ylläpitäjät voivat myös ostaa uusiutuvaa energiaa. Toisaalta sähkön siirtoverkkoihin siirretään energiaa voimaloista, jotka käyttävät uusiutuvia energianlähteitä tai fossiilisia energianlähteitä. Vaikka palvelin ostaisi uusiutuvaa

energiaa, on mahdotonta sanoa, millaista energiaa palvelin todellisuudessa käyttää. (Frick 2016, tekstikappale 3.)

Verkkosivujen optimoinnin on tarkoitus tehdä verkkosivusta mahdollisimman nopeasti latautuva ja käyttäjälle mahdollisimman helposti käytettävä. Yksi verkkosivun optimoinnin muodoista on hakukoneen optimointi, jossa verkkosivustosta pyritään tekemään helposti löydettävä. Verkkosivuston tekijät voivat tehdä hakusanakartoituksia verkkosivunsa aiheen perusteella. Kartoituksen avulla sivustolle voidaan koota sanoja, joiden perusteella kuluttaja todennäköisimmin löytää sivuston. Myös verkkosivulla olevan tiedon pitää olla helposti löydettävissä ilman turhaa sivujen selailua, koska se kuluttaa energiaa. Mitä pienemmällä määrällä datan lataamista tieto on löydettävissä, sitä ympäristöystävällisempää tieto on. (Frick 2016, tekstikappale 2.)

Nopeasti ladattavalla nettisivulla on kevyt koodaus ja vähän ladattavia komponentteja. Kevyet ja nopeasti latautuvat nettisivut ovat ympäristöystävällisempiä, sillä niiden lataamiseen tarvitaan vähemmän energiaa. Nettisivun nopeus vaikuttaa myös käyttäjien määrään sivulla, sillä useat käyttäjät eivät käytä sivua, mikäli se ei lataudu alle kahdessa sekunnissa. Verkkosivujen suunnittelijat voivat testata verkkosivujensa latausaikoja työkalujen, kuten Googlen PageSpeed Insights -testin tai Pingdom Tools -verkkosivuston avulla. (Frick 2016, tekstikappale 2.)

Verkkosivun kestävyys voidaan vaikuttaa myös nettisivuston visuaalisella suunnittelulla. Fontilla voidaan vaikuttaa nettisivun lataamisnopeuteen. Tietokoneet ja mobiililaitteet sisältävät valmiita fontteja, joita ei tarvitse erikseen ladata. Jos verkkosivustolla ei käytetä tietokoneelta/mobiililaitteilta löytyviä fontteja, latautuvat fontit internetin kautta lisäten sivuston latausaikaa ja energiankulutusta. Myös kuvien muoto verkkosivustolla vaikuttaa verkkosivun kokoon, parhaita kuvamuotoja ovat PNG ja JPG. PNG:tä suositellaan käytettäväksi diagrammeissa ja kaavioissa. JPG:tä suositellaan käytettäväksi kuvatiedostoissa. (Frick 2016, tekstikappale 5.) Videot ovat verkkosivustojen yksi suurimmista energiankuluttajista. Mikäli verkkosivun tuottaja haluaa käyttää sivustollaan videoita, tulisi

videoiden olla sisällöllisesti tärkeitä. Videot kannattaa pitää lyhyinä esim. poistamalla niistä turhat introt. (Frick 2016, tekstikappale 4.)

Verkkosivuston käytettävyys kannattaa suunnitella tietokone ja mobiililaitteille yhteensopiviksi. Sivuston suunnittelussa käytetään termiä ”mobile-first”, jolla tarkoitetaan verkkosivun suunnittelu, jossa otetaan ensisijaisesti huomioon sivuston toimivuus mobiililaitteilla. Kun sivuston sisältö on suunniteltu mobiililaitteille sopivaksi, lataa kuluttajan laitteet vähemmän dataa, mikä tarkoittaa, että ne kuluttavat vähemmän energiaa. (Frick 2016, tekstikappale 5.)

Myös kuluttajat voivat pienentää omaa digitaalista hiilijalanjälkeään, he voivat sammuttaa tietokoneen aina käytön jälkeen, sillä se kuluttaa sähköä vaikkei sitä aktiivisesti käytettäisi. Myös muut laitteet, kuten kaiuttimet ja tulostimet olisi hyvä sammuttaa ylimääräisen energiankulutuksen välttämiseksi. Kuluttajan kannattaa valita uusia laitteita hankkiessaan energiatehokas laite. Sellaisen laitteen tunnistaa Energy Star-leimasta. (University of Ottawa 2021.)

Verkkosivun kestävyydellä voidaan tarkoittaa myös esteettömyyttä. Esteetöntä verkkosivua voivat käyttää myös kuulo- tai näkövammaiset kuluttajat. Esteetömyyttä verkkosivulla voi parantaa lisäämällä tekstiin kuuntelumahdollisuuden tai lisäämällä mahdollisiin videoihin tekstityksen. Vähentämällä vilkkuvien kuvien tai valojen määrää sekä mahdollistamalla yksinkertaisen selauksen. Vilkkuvat ja hyvin kirkkaat kuvat saattavat aiheuttaa epilepsiakohtauksia. (Frick 2016, tekstikappale 6.)

4 Tarkoitus ja tehtävä

4.1 Tarkoitus

Digitaalisten palvelujen kestävyys tutkiminen elinkaarianalyysin avulla on vielä alkutaipaleella, ja julkista tietoa digitalisaation ympäristövaikutuksista on saatavilla vähän. Suomessa Sitra ja Teknologian tutkimuskeskus VTT ovat tehneet tutkimuksia digitalisaation kestävydestä, mutta varsinaisia elinkaarianalyseja ei ole julkaistu. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on luoda tutkimustietoa digitaalisen palvelun elinkaaresta ja hiilijalanjäljestä. Lisäksi tarkoituksena on myös tuottaa suomenkielistä materiaalia ICT-sektorin tutkimisesta.

Opinnäytetyössä pyritään löytämään vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

1. Millainen on digitaalisen palvelun elinkaari ja hiilijalanjälki?
2. Kuinka digitaalisen palvelun hiilijalanjälkeä voitaisiin pienentää?

Työn tuloksia voidaan käyttää hyödyksi yrityksen hiilijalanjäljen pienentämisessä silloin, kun tiedetään paljonko toiminta aiheuttaa päästöjä. Yritys voi hyödyntää tuloksia myös omassa markkinoinnissaan.

4.2 Aiheen rajaus

Opinnäytetyön tutkimuksessa keskitytään verkkopalvelun rakentamisen tuottamaan hiilijalanjälkeen. Tutkimuksen ulkopuolelle jäävät verkkoinfran rakentaminen ja kuluttajien laiteiden tuottaminen. Työssä otetaan huomioon käytön aikaisista päästöistä kuluttajien ostotapahtumat sekä verkkosivustolla vierailut. Verkkopalvelun tyhjäkäyntiä ei määritellä. Työssä tutkitaan datakeskusten osalta, kuinka paljon yhden verkkosivun jakaminen käyttäjille kuluttaa energiaa. Myös levytilan ja pilvipalvelun energiankulutus lasketaan. Varsinainen datakeskuksen kokonaisenergiankulutuksen laskeminen ei kuulu opinnäytetyön sisältöön.

4.3 Tutkimustehtävä

Opinnäytetyön tarkoituksena on laskea Kuopion Eläinpuiston verkkosivun ja mobiilisovelluksen hiilijalanjälki. Tämä laskenta tehdään elinkaarianalyysin avulla. Työssä pohditaan hiilijalanjäljen pienentämisen ja päästöjen kompensoinnin mahdollisuuksia. Opinnäytetyön keskeisenä tavoitteena on tarkastella digitaalisen palvelun elinkaarta sekä elinkaaristandardien soveltuvuutta digitaalisen palvelun tutkimisessa. Työssä tutkitaan mistä elinkaarenvaiheista syntyy eniten päästöjä ja mitkä tekijät vaikuttavat päästöjen muodostumiseen.

5 Menetelmät

5.1 ISO 14040 ja 14044

Työssä mukailtiin ISO 14040- ja 14044-standardien menetelmiä. ISO 14040 määrittää elinkaarianalyysin pääperiaatteet ja piirteet. Standardi määrittelee elinkaarianalyysin päävaiheet, joita ovat tavoitteen ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusten laskenta ja tulosten tulkinta. ISO 14044 esittelee elinkaariarvioinnin vaatimuksia ja suuntaviivoja.

Tavoitteen määrittelyssä päätetään, millaisia tuloksia elinkaarianalyysista halutaan tulokseksi. Tavoitteen määrittelyssä ilmaistaan analyysin aiottu käyttötarkoitus, selvityksen tekemisen syyt, aiottu kohdeyleisö ja selvitetään, käytetäänkö tuloksia julkisesti esitettävissä vertailuissa. (ISO 14040, 30.)

Soveltamisalan määrittelyssä määritellään työn toiminnallinen yksikkö, työn rajoitukset, oletukset ja tiedolle asetetut vaatimukset. Toiminnallinen yksikkö tarkoittaa ISO 14044-standardin mukaan jonkin tuotejärjestelmän määrällistä suorituskykyä, jota käytetään referenssiyksikkönä. (ISO 14044, 16.)

Työn rajojen määrittelyssä kerrotaan, mitkä yksikköprosessit otetaan työssä huomioon. Yksikköprosessit ovat inventaarioanalyysin pienimpiä huomioon otettavia kohteita, jotka vaikuttavat elinkaaren syötteeseen ja tulokseen. Työn rajoitusten pitää olla yhdenmukaisia tavoitteiden kanssa. Soveltamisalan määrittelyssä kerrotaan, jos prosesseja tai syötteitä ei oteta elinkaareissa huomioon. Tiedon jättämisen pois elinkaaresta pitää olla perusteltu selkeästi. (ISO 14044, 16.)

Inventaarioanalyysissä kerätään ja analysoidaan tietoa koko elinkaareissa käytettävistä raaka-aineista ja lopputuloksena syntyvistä tuotteista ja päästöistä (ISO 14040, 32). Analyysia varten tietoa kerätään kaikista järjestelmän rajoihin kuuluvista yksikköprosesseista. Tiedonkeruun aikana tarkistetaan tietojen kelppoisuus. Inventaarioanalyysissä kuvataan kerätyn tiedon allokointi ja laskentamenetelmät. (ISO 14044, 19–22.)

Allokointi tarkoittaa elinkaaren materiaalivirtojen ja tuotosten kohdentamista. Sitä voidaan välttää jakamalla yksikköprosessit alaprosesseihin ja keräämällä niihin liittyviä syötte- ja tuotostietoja. (ISO 14044, 23.) Digitaalinen palvelu sisältää paljon päällekkäin menevää infrastruktuuria, jolloin allokointi on välttämätöntä.

Vaikutusarvioinnissa pohditaan ympäristövaikutusten merkittävyyttä (ISO 14040, 34). Vaikutusarvioinnissa sijoitetaan tulokset vaikutusluokkiin ja lasketaan vaikutusluokka indikaattorientulokset (ISO 14044, 25). Indikaattoritulosten laskennassa muutetaan inventaarioanalyysissä saadut tulokset yhteiseen yksikköön. Laskennan jälkeen tiedot voidaan koota ryhmiksi, joissa tulokset halutaan esitellä. (ISO 14044, 28–29.) Vaikutusarvioinnissa tutkitaan soveltamisalassa määritellyjä ympäristövaikutuksia. (ISO 14040, 38).

Tulosten tulkinnassa tarkastellaan inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tuloksia ja niiden välistä vaikutusta (ISO 14040, 40). Elinkaarelle voidaan tehdä myös herkkyysanalyysi, jolla arvioidaan menetelmien ja lähtötietojen valinnan vaikutuksia elinkaarianalyysin tuloksiin (ISO 14040, 18).

Elinkaarianalyysin arvioinnissa määritellään elinkaarianalyysin ja inventaarioanalyysin tulosten luotettavuutta. Arvioinnissa tarkastetaan tiedon täydellisyys ja johdonmukaisuus. Johdonmukaisuuden tarkistuksessa tutkitaan ovatko menetelmä ja lähtötieto yhdenmukaisia tavoitteiden ja soveltamisalan kanssa. (ISO 14044, 33–35.)

Elinkaarianalyysia tarkastellaan myös kriittisen arviointiprosessin avulla. Tässä arviointiprosessissa varmistetaan, että analyysissä käytetyt menetelmät ovat yhtenäisiä ISO-standardien kanssa, analyysissä käytetyt menetelmät ovat teknisesti ja tieteellisesti päteviä, käytetyt tiedot ovat soveltuvia selvityksen tavoitteisiin verrattuna, johtopäätökset ovat rajoitusten ja analyysin tavoitteiden mukaisia ja raportointi on läpinäkyvää. (ISO 14044, 39.)

Raportoinnissa esitetään tulokset ja johtopäätökset. Sen tulee olla läpinäkyvää ja puolueetonta. Lisäksi siinä esitellään, kuinka tietoja on kerätty ja käsitelty. (ISO 14044, 35–36.)

5.2 SimaPro

Työn vaikutustenarviointi tehtiin SimaPro-ohjelmistolla (SimaPro 2021). SimaPro on elinkaarianalyysiohjelma, jonka avulla voidaan tarkkailla tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksia, kuten hiilijalanjälkeä, ekologista jalanjälkeä tai vaikutuksia vesistöihin. Ohjelma on suunniteltu tieteellisen tiedon lähteeksi, joka pyrkii mahdollisimman läpinäkyviin käytäntöihin. SimaPro sisältää laajan kirjaston, jonne on koottu monia eri tietokantoja. Ecoinvent tietokanta on yksi laajimmista inventaarioanalyysitietoa sisältävistä tietokannoista, se sisältää yli 15000 tiedostoa. (SimaPro 2021.)

