LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
LUT School Of Energy Systems
Ympäristötekniikan Koulutusohjelma

Huostila Anna:

ILMASTOYSTÄVÄLLINEN GOLFKENTTÄ CASE: MERI-TEIJO GOLF

Työn tarkastajat: Professori, TkT Lassi Linnanen
Tutkijatohtori, TkT Ville Uusitalo

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Anna Huostila
Ilmastoystävällinen golfkenttä: CASE Meri-Teijo Golf
Diplomityö
2017

132 sivua, 9 kuvaa, 22 taulukkoa ja 3 liitettä

Tarkastajat: Professori, TkT Lassi Linnanen
Tekniikan Tohtori, Ville Uusitalo

Hakusanat: Hiilijalanjälki; Elinkaariarviointi; Golfkenttä; Kasvihuonekaasut
Keywords: Carbon footprint; Lifecycle analysis (LCA); Golf cource; GHG-emissions

Tämän diplomityön tavoitteena on tutkia Meri-Teijo Golfin toiminnan hiilijalanjälkeä, sekä määrittää muut ympäristön kannalta toiminnasta seuraavat riskitekijät. Hiiliajalanjäljen laskenta suoritettiin kansainvälisten standardien mukaisesti käyttämällä hyväksi GaBi 6.0 – elinkaariarvioinnin mallinnusohjelmistoa, sekä kirjallisuudesta peräisin olevia tietoja. Lähtötietoja kerättiin vuoden 2016 ja 2017 aikana Meri-Teijo Golfista. Työssä tarkasteltavaksi systeemiksi rajattiin golfkentän hoidon ydintoimenpiteet, työntekijöiden työmatkat, ravintolan ruoankuljetusmatkat sekä pelaajien matkustaminen kentälle.

Työssä havaittiin, että suurin vaikutus itse kentän toiminnassa on kentän hoidolla. Hiilijalanjäljen kannalta merkittävin kentän hoidon toimenpide on työkoneiden käyttö. Toiseksi suurin päästöjen aiheuttaja on lannoitteiden käyttö ja kolmanneksi suurin kentän hoidon toimenpiteistä vapautuvat typpioksuudilipäästöt. Hiilijalanjälkilaskennan kautta voidaan todeta, että golfin pelaamisen suurin päästöjen aiheuttaja on kentälle matkustaminen, joka muodostaa kolminkertaisen määrän kentän sisäiseen toimintaan nähden.

Kun hiilijalanjälki on määritetty, voidaan sitä vähentää muokkaamalla omaa toimintaa vähähiilisemmäksi, lisäämällä hiilen sidontakykyä kentällä, sekä ostamalla päästöhyvityksiä. Omaa toimintaa voidaan muokata ottamalla käyttöön biopolttoaineita kentän hoidossa sekä kierrättämällä ravinteita kasteluveden kautta. Hiilensidontaa voidaan lisätä kentän alueella istuttamalla sinne kasveja, jotka sitovat hiiltä tehokkaasti. Edellä kuvattujen toimenpiteiden jälkeen, jäljellejäävä hiilijalanjälki voidaan kompensoida ostamalla päästölupia. Ensisijaisesti päästöjä tulee kuitenkin vähentää muuttamalla omaa toimintaa vähähiilisemmäksi.

Ilmastonmuutoksen lisäksi muita ympäristökysymyksiä, joita Meri-Teijo Golfin tulee toiminnassaan huomioida ovat rehevöityminen ja makean veden kulutus. Tutkimuksessa huomattiin, että vähentämällä hiilijalanjälkeä saavutetaan positiivisia vaikutuksia ympäristössä.

ABSTRACT
Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
Degree Programme in Environmental Technology

Anna Huostila

Climate friendly golf course: CASE Meri-Teijo Golf
Master's thesis
2017

132 pages, 9 pictures, 22 tables and 3 appendices

Examiners: Professor, Ph.D., Lassi Linnanen
Ph.D., Ville Uusitalo

Keywords: Carbon footprint; Lifecycle analysis; (LCA); Golf cource; GHG-emissions

In this master's thesis, the goal was to study the carbon footprint of Meri-Teijo Golf. Another aim was to study what are the main environmental risks in the operation of golf course. The calculation of carbon footprint was done by using international standards and lifecycle analysis program GaBi 6.0. Data for calculations were from literature and Meri-Teijo Golf. Data from Meri-Teijo Golf was harvested during 2016-2017. System boundary included the key operations in golf course management, food transport to restaurant in the course and commuting. There was also included the traveling of players to golf course.

In this thesis, it was discovered that the most significant impact to Meri-Teijo Golf's own carbon footprint was the usage of working machines in lawn management operations. In the second place was usage of fertilizer and in the third place nitrogenous oxide emissions from lawn management operations. However, the emissions from the traveling of players to play, were significantly higher that the emissions from the golf course operation itself emitted.

After the carbon footprint is calculated, there has to think how to make it smaller. There are few ways to make the footprint smaller: cutting emissions from own operations and increasing the carbon sequestration in the golf course area. Emissions can be cut by using biofuels in working machines and recycling nutrients via watering system. Carbon can be sequestrated by planting plants that can sequestrate carbon effectively. When these operations are done, the rest of footprint can be compensated by buying emission credits.

Climate change is not the only environmental risk that Meri Teijo Golf had in their operation. Other environmental risks were over consumption of fresh water and eutrophication. In the study was discovered that by cutting carbon footprint, the other environmental risks were decreased.

ALKUSANAT

Alkusanojen kirjoittamisessa on samaa fiilistä kuin loppukirissä. Vielä pitää puristaa viimeiset voimat, jotta voi saavuttaa maalin, joka tässä tapauksessa on valmistuminen diplomi-insinööriksi. Olo loppusuoralla on onnellinen. Kohta se on ohi. Opiskelu. Ainakin tältä erää. On aika siirtyä eteenpäin kohti uusia tavoitteita ja mahdollisuuksia, joita elämä valmistumisen jälkeen tuo.

Haluan kiittää diplomityöni tilaajaa Meri-Teijo Golfia. Erityisesti Tommy Skogsteria ja Jyrki Sahlströmmiä. Teidän ansiostanne pääsin mukaan kiehtovaan projektiin, jonka aikana olen oppinut paljon. Neuvoista ja ideoista työhön haluan kiittää Jouni Kerosta Climate Leadership Counsilista ja Jyri Seppälää Suomen Ympäristökeskuksesta. Kiitos kuuluu toki myös muille työssä mukana olleille henkilöille ja tahoille.

Ohjaajiani Ville Uusitaloa ja Lassi Linnasta Lappeenrannan Teknillisestä Yliopistosta haluan kiittää diplomityöni ohjauksesta. Parempaa ohjausta saa hakea! Haluan kiittää myös muuta LUT SuScin työporukkaa loistavasta työilmapiiristä.

Lopuksi suurin kiitos kuuluu lähipiirilleni, joka on kannustanut minua elämässä eteenpäin ja tavoittelemaan unelmiani. Isäni on ollut minulle esikuva ja osasyy siihen, miten päädyin opiskelemaan Lappeenrantaan. Erityisesti Anssia haluan kiittää siitä, että hän on tuonut vastapainoa opiskeluihini ja tukenut minua aina.

Hämeenlinnassa 13.9.17
Anna

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO 11
1.1 Työn tausta 12
1.2 Työn tavoitteet ja käytettävät menetelmät 13
2 MAAPALLON KESTÄVYYSHAASTEET 15
2.1 Planeettarajat maapallon sietokyvyn indikaattoreina 15
2.2 Ilmastonmuutos 17
2.3 Muut planeettarajat 19
3 ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUS GOLFIIN 27
4 ELINKAARIARVIOINTI JA HIILIJALANJÄLKI 29
4.1 Elinkaariarviointi 29
4.1.1 ISO 14040 30
4.1.2 ISO 14044 32
4.2 Hiilijalanjälki 35
4.2.1 ISO 14064 36
4.2.2 ISO 14067 39
4.2.3 GHG – Protocol 40
4.2.4 PAS 2050:2011 43
4.3 GaBi Professional -elinkaariarvioinnin mallinnusohjelma 44
5 CASE: MERI-TEIJO GOLF 46
5.1. Työn tavoitteet ja soveltamisala 47
5.2 Inventaarioanalyysi 48
5.2.1 Sähkönkulutus 52
5.2.2 Kasvinsuojeluaineet 53
5.2.3 Lannoitus 55

5.2.4 Kentänhoitokaluston polttoaineen kulutus 57
5.2.5 Hiekan kulutus ja kuljetus 59
5.2.6 Jätevesien käsittely 60
5.2.7 Typpioksiduulipäästöt 62
5.2.8 Pelaajien ajomatka Meri-Teijo Golfiin 64
5.2.9 Työntekijöiden työmatkat 67
5.2.10 Jätehuolto 68
5.2.11 Ruoan kuljetus ravintolaan 69
5.2.12 Makean vedenkulutus 70
5.4 Vaikutusten arviointi 71
5.4.1 Hiilijalanjälki 71
5.4.2 Muut ympäristövaikutukset 76
5.5 Tulosten tulkinta 79
5.5.1 Herkkyystarkastelu 84
6 KOHTI ILMASTOYSTÄVÄLLISTÄ MERI-TEIJO GOLFIA 90
6.1 Scope 1 –päästöjen vähentäminen 91
6.1.1 Työkoneiden kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen 92
6.1.2 Ruohonleikkausjäte lannoitteiden korvaajana 94
6.1.3 Primo-Maxx:n käyttö kasvun hidasteena 95
6.1.4 Lannoitteiden kierrätysjärjestelmä 96
6.2 Scope 2: Energian tuotannosta aiheutuvien epäsuorien päästöjen vähentäminen 99
6.3 Scope 3: Muiden epäsuorien päästöjen vähentäminen 101
6.3 Scope 4: Kasvihuonekaasupäästöjen kompensointi 102
6.4.1 Hiilensidontakykyn lisääminen golfkentän alueella 103
6.4.2 Biohiilen lisääminen maaperään 103
6.4.3 Kasvihuonekaasupäästöjen hyvittäminen 105

6.5 Aikataulu ja toteutus 107

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO 110

7.1 Jatkoehdotuksia 117

LÄHTEET 119

LIITTEET:

Liite I, Kasvinsuojeluaineiden käyttötiedot vuonna 2016

Liite II, Lannoituksen ravinneaineiden yhteenveto

Liite III: Työkonelista, koneiden käyttötunnit vuosittain 2014-2016 sekä käytettävät polttoaineet

SYMBOLIT

Yksiköt

CF	Tuotteen elinkaaren hiilijalanjälki	[$kgCO_{2eq,}tCO_{2eq,}$]
EM	Kasvihuonekaasupäästön määrä	[kg]
	Matka	[km]
	Massa	[g], [kg], [t]
	Pinta-ala	[ha]
	Prosentti	[%]
	Päivä	[d]
	Tilavuus	[l], [m^3]
	Viikko	[vko]
	Vuosi	[a]

Kemiallisetmerkit

Ca	Kalkki, Kalsium
CH_4	Metaani
CO_2	Hiilidioksidi
CO	Hiilimonoksidi
e^-	Negatiivinen elektroni
H^+	Vetyioni
HC	Hiilivety –yhdiste
HFC	Fluorihiilivedyt
H_2O	Vesi
K	Kalium
N	Typpi
N_2	Typpikaasu
N_2O	Typpioksiduuli
NO_x	Typenoksidi
NO	Typpimonoksidi
NO_2	Typpidioksidi
NH_3	Ammoniakki

NO_2^-	Nitriitti
NO_3^-	Nitraatti
0_2	Happi
P	Fosfori
PFC	Perfluoratut yhdisteet
PM	Pienhiukkaset
PO_4^{3-}	Fosfaatti
SF_6	Rikkiheksafluoridi

Alaindeksit

eq	ekvivalentti
i	elinkaareen vaihe

Lyhenteet

BSI	British Standards Institution
CDM	Clean Development mechanism
CER	Certified Emission Reduction
CO_{2eq}	Hiilidioksidiekvivalentti
Defra	Department of Environment, Food and Agriculture
DU	Dopson Unit
ERU	Emission Reduction Unit
GHG	Greenhouse gas, suom. Kasvihuonekaasu
GWP	Ilmastonlämpenemiskerroin
ISO	International Organization for Standardization
JI	Joint Implementation
LCA	Lifecycle Assesment, suom. Elinkaariarviointi
LCI	Lifecycle Inventory, suom. Inventaarioanalyysi
LCIA	Lifecycle Impact Assessment, suom. Vaikutusten arviointi
NREL	National Renewable Energy Laboratory
STERF	Scandinavian Turffgrass and Environment Research Foundation
VCS	Verified Carbon Standard
VCU	Verified Carbon Unit

VER	Verified Emission Reduction
VTT	Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus
WBCSD	World Bussiness Counsil on Sustainable Development
WRI	World Resources Institute

1 JOHDANTO

Golf on eräs maailman suosituimmista urheilulajeista. Golfin juuret ovat antiikin Roomassa, jossa noin 100 vuotta ennen ajanlaskumme alkua pelattiin golfia muistuttavaa peliä nahkapallolla ja taivutetulla mailalla. Nykyaikaista golfia on ensimmäisen kerran pelattu 1500-luvulla. Tänä päivänä golf on olympialaji, ja harrastajakuntaan kuuluu pelaajia eri ikäryhmistä ja maista. (International Golf Federation 2017a.) Kansainväliseen Golf Liittoon kuuluu 149 lajiliittoa 144 maasta. Golfin harrastajia maailmassa on yli 60 miljoonaa. (International Golf Federation 2017b.)

Suomessa golf on eräs suosituimmista urheilulajeista. Tällä hetkellä Suomessa on yhteensä 130 Suomen Golfliiton alaista jäsenseuraa, joissa pelaa noin 145 000 jäsentä. Ensimmäinen golfkenttä perustettiin Suomeen 1932. Suomessa sijaitsee yhteensä yli 150 golfkenttää. Eteläisin kenttä sijaitsee Hangossa ja pohjoisin Kittilässä. (Suomen Golfliitto 2017.)

Ilmastonmuutos on eräs nykypäivän suurimmista haasteista, joka koskettaa jokaista maapallolla elävää olentoa. Ilmastonmuutos uhkaa kestävää kehitystä, ihmisten hyvinvointia ja samalla koko ihmiskunnan tulevaisuutta. Ilmastonmuutos aiheuttaa maailmanlaajuisia ympäristötuhoja ja ihmiskunnan kärsimystä, mitkä eivät jakaudu tasaisesti. Nämä edellä kuvatut seuraukset koskettavat todennäköisimmin maailman köyhimpiä maita, sillä niillä on heikoin kyky reagoida ja mukautua ilmastonmuutoksen aiheuttamiin seurauksiin. (Suomen YK-liitto 2017.) (Suomen Luonnonsuojeluliitto 2017.)

Ilmastonmuutoksen seurauksia on mahdollista estää ja lieventää, sekä seurauksiin on mahdollista sopeutua. Se kuka pystyy sopeutumaan ilmastonmuutokseen ja lieventämään omaa ilmastovaikutustaan selviää ilmastonmuutoksesta muita paremmin. Jotta ilmastonmuutoksen vaikutusta voidaan pienentää, on selvää, että ilmastonmuutoksen eteneminen on saatava pysäytettyä vähentämällä kasvihuonekaasupäästöjä. Kasvihuonekaasupäästöjä on mahdollista vähentää, kun ensin tiedostetaan, mitkä ovat sellaisia toimintoja joista päästöjä eniten syntyy. Tähän on avuksi kehitetty erilaisia laskentamenetelmiä. Eräs niistä on hiilijalanjälki, joka kuvaa ihmisen, yrityksen, tuotteen tai jonkin prosessin kasvihuonekaasupäästöjä tietyllä aikavälillä.

Ilmastonmuutoksen pysäyttämiseksi on perustettu erilaisia järjestöjä, kehitetty lainsäädäntöä ja allekirjoitettu ilmastosopimuksia. Tärkeässä asemassa ilmastonmuutoksen hillinnässä ovat myös yksittäisten ihmisten teot. Esikuvat ja esimerkki ovat tärkeitä motivoitaessa yksittäisiä ihmisiä käyttäytymään ilmastomyönteisellä tavalla. Erityisen tärkeässä asemassa ovat urheilun ja urheilijoiden valta esimerkin näyttäjinä. Ihmiset ihailevat urheilijoita, ja haluavat usein olla heidän kaltaisiaan. Mikäli urheilija käyttäytyy ilmastoystävällisesti, häntä ihailevat ihmiset ottavat omassa käytöksessään urheilijasta mallia. Urheilu ja urheilutapahtumat koskettavat laajaa ihmisryhmää, minkä takia urheilu saattaa olla jopa tiedettä tehokkaampi keino levittää tietoa ilmastonmuutoksesta. Oikeanlaisella ympäristöviestinnällä ja –kasvatuksella on mahdollista levittää tietoa jokaisen ihmisen ilmastovastuusta. (Olympiakomitea 2017.)

On tutkittu, että liikuntaharrastuksella ja –harrastuspaikalla on tärkeä vaikutus esimerkin näyttäjänä kohti kestävää tulevaisuutta. Tämän taustalla on ajatus siitä, että mikäli ihmiselle mielekkäässä harrastusympäristössä toimitaan ilmastomyönteisesti, esimerkki innostaa ja motivoi ihmisiä toimimaan ilmastomyönteisesti myös harrastuksen ulkopuolisessa elämässä. (Gholami et.Al. 2016.) Esimerkiksi, mikäli ihminen harrastaa golfia kentällä, joka toimii tavalla joka kuormittaa ilmastoa vähän, saattaa harrastaja alkaa tehdä ilmastomyönteisempiä valintoja myös kotonaan ja muulla vapaa-ajallaan.