Tämä opinnäytetyö tehtiin SimaPro Expert user ohjelmistolla, joka sisältää apuvälineitä, kuten Collect-, Share-, Flow-, ja Reportmaker-toiminnot. SimaPro Collectilla tehtiin Hurrille kysely, jonka avulla koottiin työn inventaarioanalyysi. Kyselyn avulla selvitettiin verkkosivun tuottamiseen kuuluvien vaiheiden ominaisuuksia, kuten ajan kulutusta, verkkosivun kokoa ja verkkopalvelun kulutusprofiilia. Eri aiheille luotiin omat osiot, joiden alle koottiin aiheeseen liittyviä kysymyksiä esim. Mobiilisovellus osioon kerättiin kysymyksiä mobiilisovelluksen käytöstä.

Alla oleva kuva 5 havainnollistaa, millaisia kysymyksen asetteluja ohjelmalla voitiin luoda. Kysymyskenttään kirjoitetaan varsinainen kysymys ja alempiin kenttiin voidaan lisätä tarkentavia tietoja. Kyselyyn on mahdollista lisätä tiedostoja. Kyselyssä voidaan määrittää vastauksen muoto eli onko vastaus tekstinä, numerona, prosentteina vai onko vastaukset valmiiksi annettuja monivalintavaihtoehtoja. Kysymykset on esitetty liitteessä 1. Hurrin vastaamat kysymykset näkyvät suoraan Collect ohjelmasta. Kysely lähetettiin Hurrille Collectin avulla.

Kysymys - Create your question

Define question

Question title

e.g. Do you currently use water in your manufacturing process?

This field is required.

Question is mandatory

Allow attachments

Question text

e.g. The reason we ask this question is because this is typically a hotspot for x, y, z

This text is displayed right after question title

Guidance

e.g. The reason we ask this question is because this is typically a hotspot for x, y, z

Kuva 5. SimaPro Collect (SimaPro 2021).

SimaPro-ohjelmistolla luodaan tuotteelle tai palvelulle elinkaarimalli, jonka ympäristövaikutuksia voidaan laskea erilaisilla metodeilla. Menetelmät voidaan luokitella alkuvaiheeseen, keskivaiheeseen (midpoint) ja loppuvaiheeseen (endpoint) metodeihin. Endpoint menetelmästä esimerkkinä on ekologista jalanjälkeä mallintava EF 3.0 menetelmä. Loppuvaiheen menetelmät kuvaavat tuotteen tai palvelun kokonaisympäristövaikutuksia. GWP IPCC100A menetelmä on midpoint menetelmä, jota käytetään hiilijalanjälkeä laskiessa. Menetelmällä saadaan tulokseksi kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutus 100 vuoden ajalle suhteutettuna hiilidioksidin massayksikköön.

SimaPron avulla voidaan tehdä herkkyysanalyyskejä parametrien avulla. Ohjelmistoon luodaan parametreja, jotka voidaan syöttää prosesseihin tai koonteihin. Parametrien avulla luodaan skenaarioita, jossa tietyn prosessin tai koontien arvoja voidaan vaihdella ja vertailla. Vertailu voidaan tehdä SimaPron metodeilla sen mukaan, mitä ominaisuutta halutaan tutkia.

6 Elinkaarianalyysi

6.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Tässä työssä tulokseksi haluttiin Kuopion Eläinpuiston verkkosivun ja sen kanssa toimivan mobiilisovelluksen hiilijalanjälki. Analyysi tehdään Hurrylle, joka on kiinnostunut selvittämään toimintansa aiheuttaman hiilijalanjäljen suuruuden.

Tutkimuksessa keskityttiin verkkopalvelun rakentamisen ja kulutuksen tuottamaan hiilijalanjälkeen. Verkkopalvelun rakentamiseen kuului sivuston ja sovelluksen suunnittelu ja koodaus. Työssä otettiin huomioon käytönaikaisista vaikutuksista kuluttajien ostot mobiilisovelluksessa ja verkkosivulla, mobiilisovelluksen lataaminen, verkkosivulla vierailut sekä palvelimen ja varmuuskopion energiankulutus. Verkkosivun kulutusprofiili laskettiin kahdelle eri ajanjaksolle, kolmelle kuukaudella ja yhdelle sesonkiviikolle. Kolmen kuukauden tarkastelu jaksoksi valittiin heinä-, elo- ja syyskuu. Sesonkiviikko oli heinäkuun toinen viikko.

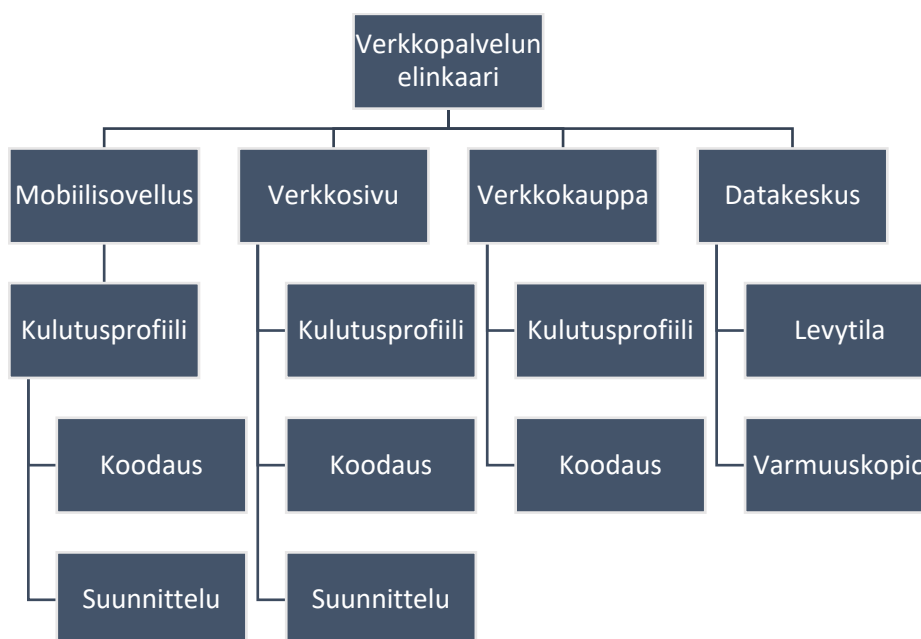
Työn toiminnallinen yksikkö on yksi verkkopalvelu, joka sisältää verkkosivuston, verkkokaupan sekä mobiilisovelluksen. Verkkopalvelu sijaitsee suomalaisella palvelimella ja siitä on olemassa varmuuskopio pilvipalvelussa. Toiminnallisen yksikön tarkastelujakson pituus on kolme kuukautta.

Tutkimuksen ulkopuolelle jäivät verkkoinfran rakentaminen, kuluttajien laitteiden tuottaminen ja kuluttajien laitteiden energiankulutus. Verkkoinfran sisältää kiinteän ja matkapuhelinverkkojen sekä datakeskusten rakentamisen. Datakeskusten energiankulutus on kohdistettu vain yhdelle verkkosivulle, joten laskennoissa ei huomioitu datakeskuksen tuottamaa lämpöenergiaa. Työssä ei huomioitu suunnittelussa käytettyjen sovellusten datasiirron energiankulutusta.

Työssä oletetaan, että mobiililaitteet käyttävät mobiiliverkkoa. Vaikka mobiiliverkko on osittain kytköksissä kiinteään verkkoon, ei tässä työssä pystytä määrittelemään, paljonko dataa siirtyy kiinteää verkkoa tai mobiiliverkkoa pitkin. Työssä oletettiin tablet-laitteiden käyttävän mobiiliverkkoa ja tietokoneiden käyttävän kiinteää verkkoa.

Elinkaarimallinnus tehtiin SimaPro-ohjelmistolla. Ohjelmistoon syötettiin inventaarianalyysistä saadut tiedot. SimaPro-ohjelmaan luotiin prosesseja, joita yhdistettiin kokonaisuuksiksi. Prosesseja ja koonteja tehtäessä suosittiin systeemi-prosesseja yksikköprosessien sijaan. Molemmat prosessit sisältävät samat tiedot, mutta systeemi-prosessi näyttää vain prosessin lopputuloksen. Yksikköprosessi näyttää kaikki prosessin sisältämät vaiheet. (SimaPro 2021.) Työssä käytettiin hyödyksi SimaPron tietokantojen prosesseja tietokoneiden energiankulutuksen ja sähkön käytön päästöjen selvittämiseksi. Prosesseja kootessa suositettiin haitanjaollista menetelmää eli SimaProsta valittiin haitanjaollisen menetelmän prosesseja, jotka oli merkitty lyhenteellä APOS.

Alla olevassa kaaviossa on esitelty osiot, joista verkkopalvelu koostuu. Verkkopalvelun pääkoonnit olivat mobiilisovellus, verkkosivu, palvelin ja verkkokauppa. Prosessien syöteinä työssä oli energiankulutus.



Kaavio 1. Elinkaaren alustava rakenne.

Vaikutusarvioinnissa SimaProlla laskettiin verkkosivulle hiilijalanjälki IPCC 100A metodin avulla. SimaPro muutti laskennassa kaikki syötetyt energiatiedot samaan yksikköön, jonka jälkeen saatiin tulokseksi hiilijalanjälki ilmaistuna hiilidioksidi ekvivalenttina.

6.2 Inventaarioanalyysi

6.2.1 Tiedon kerääminen

Inventaarioanalyysi koottiin Hurrylle tehdyn SimaPro Collect-kyselyn vastausten pohjalta sekä muista ajankohtaisista lähteistä, jotka täydensivät tietoa. Hurrylta kerätyt vastaukset käytiin läpi ja tarkistettiin palaverissa yhdessä heidän kanssaan. Vastaukset käytiin kohta kohdalta läpi ja Hurryn edustaja kertoi, miten tiedot on kerätty, näin voitiin tarkistaa tiedon luotettavuus ja epävarmuustekijät.

Työssä käytettiin mobiiliverkon energiankulutuksena 0,1 kWh/Gt (gigatavu), joka perustuu VTT:n arvioon vuoden 2020 energiankulutuksesta (Pihkola, Apilo, Lasanen & Hongisto 2018). Elisan verkon energiankulutus on ollut vuonna 2017 0,3 kWh/Gt, vuosina 2018–2019 verkon energiankulutus oli 0,2 kWh/Gt (Elisa 2019). Tästä kehityssuunnasta voidaan arvioida, että VTT:n arvio 0,1 kWh/Gt on oikean suuntainen. Kiinteänverkon energiankulutuksena käytettiin 0,06 kWh/Gt, joka perustuu tutkimukseen Electricity Intensity of Internet Data transmission (Aslan, Mayers, Koomey & France 2017).

Verkkosivun ja mobiilisovelluksen koot on muutettava megatavuista gigatavuihin, jotta energiankulutuksen laskeminen onnistuisi. Muunnokset onnistuivat tiedot 1 Gt = 1024 Mt (ConvertLIVE 2021) avulla. Taulukossa 3 on esitelty verkkosivun ja mobiilisovelluksen koon yksikkömuunnokset. Inventaarioanalyysissä tehdyt laskut on esitelty liitteessä 2.

Verkkosivun koko	7,9 Mt	0,0077 Gt
Mobiilisovelluksen koko	9 Mt	0,00879 Gt
Verkkosivun etusivun koko	1,28 Mt	0,00125 Gt

Taulukko 3. Yksikkömuunnokset.

6.2.2 Verkkosivun ja sovelluksen suunnittelu

Verkkosivun ja mobiilisovelluksen toteuttaminen alkaa suunnittelusta. Suunnittelun energiankulutus selvitettiin Hurrylta saatujen aikamäärien ja suunnittelussa käytettyjen laitteiden tiedon avulla. Suunnitteluun kuului rakenteen, toimintojen ja ulkoasun suunnittelu, korjaukset sekä suunnittelun toteutus. Verkkosivun suunnitteluun kuului myös verkkokaupan suunnittelu.

Laitteena suunnittelussa käytettiin Applen MacBook Prota. Applen energiankulutukseksi arvioitiin 18,4 kWh perustuen Energy Starin mittauksiin (Energy Star 2020). SimaPron tietokannassa oli olemassa tietokoneen käytölle prosessi, joka huomioi kaikki käytön aikaiset päästöt. Prosessi kopioitiin ja energiankulutukseksi laitettiin MacBookin energiankulutus. Prosessi sisälsi tietokoneen valmistuksen ja käytönaikaisen energiankulutuksen tietoja, joita ei ollut eritelty, energiankulutustiedot jätettiin prosessiin. Elinkaarta tutkittaessa on siis huomattava, että laitteen energiankulutus on todellisuudessa hieman pienempi. Energian lähteenä käytettiin SimaPron sähköprosessia low voltage 230 (FI), joka sisältää tiedon keskimääräisistä energiantuotannon ympäristövaikutuksista yhtä kilowattia kohden. Prosessin yksikkönä olivat tunnit.

Jokaiselle suunnitteluvaiheelle luotiin oma koonti, johon syötettiin MacBookille luotu prosessi ja suunnitteluun käytetty aika tunteina. Suunnittelua tehtiin internet-yhteyttä vaativilla sovelluksilla, joten myös netin käytölle luotiin oma koonti. Koonnissa prosessina käytettiin SimaProssa olevaa internet-yhteyden prosessia.

6.2.3 Verkkosivun ja sovelluksen koodaus

Suunnittelun jälkeen koodarit luovat verkkosivuston ja mobiilisovelluksen. Koodaukseen käytettävien tietokoneiden energiankulutuksena käytettiin SimaProsta valmista prosessia, koska koodareiden käyttämistä laitteista ei ollut saatavilla tarkkaa tietoa. SimaPron prosessi sisältää tietokoneen ja internet-yhteyden energiankulutuksen käytönaikana. Prosessi on tehty kannettavalle tietokoneelle,

jota käytetään työntekemiseen 68 % aktiivisuudella. Prosessissa on myös otettu huomioon tietokoneen valmistuksen aikainen materiaalin ja energiankulutus. Prosessin yksikkönä olivat tunnit. SimaProhon tehtiin omat koonnit verkkosivun, verkkokaupan ja mobiilisovelluksen koodauksen osalta. Koonteihin syötettiin tietokoneen käytön prosessi ja koodaukseen käytetty aika.