1.1 Työn tausta

Vuonna 2016 Climate Leadership Councilin toiminnanjohtaja Jouni Keronen sai yhdessä Meri-Teijo Golfin hallituksen puheenjohtaja Tommy Skogsterin ja hallituksen jäsenen Jyrki Sahlströmin kanssa idean kehittää hiilineutraalin golfkentän. Vision toteutuessa, Meri-Teijo olisi Suomen ensimmäinen hiilineutraali golfkenttä. Hiilineutraalilla golfkentällä olisi tarkoitus pienentää kentän hiilijalanjälkeä, luoda ratkaisuja, joiden avulla neutraloida niitä päästöjä, joita muilla keinoilla ei saada vähennettyä, sekä motivoida kentän sidosryhmiä toimimaan harrastuksen ulkopuolella tavalla, joka kuormittaisi ilmastoa aikaisempaa vähemmän. Meri-Teijo Golfin on tarkoitus käyttää hiilijalanjälkiselvityksestä saatuja tietoja

hyväkseen markkinoinnissa. Markkinoidessaan itseään ilmastoystävällisenä golfkenttänä, on Meri-Teijo Golfin mahdollisuutta saada kilpailuetua kilpailijoihinsa nähden.

1.2 Työn tavoitteet ja käytettävät menetelmät

Tämän diplomityön tarkoituksena on määrittää Meri-Teijo Golfin toiminnan vaikutus ilmastonmuutokseen. Kun Meri-Teijo Golfin ilmastovaikutus on saatu selville, kehitetään tapoja vähentää toiminnan ilmastokuormitusta. Työn tarkoituksena on tuottaa tärkeää tietoa Meri-Teijo Golfille heidän ilmastovaikutuksestaan, mitä he voivat käyttää hyväksi omassa viestinnässään sidosryhmille. Ilmastoviestinnällä Meri-Teijo Golfin on mahdollista näyttää esimerkkiä sidosryhmilleen ilmastomyönteisestä toiminnasta, sekä luoda kilpailuetua muihin golfkenttiin nähden. Samalla Meri-Teijo Golfilla on mahdollisuus motivoida sidosryhmiään ilmastomyönteiseen toimintaan ja pienentämään omaa henkilökohtaista hiilijalanjälkeään.

Työn tutkimuskysymykset:

- Mikä on Meri-Teijo Golfin toiminnan hiilijalanjälki ja mitkä golfkentän toiminnat aiheuttavat merkittävimmän osan kasvihuonekaasupäästöistä?
- Mikä on pelaajien matkustamisen merkitys kasvihuonekaasupäästöjen syntymiseen?
- Millä toimenpiteillä saavutetaan hiilineutraali golfkenttä?
- Mitä muita keskeisiä ympäristövaikutuksia kentän toiminnalla on?

Työ rakentuu kahdesta osasta; teoriasta ja tutkimusosasta. Teoriaosassa tarkastellaan ilmastonmuutosta osana maapallon kantokyvyn rajoja. Osassa määritellään tarkemmin kaikki maapallon sietokyvyn rajat sekä kuvataan niiden suhdetta ilmastonmuutokseen. Teoriaosa sisältää myös kappaleen siitä, miten ilmastonmuutos on vaikuttaa golfalaan. Teoriaosion viimeisessä luvussa käsitellään työssä käytettäviä standardeja ja elinkaarimallinnusohjelmaa.

Työn tutkimusosassa Meri-Teijo Golfin toiminnan vaikutusta ilmastonmuutokseen on tarkoitus mallintaa laskemalla toiminnalle hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskennassa ja siitä raportoimisessa käytetään hyväksi elinkaariarvioinnin (LCA:n) ISO-standardeja 14040 ja 14044 sekä hiilijalanjälkilaskennan ISO-standardeja 14064 ja 14067. Hiilijalanjälkilaskennassa on tarkoitus huomioida kentän hoitotoimenpiteiden, kentän energian, veden ja polttoaineiden kulutuksen, ravintolan toimintaan, työntekijöiden työmatkoihin, jäteveden puhdistukseen ja jätehuoltoon. Tutkimuksessa vertaillaan myös Meri-Teijo Golfiin matkustamisen hiilijalanjälkeä kentän oman toiminnan hiilijalanjälkeen. Laskenta suoritetaan käyttämällä hyväksi elinkaarimallinnusohjelma GaBi:a. Kun hiilijalanjälki on laskettu, on mahdollista pohtia, miten se suhteutuu keskimääräisen suomalaisen hiilijalanjälkeen. Ilmastovaikutuksen lisäksi voidaan pohtia mitä muita vaikutuksia ympäristöön kentän toiminnalla on.

Sen jälkeen, kun Meri-Teijo Golfin toiminnan hiilijalanjälki on määritetty, voidaan selvittää, millä kentän toiminnoilla on merkittävin vaikutus ilmastonmuutoksen voimistumiseen. Eli mitkä toiminnot ovat merkittävimpiä kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajia. Merkittävimpien päästölähteiden selvityksen perusteella määritellään ne toimenpiteet, joilla hiilijalanjälkeä voi pienentää sekä suunnitelma hiilijalanjäljen pienentämisen aikataulusta.

2 MAAPALLON KESTÄVYYSHAASTEET

Tässä työssä tutkitaan Meri-Teijo Golfin toiminnan ilmastovaikutusta, sitä mitkä toiminnan osa-alueet ovat ilmastonmuutosta kuormittavia ja minkälainen kuormitus toiminnoista aiheutuu. Ensin on kuitenkin ymmärrettävä mitä ilmastonmuutoksella tarkoitetaan. On ymmärrettävä mitkä häiriöt maapallon toimintakyvyssä ovat ilmastonmuutoksen suoria ja epäsuoria seurauksia. Lisäksi on hyvä ymmärtää mitä vuorovaikutussuhteita ilmastonmuutoksella on muiden ympäristönäkökulmien kanssa. Näillä ympäristönäkökulmilla tarkoitetaan maapallon sietokykyä kuvaavia planeettarajoja.

2.1 Planeettarajat maapallon sietokyvyn indikaattoreina

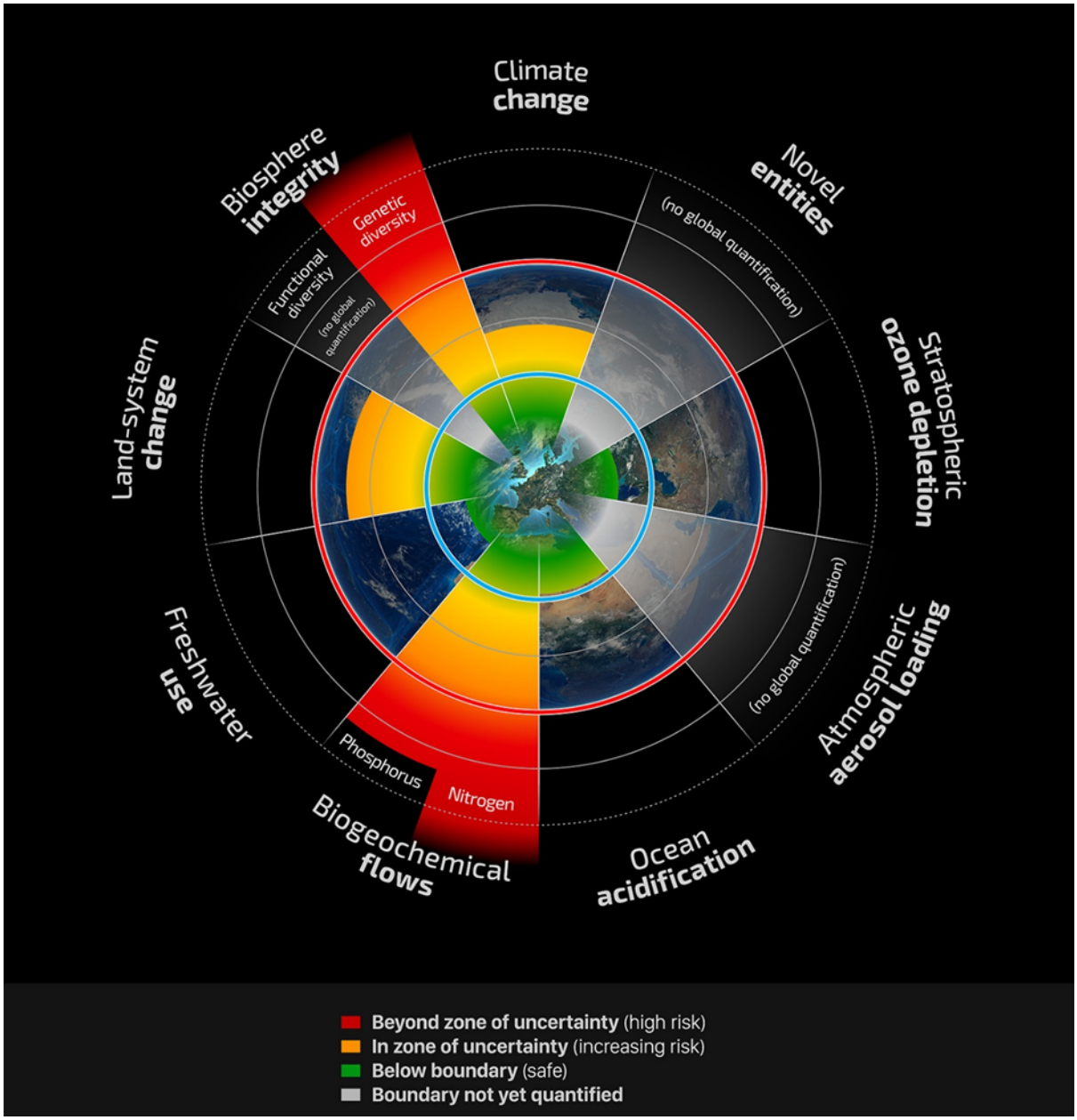
Planeettarajat ovat Johan Rockstömin tutkimusryhmän vuonna 2009 kehittämä käsite maapallon sietokyvyn eri osa-alueista, ja niiden konkreettisista raja-arvoista (Rockström et.Al. 2009). Vuonna 2015 julkaistiin päivitys Rockströmin vuoden 2009 tutkimukseen. Päivityksen pääkirjoittajana toimi Will Steffen. Päivityksen tarkoituksena on vahvistaa vuonna 2009 määritettyjen rajojen käsitteitä sekä lisätä niiden tieteellistä taustaa. (Steffen et. Al.2015.) Ilmastonmuutos on eräs ydinplaneettaraja. Ilmastonmuutoksen lisäksi muita planeettarajoja ovat biofäärinen haavoittuvaisuus toisin sanoen biodiversiteettikato, stratosfäärinen otsonikato, typen ja fosforin kierron häiriintyminen, merien happamoituminen, makean veden riittävyys, uusien keinoteknoisten yhdisteiden vaikutus maapallon toimintakykyyn sekä maankäytön muutos. (Rockström et.Al. 2009.)

Rockström et. Al. (2009) ja Steffen et.Al. (2015) tutkimuksissa ilmastonmuutoksen ja biosfäärisen haavoittuvuuden on todettu olevan maapallon toimintakyvyn kannalta kaksi ydinplaneettarajaa (Steffen et. Al. 2015). Planeettarajat ovat yhteydessä toisiinsa ja yhden planeettarajan ylittäminen voi edesauttaa huomattavasti toisen planeettarajan ylittymistä. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen ja lisääntyneen hiilidioksidipitoisuuden on todettu kiihdyttävän merien happamoitumista (IPCC 2013, 12). Planeettarajat voidaan luokitella alueellisiin tai globaaleihin rajoihin. Luokittelu perustuu rajan ylityksen vaikutusalaan, eli

siihen, onko rajan ylityksestä seuraavien muutoksien vaikutusalue globaali vai alueellinen. (Rockström et. Al. 2009.)

Vuoden 2009 tutkimuksen mukaan maapallon sietokyky oli ylitetty neljällä osa-alueella; ilmastonmuutoksen, typen ja fosforin kierron sekä biodiversiteetin heikentymisen kohdalla. (Rockström et.Al. 2015.) Vuonna 2015 julkaistun tutkimuksen mukaan viidellä eri osa-alueella maapallon sietokyky on jo ylittynyt. Vuonna 2009 tunnistettujen sietokyvyn rajojen lisäksi, raja on ylitetty maankäytön muutoksen osalta. (Steffen et. Al. 2015.)

Määrittääkseen maapallon sietokyvyn rajoja, Rockströmin tutkimusryhmä asetti erilaisia raja-arvoja maapallon sietokyvyn eri osa-alueille, joita Steffenin tutkimusryhmä vuoden 2015 tutkimuksessaan tarkensi. Aerosoli- sekä uusien yhdisteiden aiheuttamalle kuormitukselle ole vielä vuoden 2015 tutkimuksessakaan kyetty asettamaan tarkkaa raja-arvoa. Raja-arvon tarkoituksena on osoittaa konkreettinen raja maapallon sietokyvyn osa-alueelle tai epävarmuudelle siitä mitä tapahtuu, kun raja ylitetään. (Rockström et.Al. 2009.) (Steffen et.Al. 2015.) Kuva 1 esittää planeettarajat sekä niiden kuormituksen tällä hetkellä. Punainen väri kuvaa tilannetta, missä raja on selkeästi ylitetty ja riski maapallon toimintakyvyn häiriytymiselle on suuri. Keltainen puolestaan kuvaa tilannetta, jossa maapallon sietokyvyn raja on ylitetty ja riski toimintakyvyn häiriytymiselle on lisääntymässä. Vihreä väri kuvaa tilannetta, jossa ihmiskunnan toiminta on vielä maapallon sietokyvyn rajoissa.



Kuva 1. Planeettarajat (Pharand-Deschênes /Globaïa 2016).

2.2 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutos on yksi Rockströmin tutkimusryhmän määrittämistä ydinplaneettarajoista. (Rocktröm et. Al. 2009.) Ilmastonmuutoksella tarkoitetaan maapallon keskilämpötilan nousua, ja siitä seuraavia muutoksia ilmastossa. Keskilämpötilan nousu johtuu kasvihuonekaasujen lisääntyneistä pitoisuuksista ilmakehässä. Lämpötilan nousu perustuu

siihen, että kasvihuonekaasuilla on säteilypakotetta voimistava vaikutus. Kasvihuonekaasuista tärkeimmät ovat hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4) ja typpioksiduuli (N_2O). Kasvihuonekaasujapäästöjä syntyy ihmisen toimista. Päästöjä vapauttavia ihmisen toimintoja ovat muun muassa fossiilisten polttoaineiden käyttö polttomoottoreissa ja energiantuotannossa sekä maankäytön muutos. (IPCC 2013, 121.)

Ilmastonmuutoksen käynnistyminen on seurausta maapallon sietokyvyn ylityksestä (Rockström et. Al. 2009). Ilmastonmuutoksen seurauksena maapallon keskilämpötila on jo noussut +0,85 ºC teollistumisen aikakauden alusta ja keskilämpötila kohoaa jatkuvasti. Kansainvälisen ilmastonmuutos paneeli IPCC:n (International Panel of Climate Change) asettamana tavoitteena on pysäyttää ilmaston lämpeneminen + 2 ºC. (IPCC 2014a, 2,8.) Mikäli ilmastonmuutosta halutaan saada hidastumaan, on ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden ja säteilypakotteen kasvu saatava pysähtymään. Tämä on mahdollista vain vähentämällä maapallon kasvihuonekaasupäästöjen, etenkin hiilidioksidipäästöjen määrää. (Rockström et.Al. 2009.)

Ilmastonmuutos on kompleksinen ilmiö. Kompleksisuutta kuvaavat moniulotteiset seuraukset ja vuorovaikutussuhteet. Ilmastonmuutos on kytköksissä muiden maapallon toimintakykyä säätelevien planeettarajojen kanssa. Ilmastonmuutoksella on todettu olevan vaikutusta maankäytönmuutokseen, biodiversiteettiin, typen- ja fosforinkiertoon, pienhiukkaskuormitukseen, makean veden riittävyyteen ja merien happamoitumiseen. Toisaalta esimerkiksi maankäytön muutoksella ja ilmastonmuutoksella on todettu olevan molemmin puolinen vaikutus toisiinsa. (Steffen et. Al. 2015.)

Planeettarajojen kehittäjät Johan Rocström ja Will Steffen ovat keskittyneet raporteissaan tarkastelemaan ilmastonmuutosta ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden ja maapallon säteilypakotteen kautta. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta voidaan mitata, ja mittaustuloksia käyttää hyväksi, kun ilmastonmuutoksen voimakkuutta arvioidaan. Vuoden 2015 tutkimuksessa Steffenin tutkimusryhmä määritti maapallon sietokyvyn rajaksi hiilidioksidipitoisuuden osalta 350 ppm. Tällä hetkellä hiilidioksidipitoisuusilmakehässä on jo ylittänyt kyseisen rajan, ollen 400 ppm, ja sen pitoisuuden uskotaan koko ajan kasvavan. Radioaktiivinen säteily on määritetty tutkimuksissa toiseksi ilmastonmuutoksen

planeettarajaindikaattoriksi. Säteilypakotteen raja-arvoksi on määritetty +1 W/m^2. Vuonna 2011 säteilypakote on ollut +2,3 W/m^2. (Steffen et.Al. 2015.)

2.3 Muut planeettarajat

Ilmastonmuutoksen lisäksi muita planeettarajoja ovat merien happamoituminen, stratosfäärinen otsonikato, fosforin ja typen kierron häiriintyminen, biosfäärinen haavoittuvaisuus, makean veden kulutus, maankäytön muutos, aerosolikuormitus sekä keinotekoisten yhdisteiden kerääntyminen maaperään. Seuraavissa kappaleissa on kuvattu lyhyesti muut planeettarajat. Kuvauksessa on selvitetty niiden merkitys maapallon toimintakyvyn näkökulmasta sekä Rockströmin ja Steffenin tutkimusryhmien asettamat raja-arvot näille planeettarajoille, mikäli raja-arvo on mahdollista määrittää.

Merien happamoituminen

Meriveden happamoituminen on lisääntynyt teollistumisen aikakaudella 0,1 pH:lla. Merien happamoituminen on seurausta lisääntyneestä ilmakehän hiilidioksidipitoisuudesta. (IPCC 2013, 259.) Meret absorboivat noin neljäsosan fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuvista hiilidioksidipäästöistä. Osa hiilidioksidista muuttuu orgaaniseksi aineksesksi, kun merissä elävät planktonit prosessoivat niitä. Jäljelle jäävät hiilidioksidi reagoi meriveden kanssa niin, että muodostuu happamia yhdisteitä. Meriveden hiilidioksidin sidontakykyyn vaikuttaa veden lämpötila; viileämpi merivesi sitoo hiiltä tehokkaammin kuin lämpimämpi. Ilmastonmuutoksen nostaessa maapallon keskilämpötilaa, myös meriveden lämpötila kohoaa. On todettu, että mikäli ilmastonmuutos nostaa maapallon keskilämpötilaa +2 °C. sitoo merivesi hiilidioksidia 10 % vähemmän kuin mitä ennen lämpötilan nousua. Jotta merien happamoituminen ja siitä seuraavia negatiivisia reaktioita saataisiin minimoitua, on hiilidioksidipäästöjä saatava vähennettyä, ei pelkästään ilmastonmuutoksen, vaan myös merien happamoitumisen kannalta. (IPCC 2013, 297-298.) Happamoitumisella on vaikutusta myös merien ravinnekiertoon sekä happipitoisuuden vähentymiseen, ja näin ollen merien toimintakykyyn. (IPCC 2014, 417.)

Vapaiden vetyionien määrä merissä on kasvanut viimeisen 200 vuoden aikana 30 % ilmakehän lisääntyneen hiilidioksidipitoisuuden takia. Vetyionien määrän lisääntymisellä on vaikutusta merien karbonaattikiertoon. On todettu, että etenkin aragoniitin ($CaCO_3$) eli erään kalsiumkarbonaatin kierto on heikentynyt lisääntyneen happamoitumisen takia. Steffenin vuoden 2015 tutkimuksen mukaan raja-arvona merien happamoitumiselle pidetään $\geq$ 80 % Ω_{CaCO3} ennen teollistumisen aikakautta. Tällä on tarkoitus havainnollistaa aragoniitin liukenemiskykyä meriveteen. Mikäli arvo on alle 100 $\Omega_{CaCO3,}$ aragoniitti pystyy vielä liukenemaan meriveteen. Tällä hetkellä Ω_{CaCO3} taso on noin 84 % enemmän kuin ennen teollistumisen aikakautta. (Steffen 2015.)

Stratosfäärinen otsonikato

Otsonikerrosta ohentavien aiheiden, kuten klorofluorikarbonien (CFC-yhdisteet), pääsy ilmakehään ohentaa otsonikerrosta ja saa siihen aikaa pahimmissa tapauksissa reikiä. Tätä ilmiötä kutsutaan stratosfääriseksi otsonikadoksi. Otsonikerroksen tarkoituksena on ehkäistä ihmisille ja merisysteemeille haitallisen ultraviolettisäteilyn (UV-säteily) pääsy maapallon pinnalle. Mikäli otsonikerrokseen muodostuu ohenemia tai reikiä UV-säteilyn kululle maapallon pinnalle ei ole esteitä. Lisääntynyt UV-säteilyn määrä vaikuttaa negatiivisesti merien toimintaan sekä ihmisten terveyteen. (Rockström et.Al 2009.)

Otsonikatoa aiheuttavien CFC-yhdisteiden käyttö lisää polaaris-stratosfääristen pilvien muodostumista. Polaaris-stratosfääriset pilvet absorboivat tehokkaasti pitkäaaltoista säteilyä avaruudesta. Mikäli polaaris-stratosfääristen pilvien määrä lisääntyy CFC-yhdisteiden käytön myötä, myös maapallon lämpötila kohoaa, kun avaruuden lämpösäteily jää pilviin. (IPCC 2013, 126.) Toisaalta on myös mahdollista, että ilmastonmuutoksen aiheuttama ilmaston lämpenemisellä on vaikutusta polaaris-stratosfääristen pilvien muodostumiseen. (Rockström et.Al. 2009).

Maapallon sietokyvyn raja-arvoksi on otsonikerroksen ohenemisen osalta määritetty 276 DU (Dodson Unit.). Tätä alemmaksi raja-arvo ei saa laskea. Tällä hetkellä otsonikerroksen arvo on 283 DU otsonia. Stratosfäärisen otsonikerroksen oheneminen on

saatu pysäytettyä Motrealin Protocollan myötä. Motrealin Protocollassa CFC-yhdisteiden käyttö kiellettiin. (Steffen et.Al. 2015.)

Fosforin ja typen kierron häiriintyminen

Fosforin ja typen kierron on todettu olevan eräs maapallon toimintakykyä säätelevä toiminto (Rockström et.Al. 2009.). Fosfori ja typpi ovat elämälle tärkeitä biokemiallisia ravinteita. Fosforia ja typpeä lisätään maaperään lannoitteiden kautta tehostamaan ruoantuotantoa. Viime vuosien aikana ympäristön fosfori- ja typpipitoisuudet maaperässä sekä vesistöissä ovat olleet kasvussa. Tämä johtuu väestönkasvun aiheuttamasta ruoantuotannon tarpeen kasvusta, sekä teollisuuden päästöistä. (GPNM&INI 2013, ix.)

Vesistöjen ja maaperän rehevöityminen on seurausta typen ja fosforin kierron muuttumisesta. Kierron muuttumisen syynä on ravinteiden epätehokas käyttö. Rehevöityminen on seurausta ravinteiden liiallisesta käytöstä, ja sillä on vaikutusta maaperän biokemialliseen tasapainoon, sekä typen ja fosforin kierron muuttumiseen. Typen ja fosforin kierron muuttumisella on itseään voimistava vaikutus. Ravinnekiertojen muuttuminen on usein paikallinen ilmiö, mutta sen on myös mahdollista muuttua globaaliksi. Kierron muuttuminen voi vaikuttaa maaperän, vesistöjen ja merien ekosysteemeihin ja yhä edelleen antropogeeniseen ilmastonmuutokseen. Tärkeimpiä typen kiertoa häiriinnyttäviä reaktioita ovat teollisuusprosessien, maatalouden, energiantuotannon ja biomassan polton seurauksena tapahtuva typen (N_2) muuttuminen ammoniakiksi (NH_3). Typen ja fosforin kierron häiriytymisen lisäksi, lannoitteiden käyttäminen ravinteena saastuttaa paikallista ympäristöä ja lisää alueellista ilmastokuormitusta. (Rockström et.Al. 2009.)

Ilmastonmuutoksen kannalta on tärkeää toimia niin, ettei fosforin ja typen kierrot häiriintyisi. Häiriintymisen estämiseksi on Rockströmin ja Steffenin tutkimuksissa määritetty raja-arvo sille kuinka paljon fosforia ja typpeä voi maaperässä olla. Raja-arvojen tarkoituksena on osoittaa kuinka paljon typpeä ja fosforia voi vuoden aikana koko maapallon maaperään sijoittaa. Maaperään on turvallista sijoittaa typpeä 62 miljoona tonnia vuodessa ja fosforia 6,2 miljoona tonnia. Tällä hetkellä maapallon maaperään sijoitetaan vuodessa

noin 150 miljoona tonnia typpeä ja 14 miljoona tonnia fosforia. Molempien ravinteiden kohdalla sijoitusmäärät maaperään ovat kasvussa. (Rockström et.Al. 2009.) (Steffen et.Al. 2015.)

Biosfäärinen haavoittuvaisuus

Vuodesta 1970 tähän päivään asti, noin puolet maailman villieläinpopulaatiosta on kuollut sukupuuttoon. Myös muutkin ekosysteemin osa-alueet ovat joutuneet sukupuuttoon kuolemisuhan alle ihmisen toiminnan takia. Biosfäärisellä haavoittuvaisuudella tarkoitetaan maapallon erinäisten biologisten prosessien riskiä haavoittua ja kadota jonkin ihmisen toiminnan seurauksena. Aikaisemmin kyseistä planeettarajaa kutsuttiin biodiversiteetin häviämiseksi, mutta vuoden 2015 Steffenin tutkimuksessa, nimi muotoiltiin uudelleen, käsittelemään laajempaa kirjoa prosesseja, joilla on uhka kadota ihmisen toiminnan johdosta. Biosfäärinen haavoittuvaisuus on jaettu geneettisen ja funktionaalisen biodiversiteetin haavoittuvaisuuteen. (Steffen et.Al. 2015.)

Ilmastonmuutos on eräs biosfääristä haavoittuvaisuutta lisäävistä prosesseista. Ilmastonmuutoksen seurauksena monen eliön elinolosuhteet ovat muuttuneet niin, etteivät ne enää ole elämiselle suotuiset. Mikäli eliölaji ei kykene sopeutumaan elinympäristönsä muutokseen kuolee se sukupuuttoon. Toisaalta, biosfäärisellä haavoittuvaisuudella voi olla myös negatiivista vaikutusta myös ilmastonmuutokseen. Biodiversiteetillä on maapallon toimintaa ilmastonmuutokselta suojaava vaikutus. (Steffen et.Al. 2015.) Biodiversiteetti säätelee maapallon ilmastoa, vedenkiertoa sekä ilmanlaatua (Stockholm Resilience 2015.). Voidaan todeta, että biosfäärisellä haavoittuvaisuudella ja ilmastonmuutoksella on toisiaan voimistava vaikutus. Kummankin, sekä biosfäärisen haavoittuvaisuuden, että ilmastonmuutoksen kannalta tulisi ihmisen toimia planeettarajojen edellyttämien raja-arvojen puitteissa. (Rocström et.Al. 2009.)

Biosfäärin funktionaaliselle haavoittuvaisuudelle on sekä globaalisti, että alueellisesti määritetty raja-arvot Steffenin vuoden 2015 tutkimuksessa. Raja-arvo esittää kuinka monta lajia voi kuolla sukupuuttoon miljoonaa lajia kohtia vuodessa (E/MSY eli, eng. extinctions per million species years). Maapallon sietokyvyn raja-arvoksi on asetettu 10 E/MSY. Tällä

hetkellä biosfäärin haavoittuvaisuutta kuvaava arvo on noin 1000 E/MSY. (Stocholm Resilience 2015.)

Makean veden kulutus

Makean veden kulutus on eräs maapallon toimintakykyä säätelevä planeettaraja (Rockström et. Al. 2009.). Makean veden kulutus on kasvanut huomattavasti viimeisen viidenkymmenen vuoden aikana. Kasvaneen vedenkulutuksen syynä on väestönkasvu, ja siitä seuraava lisääntynyt ruoantuotannon tarve, sekä lisääntynyt vedentarve teollisuudessa. (IPCC 2014b, 232.) Kasvaneen vedenkulutuksen seurauksena joillakin alueilla kulutus on ylittänyt kriittisen pisteen vedenkulutuksen kuormittavuudessa; Vesivarastot eivät palaudu kulutuksesta entiselleen. Kasvanut vedenkulutuksen aiheuttama kuormitus systeemille on saanut aikaan negatiivisia vaikutuksia makean veden kiertoon, ruoantuotantoon, biodiversiteettiin, ihmisten terveyteen sekä ekologiseen toimintakykyyn. (Rockström et.Al. 2009.)

Makean veden riittämättömyys aiheuttaa kolmenlaisia uhkia, joita ovat maaperän kuivuminen, muutokset ja vaihtelut sinisen veden saatavuudessa, sekä ilmaston säätelyn heikentyminen. Maaperän kosteudella on tärkeä vaikutus maaperän hiilensidontakykyyn ja näin ollen hiilidioksidipäästöjen sidontaan ilmakehästä. Kostea maaperä, jossa on kasvustoa, pystyy sitomaan hiilidioksidia tehokkaammin kuin kuiva maaperä, missä ei ole kasvustoa. Makean veden riittämättömyyden seurauksena myös maapallon ilmaston säätelykyky heikkenee. Ilmaston säätelykyvyn heikentyminen on seurausta veden takaisinvirtauksen estymisestä kuivasta maaperästä ilmakehään, missä maaperästä haihtunut kosteus muodostaa sadepilviä. Makean veden riittämättömyys muuttaa sinisen veden kiertoa. Sinisellä vedellä tarkoitetaan meri-, järvi- ja pohjavettä. Sinisen veden saatavuus on elintärkeää sekä ihmiselle, että eliöstölle. (Rockström et. Al. 2009.)

Ilmastonmuutoksen sekä muiden maapallon toimintakykyä säätelevien systeemien näkökulmasta on tärkeää, ettei planeettaraja makean veden riittävyydessä ylity. On arvioitu, että 90 % maailmanlaajuisesta vihreästä vedestä vaaditaan ekosysteemin ylläpitoon (Rockstöm et. Al. 1999.) Sinisen veden kohdalla 20-50 % vaaditaan akvaattisen

ekosysteemin ylläpitoon (Smakhtin 2008). Maapallon vedenkulutuksen sietokyvylle on määritetty raja vuoden Steffenin vuoden 2015 tutkimuksessa. Raja-arvon tarkoituksena on kuvata, kuinka paljon makeaa vettä maapallolla voidaan kuluttaa vuodessa, niin ettei makean veden kierrossa tapahdu negatiivisia muutoksia. Maapallon vedenkulutukselle on määritetty 4000 km^3 vuodessa. Tällä hetkellä maailmassa kulutetaan 2600 km^3 vuodessa, mikä alittaa maapallon sietokyvyn rajan. (Steffen et.Al. 2015.)

Maankäytön muutos

Maankäytön muutos on eräs tärkeä maapallon toimintakykyä säätelevistä planeettarajoista. Maankäytön muutoksessa esimerkiksi metsää raivataan maatalouden tarpeisiin, jolloin maan käyttötarkoitus muuttuu. Vuodessa noin 0,8 % metsäpinta-alasta raivataan maatalouden tarpeisiin. Maankäytön muutos on ollut viimeisten 40-50 vuoden aikana suurin maapallon ekosysteemien muutokseen ja tuhoutumiseen vaikuttava tekijä. Maankäytön muutosta ovat voimistaneet maatalouden intensiteetin kasvu sekä ilmastonmuutoksen vaikutus. Maankäytön muutoksen seuraukset vaikuttavat myös muihin planeettarajoihin, kuten biodiversiteettiin, ilmastonmuutokseen ja makean veden saatavuuteen. (Rockström et.Al. 2009.)

Maankäytön muutos alueella, joka sitoo tehokkaasti hiiltä, vaikuttaa hiilen kiertoon negatiivisesti vapauttaen hiiltä ilmakehään. Mikäli alueella on monipuolinen luonnon biodiversiteetti, voi maankäytön muutos edellyttää lajien elinolosuhteiden heikentymistä ja voimistaa eliöiden alttiutta kuolla sukupuuttoon. Maankäytön muutokseen altistavia tekijöitä ovat maaperän köyhtyminen, kasteluveden vähyys, kilpailu maankäytöstä sekä biopolttoaineiden tuotantoon käytettyjen kasvien tuotanto. (Rockström et. Al. 2009.) Maankäytön muutoksen seurauksena hiiltä vapautuu maaperästä. Myös monien lajien elinympäristö muuttuu niin, että siitä tulee elämiselle epäsuotuisa. Tämä aiheuttaa lajien sukupuuttoa tai muutosta elinalueissa. (Steffen et.Al. 2015.) Ihmiskunnan säilyvyyden kannalta maatalousmaan olisi syytä painottua tuottoisimmille alueille. Prosessit, jotka aiheuttavat tuottoisan maan häviämistä, pitäisi kontrolloida. Maankäytön muutosta tulisi myös välttää alueilla, joilla on ekosysteemiltään monipuolista eliöstöä. Myös alueet, jotka

sitovat hiiltä tehokkaasti, ovat sellaisia, joilla maankäytön muutoksia tulisi välttää. (Rockström et. Al. 2009.)

Maankäytön muutokselle on asetettu planeettarajojen vuoden 2015 päivityksessä raja siitä, kuinka paljon maankäytön muutosta voi tapahtua. Määritetty raja kuvaa sitä, kuinka paljon maapinta-alasta pitää olla alkuperäisessä tilassa, jotta maankäytön muutos pysyy maapallon sietokyvyn rajoissa. Rajaksi on arvioitu, että 75 % maapallon pinta-alasta tulee olla alkuperäisessä tilassaan. Tällä hetkellä maapallon maapinta-alasta vain 62 % on koskematonta. (Steffen et.Al. 2015.)