6.2.4 Datakeskus

Valmis verkkopalvelu sijoitetaan datakeskuksen palvelimelle, josta verkkosivun sisältöä jaetaan käyttäjille. Verkkosivu sijaitsee Suomessa olevassa UpCloudin datakeskuksessa. UpCloudilla on Suomessa kaksi datakeskusta Helsingissä, toinen niistä käyttää energianlähteenään kokonaan vesivoima ja toinen käyttää uusiutuvaa energiaa, joka koostuu suurimmilta osin vesivoimasta (UpCloud 2021). Verkkosivusto ja mobiilisovellus sijaitsevat fyysisellä palvelimella, mutta varmuuskopiot ovat pilvipalvelussa. Työssä palvelimien energianlähteenä käytettiin vesivoimaa, koska ei tiedetty kummassa datakeskuksessa verkkopalvelu sijaitsee.

Verkkosivustolle varattu levytila palvelimella on 10 Gt. Verkkosivun energiankulutuksen laskemisessa oletettiin palvelimen energiankulutuksen olevan 0,0002 J/yksi tavu (Jiang 2018). Energiankulutus laskettiin muuttamalla gigatavut tavuiksi eli 10 gigatavua vastaa 10737418240 tavua (ConvertLive 2021) ja kertomalla tavut palvelimen energiankulutuksella. Energiankulutus syötettiin SimaProhon kilowattitunteina. Energiaprosessina käytettiin vesivoimaa vastaavaa prosessia electricity from hydropower. Datakeskuksen energiankulutuksesta tehtiin prosessi, johon syötettiin energiankulutustieto ja prosessin yksiköksi laitettiin tunnit.

Pilvipalvelun energiankulutus laskennassa varmuuskopion oletettiin olevan yhtä suuri kuin koko sovellus ja verkkosivu yhteenlaskettuna eli noin 16,9 Mt. Varmuuskopion tarkkaa kokoa ei ollut tiedossa, sillä palvelin ottaa sekä pienempiä varmuuskopioita että kopioita koko verkkopalvelusta vaihtelevasti. Pilvipalvelimen energiankulutus on noin 7 kWh/Gt (Adamson 2017). Varmuuskopion energiankulutus saatiin muuttamalla varmuuskopion koko gigatavuiksi ja kertomalla

energiankulutuksella ja vastaukseksi saatiin 0,116 kWh. Energiaprosessina SimaProsta käytettiin vesivoimaa vastaavaa prosessia. Myös pilvipalvelusta tehtiin oma prosessi, johon syötettiin energiankulutus kilowatteina.

Datakeskuksen ja pilvipalvelun energiankulutuksille tehtiin omat koonnit, joihin syötettiin tarkasteluaikojen tuntimäärät eli kolmen kuukauden ajalta 2208 h ja sesonkiviikon ajalta 168 h. Koska kulutusprofiilia tarkasteltiin kolmen kuukauden sekä yhden viikon ajalta, myös datakeskuksen ja pilvipalvelun kuluttamaa energiaa tarkasteltiin samoilla aikamääreillä.

6.2.5 Kulutusprofiili

Verkkosivun ja mobiilisovelluksen hiilijalanjäljen laskemisessa tehtiin kaksi eri kulutusprofiilia. Toinen oli kolmen kuukauden ajalta ja toinen kesän sesonkiviikolta. Alla olevassa taulukossa 4 on esitelty kulutusprofiilin tunnuslukuja heinä-, elo- ja syyskuun sekä sesonkiviikon ajalta.

	Verkkosivulla vierailuja	Maksutapah- tumia sovelluksella	Maksutapahtu- mia verkkokau- passa	Mobiilisovelluk- sen latausker- toja
Heinä-, elo- ja syyskuu	22000	60	80	1200
Sesonki- viikko	3600	20	10	200

Taulukko 4. Kulutusprofiilin tunnuslukuja.

Sovelluksen lataamisen energiankulutus laskettiin muuntamalla mobiilisovelluk- sen koko 9 Mt gigatavuiksi. Gigatavut kerrottiin sovelluksen latauskertojen mää- rällä ja mobiiliverkon energiankulutuksella. Energianlähteenä käytettiin Sima- Pron sähköprosessia low voltage 230 (FI).

Maksutapahtumien kokoon ei löytynyt varsinaista lähtöarvoa. Hurryn antama arvio oli muutama megatavu. Jotta elinkaareen saataisiin suuntaa antava laskelma toteutettua, arvioitiin ostojen koon olevan 2 Mt. Energiankulutus saatiin kertomalla datasiirron määrä, ostojen määrällä ja verkon energiankulutuksella. Sovelluksella tehtyjen ostojen verkon energiankulutuksena käytettiin mobiiliverkon energiankulutusta ja verkkokaupassa tehtyjen ostojen verkon energiankulutuksena käytettiin kiinteän verkon energiankulutusta. Ostojen energianlähteenä käytettiin SimaPron sähköprosessia low voltage 230 (FI).

Kulutusprofiilin energiankulutus laskettiin kahdella eri tavalla. Toisessa tavassa tiedossa oli palvelimelta siirretyn datan määrä, joka sisälsi sekä verkkosivun, että mobiilisovelluksen käytön, kokonaisdatan määrä heinä-, elo- ja syyskuulta oli 234,01 Gt ja sesonkiviikon ajalta 29,4 Gt. Datasiirron osuudet mobiili-, tietokone- ja tablet-laitteille saatiin kertomalla kokonaisdatan määrä laitteiden käytön prosenttiosuudella. Energiankulutus laskettiin kertomalla datasiirto määrä verkon energiankulutuksella, eli mobiililaitteiden ja tabletin osalta mobiiliverkon energiankulutuksella 0,1 kWh ja tietokoneiden osalta kiinteänverkon energiankulutuksella 0,06 kWh/Gt. Energiakulutusprosessina SimaProssa käytettiin samaa energiaprozessia kuin suunnittelussa, ostoissa ja sovelluksen lataamisessa (low voltage 230 FI).

Heinä, elo- ja syyskuu	Osuudet	Datasiirto Gt	Datasiirron energiankulutus kWh
Mobiili	82,5 %	93,06	19,31
Tietokone	14,1 %	33,00	1,98
Tablet	3,4 %	7,96	0,8
Sesonkiviikko			
Mobiili	82,5 %	24,26	2,43
Tietokone	14,1 %	4,15	0,25
Tablet	3,4 %	1,00	0,10

Taulukko 5. Kulutusprofiilin energiankulutus kokonaisdatan avulla laskettuna.

Toinen tapa laskea kulutusprofiili on kertoa verkkosivun koko 7,8 Mt verkkosivun kävijämäärällä ja verkon energiankulutuksella. Verkkosivun vierailujen määrät sesonkiviikon ja heinä-, elo- ja syyskuun aikana on esitetty taulukossa 4. Vierailijoiden määrä kerrottiin mobiililaitteiden, tietokoneiden ja tablet-laitteiden prosenttiosuuksilla, jolloin saatiin luvut kuinka paljon kävijöitä verkkosivulla, oli milläkin laitteella.

Elinkaarianalyysissä kulutusprofiilin energiankulutuksena käytettiin kokonaisuutena mukaan laskettuja arvoja. Kokonaisuutena mukaan lasketut arvot ottaa huomioon datan siirron määrän verkkosivulla ja mobiilisovelluksella. Verkkosivulla vierailujen määrän mukaan laskettuna saadaan tietää vain verkkosivulla vierailusta aiheutunut energiankulutus.

7 Verkkopalvelun hiilijalanjälki

7.1 Kokonaishiilijalanjälki

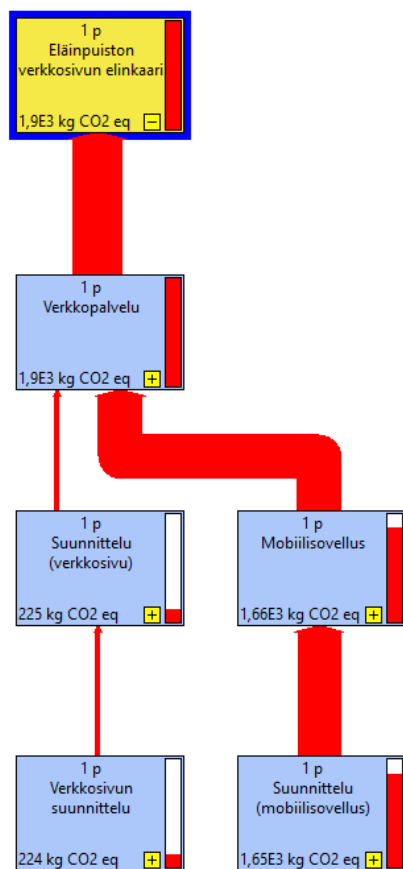
Kuopion Eläinpuiston digitaalisen palvelun kokonaishiilijalanjälki on kolmen kuukauden tarkastelujaksolla 1,9E3 kg CO₂e eli 1 900 kg CO₂e. Alla olevassa taulukossa 6 on esitelty elinkaaren aikaisia päästöt hiilidioksidiekvivalenttina ja prosenttiosuuksina verrattuna kokonaishiilijalanjälkeen. SimaPro antaa tulokseksi pyöristetyn arvon, jos päästöt lasketaan käsin, saadaan hiilijalanjäljeksi 1 934 kg CO₂ eq. Tarkempi päästöjen jaottelu on esitetty liitteessä 4.

Kuvassa 6 on esitelty verkkopalvelun kokonaishiilijalanjälki SimaPron elinkaarikuvion avulla. SimaProsta otetut kuvat elinkaaresta on esitelty liitteessä 3. Suurimmat päästöt elinkaareissa aiheutuvat mobiilisovelluksesta ja verkkosivuston suunnittelusta.

Vaihe/prosessi	Sisältö	kg CO ₂ e	Prosenttiosuus kokonaishiilijalanjäljestä
Verkkosivun suunnittelu	Rakenteen, toimintojen ja ulkoasun suunnittelu, korjaukset ja toteutus	225	11,8 %
Verkkokauppa	Verkkokaupan koodaus, verkkokaupassa tehdyt ostot	0,519	0,0272 %
Kulutusprofiili	Verkkosivun ja sovelluksen käytön datasiirto	5,34	0,281 %
Mobiilisovellus	Koodaus, suunnittelu, mobiiliostot,	1660	87,4 %

	sovelluksen lataa- minen		
Verkkosivun koo- daus	Verkkosivun koo- daus	1,03	0,0542 %
Datakeskus	Datakeskuksen le- vytilan kuluttama energia kolmen kuukauden ajalta	7,85	0,412 %
Varmuuskopio	Varmuuskopion kuluttama energia pilvipalvelussa kol- men kuukauden ajalta	1,52	0,0798 %

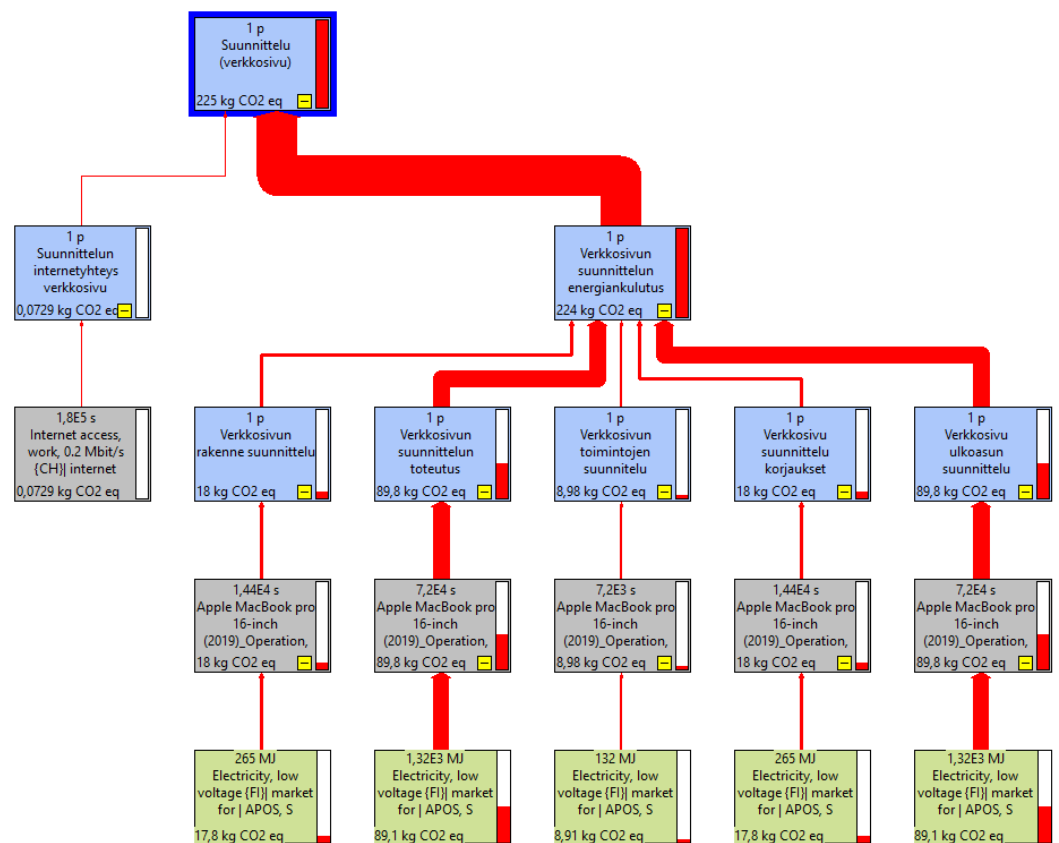
Taulukko 6. Hiilijalanjälki heinä-, elo- ja syyskuun ajalta.



Kuva 6. Verkkopalvelun kokonaishiilijalanjälki.