Aerosolikuormitus

Aerosolit vaikuttavat sekä ilmastoon, että ihmisten terveyteen alueellisesti ja globaalisti. Aerosoleiksi luokitellaan muun muassa pienhiukkaset, typen ja rikin oksidit sekä troposfäärinen otsoni. Aerosolit voivat vaikuttaa avaruudesta maapallolle tulevaan säteilyyn heijastamalla säteilyä pilvien kautta takaisin avaruuteen, millä on negatiivista vaikutusta maapallon veden kiertoon sekä alentavaa vaikutusta lämpötilaan. (Rockström et. Al. 2009.)

Aerosolikuormitukselle ei ole kyetty määrittämään globaalia rajaa vuoden 2009 eikä 2015 tutkimuksissa. Vuoden 2015 tutkimuksessa kyettiin määrittämään alueellisia rajoja aerosolien optiselle syvyydelle (Aerosol Optival Depth eli AOS). Esimerkiksi Etelä-Aasialle raja on 0,25 AOS. Tällä hetkellä AOS-arvo Etelä-Aasiassa on 0,3. Tämä näkyy ruskeana pilvipeitteenä. (Steffen et.Al. 2015.)

Keinotekoisten yhdisteiden kertyminen ympäristöön

Uusien, keinotekoisten yhdisteiden kertyminen on havaittu erääksi maapallon toimintakykyä uhkaavaksi ongelmaksi. Keinotekoiset yhdisteet voivat ympäristöön joutuessaan muodostaa yhdisteitä ja laukaista reaktioita, joilla on maapallon toimintaan negatiivinen vaikutus. Keinotekoisia, ongelmia aiheuttavia yhdisteitä voivat olla radioaktiiviset yhdisteet, raskasmetallit sekä ihmisen toiminnasta aiheutuvat orgaaniset yhdisteet. Koska

keinotekoisilla yhdisteillä on erityyppisiä vaikutuksia ekosysteemiin, on raja-arvojen asettaminen hankalaa. (Steffen et.Al. 2009.)

Kemikalisoituminen ja uusien keinotekoisten yhdisteiden joutuminen ympäristöön vaikuttaa kahdella tapaa maapallon toimintaan. Ensinnäkin kemikaaleilla ja keinotekoisilla yhdisteillä voi olla negatiivisesti vaikutusta ihmisten fysiologiseen kehitykseen ja väestönrakenteeseen sekä muihin ekologisiin systeemeihin. Toisekseen, kemikalisoitumisella ja uusien yhdisteiden pääsyllä ympäristöön voi olla vaikutuksia myös muihin planeettarajoihin. Esimerkiksi biodiversiteetti saattaa vaurioitua ympäristölle myrkyllisten kemikaalien ja yhdisteiden takia. (Steffen et.Al. 2015.) (Rockström et. Al. 2009.)

Tällä hetkellä keinotekoisten yhdisteiden pääsylle ympäristöön ei ole kyetty määrittämään raja-arvoa, minkä perusteella maapallon sietokykyä tältä osa-alueelta voitaisiin arvioida (Steffen et.Al. 2015). Jo vuoden 2009 tutkimuksessa Rockströmin ryhmä suositteli asetettavaksi useampia eri raja-arvoja mittaamaan maapallon kantokykyä. (Rockström et. Al. 2009). Raja-arvon löytämisen ongelmana on se, ettei uusien yhdisteiden vaikutuksista maapallon toimintakykyyn ole täysin tarkkaa tietoa. Lisäksi määrittämistä hankaloittaa, että uusia yhdisteitä syntyy koko ajan. (Steffen et.Al. 2015.)

3 ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUS GOLFIIN

Golfilla, kuten monilla muillakin ihmisen harrastuksilla on ilmastonmuutosta voimistava vaikutus. Golfkenttien toiminta aiheuttaa ilmastokuormitusta vapauttaen ilmakehään kasvihuonekaasupäästöjä. Kasvihuonekaasupäästöjä vapautuu toiminnasta joko suorasti tai epäsuorasti. Suoria päästöjä aiheutuu kentän lannoituksesta, kastelusta, hoitolaitteiston ja kasvinsuojeluaineiden käytöstä. Epäsuoria kasvihuonekaasupäästöjä aiheutuu lannoitteiden valmistuksesta ja kuljetuksesta, kentällä käytettyjen polttoaineiden valmistuksesta ja kuljetuksesta, kentän hoitokaluston valmistuksesta, bunkkerihiekan kuljetuksesta sekä kentällä käytetyn energian tuotannosta. (Barlett&James 2011.) (Tidåker et.Al 2016.)

Golfkenttien asiantuntijapaneeli Royal and Ancient Golf Course of St. Andrews määritti, että ilmastonmuutos on yksi kuudesta strategisesta näkökulmasta, mikä golfkenttien on tulevan kahdenkymmenen vuoden aikana huomioitava toiminnassaan. Ilmastonmuutoksen ja ilmaston lämpenemisen myötä pelikauden pituus pitenee, minkä myötä kastelun ja golfkentän nurmen hoitotoimenpiteiden määrä tulee kasvamaan. Se kuinka paljon pelikausi tulee pitenemään, riippuu täysin ilmastonmuutoksen vaikutuksesta paikallisiin ilmasto- ja sääolosuhteisiin. Kanadan Ontariossa tehdyn tutkimuksen mukaan pelikauden pituuden kasvuun vaikuttaa myös se, kuinka golfkenttä pystyy sopeutumaan ilmastonmuutoksen aiheuttamiin muutoksiin. Mikäli kenttä pystyy sopeutumaan muutoksiin, voi pelipäivien määrä olla suurempi kuin siinä tapauksessa, että ilmastonmuutoksen aiheuttamiin muutoksiin ei kyetä sopeutumaan. (Scott&Jones 2006.)

Kanadan Ontariossa tehdyn tutkimuksen mukaan ilmastonmuutoksella on pelikauden pituuteen kasvattava vaikutus riippumatta siitä, pystyikö kenttä sopeutumaan ilmastonmuutokseen vai ei. Mikäli kenttä pystyy sopeutumaan ilmastonmuutokseen, lisääntyisi pelikauden pituus huomattavasti enemmän, kuin tapauksessa, jossa kenttä ei sopeutuisi ilmastonmuutokseen, vaan jatkaisi toimintaansa samalla tavalla kuin ennen ilmastonmuutoksen vaikutusta. Tutkimus perustui vain yhteen golfkenttään, mikä tarkoittaa sitä, ettei tuloksia voi yleistää soveltuviksi kaikkiin golfkenttiin. Tutkimus antaa kuitenkin suuntaviivoja siitä, miten ilmastonmuutos vaikuttaa golfkenttien toimintaan tulevaisuudessa. (Scott&Jones 2006.)

Lämmennyt ilmasto altistaa golfkentän nurmea kuivuudelle. Jotta kuivuus ei vaikuttaisi negatiivisesti golfkentän toimintaan, on kastelun määrää lisättävä. Kastelun määrää ei kuitenkaan voi hyvin kuivissa olosuhteissa lisätä rajallisten vesiresurssien takia. Ilmaston lämpeneminen altistaa nurmea myös uusille rikkakasveille, kasvitaudeille ja tuholaisille. Näiden torjunta vaatii kasvinsuojeluaineiden käytön lisäämistä kentän hoitotoimenpiteissä. (R&A 2017.) Kasvinsuojeluaineiden, lannoitteiden, ja kastelun käytön lisääminen lisää golfkentän ympäristökuormitusta. Kasvinsuojeluaineet sisältävät kemiallisia yhdisteitä, joiden toiminnasta ympäristöön joutuessaan ei ole tarkkaa tietoa, vaikka ne ovatkin tutkimuksissa turvallisiksi todettu. Ne voivat olla ympäristössä harmittomia tai käynnistää sarjan negatiivisia reaktioita. Lannoitteiden liiallisella käytöllä puolestaan on maaperää köyhdyttävä ja vesistöjä rehevöittävä vaikutus. Lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden valmistus ovat prosesseja, jotka kuluttavat merkittävän määrän energiaa ja näin aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä. Toisaalta monilla toimenpiteillä, joilla golfkenttä pyrkii sopeutumaan ilmastonmuutokseen, kuten esimerkiksi lisäämällä kastelua, on energiankulutusta lisäävä vaikutus. (FAO 2015, 15-16, 19-20.) Kehitettäessä ratkaisuja, joilla vähentää ilmastokuormitusta on muistettava ottaa huomioon myös muut ympäristöseuraukset.

Ilmastonmuutoksella on myös epäsuora vaikutus golfkentän taloudelliseen toimintaan. Kun ilmastonmuutoksen aiheuttamia seurauksia aletaan ehkäistä, taloudelliset investoinnit ovat tarpeen. Lisääntynyt lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden käyttö lisää golfkentän toiminnan operatiivisia kustannuksia. Nurmen kastelun lisääminen puolestaan kasvattaa energiankulutuksen kustannuksia. (R&A 2017.)

4 ELINKAARIARVIOINTI JA HIILIJALANJÄLKI

Tässä työssä golfkentän toiminnan ilmastovaikutusta arvioidaan elinkaariarviointiin perustuvan hiilijalanjälkilaskennan kautta. Hiilijalanjälkiarvioinnin perustana toimivat ISO-standardit sekä GHG-Protocol. Standardien käytön tarkoituksena on määrittää yhteneväiset ohjeet toistuvaan toimintaan, kuten hiilijalanjälkilaskennan ja elinkaariarvioinnin suorittamiseen. Standardien luonne ei ole velvoittava, vaan ohjaava. Usein viranomaiset kuitenkin edellyttävät standardien käyttöä. Standardi on standardointiviranomaisen, järjestön tai jonkin muun tunnustetun elimen hyväksymä kirjallinen julkaisu siitä, miten tulee menetellä. Standardien käytön tarkoituksena on lisätä läpinäkyvyyttä ja vertailukelpoisuutta. (SFS 2017.)

Standardeissa esitetään ohjeita laskennan ja raportoinnin suorittamiseen hiilijalanjälkilaskentaan sekä elinkaariarvioinnin suorittamiseen. Laskennan apuna voi käyttää avuksi erilaisia ohjelmistoja. Tässä työssä laskenta perustuu Gabi 6.0 - elinkaariarviointiohjelmiston käyttöön.

4.1 Elinkaariarviointi

Elinkaariarvioinnilla eli LCA:lla (Life cycle assessment) tarkoitetaan tuotteen, palvelun tai toiminnan koko elinkaaren aikaista ympäristövaikutusten määrittämistä ja analysointia. Elinkaariarvioinnin kehittämisen taustalla on lisääntynyt tietoisuus ympäristönsuojelun välttämättömyydestä, sekä eri prosesseihin liittyvistä potentiaalisista ympäristövaikutuksista. Elinkaariarvioinnin tarkoituksena on auttaa ymmärtämään sekä käsittelemään eri prosessien mahdollisia ympäristövaikutuksia. Arviointia on mahdollista käyttää hyväksi tutkittaessa tuotteiden ympäristösuorituskyvyn parantamista niiden eri elinkaarenvaiheissa, tuottaa informaatiota eri julkishallinnon, järjestöjen ja teollisuuden päätöksenteon tueksi, olla apuna valittaessa ympäristösuorituskyvyn indikaattoreita ja mittausmenetelmiä sekä toimia tukena ympäristömarkkinoinnissa ja -viestinnässä. Elinkaariarviointi on eräs monista ympäristöasioiden hallinnan työkaluista. Muita

hallintakeinoja ovat muun muassa riskien hallinta, ympäristösuorituskyvyn arviointi, ympäristöauditointi sekä ympäristövaikutusten arviointi. (ISO 14040:2006, 8.)

Prosessin ympäristönäkökohtien ja mahdollisten ympäristövaikutuksien käsittely kuuluvat elinkaariarviointiin. Ympäristönäkökulmia ja mahdollisia ympäristövaikutuksia käsitellään tuotteen koko elinkaaren ajan, kattaen raaka-aineiden hankinnan, tuotantoprosessin, käytön, käytöstä poiston, kierrätyksen sekä jätteiden loppusijoituksen. Tätä tapaa käsitellä prosessin elinkaaren ympäristövaikutuksia kutsutaan kehdosta hautaan (Gradle-to-Grave) – käsittelyksi. (ISO 14040:2006, 8.)

Elinkaariarvioinnin tueksi kasainvälinen standardointi järjestö ISO (Internaltional Standardisation Organization) on määrittänyt standardit ISO 14040 ja ISO 14044. Elinkaariarvioinnin standardit ovat yhteensopivia kasvihuonekaasuinventaariota ja hiilijalanjälkeä käsittelevän standardin ISO 14064 ja teknisen spesifikaation ISO 14067 kanssa.

4.1.1 ISO 14040

Standardin ISO 14040 tarkoituksena on määrittää elinkaariarvioinnin (LCA) periaatteet ja pääpiirteet. Tarkemmat suuntaviivat ja vaatimukset elinkaariarviointiin määritetään standardissa ISO 14044. Arvioinnin on oltava läpinäkyvä ja monipuolinen, jotta tuloksien tulkinta olisi mahdollisimman yksiselitteistä. Elinkaariarvioinnin pääpiirteisiin kuuluu neljä pakollista vaihetta. Elinkaariarvioinnin pääpiirteisiin kuuluu elinkaariarvioinnin tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi (LCI), vaikutusarviointi (LCIA), tulosten tulkinta, tulosten raportointi ja kriittinen arviointi. (ISO 14044:2006, 8.)

Elinkaariarviointiin soveltamisalan ja tavoitteiden määrittelyyn kuuluu tarkasteltavan systeemin rajojen määrittäminen. Systeemin rajojen määrittämisen tarkoituksena on määrittää osa-prosessit, jotka sisällytetään elinkaariarviointiin ja mitkä prosessin osat jätetään tutkimuksen ulkopuolelle. Systeemin rajojen määrittämisen yksityiskohtaisuus riippuu selvityksen aiheesta ja käyttötarkoituksesta. Myös elinkaariarvioinnin tarkkuus ja laajuus määritellään arvioinnin aluksi, jotta ne ovat arvioinnin tavoitteiden mukaisia. Toisen

vaiheen, eli inventaarioanalyysin tarkoituksena on selvittää järjestelmään tuotavat syötteet sekä tuotteet. Inventaarioanalyysillä tarkoitetaan elinkaariarvioinnin vaihetta, jossa kaikki elinkaariarvioitavan prosessin syötteet ja tuotteet on koottu sekä kuvattu määrällisinä. Tiedonkeruu on sisällytetty tähän elinkaariarvioinnin vaiheeseen. Inventaarioanalyysin tuloksien perusteella voidaan suorittaa tarkasteltavan prosessin ympäristövaikutusten arviointi. Ympäristövaikutusten arvioinnilla on tarkoitus ymmärtää ja arvioida prosessin potentiaalisten ympäristövaikutusten laajuutta ja merkittävyyttä prosessin koko elinkaaren ajalta. Vaikutusten arvioinnin tarkoituksena on tuottaa sellaista tieto, mistä on hyötyä ympäristöhallintoa kehitettäessä. Elinkaariarvioinnin neljäs, eli viimeinen vaihe on tulosten tulkinta. Tulosten tulkinnan päämääränä on antaa johtopäätöksiä ja suosituksia tutkimuksen alussa määritettyyn tavoitteeseen ja soveltamisalaan nähden inventaarioanalyysin, ympäristövaikutusten arvioinnin tai molempien tuloksien perusteella. (ISO 14040:2006, 8.)

Elinkaariarvioinnin tavoitteet on mahdollista joissakin tapauksissa saavuttaa pelkästään tekemällä elinkaari-inventaarioanalyysi ja tulkita siitä saatuja tuloksia. Tämä ei kuitenkaan ole elinkaariarviointiselvitys vaan elinkaari-inventaarioselvitys (LCI-selvitys). Elinkaariarviointiselvityksen ja elinkaari-inventaarioselvityksen erona on se, ettei elinkaari-inventaarioselvityksessä tehdä ympäristövaikutusten arviointia. Kumpaankin LCI- ja LCA-selvitykseen määritetään periaatteet ja suuntaviivat standardeissa ISO 14040 ja ISO 14044. (ISO 14040:2006, 8.)

Elinkaariarviointiselvityksien tai elinkaari-inventaarioselvityksien tuloksia on mahdollista myös vertailla keskenään. Jotta vertailua tuloksien välillä olisi mahdollista tehdä, on tuloksien oltava vertailukelpoisia keskenään. Vertailukelpoisuus varmistetaan, kun tulokset on saatu käyttämällä samoja oletuksia sekä vertailemalla tuloksia joiden välillä on selkeä asiayhteys. Vertailukelpoisuuden arvioinnin takia selvityksien on oltava läpinäkyviä. Kansainvälisten standardien tarkoituksena on antaa suosituksia ja vaatimuksia selvityksien laadintaan, jotta selvityksien läpinäkyvyys varmistetaan. (ISO 14040:2006, 10.)

Elinkaariarvioinnin tuloksia voidaan käyttää hyväksi useissa eri käyttökohteissa. Näitä ovat muun muassa tuotteiden kehittäminen ja parantaminen, strateginen suunnittelu, poliittinen päätöksenteho sekä markkinointi. Käyttömahdollisuuksia löytyy muun muassa

ympäristövaikutustenarvioinnissa, ympäristölaskennassa sekä elinkaarikustannuslaskennassa. Elinkaariarviointia voidaan yhdistää myös muiden ISO 14000-sarjan ympäristöstandardien kanssa. (ISO 14040:2006, 24, 44-46.)