7.1.1 Verkkosivusto

Verkkosivuston suunnittelupäästöjen muodostuminen on esitetty kuvassa 7. Suunnitteluun kuului verkkosivuston ja verkkokaupan suunnittelu. Suunnittelu päästöt muodostuvat suurimmilta osin suunnittelussa käytettyjen tietokoneiden energiankulutuksesta. Eniten energiaa kuluttavat vaiheet suunnittelussa on verkkosivun ulkoasun suunnittelu sekä suunnittelun toteutus, koska näihin vaiheisiin käytettiin eniten aikaa. Internetin käyttö tuottaa vain 0,0729 kg CO₂e. Verkkosivun toteuttamisen päästöihin kuului myös verkkosivun ja verkkokaupan koodaus. Verkkosivunkoodauksen päästöt olivat 1,03 kg CO₂e ja verkkokaupan koodauksen päästöt olivat 0,516 kg CO₂e. Alla olevassa taulukossa 7 on esitelty suunnittelun ja koodauksen päästöt yhtä tuntia kohden.



Kuva 7. Verkkosivuston suunnittelu.

Vaihe	Päästöt kg CO ₂ e/tunti
Suunnittelu	4,5
Verkkosivun koodaus	0,0515
Verkkokaupan koodaus	0,0516

Taulukko 7. Verkkosivun tuottamisen päästöt yhtä tuntia kohden.

7.1.2 Mobiilisovellus

Mobiilisovelluksen hiilijalanjälki heinä-, elo- ja syyskuun ajalta on 1 660 kg CO₂e, se kattaa 84,7 % digitaalisen palvelun kokonaishiilijalanjäljestä. Taulukossa 8 on esitetty mobiilisovelluksen hiilijalanjäljen jakautuminen. Sovelluksen suurimmat päästöt muodostuvat sovelluksen tuottamisesta eli suunnittelusta ja koodaamisesta.

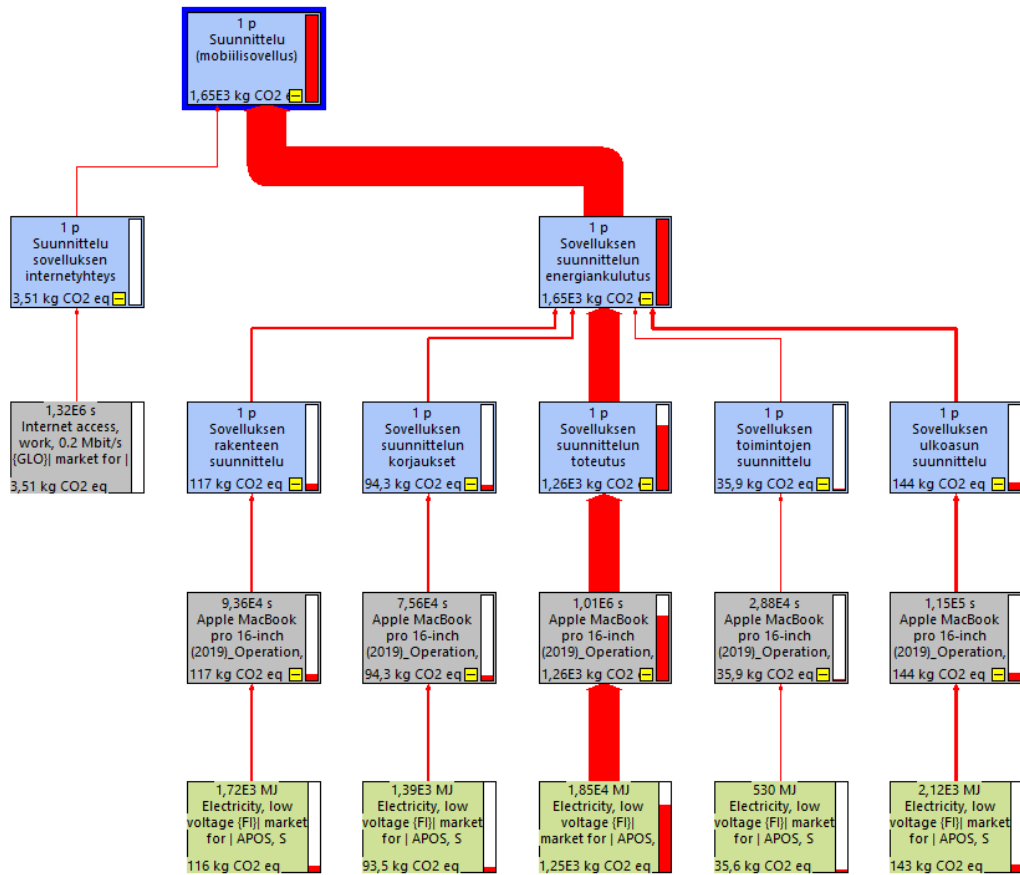
Mobiilisovellus	kg CO ₂ e
Kokonaishiilijalanjälki	1660
Koodaus	12,4
Suunnittelu	1650
Ostot	0,0028
Lataukset	0,255

Taulukko 8. Mobiilisovelluksen hiilijalanjälki.

Sovelluksen suunnittelun hiilijalanjälki on 1 650 CO₂e, joka kattaa 99 % mobiilisovelluksen päästöistä. Mobiilisovelluksen suunnittelun päästöjen jakautuminen on esitetty kuvassa 8. Suunnittelu sisältää laitteiden kuluttaman energian päästöt, sekä internetin käytön päästöt. Internet-yhteyden tuottamat päästöt ovat 3,15 kg CO₂e. Suunnittelun suurimmat päästöt tuottaa sovelluksen suunnittelun toteutus, johon on käytetty eniten aikaa. Sovelluksen suunnittelu tuottaa päästöjä noin 4,5 kg CO₂e yhtä tuntia kohden ja koodaus 0,052 kg CO₂e.

Käytön aikaiset päästöt mobiilisovelluksella ovat vähäiset. Päästöt yhtä ostoa kohden ovat 4,73E-5 kg CO₂e eli 0,0473 g CO₂e. Lataukset tuottavat hieman

isommat päästöt, kuin ostosten tekeminen. Sovelluksen lataamisen hiilijalanjälki yhtä latauskertaa kohden on 0,00021 kg CO₂e eli 0,21 g CO₂e.



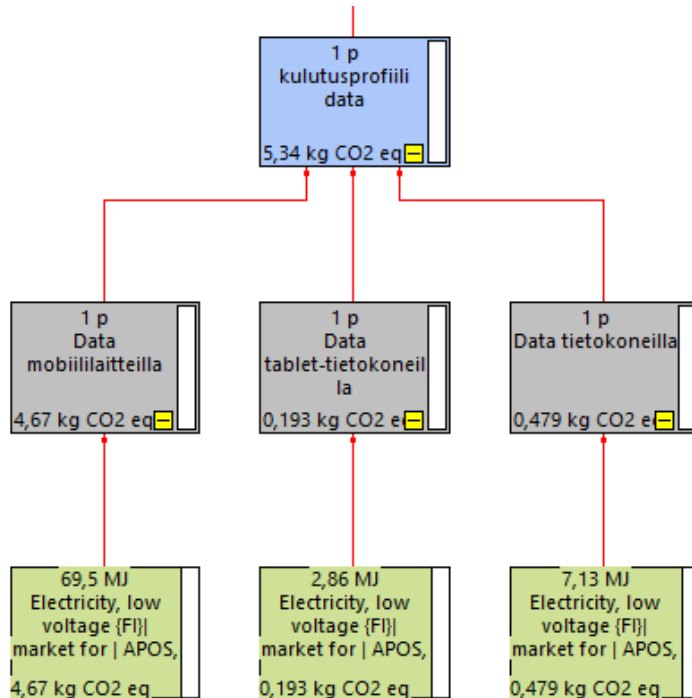
Kuva 8. Mobiilisovelluksen suunnittelu.

7.1.3 Käytönaikaiset päästöt

Verkkosivun ja mobiilisovelluksen kolmen kuukauden käytönaikaisista päästöistä suurimman osan muodosta datakeskuksen energiankulutus, jonka hiilijalanjälki oli 7,85 kg CO₂e. Datakeskuksen päästöt yhtä tuntia kohden on 0,0036 kg CO₂e. Varmuuskopio tuottaa kolme kuukauden aikana päästöjä 1,52 kg CO₂e, joka on yhtä tuntia kohden 0,0007 kg CO₂e.

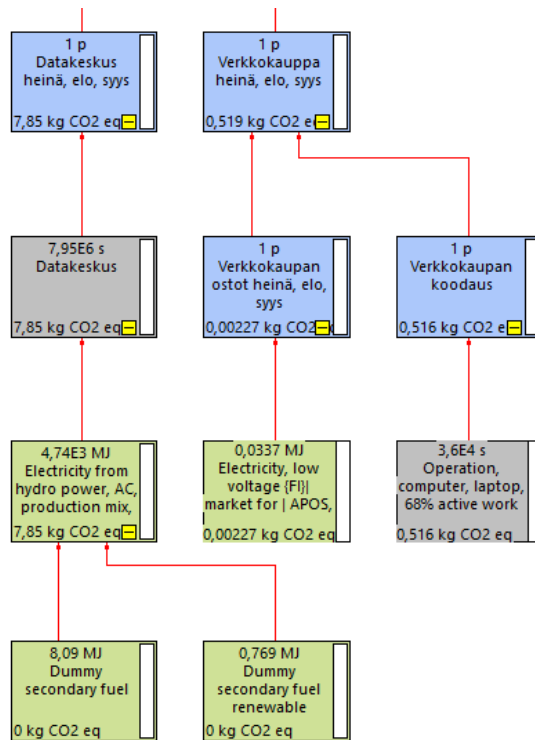
Toiseksi suurimman hiilijalanjäljen muodostavat mobiilisovelluksen ja verkkosivuston käyttäjät. Kuvassa 9 on esitetty verkkosivun ja mobiilisovelluksen kulu-
tusprofiilin jakautuminen eri laitteiden käyttäjien kesken heinä-, elo- ja syyskuun

ajalta. Kulutusprofiilin hiilijalanjälki on 5,34 kg CO₂e. Suurimmat päästöt tuottavat mobiililaitteita käyttävät kuluttajat, koska mobiilikäyttäjiä oli eniten ja mobiili-verkon energiankulutus on kiinteää verkkoa suurempi.



Kuva 9. Kulutusprofiili heinä-, elo- ja syyskuu.

Kuvassa 10 on esitelty datakeskuksen ja verkkokaupan käytönaikaiset päästöt. Verkkokaupassa tehtyjen ostojen päästöt heinä-, elo- ja syyskuun ajalta on 0,00227 kg CO₂e. Ostojen päästöt verkkokaupassa yhtä ostosta kohden on noin 0,000028 kg CO₂e eli 0,028 g CO₂e.



Kuva 10. Datakeskuksen ja verkkokaupan hiilijalanjälki kolmen kuukauden aikana.

Käytönaikaiset päästöt ovat huomattavasti pienemmät verrattuna tuotannon päästöihin. Tuotannon kokonaispäästöt ovat 1 919 kg CO₂e ja käytönaikaiset päästöt kolmen kuukauden osalta ovat 15 kg CO₂e. Käytönaikaisia päästöjä syntyy yhtä kuukautta kohden noin 5 kg CO₂e. Jos oletetaan päästöjen olevan joka kuukausi samalla tasolla käytönaikaiset päästöt saavuttavat tuotannon päästöt 385 kuukauden eli 32 vuoden päästä.

7.2 Hiilijalanjälki sesonkiaikana

Hiilijalanjälki yhden viikon tarkastelujakson aikana oli 1,89E3 eli 1 890 kg CO₂e. Sesongin hiilijalanjälki on siis 10 kg pienempi kuin kolmen kuukauden tarkastelujakson hiilijalanjälki. Pieni ero johtuu siitä, että suurimmat päästöt muodostuvat verkkosivun tuottamisesta. Verkkosivun ja mobiilisovelluksen tuottaminen on sisällytetty molempien tarkastelujaksojen elinkaareen. Suurimmat erot kolmen kuukauden tarkastelujakson ja sesonkiviikon välillä muodostavat ostotapahtumista, sovelluksen lataamisesta ja verkkosivun kulutuksesta. Datakeskuksen ja

pilvipalvelun päästöt olivat pienemmät, koska tarkastelu-aika oli huomattavasti lyhyempi. Sesonkiviikon hiilijalanjäljen jakautuminen on esitelty taulukossa 9.

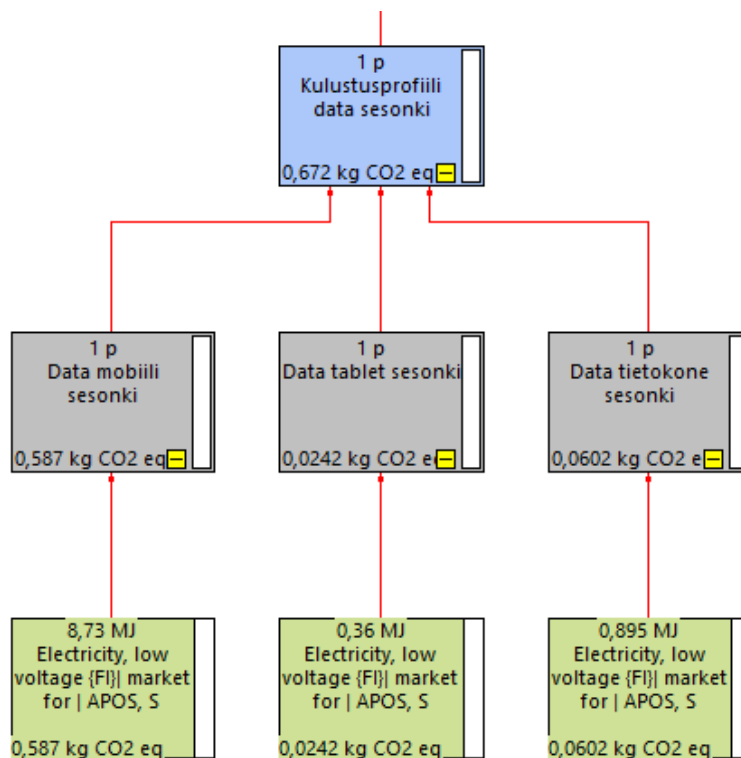
Vaihe/prosessi	Sisältö	kg CO ₂ e	Prosenttiosuus kokonaishiilijalanjäljestä
Verkkosivun suunnittelu	Rakenteen, toimintojen ja ulkoasun suunnittelu, korjaukset ja toteutus	225	11,9 %
Verkkokauppa	Verkkokaupan koodaus, verkkokaupassa tehdyt ostot	0,517	0,027 %
Kulutusprofiili	Verkkosivun ja sovelluksen käytön data-siirto	0,672	0,036 %
Mobiilisovellus	Koodaus, suunnittelu, mobiili ostot, sovelluksen lataaminen	1660	88 %
Verkkosivun koodaus	Verkkosivun koodaus	1,03	0,055 %
Datakeskuksen energiankulutus	Datakeskuksen levytilan kuluttama energia yhden viikon ajalta	0,597	0,032 %
Varmuuskopio	Varmuuskopion kuluttama energia pilvipalvelussa yhden viikon ajalta	0,116	0,0061 %

Taulukko 9. Hiilijalanjälki sesonkiviikon aikana.