4.1.2 ISO 14044

Standardissa ISO 14044:ssa on tarkoitus esittää elinkaariarvioinnin vaatimukset ja suuntaviivat. Standardissa ISO 14044 tarkastellaan standardissa ISO 14040 määritettyjen elinkaariarvioinnin pääpiirteitä ja periaatteita yksityiskohtaisemmin. ISO 14044:ssa opastetaan ja määritetään vaatimukset elinkaariarvioinnin tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelylle, inventaarioanalyysivaiheelle, vaikutustenarvioinnille, tulosten tulkinnalle, elinkaariarvioinnin raportoinnille ja kriittiselle arvioinnille, elinkaariarvioinnin rajoituksille, elinkaariarvioinnin vaiheiden välisille suhteille sekä arvovalintojen ja valinnaisten osien käytön ehdoille. (ISO 14044:2006, 12.)

Elinkaariselvityksen ensimmäinen osa on selvityksen soveltamisalan ja tavoitteiden määrittely. Määritettäessä elinkaariarvioinnin tavoitteita on selvityksessä käytävä ilmi selvityksen aiottu käyttötarkoitus, tekemisen syyt, mikä on kohdeyleisö ja se onko selvityksen tuloksia tarkoitus käyttää julkisesti esitettävissä vertailuväitteissä. Selvityksen soveltamisalasta on tultava ilmi tutkittava tuotejärjestelmä, sen toiminnot, toiminnallinen yksikkö, systeemin rajat, allokointimenettelyt, vaikutustenarviointimenetelmät ja –tyypit ja käytettävä tulkintapa. Systeeminrajoilla kuvataan tarkasteltavaa toimintaa tai tuotejärjestelmää. Systeeminrajauksessa toiminnan tai tuotejärjestelmän tarkastelu rajataan niin, että se on linjassa työn tavoitteiden kanssa; Rajauksessa työhön sisällytetään ne osaprosessit, jotka palvelevat tutkimuksen tavoitetta ja mitkä ovat merkityksellisiä ympäristön kannalta. Toiminnallisella yksiköllä havainnollistetaan tarkasteltavaa systeemiä. Toiminnallinen yksikkö voi esimerkiksi olla yhden paperiklipsin valmistus. Tällöin tarkastellaan niitä materiaali- ja energiavirtoja, joita yhden papaeriklipsin valmistus vaatii. Selvityksen ensimmäisessä osassa on myös asetettava vaatimukset selvityksessä käytettävälle tiedolle, selvitystä varten tehdyt oletukset sekä arvovalinnat, mahdolliset selvityksen vapaaehtoiset osat ja rajaukset. Mikäli selvityksessä on tarkoitus suorittaa kriittistä arviointia, on arvioinnin tyyppi tultava selvityksessä ilmi. Usein selvityksen

tavoitetta tai soveltamisalaa on päivitettävä tutkimuksen edetessä. Tehdyt muutokset tulee käydä ilmi raportissa. (ISO 14044:2006, 22-26.)

Elinkaariselvityksen toinen vaihe on inventaarioanalyysin suorittaminen tutkittavalle tuotejärjestelmälle. Inventaarioanalyysi sisältää tiedonkeruun, tietojen laskennan sekä tulosten allokoinnin. Inventaarioanalyysissä tietojen kerääminen tapahtuu toiminnallisen yksikön mukaisesti jokaisesta systeemin sisällä olevasta yksikköprosessista. Inventaarioanalyysissä yksikköprosessiin sisään menevät ja sieltä lähtevät energia- ja materiaalivirrat määritetään. Lisäksi inventaarioanalyysissä määritetään päästöt ilmaan, veteen ja maaperään. Tietoja voidaan inventaarioanalyysia varten kerätä kyselyillä tai käyttämällä tieteellisistä lähteistä peräisin olevia arvoja. Kerättyjen tietojen alkuperä tulee käydä ilmi raportissa. Inventaarioanalyysin tulokset esitetään esimerkiksi muodossa kg/toiminnallinen yksikkö. (ISO 14044:2006, 32.)

Kolmas vaihe elinkaariarvioinnissa on vaikutusten arviointi eli LCIA (Lifecycle impact assesment). Vaikutusarviointi suoritetaan sijoittamalla inventaarioanalyysin tulokset elinkaariarvioinnin alussa määritetty vaikutusluokkaan. Vaikutusluokalla tarkoitetaan elinkaariarvioinnissa käsiteltävää ympäristökysymystä, joita ovat muun muassa happamoituminen, rehevöityminen, ilmastonmuutos ja makean veden varojen heikentyminen. Vaikutusluokalle on olemassa vaikutusluokkaindikaattori, joka edustaa sen määrällistä mittaa. Ilmastonmuutoksen tapauksessa vaikutusluokkaindikaattori on infrapunasäteilypakote (W/m^2). Vaikutusluokan perusteella valitaan arvioinnissa käytettävä karakterisointimalli, jonka tarkoituksena on määrällisesti vaikutusluokan ympäristövaikutusta. Inventaarioanalyysin tulokset kerrotaan karakterisointikertoimella, jotta tuloksia olisi mahdollista käyttää hyväksi vertailukelpoisesti karakterisointimallissa. Näin inventaarion tulokset muuttuvat vaikutusluokkaindikaattorin yhteiseen mittaan. Karakterisointimalli on ilmastonmuutoksen tapauksessa Kansainvälisen ilmastopaneeli IPCC:n määrittämä 100 vuoden vertailumalli. Karakterisointikertoimena käytetään ilmastonmuutoksessa kunkin kasvihuonekaasun ilmastonlämpenemiskerrointa (GWP_{100}). Vaikutusarvioinnissa määritetään myös vaikutusluokan loppupisteet, eli mihin vaikutusluokan päästöillä on ympäristöön vapautuessaan vaikutusta. Ilmastonmuutoksen kohdalla loppupisteitä ovat esimerkiksi koralliriutat, metsät ja maatalouden sadot.

Vaikutusten arvioinnissa käytettyjen vaikutusluokkien, -indikaattorien ja karakterisointimallien on oltava kansainvälisesti hyväksyttäviä, jotta niitä voidaan käyttää hyväksi. Vaikutustenarviointi on tehtävä elinkaariarvioinnin soveltamisalan ja tavoitteen mukaisesti. Pakollisten osien lisäksi vaikutusarviointiin voidaan sisällyttää vapaaehtoisia osia. Vaikutusten arvioinnin vapaaehtoisia osia ovat normalisointi, ryhmittely, painotus sekä lähtötiedon laadun analysointi. Normalisoinnilla tarkoitetaan indikaattorituloksien suhtauttamista vertailukohteeseen nähden. Ryhmittelyssä vaikutusluokat lajitellaan ja ne voidaan sijoittaa tärkeysjärjestykseen. Painotuksessa indikaattoritulokset yhdistellään vaikutusluokkiin käyttämällä numeroarvoja, jotka perustuvat arvovalintoihin. (ISO 14044:2006, 40-42, 44-46)

Neljäs ja elinkaariarvioinnin viimeinen vaihe käsittää elinkaariarvioinnissa saatujen tuloksien tulkinnan. Tulosten tulkinnassa on tarkoitus tunnistaa kaikki ne merkittävät asiat, jotka perustuvat elinkaariarvioinnin, inventaarioanalyysin ja vaikutustenarviointivaiheiden tuloksiin. Tulosten tulkinnassa tulee esittää arviointia siitä, mikä on ollut arvioinnin täydellisyys ja herkkyys sekä se kuinka johdonmukaista arviointi on ollut. Tulkinnan tulee ottaa huomioon elinkaariarviointia kohtaa esitetyt tavoitteet sekä arvioinnin soveltamisala. Elinkaariarvioinnin johtopäätökset, rajoitukset sekä suositukset mahdollisista jatkomenettelyistä esitetään tulosten tulkinta vaiheessa. Johtopäätöksissä voidaan esimerkiksi eritellä keinoja, miten toiminnan aiheuttamaa kuormitusta tarkasteltavaa vaikutusluokkaa kohtaan voidaan pienentää. (ISO 14044:2006, 54-56.)

Elinkaariarvioinnin tulokset tulee raportoida ISO 14044 edellyttämällä tavalla. Raportoinnin tulee sisältää kaikki elinkaariarvioinnin neljä vaihetta. Tulokset on pyrittävä esittämään raportissa tarkasti, kokonaisuudessaan ja puolueettomasti, jotta elinkaariarviointi olisi mahdollisimman läpinäkyvä. Raportin on mahdollistettava elinkaariarvioinnin tulosten käyttäminen arvioinnin alussa määritettyjen tavoitteiden ja soveltamisalan mukaisesti. Raportti voi sisältää ulkopuolisen arvioijan kriittisen arvioinnin. Kriittisen arvioinnin tarkoituksena on varmistaa, että elinkaariarviointi on suoritettu kansainvälisesti hyväksytyn standardin edellyttämällä tavalla. Kriittisen arvioinnin voi suorittaa joko sisäinen tai ulkoinen asiantuntija tai sidosryhmistä koottu asiantuntijapaneeli. (ISO 14044, 62-70.)

4.2 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan tuotteen, yrityksen, yksittäisen henkilön, toiminnon tai valtion kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien yhteenlaskettua määrää. Kasvihuonekaasut ovat luontaisesti esiintyviä tai ihmisen toiminnasta aiheutuvia kaasuja, joiden avulla maapallon ilmakehä sekä pilvet pidättävät ja säätelevät avaruudesta tulevaa infrapunasäteilyä. Luonnosta syntyviä kasvihuonekaasuja ovat otsoni (O_3) ja vesihöyry (H_2O). Ihmisen toiminnasta aiheutuvia kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4), typpioksiduuli eli ilokaasu (N_2O), rikkiheksafluoridi (SF_6), perfluoratut yhdisteet (PFC) ja fluorihiilivedyt (HFC). Merkittävimmässä roolissa hiilijalanjälkeä määritettäessä ovat hiilidioksidi-, metaani- ja typpioksiduulipäästöt. Jotta eri kasvihuonekaasuja voidaan vertailla keskenään, on ne muutettava hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO_{2eq}). Hiilidioksidiekvivalentin avulla kaikkien kasvihuonekaasujen säteilypakote saadaan suhteutettua hiilidioksidin kanssa yhteneväiseksi. Muutettaessa kasvihuonekaasupäästöjen määriä hiilidioksidiekvivalenteiksi, kerrotaan ne ilmaston lämmityspotentiaalilla (GWP, Global Warming Potential). Ilmaston lämmityspotentiaali määritetään tietyksi ajanjaksoksi. Usein ajanjakson pituus on sata vuotta. Taulukko 1 esittää yleisimmät kasvihuonekaasupäästöt, niiden ilmastonlämpenemispotentiaali (GWP_{100}) sadan vuoden ajanjaksolla sekä niiden elinikä ilmakehässä. (IPCC 2013, 165-171.) (ISO 14067:2013, 12-16.)

Taulukko 1. Yleisimmät kasvihuonekaasut, niiden ilmastonlämmityspotentiaali sekä elinikä ilmakehässä. (IPCC, 2007.)

Kasvihuonekaasupäästö	Ilmastonlämmityspotentiaali sadan vuoden ajanjaksolla (GWP_{100})	Elinaika ilmakehässä [a]
Hiilidioksidi, CO_2	1	-
Typpioksiduuli, N_2O	298	114
Metaani, CH_4	25	12

Hiilijalanjäljen määrittämisen tarkoituksena on auttaa ymmärtämään kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttamat riskit tarkastelukohteen koko elinkaaren aikana. Ymmärtämällä toiminnan kasvihuonekaasupäästöjen suuruuden ja merkittävimmät päästölähteet on mahdollista kehittää keinoja, joiden avulla toiminnan hiilijalanjälkeä voidaan pienentää. Yritys voi esimerkiksi käyttää hiilijalanjälkeä hyväksi identifioidessa toimintojensa kustannussäästömahdollisuuksia. Hiilijalanjälki on myös keino luoda lisäarvoa yrityksen brändille. Hiilijalanjälki voi tarjota yritykselle suojautumiskeinon ilmastonmuutosta koskevaa kritiikkiä kohtaan. Hiilijalanjälki on myös keino motivoida yrityksen sidosryhmiä toimimaan yrityksen tavoitteiden mukaisesti. (ISO 14067:2013, 6,8.)

On olemassa useita eri menetelmiä määrittää hiilijalanjälkeä. Eri menetelmät antavat hieman erilaisia vastauksia tuotteen, prosessin, ihmisen, yrityksen tai valtion hiilijalanjäljelle. Pääpiirteet eri hiilijalanjäljen laskentaohjeissa ovat kuitenkin samat. Tässä työssä tarkastellaan ISO:n laatimaa ohjeistusta hiilijalanjäljen laskentaan, sillä se on yhteensopiva elinkaariarvioinnin kanssa. Hiilijalanjäljen tulokset edustavat vaikutusten arvioinnin kategoriaa, jolla arvioidaan toiminnan vaikutusta ilmastonmuutokseen. Lisäksi käytetään myös hyväksi World Resources Instituten (WRI) ja World Bussiness Counsil on Sustainable Developmentin (WBCSD) GHG-Protocollan mukaista kasvihuonekaasupäästöjen lajittelua. Eräs hiilijalanjäljen määrittämisen ohjeistus on Britannian standardointiviranomaisen (BSI) ja Defran rahoittaman Carbon Trustin vuonna 2008 ja 2011 julkaistu PAS 2050 (Publicly Available Specification). Seuraavissa luvuissa esitellään eri tahojen hiilijalanjälkilaskennan ohjeistukset.

4.2.1 ISO 14064

ISO 14064 on vuonna 2006 valmistunut ISO:n laatima standardisarja, koskien kasvihuonekaasupäästöjen ja kasvihuonekaasupoistumien raportoimista. ISO 14064 standardisarja koostuu kolmesta osasta. Ensimmäinen osa on tehty yrityksiä ja organisaatioita varten, toinen osa projekteille, joissa käsitellään kasvihuonekaasupäästövähennyksiä, ja kolmas osa sisältää ohjeet sekä vaatimukset siitä, miten kasvihuonekaasupäästöjen inventaarioiden tuloksien todentamisessa ja varmistamisessa on edettävä. Kolmas osa kuuluu kummankin, ensimmäisen ja toisen osan

kasvihuonekaasuinventaarin tuloksien käsittelyyn. (ISO 14064-1:2006, V.) Tässä työssä tarkastellaan standardin ensimmäistä osaa.

Standardin ISO 14064 tarkoituksena on palvella kansainvälisiä organisaatioita, päättäjiä, eri projektien osapuolia sekä sidosryhmiä. ISO 14064 -standardin käytön tavoitteena on lisätä kasvihuonekaasuinventaarioiden määrityksen, seurannan, raportoinnin ja hyväksymisen läpinäkyvyyttä. Standardin tarkoituksena on antaa eväät siitä, miten osoittaa merkittävimmät kasvihuonekaasupäästölähteet sekä –päästönielut, ja näiden avulla helpottaa päästövähennyskeinojen kehittämistä toiminnalle. Standardia voidaan hyödyntää ilmastostrategioiden laadinnan ja noudattamisen yhteydessä. (ISO 14064-1:2006, V.)

Kasvihuonekaasuinventaario etenee samalla tavalla kuin elinkaariarvioinnissa inventaarioanalyysi. Kasvihuonekaasuinventaarissa tulee eritellä tarkasteltavan toiminnan, organisaation tai yrityksen rajat, eli mitkä toiminnot luetaan mukaan kasvihuonekaasuinventaarioon ja mitkä eivät. Lisäksi kasvihuonekaasuinventaariossa tulee eritellä suorat kasvihuonekaasupäästöt materiaalien ja energian käytöstä, sekä kasvihuonekaasupoistumat. Kasvihuonekaasupoistumilla tarkoitetaan hiiltä, joka poistuu hiilinieluista, ihmisen toiminnan takia. Kasvihuonekaasuinventaariossa tulee myös huomioida energiantuotannon sekä muiden toimintojen epäsuorat kasvihuonekaasupäästöt. Myös biomassan poltosta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt tulee raportoida kasvihuonekaasuinventaarioon. Kun suorat ja epäsuorat kasvihuonekaasupäästöt on tunnistettu, muutetaan niiden määrä hiilidioksidiekvivalenteiksi kertomalla jokaisen päästön määrä päästön ilmastonlämpenemiskertoimella. Toiminnan koko elinkaaren aikaiset päästöt summataan hiilidioksidiekvivalentteina yhteen, ja näin saadaan tuotteen hiilijalanjälki. (ISO 14064-1:2006, 6-8.) Yhtälö 1 esittää hiilijalanjälkilaskennan yhtälön.

$$CF = \sum CF_i = \sum (EM * GWP_{100})_i \qquad (1)$$

CF	= tuotteen elinkaaren hiilijalanjälki, [$kgCO_{2eq}$]
i	= elinkaaren vaihe
EM	= kasvihuonekaasupäästön määrä, [kg]
GWP_{100}	= ilmastonlämpenemiskerroin, [-]

Standardissa on määritetty, miten yrityksen tai organisaation tulee kasvihuonekaasuinventaariota hallinnoida. Yrityksen tulee varmistaa, että inventaario on johdonmukainen. Kasvihuonekaasuinventaarion teossa on noudatettava huolellisuutta, ja tulokset on tarkastettava tietyin väliajoin, jotta inventaarion tulokset olisivat mahdollisimman totuudenmukaiset ja tarkat. Standardi velvoittaa dokumentoimaan kaikki kasvihuonepäästöjä koskevat tiedot. (ISO 14064-1:2006, 11-12.)