Verkkopalvelun käytönaikaiset päästöt sesonkiviikolla on yhteensä 1,4 kg CO₂e. Suurimmat käytönaikaiset päästöt muodostavat verkkosivun ja

mobiilisovelluksen käyttäjät. Alla olevasta kuvasta 11 nähdään, kuinka verkkosivun ja mobiilisovelluksen kulutusprofiili jakautuu eri käyttäjien kesken. Suurimmat päästöt tuottavat mobiilisovelluksen käyttäjät, sillä mobiilikäyttäjiä oli eniten ja mobiiliverkon energiankulutus on kiinteää verkkoa suurempi.

Kokonaisdatankulutus sesonkiviikolla oli 29,4 Gt/viikko ja heinäkuun kokonaisdatasiirto oli 142,78 Gt eli noin 35,7 Gt/viikko, Elokuun datasiirto määrä oli 71,23 Gt, ja syyskuussa datasiirto oli enää 20 Gt koko kuun aikana. Verkkopalvelun hiilijalanjälki on hyvin riippuvainen siitä, kuinka paljon palvelulla on käyttäjiä. Kuopion Eläinpuiston verkkosivustokäyttö on hyvin paljon sesongista riippuvainen, jolloin käytönaikaiset päästöt ovat kesän aikana suuremmat kuin syksyllä tai talvella.



Kuva 11. Kulutusprofiili sesonkiviikolla.

7.3 Herkkyysanalyysi

Herkkyysanalyysissä tarkastellaan ostojen datasiirron määrää, mobiiliverkon energiankulutusta sekä kiinteän verkon energiankulutusta. Nämä arvot valittiin

tarkasteltavaksi niihin liittyvien epävarmuustekijöiden vuoksi. Kaikista epävarmin tekijä elinkaarianalyysissä oli datasiirron määrä ostotapahtumien yhteydessä.

Herkkyysanalyysissä tarkasteltiin datasiirron määrän kasvun vaikutusta hiilijalanjäljen kokoon. Vertailu tehtiin heinä-, elo- ja syyskuun ajalta verkkokaupan ja mobiilisovelluksen ostoksille. Taulukossa 10 on esitelty datasiirron määrän kasvun vaikutus energiankulutukseen verkkokaupassa. Set 1 kuvaa alkuperäistä lähtötilannetta, jossa datasiirron määrä on 2 Mt. Skenaarioissa set 2 ja set 3 datasiirron on oletettu olevan hieman suurempi.

	Datasiirto Mt	Energiankulutus kWh	Hiilijalanjälki kg CO ₂ e
Set 1	2	0,00937	0,00227
Set 2	4	0,0188	0,00455
Set 3	6	0,0281	0,0068

Taulukko 10. Ostojen datasiirron herkkyyshanalyysi verkkokauppa.

Taulukossa 11 on esitelty datasiirron määrän kasvun vaikutus mobiiliostosten energiankulutukseen ja hiilijalanjälkeen. Set 4 kuvaa alkuperäistä lähtötilannetta. Set 5 ja Set 6 kuvaavat tilanteita, joissa datasiirto on oletettua suurempi.

	Datasiirto Mt	Energiankulutus kWh	Hiilijalanjälki kg CO ₂ e
Set 4	2	0,0117	0,00283
Set 5	4	0,0234	0,00566
Set 6	6	0,0352	0,00852

Taulukko 11. Ostojen datasiirron herkkyyshanalyysi mobiilisovellus.

Energiankulutus on sitä suurempi, mitä suurempi määrä dataa joudutaan siirtämään. Suurempi energiankulutus aiheuttaa myös suuremman hiilijalanjäljen. Vaikka hiilijalanjälki kasvaakin datasiirron kasvaessa on muutokset hyvin pieniä verrattuna kokonaiselinkaaren hiilijalanjälkeen.

Mobiiliverkon energiankulutusta tarkastellaan vertailemalla kulutusprofiilin mobiilikäyttäjien hiilijalanjälkeä kolmen kuukauden ajalta. Mobiilikäyttäjien datan kulutuksen päästöt olivat heinä-, elo- ja syyskuun ajalta 4,67 kg CO₂e,

taulukossa 12 on esitetty vertailtavat skenaariot. Set 1 kuvaa elinkaareissa käytettyä arvoa 0,1 kWh/Gt. Set 2 kuvaa tilannetta, jossa mobiiliverkon energiankulutus on hieman isompi 0,2 kWh/Gt, tämä vastaa Elisan mobiiliverkon energiankulutusta vuonna 2019.

	Mobiiliverkon energiankulutus kWh	Datan siirron energiankulutus kWh	Hiilijalanjälki kg CO2e.
Set 1	0,1	19,31	4,67
Set 2	0,2	38,61	9,35

Taulukko 12. Mobiiliverkon energiankulutus herkkyyssanalyysi.

Herkkyyssanalyysissä tarkastellaan myös kiinteän verkon energiankulutuksen vaikutusta datasiirron hiilijalanjälkeen. Herkkyyttä tarkastellaan vertailemalla tietokonekäyttäjien datan kulutuksen hiilijalanjälkeä kolmen kuukauden tarkastelujaksolla, taulukossa 13 on esitetty vertailtavat arvot ja saadut tulokset. Elinkaari-analyysissä kiinteän verkon energiankulutuksena käytettiin 0,06 kWh/Gt, tätä arvoa käytetään skenaariossa 1 (Set1). Set 2 arvona käytetään 0,052 kWh/Gt, joka on runkoverkon mahdollinen saavutettavissa oleva huipputeho (Liikenne ja viestintäministeriö 2020, 58).

	Kiinteänverkon energiankulutus kWh	Datan siirron energiankulutus kWh	Hiilijalanjälki kg CO2e.
Set 1	0,06	1,98	0,479
Set 2	0,052	1,72	0,416

Taulukko 13. Kiinteänverkon energiankulutus herkkyyssanalyysi.

Mobiiliverkon päästöt kasvoivat energiankulutuksen noustessa. Kiinteän verkon päästöt laskivat energiankulutuksen laskiessa. Muutokset ovat hyvin pieniä kokonaiselinkaareen verrattuna, etenkin kiinteän verkon osalta.

7.4 Hiilijalanjäljen pienentäminen

Suurin hiilijalanjälkitekijä elinkaareissa on verkkopalvelun suunnittelu, joka tehdään tietokoneilla. Yritys voi siis pienentää tulevaisuudessa verkkosivujensa hiilijalanjälkeä vaihtamalla omat energianlähteensä uusiutuviin energianlähteisiin, tämä pienentäisi suunnitteluvaiheessa syntyviä hiilidioksidipäästöjä huomattavasti. Yrityksellä on jo käytössä uudet Energy Star-merkityt tietokoneet. Verkkosivun tuottamisen päästöjä voitaisiin pienentää myös vaatimalla sidosryhmiltä eli koodareilta ympäristöystävällisemmän sähkön ostamista.

Verkkosivun kulutuksen aikaisia päästöjä voidaan pienentää valitsemassa vielä ympäristöystävällisempää energianlähdetä käyttävä datakeskus. Verkkopalvelun päästöjä voi kompensoida isossa mittakaavassa hyödyntämällä palvelimen tuottamaa hukkalämpöä. Tätä hukkalämpöä voitaisiin ohjata rakennusten lämmittämiseen. Datakeskukset voivat siis hukkalämpöä hyväksikäyttämällä luoda hiilikädenjälkivaikutuksen palveluita ostaville yrityksille.

Hiilineutraalisuus voitaisiin saavuttaa kompensoimalla digitaalisesta palvelusta aiheutuvat päästöt. Päästöjen kompensointi tarkoittaa päästövähennysyksiköiden ostamista, jotka kattavat yrityksen toiminnan synnyttämät päästöt. Päästövähennysyksiköistä saaduilla varoilla kehitetään uusiutuvan energian tuotantoa ja kestävää maan ja metsien käyttöä. (Sitra 2022.)

Kompensointeja voi ostaa esim. Puro.earth sivustolta. Sivustolle on koottu eri toimijoiden tuotteita, jotka sitovat hiilidioksidia pitkällä aikavälillä. Tuotteita ostessaan saa ostaja todistuksen ilmakehästä poistetusta hiilidioksidista. Ostettavia hiilensidontamenetelmiä ovat esim. biohiili, puurakentaminen ja terästeollisuuden jätemateriaalin kierrätys rakennuselementeiksi. (Puro.earth 2021.)

Hurry voisi kompensoida verkkosivun tuotannon ja käytönaikaiset päästöt ostamalla sivustolta esim. suomalaisten Ekovilla yrityksen tarjoamia päästökompensaatioita. Ekovilla tarjoaa hiilinegatiivisia selluloosakuidusta tehtyjä eristeitä, jotka on tehty uusiutuvista raaka-aineista. Yksi tonni ekovillaa sitoo 1,11 tonnia CO₂e. Kompensaatio-oston minimirajana on 5 000 kg hiilidioksidin sitomista.

Sitominen maksaa 100 €. (Puro.earth 2021.) Viiden tonnin hiilidioksidin kompensatiolla Hurry voisi kattaa koko verkkosivutuotannosta syntyneet päästöt sekä käytönaikaiset päästöt pitkäksi aikaa.

8 Pohdinta

8.1 Tulosten tarkastelu

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia elinkaarianalyysistandardien soveltuvuutta digitaalisen palvelun hiilijalanjäljen tutkimiseen. Aikaisempaa tietoa digitaalisten palveluiden elinkaarianalyysista oli saatavilla vähän. Tosin digitaalisten palveluiden hiilijalanjäljen laskentaan on tehty ohjeistuksia ja mallinnuksia, mutta elinkaarimetodiikkaa hiilijalanjäljen laskennassa ei ole käytetty.

Elinkaarimetodiikka sopi hyvin digitaalisen palvelun päästöjen tutkimiseen. Inventaarioanalyysissa allokoointia ei pystytty välttämään, sillä kulutusprofiiliin liittyy useita tekijöitä. Verkkopalvelun käyttö aktivoi datakeskuksen sekä verkon, joka siirtää dataa. Myös mahdolliset ostot ja mobiilisovelluksen lataamiset vaativat mobiiliverkon tai kiinteän verkon toimintaa. Elinkaarimallinnus tehtiin tietylle rajatulle ajanjaksolle, koska verkkopalvelun elinkaaren loppua ei pystytty työssä määrittämään. On mahdotonta arvioida, kuinka kauan verkkopalvelua käytetään tai mitä verkkosivustolle ja sovellukselle tulevaisuudessa tehdään.

Työssä käytettiin inventaarioanalyysin keräämiseen SimaPro-collect ohjelmaa. Collectin käyttö helpotti inventaariotiedon keräämistä. Kyselyn vastaukset pystyttiin näkemään heti, kun Hurry oli tallentanut vastauksensa kyselyyn. Collectin kysymysten luonti oli hieman jäykkää. Ohjelmaan ei voinut tehdä niin paljon alakategorioita, kuin olisi ollut tarpeellista, joten kysymysten asettelu ei ollut sujuvaa.

Työssä saatiin laskettua digitaaliselle palvelulle hiilijalanjälki. Kuopion Eläinpuiston verkkosivuston ja mobiilisovelluksen hiilijalanjäljeksi kolmen kuukauden tarkastelu ajalla saatiin noin 1 900 kg CO₂e. Työssä huomattiin, että tuotannon päästöt ovat suuremmat, kuin käytönaikaiset päästöt. Digitaalisten palvelujen päästöjen sanotaan johtuvan suurimmilta osin verkkopalvelujen kulutuksesta. Toisaalta digitaalisten palvelujen tuotannon aiheuttamia päästöjä on tutkittu vasta vähän, ja suuret datakeskukset ja verkot kuluttavat paljon sähköä isossa mittakaavassa. Myös infran rakentaminen lasketaan usein osaksi kulutuksen

päästöjä. Työn perusteella voidaan kuitenkin todeta, että ICT-sektorin toimijoiden päästöt ovat merkittäviä ja niiden hillitseminen onnistuu päästöjä kompensoimalla ja uusiutuvia energianlähteitä käyttämällä.

Web eco-design checklistin mukaan helpot tavat vähentää verkkosivuston hiilijalanjälkeä on poistaa turhat videot ja kuvat sivustolta. Kuopion Eläinpuiston verkkosivuston tarkoituksena on esitellä Eläinpuistoa, joten videoiden ja kuvien poistaminen heikentäisi sivuston käyttäjäkokemusta.