Raportoinnin suunnittelu ja toteutus ovat tärkeä osa hiilijalanjäljen laskentaa. Raportoinnin tulee olla sellainen, että se sitä voidaan käyttää hyväksi osana yrityksen ilmastostrategiaa, ja että se palvelee kaikkia sidosryhmiä. Raportissa tulee käydä ilmi, kuka raportin on laatinut, milloin raportti on tehty ja mitkä ovat tarkasteltavan organisaation rajat, eli mitä organisaation toimintoja kasvihuonekaasuinventaariossa on käsitelty. Lisäksi raportissa on käytävä ilmi suorat ja epäsuorat kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut hiilidioksidiekvivalenttitonneina, sekä se miten biomassan polttoa on kasvihuonekaasuinventaariossa käsitelty. Raportissa tulee kertoa mitä menetelmiä ja kasvihuonekaasupäästökertoimia työssä on käytetty, mistä lähteistä ne ovat peräisin, miten tietoa kerätty ja mistä lähteistä. Lopuksi on arvioitava kriittisesti inventaarion tuloksia. Arvioinnissa on käytävä ilmi, mitä epävarmuuksia käsittelyyn on liittynyt ja miten ne saattavat näkyä tuloksissa. Kasvihuonekaasuinventaarin tulokset on varmennettava, jotta tulokset ovat julkaisukelpoisia. (ISO 14064-1:2006, 13-14.)

Kasvihuonekaasuinventaarion raportin vapaaehtoisia osia on useita. Tarkasteltavan organisaation tarkempi kuvaus, sisältäen mahdolliset ohjelmat ja strategiat koskien kasvihuonekaasupäästöjä on eräs raportoinnin vapaaehtoisia kohtia. Vapaaehtoisiin osioihin kuuluu myös päästöjen vähentämisstrategian kuvaus; Tehdäänkö päästöjen vähennys yrityksen tai organisaation sisäisillä teoilla vai ostamalla yrityksen ulkopuolelta toimintoja, joiden avulla päästöjen vähentäminen on mahdollista. Raportissa voidaan myös esitellä millainen päästöjen vähennysohjelma yritykselle olisi mahdollista kehittää. Myös kasvihuonekaasupäästöjä koskevan monitoroinnin valvontaa koskevat tiedot voidaan sisällyttää kasvihuonekaasuinventaarin raportointiin. (ISO 14064-1:2006, 14.)

4.2.2 ISO 14067

ISO 14067 on tekninen spesifikaatio, joka sisältää tuotteiden hiilijalanjäljen laskemista ja tuloksien viestimistä koskevat vaatimukset ja ohjeet. ISO 14067 perustuu muihin ympäristöhallinnon standardeihin, ISO 14020, ISO 14024, ISO 14025, ISO 14040 ja ISO 14044. Teknisen spesifikaation on tarkoitus helpottaa organisaatioiden, hallituksien, järjestöjen, yhteisöjen sekä muiden sidosryhmien kasvihuonekaasupäästöjen laskentaa ja viestintää laskennan tuloksista. ISO 14067:lla on yhteyttä standardeihin ISO 14040 ja ISO 14044, sillä ISO 14067:ssä ohjeistetaan elinkaariarvointiin vaikutusluokkana ilmastonmuutos. (ISO 14067:2013, 6.)

ISO 14067 mukaisen hiilijalanjäljen laskennan tulee sisältää elinkaariarvioinnin neljä vaihetta, mitkä ovat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, elinkaari-inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta. Tarkasteltavan tuotejärjestelmän yksikköprosessit tulee järjestellä elinkaaren oikeisiin vaiheisiin, kuten elinkaariarvioinnissa. Elinkaaren aikana tuotetut kasvihuonekaasupäästöt ja poistumat tulee järjestellä niihin yksikköprosesseihin, joissa ne on tuotettu. Hiilijalanjälki on mahdollista laskea osittaisina hiilijalanjälkinä kullekin yksikköprosessille. Tällöin tulee välttää laskennassa päällekkäisyyksiä käyttämällä allokointia apuna. (ISO 14067:2013, 34.)

Hiilijalanjäljen laskennasta laaditaan selvitysraportti, johon dokumentoidaan laskennan tulokset, esitetään johtopäätökset, jotka ovat yhdenmukaiset selvityksen tavoitteiden ja soveltamisalan kanssa. Hiilijalanjälkilaskennan raportin tulee sisältää selvitys käytettävästä toiminnallisesta yksiköstä, kuvaus tuotejärjestelmän rajoista ja rajauskriteereistä, valitut allokointimenetelmät, tieto ajanjaksosta, jolta inventaarioanalyysin tiedot ovat peräisin, tietojen kuvaus, käytetyt oletukset, sähkön käsittely, johtopäätökset sekä rajaukset koskien laskennan tuloksia, sekä esitellä ja perustella arvovalinnat, jotka on tehty hiilijalanjälkiselvityksen kontekstissa. (ISO 14067:2013, 66.)

Selvityksen tulokset ja johtopäätökset on esitettävä mahdollisimman yksityiskohtaisesti ja puolueettomasti, jotta lukijan olisi helppo tulkita tuloksia ja ymmärtää selvityksessä tehdyt valinnat. Valitut allokointimenetelmät ja tarkisteltavat kasvihuonekaasupäästöt on

dokumentoitava raportissa kattavasti. Raportissa on kuvattava erikseen kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat jaoteltuna tutkittavan tuotejärjestelmän elinkaaren vaiheisiin. Lisäksi, tulee esittää kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat, jotka ovat peräisin fossiilisen hiilen lähteistä ja nieluista, sekä eloperäisen hiilen lähteistä ja nieluista. Raportissa on myös esitettävä maankäytön muutoksesta ja lentoteitse tapahtuvasta kuljetuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Hiilijalanjäljen tulokset raportoidaan hiilidioksidiekvivalentinmassana toiminallista yksikköä kohden. (ISO 14067:2013, 64.)

4.2.3 GHG – Protocol

GHG-Protocol on maailman elinkeinoelämän kestävän kehityksen neuvoston (WBCSD) ja maailman resurssikeskuksen (WRI) sekä 170 kansainvälisen yrityksen vuonna 1998 julkistama standardi, jonka avulla yrityksien on mahdollista määrittää toimintansa kasvihuonekaasupäästöt. Tässä työssä käsitellään GHG Protocol Corporate Standards – standardia, joka on suunniteltu yrityksien, kansallisten toimijoiden ja yliopistojen käyttöön. GHG-Protocollan mukainen kasvihuonekaasuinventaario ottaa huomioon Kioton protokollassa määritetyt kasvihuonekaasut, joita ovat hiilidioksidi, metaani, typpioksiduuli, fluorihiilivedyt (HFC), fluoratut yhdisteet (PFC) sekä rikkiheksafluoridit (SF_6). (GHG-Protocol 2015, 3.)

Standardin oheistaman kasvihuonekaasuinventaarion tarkoituksena tuoda yritykselle lisäarvoa, sekä ohjeistaa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen suunnittelussa. GHG-Protocollan tarkoituksena on ohjeistaa yrityksiä kasvihuonekaasuinventaarion teossa, jotta se olisi mahdollisimman totuudenmukainen ja yleisten sopimuksien sekä standardien mukainen. Inventaariosta saatuja tietoja voidaan käyttää hyväksi osana liiketoiminnan strategiaa. Tietoja voidaan käyttää myös hyväksi, mikäli yritys ottaa tai on ottamassa osaa pakollisiin tai vapaaehtoisiin kasvihuonekaasu päästö -ohjelmiin. (GHG-Protocol 2015, 3.)

GHG-Protocollan mukaan kasvihuonekaasupäästöjen laskennan ja raportoinnin tulee olla relevantti, täydellinen, läpinäkyvä, jatkuva ja tarkka. Selvityksen tulee olla relevantti, eli laskennan ja raportoinnin tulee palvella yrityksen sidosryhmiä ja helpottaa yritystä päätöksenteossa. Relevanttiudella halutaan myös tuoda ilmi hiilijalanjäljen

tarkastelusysteemin rajauksen tärkeys. Tarkastelusysteemin tulee kattaa ne toiminnot, jotka ovat tuotteen tai palvelun kannalta olennaisia. Kasvihuonekaasupäästöjen määrittämisessä tarkkuudella halutaan kuvata sitä, että kaikki tarkastelusysteemin sisältä syntyvät päästöt on huomioitava hiilijalanjäljen laskennassa ja raportoinnissa. Kasvihuonekaasupäästöjen määrityksessä on noudatettava jatkuvuutta. Tulokset on oltava sellaisessa muodossa, että selvityksen lukijan on helppo ymmärtää, miten tulokset on saatu laskettua. Myös laskennassa käytettävät alkuarvot, oletukset ja työn rajaukset on tultava raportissa ilmi, jotta hiilijalanjäljen laskenta olisi mahdollisimman läpinäkyvä. Käytettävien alkuarvojen ja oletusarvojen tulee olla tarkkoja, ja niiden tulee sopia hiilijalanjäljen määrittämisen kontekstiin. (GHG-Protocol 2015, 8-9.)

GHG-Protocollan mukaisen kasvihuonekaasuinventaarion on tarkoitus auttaa yrityksiä vähentämään toiminansa päästöjä. Inventaarioiden tavoitteiden taustalla voi olla erilaisia motiiveja, jotka tulee inventaarion tavoitteluiden asettelussa tuoda ilmi. Inventaarion avulla yritys voi lieventää riskejä liittyen kasvihuonekaasupäästöihin ja löytää päästöille kustannustehokkaita vähennyskeinoja. Kasvihuonekaasuinventaarioiden perusteella voidaan myös laatia raportteja yrityksen toiminnan ilmastovaikutuksesta yrityksen sidosryhmille, sekä ottaa osaa vapaaehtoisiin päästöjen vähennysohjelmiin. Kasvihuonekaasuinventaarioiden tekemisestä on myös hyötyä silloin, kun yrityksen toiminnan kasvihuonekaasupäästöistä on säädetty kansallisissa tai kansainvälisissä sopimuksissa tai säädöksissä. Yritys voi myös olla ottanut osaa kasvihuonekaasupäästömarkkinoille, jolloin kasvihuonekaasupäästö inventaarion tarkoituksena on tukea yrityksen toimintaa päästökaupassa, ja antaa tietoa päästöveroja ajatellen. Yritys voi tehdä kasvihuonekaasuinventaarion myös oma-aloitteisesti, suojatakseen toimintaansa ennen aikaisesti erilaisilta ilmastonmuutoksen vaikutuksilta. (GHG-Protocol 2015, 11.)

GHG-Protocollin mukainen kasvihuonekaasuinventaarion raportointi voidaan tehdä kahdella eri tavalla. Inventaario voidaan suorittaa yrityksen pääomalle tai toiminnan tarkastelulle. Kun inventaario tehdään yrityksen pääoman mukaan, inventaarioon otetaan mukaan kaikki ne toiminnot, jotka kuuluvat yrityksen pääoman piiriin. Puolestaan yrityksen toiminnan perusteella tehtävä kasvihuonekaasuinventaario tehdään niin, että selvitys kattaa

kaikki ne toiminnot, joihin yritys voi 100 % vaikuttaa. Toiminnan perusteella tehtävä kasvihuonekaasuinventaario voidaan jakaa edelleen kahteen osaan. Nämä kaksi osaa ovat taloudelliset toiminnot ja operationaaliset toiminnot. (GHG-Protocol 2015, 17-18.)

Kun määritetään inventaarioanalyysin systeemin rajoja, on tunnistetta merkittävät suoria ja epäsuoria kasvihuonekaasupäästöjä tuottavat kohteet. Suoria kasvihuonekaasupäästöjä ovat ne päästöt, joihin yritys itse voi vaikuttaa. Epäsuoria päästöjä puolestaan ovat ne päästöt, joita syntyy, kun yritys käyttää hyväkseen toisen yrityksen palveluja tai tuotteita. Epäsuorat päästöt eivät siis synny yrityksen ydintoiminnoista, vaan sen toimintaa tukevista toiminnoista. Suorat ja epäsuorat päästöt jaotellaan GHG-Protocollan mukaan Scope 1, 2 ja 3 tason päästöihin. Scope 1 päästöt ovat niitä päästöjä, joita syntyy yrityksen toiminnasta suoraan. Scope 1 tason päästöt syntyvät sellaisista toiminnoista, joihin tarkasteluyritys voi itse vaikuttaa. Huomioitavaa on, että kasvihuonekaasupäästöt, jotka eivät kuulu Kioton Protokollaan, ei tule sisällyttää Scope 1 tason päästöihin. Näitä päästöjä ovat muun muassa CFC-kaasut ja NO_x-päästöt. Scope 2 tason päästöt ovat ostetun energiantuotannosta syntyviä päästöjä. Scope 2 tason päästöt syntyvät energiantuotantopaikalla, vaikka ne luetaan myös yrityksen kasvihuonekaasupäästöihin. Scope 3 taso kattaa kaikki yrityksen toiminnasta epäsuorasti aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Scope 3 tason päästöt ovat sellaisia, joita syntyy yrityksen toiminnan seurauksena, mutta yritys ei itse niihin voi vaikuttaa. Esimerkiksi yrityksen toiminnassa käytettyjen polttoaineiden valmistuksesta tai kuljetuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt luetellaan Scope 3 tason päästöiksi, mikäli ne eivät ole yrityksen ydintoimintaa. Scope 3 tason päästöt ovat vapaaehtoinen osa kasvihuonekaasupäästö inventaariossa. Tarkastelusysteemiä kuvattaessa on kuitenkin tuotava ilmi, mitä päästöjä Scope 1 ja 2 tason lisäksi on tarkastelussa otettu huomioon, sekä perusteet tehdyille valinnoille. (GHG-Protocol 2015, 25.)

Kun tarkastelusysteemi on määritetty, määritetään päästölähteet, valitaan käytettävät tarkastelutavat, kerätään toiminnan lähtöarvoja sekä määritellään käytetyt päästökertoimet. Toiminnan lähtöarvoilla tarkoitetaan toiminnan kuluttamia materiaali ja energiavirtoja, sekä niille ominaisia päästökertoimia. Kasvihuonekaasupäästöt saadaan laskettua käyttämällä hyväksi laskentaohjeita. Kun eri toiminnoille on laskettu kasvihuonekaasupäästöt,

yhdistetään eri toimintojen kasvihuonekaasupäästöt kokonaisuudeksi. (GHG-Protocol 2015, 40.)

4.2.4 PAS 2050:2011

PAS 2050 on yleisölle avoin spesifikaatio, jonka tarkoituksena on selvittää tuotteen tai palvelun elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt. PAS 2050 on Defran ja BIS:n kehittämä hiilijalanjäljen arviointiohje. PAS 2050 tarkoituksena on antaa yritykselle ymmärrystä kasvihuonekaasupäästöjen arviointiin tuoteketjun eri osissa, sekä luoda yhdenmukaiset edellytykset kasvihuonekaasujen vähennysohjelmalle. PAS 2050:n hiilijalanjäljen laskentaohje on laadittu elinkaariarvioinnin standardien ISO 14040 ja ISO 14044 pohjalta. Elinkaariarvioinnin avulla kuvataan tuotteen tai palvelun syötteet, ja niiden kasvihuonekaasupäästöt toiminnallista yksikköä kohti. PAS 2050 spesifikaation mukaisessa hiilijalanjälkilaskennassa on huomioitava arvioinnin relevanssi, täydellisyys, yhdenmukaisuus, oikeellisuus ja läpinäkyvyys. Laskennassa on otettava huomioon kaikki kasvihuonekaasupäästöt- ja poistumat, jotka ovat tuotteen valmistuksen tai palvelun kannalta merkittäviä. Raportista on käytävä ilmi ne oletukset, arvot ja metodit, joita laskennassa on käytetty. Käytetyt oletus- ja alkuarvot on oltava suhteutettuja selvityksen toiminalliseen yksikköön. Selvityksessä on oltava epävarmuustekijöitä, niin vähän kuin mahdollista. Selvityksen on oltava läpinäkyvä. Raportissa on esitettävä laskennassa käytetyt arvot, laskennan kulku sekä tulokset niin tarkasti, että kolmannen osapuolen on mahdollisimman helppo tulkita selvityksen kulkua ja tuloksia. (PAS 2050:2011, 7.)

Tuotteen elinkaaren ajan kasvihuonekaasupäästöjä laskettaessa on huomioitava kasvihuonekaasupäästöt sekä –poistumat, joita tuotte elinkaarensa aika kuluttaa. Tuotteen elinkaaren ajan hiilidioksidipäästöjä laskettaessa huomioidaan kasvihuonekaasupäästöt, jotka ovat peräisin energian käytöstä, polttoprosesseista, kemiallisista reaktioista, kylmäaineiden ja sen kaltaisten aineiden pääsystä ilmakehään, prosessien toiminnoista, palveluista ja kuljetuksesta, maankäytöstä ja maankäytön muutoksesta, karjataloudesta tai muista maatalouden toimista, tai jätehuollosta. Selvityksessä on huomioitava tarkasteluajanjakson pituus. Kaikkien kasvihuonepäästöjen sekä –poistumien on oltava peräisin saman pituiselta tarkasteluajanjaksolta. Kasvihuonekaasupäästöt ja poistumat

määritetään ensin massoina, jonka jälkeen ne muunnetaan GWP-kertoimella hiilidioksidiekvivalenteiksi (tCO_{2eq}). Lentoteitse tapahtuvan kuljetuksen vaikutusta tuotteen elinkaaren kasvihuonekaasupäästöihin määritettäessä laskenta suoritetaan ilman korjauskertoimia. Päästöjä laskettaessa on myös huomioitava, että kaikissa tapauksissa kaikki hiili ei vapaudu elinkaaren aikana ilmakehään, vaan biogeeninen hiili on sitoutuneena tuotteeseen. Kun sitoutuneen hiilen määrää arvioidaan, on huomioitava, että joissain tapauksissa hiiltä saattaa alkaa vapautua tarkastelukohteesta tietyn ajanjakson jälkeen ei hiilidioksidiperäisenä vaan esimerkiksi metaanina tai typpioksiduulina. Metsiin sitoutunut hiili on kuitenkin jätetty PAS 2050 tarkastelun ulkopuolelle. Mikäli kasvihuonepäästötarkastelussa huomioidaan hiilivarastot, on niiden määrityksen perusteet esitettävä raportissa. Kasvihuonekaasupäästöjä määritettäessä ei tule huomioida päästökompensaatioita, mikäli yritys on niitä ostanut neutraloidakseen tuotteen tai palvelun hiilijalanjälkeä. Kasvihuonekaasupäästöt tulee määrittää funktionaalista yksikköä kohti, kuten GHG-Protocollassa ja ISO-standardeissa. (PAS 2050:2011, 9-12.)

4.3 GaBi Professional -elinkaariarvioinnin mallinnusohjelma

GaBi Professional on thinkstepin kehittämä ohjelmisto, jonka tarkoituksena on avustaa elinkaariarvioinnissa. Ohjelmisto on kehitetty luomaan kestäviä ratkaisuja tuotekehitykseen. Elinkaariarvioinnin tarkoituksena on kehittää ratkaisuja, jotka ottavat huomioon ympäristölainsäädännön, ekotehokkuuden, ekosuunnittelu sekä arvoketjujen tehokkuuden. Ekotehokkuudella tarkoitetaan kustannustehokasta materiaalin, energian ja resurssien vähentämistä. Ekosuunnittelulla puolestaan halutaan kehittää tuotesuunnittelua sellaiseksi, että uusien tuotteisen ympäristöjalanjälki olisi pienempi. Ympäristöjalanjälkien tarkoituksena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjen, veden kulutuksen ja jätteen tuotannon negatiivista vaikutusta ympäristöön. Tehokkuuden lisäyksellä arvoketjuissa tarkoitetaan suunnittelun ja kehityksen, tuotannon, alihankkijoiden ja kuljetuksen tehokkuuden lisäämistä. (thinkstep 2017a.)

GaBi:n avulla mahdollista suorittaa elinkaariarvioinnin lisäksi elinkaarikustannuksien arviointia, edistää vastuullista tuotantoa sekä elinkaariraportointia. Elinkaarikustannuksien

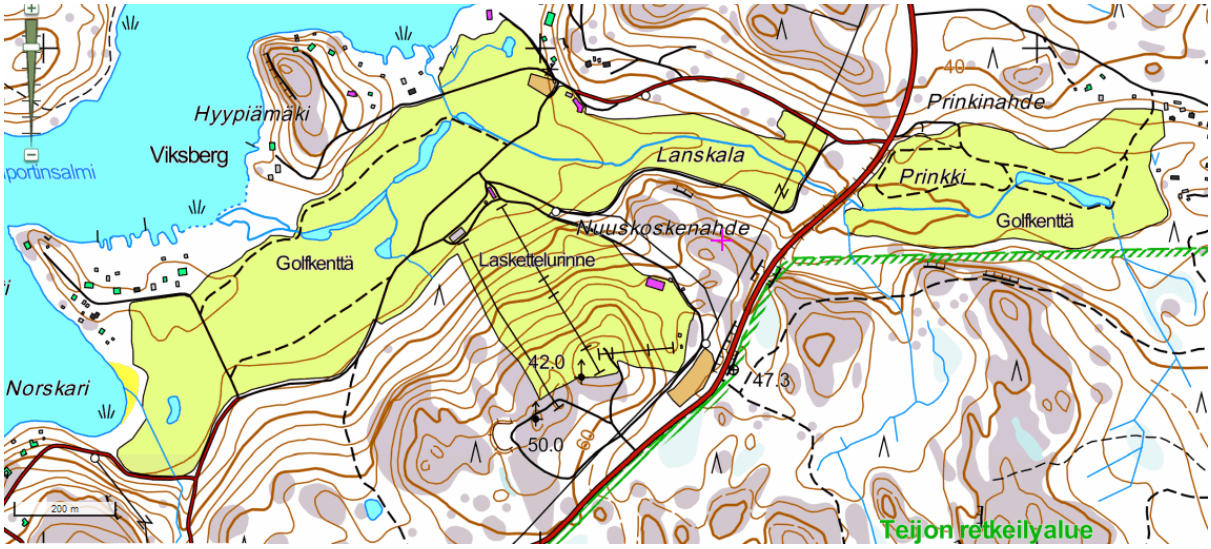
arvioinnin taustalla on ajatus mahdollisuudesta vähentää elinkaaren aikana aiheutuneita kustannuksia. Elinkaariraportoinnin avulla edistetään tuotteen kestävää markkinointia, raportointia ja elinkaariarvioinnista saadun tiedon jakamista eri osapuolille. (thinkstep 2017a.)

GaBi:n avulla on mahdollista mallintaa tarkasteltavan tuotejärjestelmän osaprosessien elinkaaren aikainen energian ja materiaalien kulutusta sekä näistä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Mallintaminen voidaan suorittaa käyttämällä hyväksi GaBi:n omia tietokantoja tai itse hankittua dataa. GaBi:n omiin tietokantoihin on kerätty dataa tieteellisistä julkaisuista, koskien energian ja materiaalin tuotantoa, käyttöä, kuljetusta ja käytöstä poistoa. (thinkstep 2017b.) Thinkstepin keräämät tietokannat ovat maailman suurimpia elinkaariarvioinnin tietokantoja. Tietokannat sisältävät yli 10 000 käytettävissä olevaa inventaarioanalyysi profiilia. Lisäksi käytettävissä on ecoinvent keskuksen ja NREL:n (National Renewable Energy Laboratory) sekä tämän kumppaneiden keräämiä tietokantoja. GaBi:in on myös mahdollista syöttää omaa dataa, luomalla omia tietokantoja ja osaprosesseja. (thinkstep 2017c.)

GaBi:n käytön tarkoituksena on elinkaariarvioinnin avulla lisätä yrityksen suorituskykyä kestävyyden näkökulmasta. Elinkaariarvioinnin ja sen tuloksista viestimisen avulla on tarkoitus lisätä brändin arvoa ja kestävää mielikuvaa, vähentää kustannuksia, edistää lainsäädännöllistä toimintaa, luoda kestäviä tuotteita ja prosesseja. GaBi:n käytön avulla on mahdollista löytää ne osa-alueet, joilla on merkittävin vaikutus tuotteen tai prosessin elinkaaren päästöihin. Näiden osa-alueiden löytämisellä on tärkeä rooli kehitettäessä ratkaisuja tuotteen tai prosessin kasvihuonekaasupäästöjen pienentämiseen. (thinkstep 2017d.)

5 CASE: MERI-TEIJO GOLF

Meri-Teijo Golf on vuonna 1990 perustettu golfkenttä. Kenttä sijaitsee Teijossa Varsinais-Suomen -läänissä. Välimatkaa Helsinkiin on noin 140 km, Turkuun 76 km ja Tampereelle 180 km. Meri-Teijo Golf on pinta-alaltaan 52,3 hehtaaria. Alueella sijaitsee klubi-rakennus, rantasauna sekä konehalli. Lisäksi, alueelle on suunnitteilla toinen konehalli. Meri-Teijo Golfin aluetta on havainnollistettu kartan avulla Kuva 2.



Kuva 2. Meri-Teijo Golfin sijainti (Retkikartta 2017).

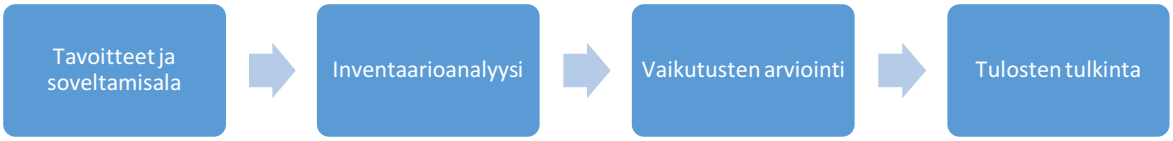
Meri-Teijo Golfia sijaitsee Itämeren rannalla. Maalla sen ympäristöä rajaa Teijon kansallispuisto. Golfkentän läpi virtaa oja, jonka mukana golfkentän sekä sen lähialueiden valumavedet virtaavat Itämereen. Golfkentän alue on ennen nykyistä toimintaansa toiminut maatalousmaana ja oja on perustettu maataloustoimintaa varten. Golfkentän alueella sijaitsee myös useampi lampi, joista vesi virtaa ojaan kohti. Golfkentän vieressä sijaitsee laskettelurinne. Laskettelurinteen ja Golfkentän liiketoiminnat ovat itsenäisiä toimintoja.

Golfkentällä on mahdollista pelata kahta kenttää. Pelaaja voi käyttää joko 18 väyläistä Meri-Teijo Golf -kenttää tai 6-reikäistä par 3 -kenttää. Pelikausi kentällä on pitkä ja kentän kunto on koko kauden ajan hyvä. Väylät käsittävät putti- ja chippingreenejä sekä harjoitusbunkkereita. Väylille on myös rakennettu vesiesteitä. Lyöntipaikkojen pinta-ala on

13 ha, viheriöiden 1,5 ha, väylien 1 ha ja viheriöiden ympäryksien 2 ha. Yhteensä viheralueiden pinta-ala kentällä on 17,5 ha. (Meri-Teijo Golf 2017a.)

Golfkentällä sijaitsee klubi-rakennus, jossa on ravintola, golfkauppa ja edustustiloja. Ravintolassa on 65 asiakaspaikkaa. Ravintolassa voi järjestää kokouksia, koulutustilaisuuksia, perhejuhlia ja tuote-esittelyitä. (Meri-Teijo Golf 2017b.) Lisäksi klubin tiloissa toimii golfiin erikoistunut Pro-Shop, jota pitää Golf Balance (Meri-Teijo Golf 2017c). Golfkentän alueella sijaitsee rantasauna, jota vuokrataan kentän jäsenille ja ulkopuolisille tahoille. Rantasaunaa käytetään virkistyskäytön lisäksi koulutuksissa ja kokouksissa. (Meri-Teijo Golf 2017d.)

Meri-Teijo Golfin toiminnan elinkaariarviointiin perustuva hiilijalanjälkilaskenta suoritetaan käyttäen hyväksi ISO 14040, 14044, 14064 ja 14067 –standardeja sekä GHG-Protocollaa. Selvitystyön rakenteeseen kuuluu työn tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusten arviointi ja tulosten tulkinta. Selvityksen rakennetta havainnollistetaan kuvassa 3.



Kuva 3. Elinkaari- ja hiilijalanjälkiselvityksen rakenne.

5.1. Työn tavoitteet ja soveltamisala

Elinkaariarviointiin pohjautuvan hiilijalanjälkiselvityksessä määritetään Meri-Teijo Golfin toiminnan hiilijalanjälki vuodessa. Hiilijalanjäljen tarkoituksena on tuoda tietoa siitä, mitkä osa-alueet golfkentän toiminnassa luovat suurimman osan kentän toiminnan

ilmastokuormituksesta. Hiilijalanjäljessä otetaan huomioon sekä kentän hoidon ja toiminnan, työntekijöiden työmatkojen sekä pelaajien matkustamisen ilmastokuormitus. Hiilijalanjäljen lisäksi elinkaariarvioinnin tarkoituksena on tunnistaa muut merkittävät ympäristökuormitusta aiheuttavat tekijät Meri-Teijo Golfin toiminnassa perustuen kasvihuonekaasuinventaarioon.

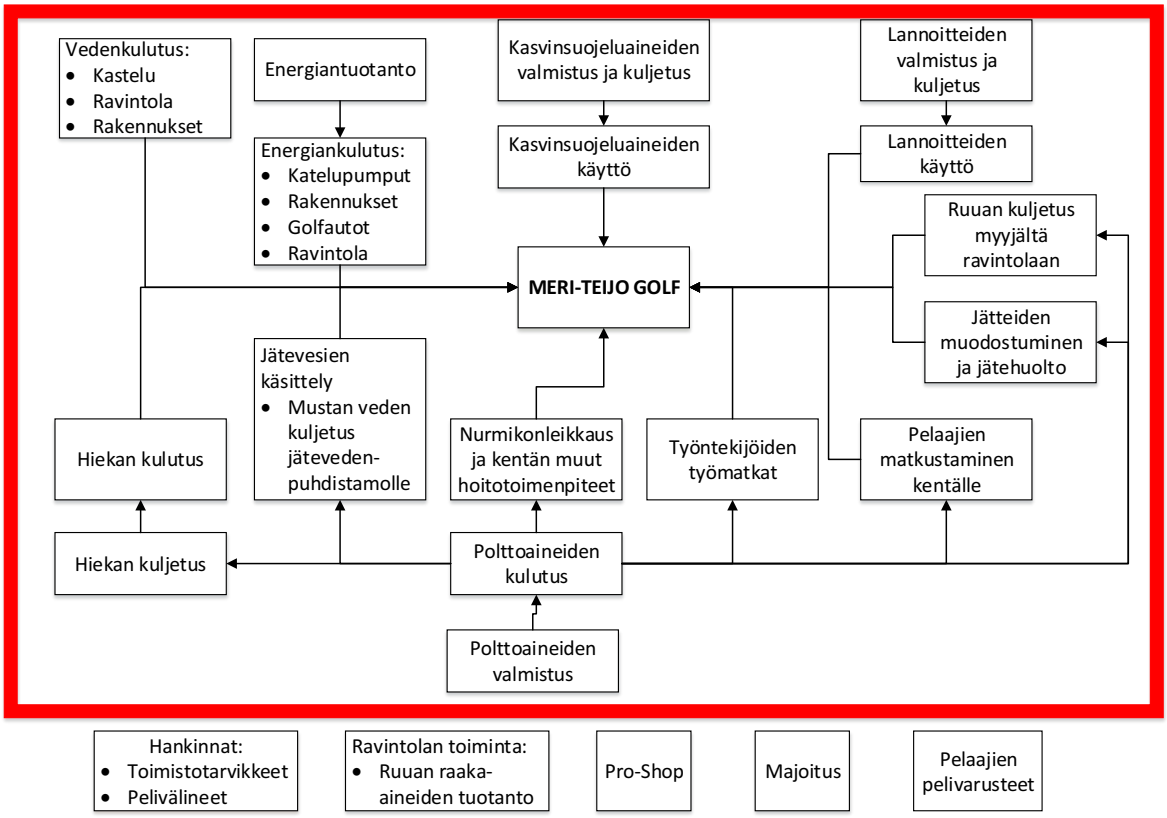
Elinkaariarvioinnin tarkoituksena on tuoda kentälle ja sen sidosryhmille tietoa sen ilmastokuormituksesta. Kentän tarkoituksena on käyttää tietoa hyväksi siten, että toiminnan hiilijalanjälkeä saataisiin pienennettyä. Meri-Teijo Golfin tavoitteena on olla hiilineutraaligolfkenttä vuoteen 2027 mennessä. Elinkaariarvioinnilla on tärkeä rooli, kun ilmastokuormitusta vähentäviä toimia aletaan suunnitella. Elinkaariarvioinnilla tuotetaan tietoa, jota voidaan hyödyntää Meri-Teijo Golfin markkinointiviestinnässä. Markkinointiviestinnän avulla kenttä voi luoda kilpailuetua muihin kenttiin nähden sekä motivoida sidosryhmiään ilmastonmuutoksen vastaiseen toimintaan.

5.2 Inventaarioanalyysi

Inventaarioanalyysi eli LCI (Life Cycle Inventory) on elinkaariarvioinnin toinen vaihe. Inventaarioanalyysi suoritetaan noudattaen ISO 14040, 14044, 14064, 14067 sekä GHG-Protocollan mukaisesti. Inventaarianalyysin tarkoituksena on selvittää yksikköprosesseihin menevät energia- ja materiaalivirrat eli panokset, sekä yksikköprosessien tuotokset eli tässä tapauksessa kasvihuonekaasupäästöt. Yksikköprosessit ovat toimintoja, jotka ovat osana koko systeemin toimintaa. Yksikköprosessit ovat tässä tapauksessa päästölähteitä.