Website Carbon Calculator sivuston mukaan heidän sivustollaan laskettujen verkkosivujen hiilijalanjäljen keskiarvo on 1,76 g CO₂ per yksi sivun katselukerta (Website Carbon Calculator 2022). Toisen sivuston mukaan normaali verkkosivusto tuottaa päästöjä 4,61 g CO₂ yhtä katselukertaa kohden (RESET Digital for Good 2020). Huomattavaa siis on, että arviot nettisivustojen päästöistä vaihtelevat paljon. Vaihtelua aiheuttaa hiilijalanjätkilaskentamenetelmät, jotka valmiissa laskureissa perustuvat pitkälti yleisiin olettimiin esim. datakeskuksen energianlähteestä. Kuopion Eläinpuiston verkkosivuston päästöiksi tämän tutkimuksen tuloksena saatiin yhtä vierailijaa kohden noin 0,2 g CO₂e, kulutusprofiiliin mukaan laskettuna, tässä huomioidaan vain datan siirto kuluttajille. Datakeskuksen päästöt yhtä vierailijaa kohden on n. 0,36 g CO₂e. Käytönaikaiset päästöt yhtä kuluttajaa kohden on 0,56 g CO₂e, kun datakeskuksen päästöt otetaan huomioon.

Epävarmuustekijän laskelmiin tuo verkon kulutus. Työssä oletettiin tablet-laitteiden ja mobiilikäyttäjien käyttävän mobiiliverkkoa ja tietokonekäyttäjien käyttävän kiinteää verkkoa. Todellisuudessa mobiili- ja tablet-laitteita käyttävät saattavat myös käyttää kiinteää verkko tai tietokonekäyttäjät saattavat käyttää mobiiliverkkoa. Muita epävarmuus tekijöitä työssä oli ostojen datasiirron määrä ja verkkojen energiankulutus, näitä muuttujia tarkasteltiin herkkyyssanalyysin avulla. Herkkyyssanalyysissä huomattiin, ettei muutokset ole suuria, eivätkä vaikuta juurikaan digitaalisen palvelun kokonaishiilijalanjälkeen.

Tarkempi kulutusprofiili verkkosivustolle ja mobiilisovellukselle saataisiin laskettuja, jos tiedettäisiin paljonko verkkosivulla vierailu ja mobiilisovelluksen

käyttäminen siirtää dataa yhtä käyttäjää kohden. Tämän työn elinkaarianalyysissä kulutusprofiili laskettiin datakeskuksesta jaetun kokonaisdatan perusteella.

Työssä käytetty aineisto on kerätty hyvien tieteellisten käytäntöjen mukaisesti. Yritykseltä saatu tieto käytiin läpi yhdessä yrityksen kanssa, epäselvyyksien ja virheellisten tulkintojen välttämiseksi. Tutkimusmenetelmät on esitelty työssä ja vastaavanlaisella tietotaidolla on mahdollisuus toteuttaa samantyyppinen elinkaarianalyysi digitaaliselle palvelulle. Opinnäytetyössä on pyritty läpinäkyvään ja johdonmukaiseen raportointiin. Työ toteutettiin opinnäytetyön eettisiä ohjeita noudattaen.

Opinnäytetyö oli haastava ja kehittävä kokemus. Haastavinta työssä oli kokonaisuuden hahmottaminen ja inventaarioanalyysitiedon kerääminen ja käsittely. Työtä tehtäessä pääsi käyttämään opintojen aikana kertynyttä tietoa ja kokemusta. Työn tekeminen syvensi tietoa digitaalisista palveluista ja niiden tuottamisesta. SimaPron käyttäminen helpottui työn edetessä ja ohjelmiston toiminnoista, kuten Collectista sai paljon uutta kokemusta.

8.2 Jatkokehitysmahdollisuudet

Opinnäytetyön tulosta voidaan jatkokehittää tekemällä elinkaarianalyysistä vielä tarkempi. Elinkaaresta voidaan saada tarkempi, jos tiedetään, kuinka paljon dataa siirtyy ostojen yhteydessä. Ostojen energiankulutusta voidaan tarkentaa myös, jos saadaan tietoa, kuinka monta datakeskusta yksi ostos aktivoi. Tarkempaan tarkasteluun päästään, jos otetaan huomioon myös infran, kuten datakeskusten, rakentaminen. Tarkemman kuvan verkkosivun käytön aikaisista päästöistä saisi vuoden mittaisella tarkastelujaksolla. Työn tarkastelujakso oli työssä lyhyt, koska verkkopalvelu oli alle vuoden ikäinen

Ecoinvent tietopankista on tulossa uusi versio 3.8, joka päivittää vanhoja ja lisää uusia prosesseja. Versio 3.8 tuo uutta tietoa älypuhelimien ja tablettien energiankulutuksesta, ja se myös päivittää tietokoneiden energiankulutustietoja.

(Ecoinvent 2022.) Uuden päivityksen avulla voidaan laskea myös verkkopalvelun kuluttajien laitteiden energiankulutus.

Jatkokehitysmahdollisuutena on myös SimaPron käytön vieminen pidemmällä. SimaProsta elinkaari voidaan jakaa Share toiminnon avulla Hurrylle. Jakamalla elinkaari Sharen kautta yritykselle voi yritys itse muuttaa elinkaareen syötettyjä arvoja, mikäli ne muuttuvat tai epävarmoista muuttujista saadaan tarkempaa tietoa. (SimaPro 2021.)

Lähteet

- Adamson, J. 2017. Carbon and the cloud. <https://medium.com/stanford-magazine/carbon-and-the-cloud-d6f481b79dfe>. 15.12.2021.
- Ahola, J., Ahlqvist, T., Ermes, M., Myllyoja, J. & Savola, J. 2010. ICT for Environmental Sustainability. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2010/T2532.pdf>. 13.10.2021.
- Aslan, J., Mayers, K., Koomey, G. J. & France, C. 2017. Electricity Intensity of Internet Data Transmission. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/jiec.12630>. 22.11.2021.
- Berghäll, O., Ahonen H.-M., Sinivuori, K. & Snäkin, J.-P. 2003. Kioston pöytäkirjan toimeenpano säännöt. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40548/SY_607.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 6.1.2022.
- Bordage, F. 2020. 4 % of GHG emissions. <https://www.greenit.fr/2020/10/06/4-des-emissions-de-ges/>. 13.20.2021.
- Carbon Trust & Global e-sustainability initiative. (2017). ICT Sector guidance built on the GHG Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. <https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/GHGP-ICTSG%20-%20ALL%20Chapters.pdf>. 29.11.2021.
- ConvertLIVE. 2021. <https://convertlive.com/fi/u/muuntaa/gigatavua/muunna/megatavua#1>. 18.11.2021.
- Ecoinvent. 2022. Ecoinvent 3.8. <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/data-releases/ecoinvent-3-8/>. 10.1.2022.
- Elisa. 2019. Vastuullisuus. https://corporate.elisa.fi/attachment/elisa-oyj/annual-report-2019/Elisa_Vastuullisuusraportti_2019.pdf. 30.12.2021.
- Energy Star. 2020. <https://www.energystar.gov/productfinder/product/certified-computers/details/2367230>. 17.11.2021.
- Frick, T. 2016. Designing for Sustainability A Guide to Building Greener Digital Products and Services. O'REILLY. 20.12.2021.
- Fortum. 2021. Miten datakeskukset vaikuttavat ilmastoon. <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/puhtaampi-maailma/miten-datakeskukset-vaikuttavat-ilmastoon>. 17.11.2021.
- GreenIT.fr & Bordage F. 2019. Web eco-design checklist. https://collectif.greenit.fr/ecoconception-web/2019-05-Ref-eco_web-checklist.v3.EN.pdf. 6.1.2022.
- GreenIT.fr & Bordage, F. The Environmental footprint of the digital world. 2019. https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/11/GREENIT_EENM_etude_EN_accessible.pdf. 17.1.2022.
- Hiekkanen, K., Seppälä, T. & Ylhäinen, I. 2020. Informaatiosektorin energian- ja sähkökäyttö Suomessa. <https://www.etla.fi/julkaisut/informaatiosektorin-energian-ja-sahkonkaytto-suomessa/>. 13.12.2021.
- Hurry. 2021. <https://hurry.fi/>. 14.11.2021.
- Ilmasto-opas. 2021. Kasvihuoneilmiö ja ilmakehän koostumus. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/420c4ca3-a128-4ae7-882e-3d06e1ea24f5/kasvihuoneilmiö-ja-ilmakehan-koostumus.html>. 25.10.2021.
- Ilmasto-opas. 2021. Kasvihuonekaasu lämmittävät. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/3a576a6e-bec5-44bc-a01d-11497ebdc441/kasvihuonekaasut-lammittavat.html>. 25.10.2021.

- IPCC. 2014. Climate Change 2014 Synthesis Report. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf. 26.11.2021.
- ISO. 2021. <https://www.iso.org/home.html>. 14.10.2021.
- Jiang, W. 2018. Energy to Store One Bit. <http://large.stanford.edu/courses/2018/ph240/jiang2/>. 15.12.2021.
- Johnson, D. 2021. What is a cache? A complete guide to caches and important uses on your computer, phone, and other devices. <https://www.businessinsider.com/what-is-cache?r=US&IR=T>. 20.12.2021.
- Kommunikoiva Energia. 2021. <https://kommunikoivaenergia.karelia.fi/>. 25.9.2021.
- Kuopion Eläinpuisto. 2021. <https://www.kuopionelainpuisto.com>. 14.10.2021.
- Liikenne- ja viestintäministeriö. 2020. ICT-ala, ilmasto ja ympäristö. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162307/LVM_2020_9.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 30.12.2021.
- Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., Koch, H., Lamarque, J.F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T. & Zhang, H. 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing, Climate Change 2013: The Physical Science Basis Chapter 8: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf. 15.11.2021.
- Pajula, T., Vatanen, S., Behm, K., Grönman, K., Lakanen L., Kasurinen, H. & Soukka, R. 2021. Carbon handprint guide. https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2021/Carbon_handprint_guide_2021.pdf. 6.1.2022.
- Pihkola, H., Apilo, O., Lasanen, M. & Hongisto, M. 2018. Evaluating the Energy Consumption of Mobile Data Transfer-From Technology Development to Consumer Behavior and Life Cycle Thinking. https://www.researchgate.net/publication/326470455_Evaluating_the_Energy_Consumption_of_Mobile_Data_Transfer-From_Technology_Development_to_Consumer_Behaviour_and_Life_Cycle_Thinking. 15.10.2021.
- Pihkola, H. 2020. ICT-sektorin jalanjälki ja kädenjälki- miksi niiden mittaaminen on hankalaa? Haettu osoitteesta <https://www.ficom.fi/ajankoh- taista/uutiset/ict-sektorin-jalanjalki-ja-kadenjalki-miksi-niiden-mittaa- minen-on-hankalaa/>. 15.10.2021.
- Puro.earth. 2021. https://puro.earth/CORC-co2-removal-certificate/?sort_field=available_now. 13.1.2022.
- RESET Digital for Good. 2022. What`s the Carbon Footprint of Your Website. <https://en.reset.org/whats-carbon-footprint-your-website/>. 21.1.2022.
- SFS-EN ISO 14040. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS-EN ISO 14044. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS-EN ISO 14067. Greenhouse gases. Carbon footprint of product. Requirements and guidelines for quantification and communication (ISO/TS 14067:2013). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SimaPro. 2021. <https://simapro.com/>. 15.9. 2021.

- Sitra. 2022. Päästöjen kompensointi. <https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/paastojen-kompensointi/>. 11.1.2022.
- Sitra. 2021. <https://www.sitra.fi/>. 13.10.2021.
- Sitra.2018. Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki. <https://www.sitra.fi/artikkelit/keskivertosuomalaisen-hiilijalanjalki/>. 24.11.2021.
- Sitra. 2020. Viisi tärkeää kysymystä digitalisaation ympäristövaikutuksista. <https://www.sitra.fi/artikkelit/viisi-tarkeaa-kysymysta-digitalisaation-ymparistovaikutuksista/>. 29.10.2021.
- Sustainable Web Design. 2021. <https://sustainablewebdesign.org/>. 15.10.2021.
- SYKE. 2010. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. LINKKI- 26.11.2021.
- Toivanen, L. 2020. Digitalisaatio- ystävä vai vihollinen. <https://tieke.fi/digitalisaatio-ystava-vai-vihollinen/>. 21.10.2021.
- University of Ottawa. 2021. Energy saving tips for your desktop. <https://it.uottawa.ca/employee-services/energy-saving-tips>. 27.12.2021.
- UpCloud. 2021. <https://upcloud.com/>. 2.2.2022.
- Website Carbon Calculator. 2020. How is your website impacting the planet. <https://www.websitecarbon.com/>. 21.1.2022.
- Ympäristö.fi. 2013. https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus_ja_tuotanto/tuotesuunnittelu_ja_tuotteet/elinkaariarviointi_jalanjaljet_ja_panostuotasmalli. 14.10.2021.

Kysely SimaPro Collect ohjelmalla

Kysymykset:

Suunnitteluun kulunut aika:

1. Kuinka paljon aikaa käytettiin rakenteen suunnitteluun?
2. Kuinka paljon aikaa käytettiin toimintojen suunnitteluun?
3. Kuinka paljon aikaa ulkoasun suunnitteluun käytettiin?
4. Kuinka paljon aikaa toteuttamiseen käytettiin?
5. Paljonko aikaa ulkoasun ja käytettävyyden korjauksiin käytettiin?
6. Onko suunnittelussa vielä muita vaiheita? Paljonko näihin vaiheisiin kului aikaa?

Suunnittelu alustat ja laitteet:

7. Millä laitteilla suunnittelua tehtiin?
8. Millä alustalla rakenteen suunnittelua tehtiin?
9. Millä alustalla toimintojen suunnittelu työtä tehtiin?
10. Millä alustalla ulkoasun suunnittelua tehtiin?
11. Millä alustalla toteuttaminen tehtiin?

Verkkopalvelun kulutusprofiili:

12. Paljonko verkkosivustolla oli kävijöitä heinä, - elo- ja syyskuun aikana?
13. Kuinka paljon verkkosivustolla oli kävijöitä kesän sesonkiviikon aikana?
14. Kuinka kauan kuluttajat viettävät aikaa verkkosivustolla keskimäärin?
15. Millä laitteilla verkkosivustolla käydään?
16. Mikä on mobiili käyttäjien osuus verkkosivun käyttäjistä?
17. Mikä on tietokone käyttäjien osuus verkkosivun käyttäjistä?

Mobiilisovellus:

18. Kuinka monta latauskertaa mobiilisovelluksella oli heinä-, elo- ja syyskuun aikana?
19. Kuinka monta latauskertaa mobiilisovelluksella oli kesän sesonkiviikon aikana?
20. Kuinka monta maksutapahtumaa mobiilisovelluksessa tehtiin heinä-, elo- ja syyskuun aikana?
21. Kuinka monta maksutapahtumaa mobiilisovelluksessa tehtiin kesän sesonkiviikon aikana?
22. Kuinka suuri mobiilisovellus on?

Verkkokauppa:

23. Kuinka paljon verkkosivustolla tehtiin ostotapahtumia heinä-, elo-, ja syyskuun aikana?
24. Kuinka paljon verkkosivustolla tehtiin ostoja kesän sesonkiviikon aikana?

Datansiirto:

25. Paljonko dataa siirretään verkkosivua käytettäessä?
26. Paljonko dataa siirtyy mobiilisovellusta käytettäessä?
27. Paljonko dataa siirtyy asiakaspalvelun yhteydessä?
28. Kuinka nopeasti sivusto latautuu?
29. Paljonko dataa siirtyy ostotapahtumien yhteydessä?

Muut:

30. Millainen sähkösopimus Hurrilla on?
31. Mitä eläinpuisto tarvitsee verkkosivuston ja mobiilisovelluksen ylläpitämiseen?
32. Onko sivustolla infografiikka tai videoita?
33. Kuinka suuria videot ovat?

34. Missä muodossa kuvat ovat verkkosivustolla?

35. Kuinka paljon infografiikkaa on? Kuinka suuria nämä tiedostot ovat?

Palvelin:

36. Millainen sähkösojimus palvelimella on?

37. Missä verkkosivu sijaitsee?

38. Onko verkkosivusta ja mobiilisovelluksesta olemassa varmuuskopiot?

39. Onko varmuuskopio pilvipalvelussa

40. Kuinka suuri verkkosivun ja mobiilisovelluksen varmuuskopio on?

41. Tehdäänkö verkkosivustolle kuormanvalvontaa ja levytilan seurantaa?

42. Kuinka suuri on verkkosivun levytila?

43. Millainen on verkkosivun kuorma?

Koodarit:

44. Millä laitteilla koodausta tehtiin?

45. Paljonko aikaa kului verkkosivun koodaukseen?

46. Paljonko aikaa meni verkkokaupan koodaukseen?

47. Paljonko aikaa kului mobiilisovelluksen koodaukseen?

48. Millainen sähkösojimus koodareilla on?

Inventaarioanalyysin laskut

Megatavu gigatavu muunnokset.

	Mt	Gigatavu
Mobiilisovellus	9	$9,05/1024= 0,00879$
Koko verkkosivusto	7,9	$7,9/1024= 0,007715$
Verkkosivusto etusivu	1,28	$1,28/1023= 0,00125$

	Verkon energiankulutus	
Mobiiliverkko	0,1	kWh
Kiinteäverkko	0,06	kWh

Kulutusprofiili kokonaisdatan avulla laskettuna:

	Dataliikenne	
Heinäkuu	142,78	Gt
Elokuu	71,23	Gt
Syyskuu	20	Gt
yht.	234,01	Gt
Sesonki	29,4	Gt/viikko

Heinä-, elo- ja syyskuu

		Datan siirto Gt heinä, elo, syys- kuu-	Energiankulu- tus kWh
Mobiili	82,5 %	193,06	$193*0,1=$ 19,31
Tietokone	14,1 %	33,00	$33*0,06=$ 1,98
Tablet	3,4 %	7,96	$7,96*0,1=$ 0,80
yht.	100 %	234,01	22,08

Sesonki

		Datan siirto Gt sesonki	Energiankulutus kWh
Mobiili	82,5 %	24,26	$24,26 \cdot 0,1 = 2,43$
Tietokone	14,1 %	4,15	$4,15 \cdot 0,1 = 0,25$
Tablet	3,4 %	1,00	$1 \cdot 0,1 = 0,10$

Kulutusprofiili verkkosivun koon perusteella laskettuna:

Heinä, elo- ja syyskuu

		Kävijöitä kpl	Ladattu data Gt	Energiankulutus kWh
Mobiili	82,5 %	18150	$18150 \cdot 0,077 = 140,0$	$140 \cdot 0,1 = 14,00$
Tietokone	14,1 %	3102	$3120 \cdot 0,077 = 23,9$	$23,9 \cdot 0,06 = 1,44$
Tablet	3,4 %	748	$748 \cdot 0,077 = 5,8$	$5,8 \cdot 0,1 = 0,58$
yht.	100 %	22000	169,7	16,0

Sesonki

		Kävijöitä kpl	Ladattu data Gt	Energiankulutus kWh
Mobiili	82,5 %	2970	$2970 \cdot 0,077 = 22,9$	$22,9 \cdot 0,1 = 2,29$
Tietokone	14,1 %	508	$508 \cdot 0,077 = 3,9$	$3,9 \cdot 0,06 = 0,23$
Tablet	3,4 %	122	$122 \cdot 0,077 = 0,9$	$0,9 \cdot 0,1 = 0,09$
yht.	100 %	3600	27,8	2,62

Datakeskuksen energiankulutus:

Varmuuskopion energiankulutus

Varmuuskopion koko	16,9	Mt
Koko gigatavuina	$16,9/1024 = 0,016504$	Gt
Energiankulutus	$0,016504 \cdot 7 = 0,116$	kWh

Levytilan energiankulutus

Levytilan koko	10	Gt
Koko tavuina	10737418240	t

Energiankulutus jouleina	$10737418240 * 0,0002 = 2147484$	J
Energiankulutus kWh	$2147484 / 3600000 = 0,597$	kWh

Ostojen energiankulutus:

Maksutapahtumat	Mobiilisovellus	Verkkokauppa
Heinä-, elo- ja syyskuu	60	80
Sesonkiviikko	20	10

Ostosten oletettu datan siirto $2Mt = 0,00195$ Gt.

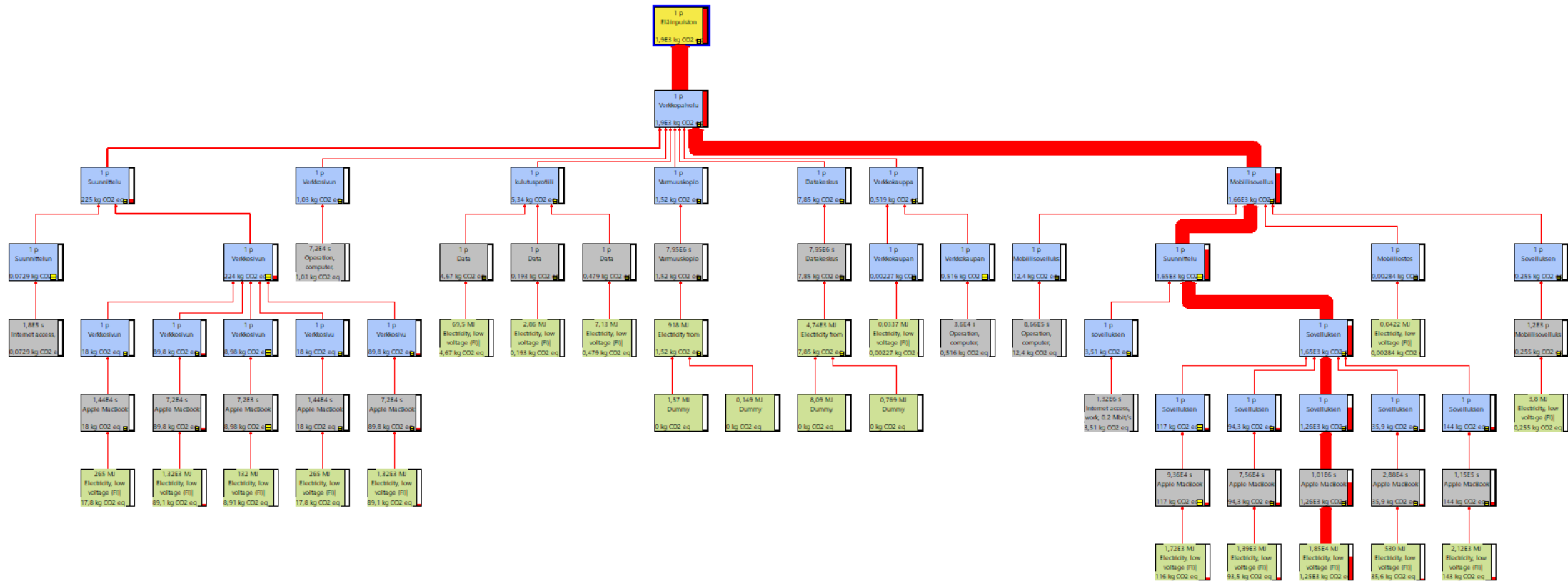
Maksujen energiankulutus	Mobiilisovellus	Verkkokauppa
Heinä-, elo- ja syyskuu	$0,00195 * 0,1 * 60 = 0,0117$	$0,00195 * 0,06 * 80 = 0,0094$
Sesonkiviikko	$0,00195 * 0,1 * 20 = 0,0039$	$0,00195 * 0,06 * 10 = 0,00117$

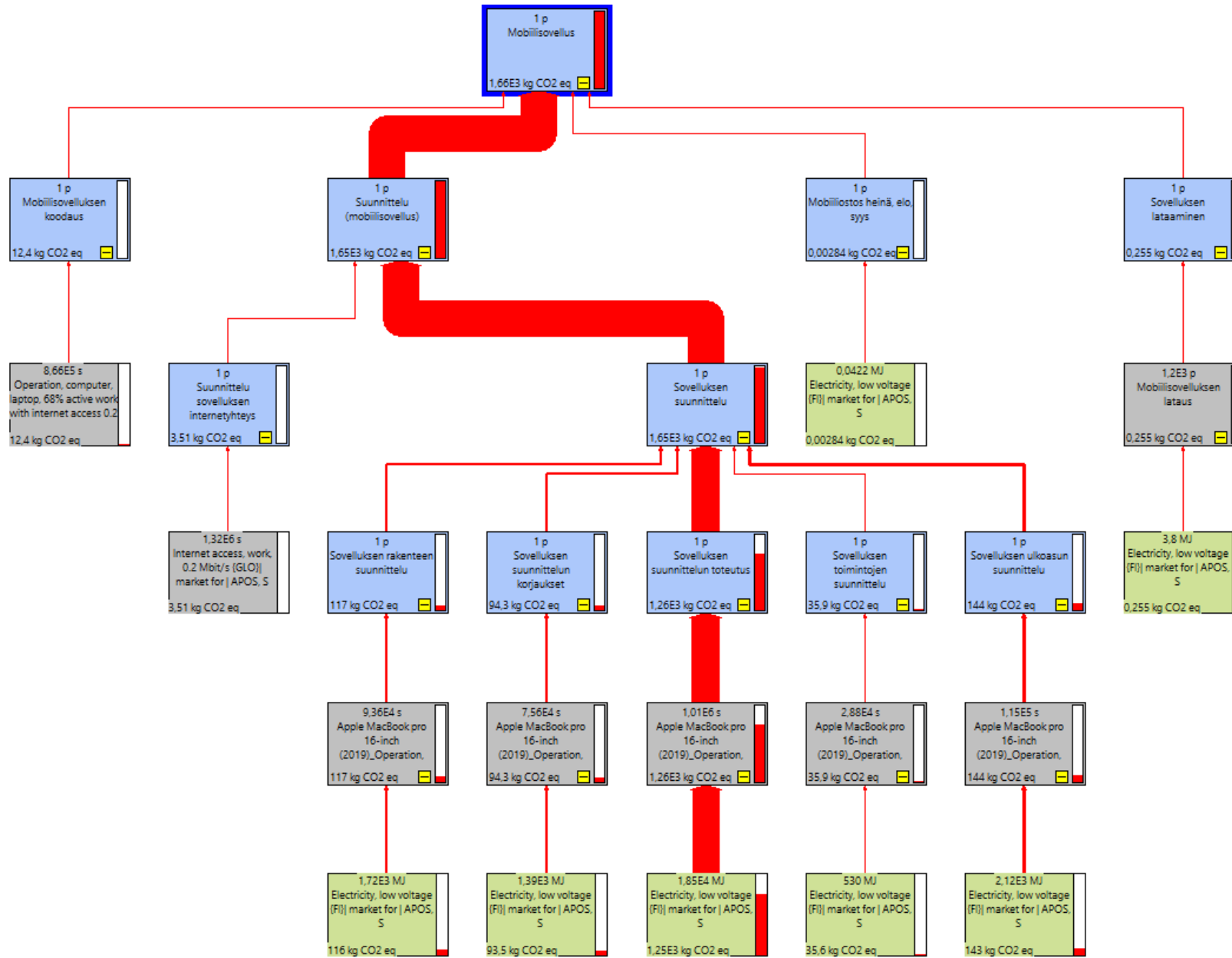
Mobiilisovelluksen lataamisen energiankulutus:

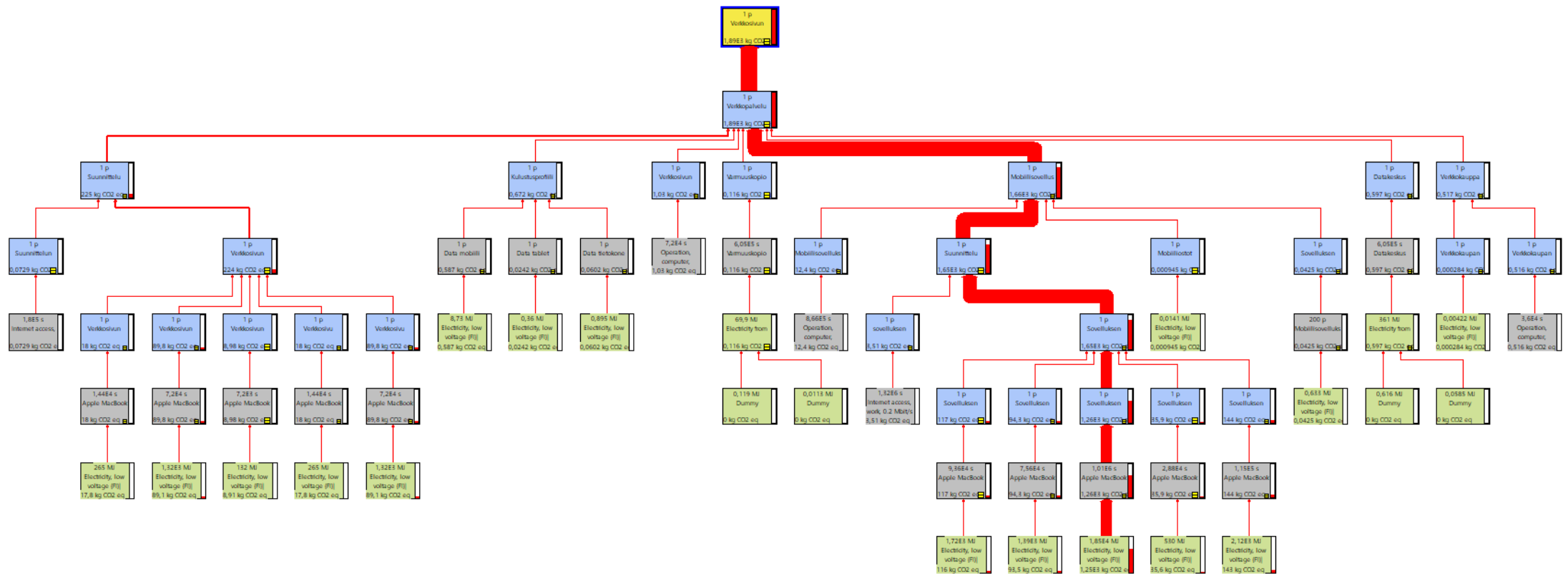
Mobiilisovelluksen koko $9Mt = 0,00879$ Gt.

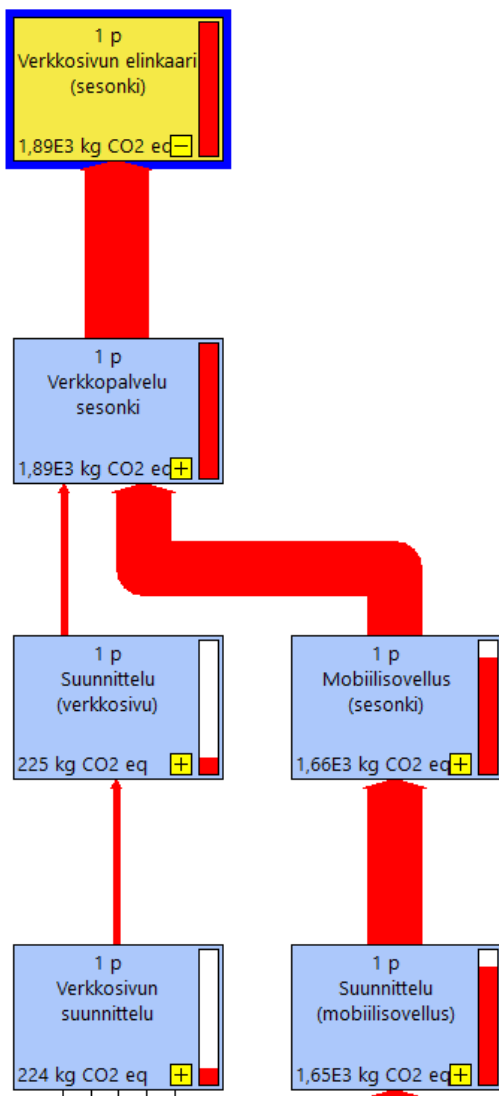
Mobiilisovellus	Heinä-, elo- ja syyskuu	sesonkiviikko
Latauskerrat	1200	200
Energiankulutus kWh	$0,00879 * 0,1 * 1200 = 1,05$	$0,00879 * 200 = 0,18$

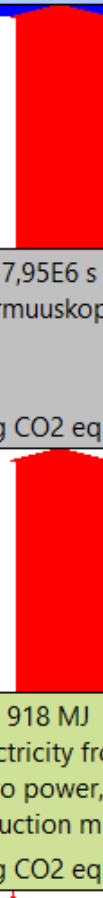
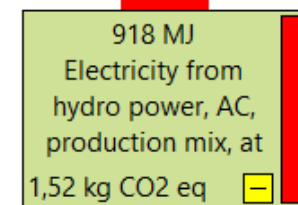
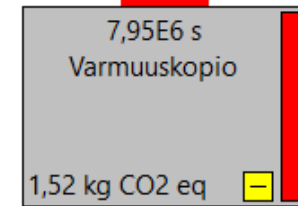
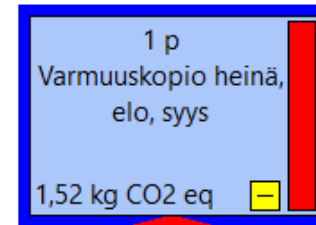
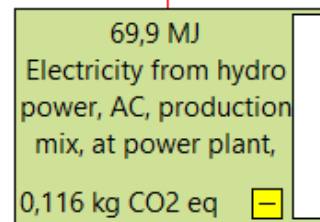
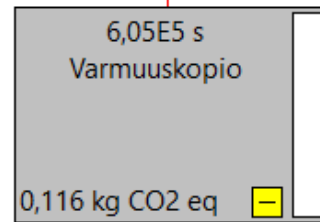
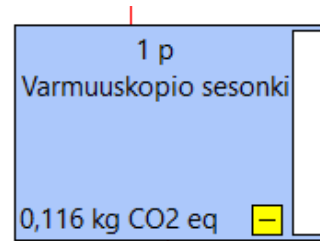
Kuopion Eläinpuiston digitaalisen palvelun hiilijalanjälkikuvaajat



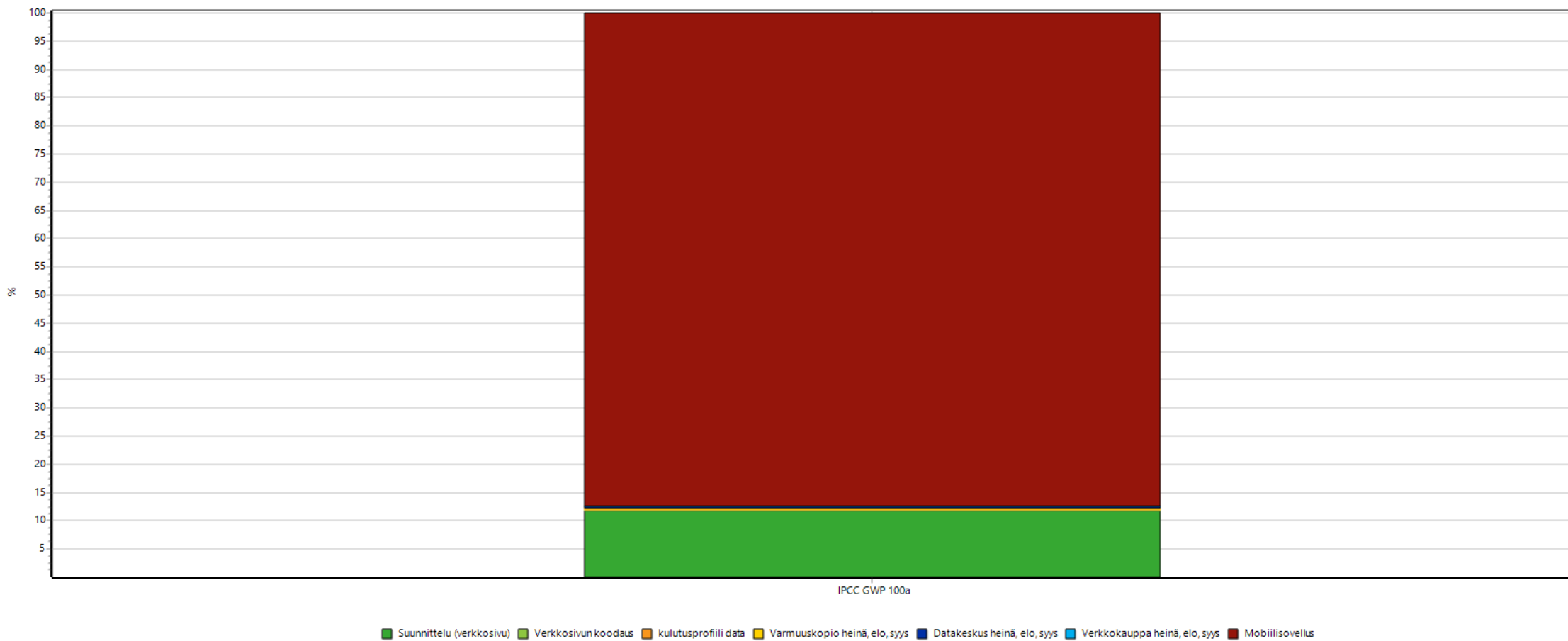






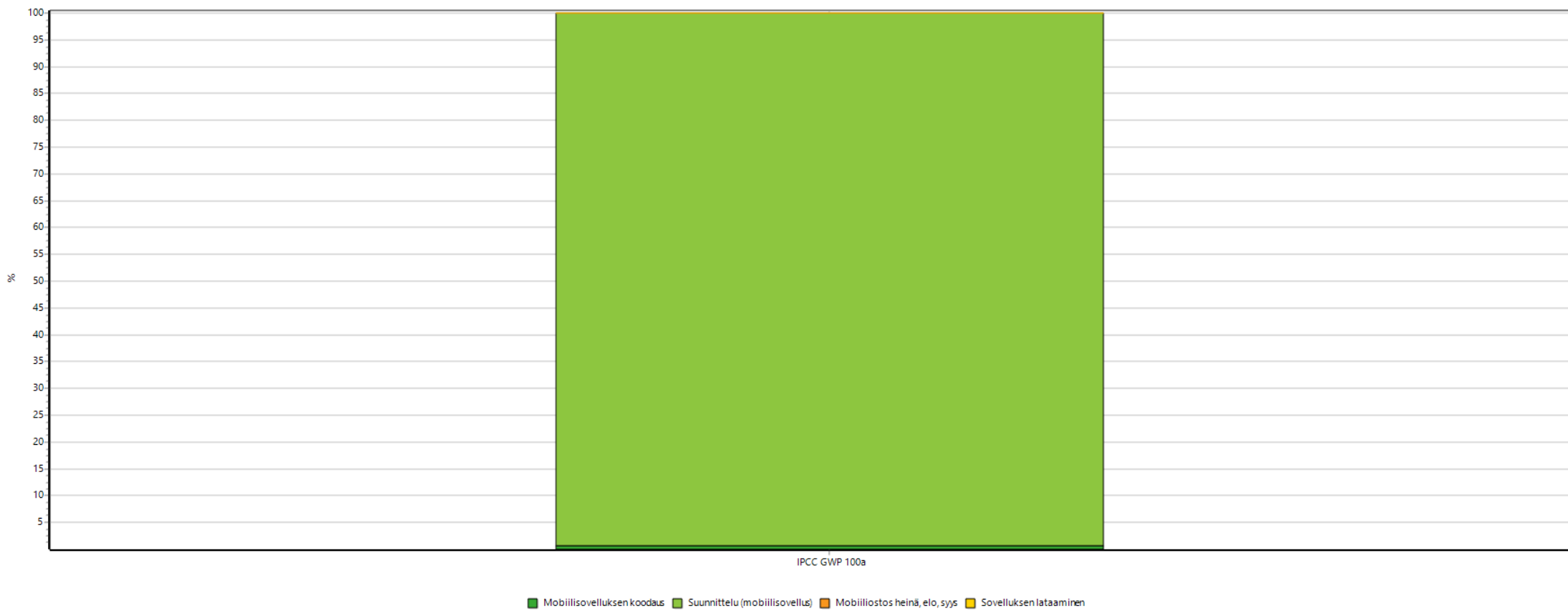


Kuopion Eläinpuiston digitaalisen palvelun hiilijalanjälken jakautuminen. Kuvaaja esittää verkkopalvelun elinkaaren päästöjen jakautumisen ja niiden kokoluokat toisiinsa suhteutettuna.



■ Suunnittelu (verkkosivu)
 ■ Verkkosivun koodaus
 ■ kulutusprofiili data
 ■ Varmuuskopio heinä, elo, syys
 ■ Datakeskus heinä, elo, syys
 ■ Verkkokauppa heinä, elo, syys
 ■ Mobiilisovellus

Mobiilisovelluksen päästöjen jakautuminen. Kuvaaja esittää mobiilisovelluksen päästöjen jakautumisen ja niiden kokoluokat toisiinsa suhteutettuna.



Verkkopalvelun tuotannon ja kulutuksen päästöt.

Päästöt heinä-, elo- ja syyskuun ajalta jaoteltu tuotannon ja käytön päästöjen mukaan:

Tuotanto	Päästöt kg CO ₂ e
Mobiilisovelluksen suunnittelu	1650
Mobiilisovelluksen koodaus	12,4
Verkkosivun suunnittelu	255
Verkkosivun koodaus	1,03
Verkkokaupan koodaus	0,516
Yht.	1919

Käyttö	Päästöt kg CO ₂ e
Ostot mobiilisovelluksessa	0,00283
Sovelluksen lataaminen	0,255
Datakeskus	7,85
Varmuuskopio	1,52
Kulutusprofiili	5,34
Ostot verkkokaupassa	0,00227
Yht.	15

Sesonkiviikon käytön aikaiset päästöt:

Käyttö	Päästöt kg CO ₂ e
Ostot mobiilisovelluksessa	0,000945
Sovelluksen lataaminen	0,0425
Datakeskus	0,597
Varmuuskopio	0,116
Kulutusprofiili	0,672
Ostot verkkokaupassa	0,000284
Yht.	1,4