Inventaarioanalyysin tiedonkeruu golfkentän toiminnasta toteutettiin syksyn 2016 ja kevään 2017 välisenä aikana erilaisilla kyselyillä. Kyselyihin vastasivat Meri-Teijo Golfin työntekijät sekä hallitus. Tiedonkeruun tavoitteena oli saada kokonaiskuva kentän hoidon sekä muun ydin toiminnan energian- ja vedenkulutuksesta sekä materiaalivirroista tarkastelujakson ajalta. Energiankulutuksella tarkoitetaan suoraa ja epäsuoraa sähkön-, lämmön- ja polttoaineiden kulutusta. Materiaalien kulutuksella tarkoitetaan lannoitteiden, kasvinsuojeluaineiden ja hiekan kulutusta. Golfkentän energia-, vesi- ja materiaalisyötteiden

lisäksi kerättiin kirjallisuudesta erilaisia lähtöarvoja. Kirjallisuuden lähtöarvoja käytettiin hyväksi kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa. Lähtöarvot on valittu niin, että ne ovat Meri-Teijo Golfin toiminnan kannalta mahdollisimman edustavia. Kasvihuonekaasupäästöjen muodostumista Meri-Teijo Golfin toiminnasta tarkastellaan vuoden ajanjaksolta, vuosilta 2016 ja 2017. Toiminnallinen yksikkö tässä työssä on Meri-Teijo Golfin toiminta vuoden aikana. Työssä ei oteta huomioon kentän perustuksen tai kentän toiminnan päättämisen kasvihuonekaasupäästöjä, vaan päästöjen laskennassa keskitytään tämän hetkisen toiminnan aiheuttamiin päästöihin. Kasvihuonekaasutarkastelun edellytyksenä on määrittää systeemin rajat, eli mitkä toiminnot otetaan mukaan kasvihuonekaasupäästöjen tarkasteluun ja mitkä eivät. Systeemin rajat on esitelty Kuva 4.



Kuva 4. Systeemin rajat.

Tarkastelun ulkopuolelle on rajattu kentänhoitoon kuulumattomien hankintojen, majoituksen sekä klubi-rakennuksessa sijaitsevan Pro-shopin toiminta. Kentän hoitoon kuulumattomat hankinnat on jätetty systeemin rajauksien ulkopuolelle, sillä tehtyjen hankintojen määrä on niin pieni, ettei sillä ole kentän hiilijalanjäljen kannalta oleellista

merkitystä. Pro-shop ja kentän läheiset majoitus palvelut on jätetty tarkastelusysteemin ulkopuolelle, sillä ne eivät kuulu golfkentän ydinliiketoimintaan. Myös pelaajien pelivarusteiden valmistus ja hankinta on jätetty tarkastelun ulkopuolelle, sillä tämä kuormittaa pelaajan henkilökohtaista jalanjälkeä, ei Meri-Teijo Golfin. Ravintolan ruoan raaka-aineiden tuotanto on jätetty tarkastelun ulkopuolelle, sillä ruoan tuotannon hiilijalanjäljen määrittäminen on työläs prosessi, jolla ei ole vaikutusta suoranaisesti itse golfkentän toimintaan.

Taulukko 2 havainnollistaa golfkentän päästölähteiden jaottelua. Päästöjaottelu tehdään käyttämällä hyväksi GHG-Protocollan mukaista päästöjaottelua Scope 1, 2, ja 3 –päästöihin. Kentän toiminnan päästöt jaotellaan suoriin kasvihuonekaasupäästöihin (Scope 1), epäsuoriin energiantuotannosta peräisin oleviin päästöihin (Scope 2) sekä muihin epäsuoriin päästöihin (Scope 3). Päästöjen lajittelu on kuvattu taulukossa 2. Lisäksi inventaarioanalyysissä on huomioitu makean veden ja kasteluveden kulutus golfkentän alueella, joita ei ole sisällytetty GHG-Protocollan mukaiseen päästölajitteluun.

Taulukko 2. Meri-Teijo Golfin suorat ja epäsuorat päästölähteet.

Scope 1: Suorat kasvihuonekaasu päästölähteet	Scope 2: Epäsuorat kasvihuonekaasu päästölähteet energian tuotannosta	Scope 3: Muut epäsuorat päästölähteet
Lannoitus	Sähkönkulutus • Kastelujärjestelmä • Rakennukset ja infrastruktuuri • Golfautot	Lannoitteiden valmistus ja kuljetus
Kasvinsuojeluaineiden kulutus	Sähköntuotanto	Kasvinsuojeluaineiden valmistus ja kuljetus
Kentänhoitokaluston polttoaineiden käyttö		Pelaajien kulkeminen Meri-Teijoon autolla ja polttoaineen valmistus
Typpioksiduulipäästöt lannoitteiden käytöstä		Kentän hoitokaluston polttoaineiden valmistus
Typpioksiduulipäästöt ruohonleikkausjätteen sijoittamisesta nurmelle		Työntekijöiden työmatkat ja polttoaineiden valmistus
		Jäteveden käsittelyn energiankulutus
		Bunkkerihiekan kuljetus, louhinta ja koneiden polttoaineen valmistus
		Ruoan kuljetus ravintolaan Meri-Teijo Golfiin ja kuljetuksen polttoaineiden valmistus
		Jätehuolto

Kasvihuonekaasupäästöt lasketaan kirjallisuudesta peräisin olevien kasvihuonekaasupäästökertoimien avulla sekä käyttämällä hyväksi GaBi:n tietokantojen

arvoja. Kasvihuonekaasupäästökertoimien avulla golfkentän materiaali ja energiavirrat muutetaan määrällisistä suureista kasvihuonekaasupäästöiksi. Tässä työssä kasvihuonekaasupäästöjä kuvataan yksiköllä tCO_{2eq}, eli hiilidioksidiekvivalenttitonnilla.

5.2.1 Sähkönkulutus

Noin 35 % ihmisen aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä tulee energiantuotannosta. Energiantuotannon aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ovat olleet kasvussa viime vuosikymmenien aikana. Vuosien 1990-2000 päästöt kasvoivat 1,7 % vuodessa ja 2000-2010 kasvu oli jo 3,1 % vuodessa. Kasvihuonekaasupäästöjen kasvun taustalla ovat talouden kasvu sekä hiilen käytön lisääntyminen eri maiden energiantuotantopaletissa. Energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöt ovat peräisin fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Fossiilisilla polttoaineilla tarkoitetaan hiiltä, öljyä ja maakaasua. Fossiilisiin polttoaineisiin on sitoutunut hiiltä aikojen saatossa, mikä vapautuu ilmakehään hiilidioksidia energiantuotannon yhteydessä. Fossiilisia polttoaineita käytetään hyväksi erilaisissa polttolaitoksissa polttamalla. (IPCC 2014, 518, 525.)

Meri-Teijo Golfin sähkönkuluttajia ovat alueella sijaitsevat kiinteistöt, muu infrastruktuuri, golfautot sekä kastelujärjestelmä. Kiinteistöiden lämmitys toimii sähköllä. Yhteensä kiinteistöjen ja pumppujen sähkönkulutus on vuodessa 98 100 kWh. Kiinteistöjen sekä pumppujen sähkönkulutus on esitetty taulukossa 3. (Simola 2016.)

Taulukko 3. Meri-Teijo Golfin kiinteistöjen sekä pumppujen sähkönkulutus (kWh) vuodessa.

Sähkönkulutuskohde	Sähkönkulutus vuodessa [kWh/a]
Klubirakennus	60 000
Rantasauna	15 000
Konehalli	11 000
Iso sadetuspumppu	8 000
Ojapumppu	100
Paineenkorotuspumppu	4 000
Yhteensä	98 100

Golfkentällä kulutettu sähkö on ostosähköä Vantaan Energialta. Sähkö on tuotettu 100 % tuulivoimalla. Sähkön alkuperä takuu on RES-E-direktiivin 2009/28/EC mukainen. Vantaan

Energia hankkii vuosittain vähintään myyntiään vastaavan määrän uusiutuvalla energialla tuotettua sähköä. Ulkopuolinen valvoja on varmentanut tämän vuosittain. (Vantaan Energia 2017.)

Sähkönkulutuksen hiilijalanjälki on laskettu käyttämällä GaBi –elinkaariarvioinnin mallinnusohjelmaa. Hiilijalanjäljen määrittämiseksi on käytetty ohjelmasta valmista energiantuotantoprosessia tuulivoimalle, FI: Sähköä tuulivoimasta, jonne on syötetty sähkönkulutuksen määrä vuodessa. Ohjelma laskee sähkönkulutustietojen, sekä ohjelman omien tietokantojen perusteella Meri-Teijon sähkönkulutukselle hiilijalanjäljen. Valmisprosessi on tehty perustuen maakohtaisiin tietoihin tuulisähkön tuotantoon Suomessa. Prosessi ottaa huomioon sekä maalla, että merellä tuotetun tuulisähkön. Lisäksi valmisprosessi huomioi sähkötuotantolaitteiden valmistuksesta, voimaloiden perustuksesta ja sähkönsiirtoverkon perustuksesta peräisin olevat päästöt ympäristöön. (GaBi 6.0.)

5.2.2 Kasvinsuojeluaineet

Kasvinsuojeluaineiden käytöllä on vaikutusta ilmastonmuutokseen. Kasvihuonekaasupäästöjä vapautuu kasvinsuojeluaineiden valmistuksen aikana. Valmistamisprosessi sisältää kasvinsuojeluaineiden valmistamisen, pakkauksen ja kuljetuksen. Kasvinsuojeluaineiden hiilijalanjäljen mallintaminen on monimutkaista, mikä aiheuttaa epävarmuutta selvityksen tuloksissa. Epävarmuus johtuu siitä, että kasvinsuojeluaineiden valmistamiseen käytetty energia vaihtelee riippuen siitä, mitä raaka-aineita kasvinsuojeluaineiden valmistuksessa käytetään ja minkälainen valmistusprosessi on kyseessä. (FAO 2015, 16.)

Golfkentällä käytetään kasvinsuojeluaineita greenien 1-19 hoitoon. Käytettäviä kasvinsuojeluaineita ovat Finalsan, Primo Maxx, Adama Tilt sekä Medallion TL. Kasvinsuojeluaineita käytetään tarpeen mukaan vuoden aikana. (Simola 2016.) Kesä-elokuun aikana Primo Maxx kasvinsuojeluainetta käytettiin yhteensä neljä kertaa. Käyttömäärä Primo Maxx:lla oli 0,6 l per käyttökerta. Primo Maxx:n tarkoituksena on vähentää golfkentän nurmikon kasvua ja leikkauskertoja. Primo Maxx:n tehoaineena on trineksapakki-etyyli, jota litrassa kasvunhidastetta on 121 grammaa. (Tukes 2012.) Adama

Tilt kasvinsuojeluainetta käytettiin vuoden aikana kolme kertaa kesä-syyskuun aikana. Adaman käyttömäärät vaihtelivat jokaisella käyttökerralla1,0-2,0 l välillä. Yhteensä Adama Tiltiä käytetään vuodessa 4,5 litraa. Adama Tiltin tarkoituksena on ehkäistä golfkentän nurmikon laikkutauteja. Sen aktiivinen ainesosa on propinokatsoli, jota kasvinsuojeluaineessa on 250 grammaa litrassa. (Tukes 2008.) Finalsan on rikkakasvien torjunta-aine, jonka tarkoituksena on antaa pitkäaikainen suoja rikkakasvien uudelleen kasvua vastaan. Sitä käytettiin golfkentän nurmikon hoitoon vain kerran vuoden aikana. Finalsanin tehoaineita ovat pelargonihappo ja maleiinihydratsidi. Pelargonihappoa on Finalsanissa 187 grammaa litrassa kasvinsuojeluainetta. Finalsan on 100 % biohajoava kasvinsuojeluaine. (Tukes 2009.) Medallion TL on kasvitautien torjuntaan käytetty kasvinsuojeluaine. Esimerkiksi lumihome, keltaläikkö ja lehtilaikku ovat tauteja, joita Medallion TL:llä on tarkoitus torjua. Sen vaikuttava ainesosa on fludioksidiili, mikä kuuluu fenyylipyrolien kemikaaliluokkaan. Fluksiodiilia on 125 grammaa litrassa kasvinsuojeluainetta. Medallion TL muodostaa lehdelle suihkutettaessa lehden pintaan suojakalvon, joka estää kasvitautien tartunnan ja leviämisen. Maaperässä ja kuiduissa Medallion TL pienentää taudinaiheuttajavarastoja. (Tukes 2015.) Taulukko 4 esittää Meri-Teijo Golfissa käytettävien kasvinsuojeluaineiden käyttömäärät vuodessa, sekä niiden sisältämän vaikuttavan aineenmäärän. Tarkempi kuvaus kasvinsuojeluaineiden käytöstä on esitetty liitteessä I.

Taulukko 4. Kasvinsuojeluaineiden käyttömäärät vuoden aikana.

Kasvinsuojeluaine	Käyttömäärä, [l/a]	Vaikuttavan aineen määrä, [kg/a]
Adama Tilt	4,5	1,125
Primo Maxx	2,4	0,726
Medallion TL	4	0,500
Finalsan	1,5	0,281

Kasvinsuojeluaineiden ominaishiilidioksidipäästöt vaihtelevat riippuen siitä onko kyseessä rikkakasvien, kasvitautien vai hyönteisten tuhoamiseen käytetty aine. Kasvinsuojeluaineiden ominaishiilidioksidipäästökertoimet on ilmaistu kilogramma hiilidioksidiekvivalenttia yhtä kilogrammaa vaikuttavaa ainetta kohti. Green (1987) ja Williams et.Al. (2006) ovat määrittäneet seuraavat ominaishiilidioksidipäästökertoimet

rikkakasvien, kasvitautien ja hyönteisten torjuntaan käytetyille kasvinsuojeluaineille. Taulukossa 5 on esitetty ominaispäästökertoimet rikkakasvien, kasvitautien ja tuholaisten torjunta-aineille.

Taulukko 5. Kasvinsuojeluaineiden hiilijalanjäljet käyttökohteittain. (Green 1987.) (Williams et.Al. 2006.)

Kasvinsuojeluaineen käyttökohde	Ominaispäästökerroin [$kgCO_{2eq}/kg_{vaikuttava\text{-}aine}$]
Rikkakasvit	18,25
Tuholaiset	14,79
Kasvitaudit	11,94

5.2.3 Lannoitus

Lannoitteiden käytön tarkoituksena on taata hyvinvoiva ja terve nurmi, joka on kestävä pelialusta. Terve nurmi kestää tuholaiset, vähentää eroosiota ja ravinteiden valumista pois maaperästä sekä edesauttaa kentän käyttöä. Typpi, kalium, ja fosfori ovat tärkeitä ravinteita nurmikon hoidossa. Kalkin merkitys nurmikon hoidossa on pitää maaperän happamuus kasvuolosuhteiden näkökulmasta tasapainossa. (King et. Al. 2000.)

Lannoitteiden käyttö on yksi maatalouden merkittävimmistä kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajista. Lannoitusteollisuus kuluttaa noin 1,2 % maailman vuotuisesta energiankulutuksesta. Suurin osa käytetystä energiasta, noin 90 %, kuluu ammoniakin valmistukseen. Globaaleista kasvihuonekaasupäästöistä noin 1,2 % on peräisin lannoitteita valmistavasta teollisuudesta. Vuonna 2010 synteettisten lannoitteiden käytöstä aiheutui 0,68 $GtCO_{2eq}$ kasvihuonekaasupäästöjä. Suurin osa kasvihuonekaasupäästöistä on peräisin kehittyvistä maista. Euroopassa lannoitteiden käytöstä aiheutuvat päästöt ovat olleet laskussa noin 1,8 %:lla vuodessa. (IPCC 2014b, 824.)

Golfkentän nurmikkoa lannoitetaan säännöllisesti. Yhteensä lannoitus alaa on 17,5 hehtaaria. Lannoituksessa käytetään hyväksi typpi, fosfori- ja kaliumlannoitteita. Lannoitteet ovat joko kiinteitä tai nestemäisiä. Niitä käytetään viheriöillä, lyöntipaikoilla ja väylillä sekä viheriön ympäryksillä. Lisäksi golfkentän hoidossa käytetään kalkkia. Kalkki levitetään kentälle rakeina, käyttäen hajalevitystapaa. Käytettävä kalkki on dolomiittikalkkia

($MgCa(CO_3)_2$). Lannoitteiden käyttömäärät ovat peräisin Meri-Teijo Golfin lannoitussuunnitelmasta. Typpi, fosfori- ja kaliumlannoitteiden sekä kalkin käyttömäärät vuodessa on esitetty taulukossa 5. Tarkempi kuvaus kaikkien lannoitteiden käyttömääristä esitetty liitteessä II. (Simola 2016.)

Taulukko 5. Typen, fosforin, kaliumin ja kalkin käyttömäärä vuodessa lannoitukseen golfkentällä.

Lannoituskohde	Lannoitusala, [ha]	Typpi, N [kg/ha]	Fosfori, P [kg/ha]	Kalium, K [kg/ha]	Kalkki, Ca [kg/ha]
Viheriöt	1,5	152	22	125	173
Lyöntipaikat	1	100	11	84	120
Väylät	13	68	9	38	0
Viheriön ympärykset	2	84	6	54	120
Yhteensä	17,5	404	48	302	413

Eri lannoitteilla on erilainen hiilijalanjälki. Lannoitteiden hiilijalanjäljen suuruuteen vaikuttaa lannoitteiden valmistustapa sekä valmistuksen energian käyttö. Myös raaka-aineiden ja valmiiden lannoitteiden kuljetuksella on vaikutusta lannoitteiden käytön hiilijalanjälkeen. (FAO 2015, 15.) Typpi-, fosfori- ja kaliumlannoitteille on määritetty ominaishiilijalanjäljet ($kgCO_{2eq}/kg_{lannoite}$). Ominaishiilijalanjäljet on määritetty eripuolilta maapalloa oleville lannoitteille erikseen. Tässä työssä tarkastellaan Länsi-Euroopasta peräisin olevia typpi-, fosfori-, ja kaliumlannoitteita. Hiilijalanjälki kattaa kaikki päästöt kehdosta tehtaan portille periaatteella, aina lannoitteiden raaka-aineiden louhinnasta, kuljetuksista ja energian käytöstä lähtien. Typpilannoitteen ominaishiilijalanjälki on 5,62 $kg_{CO2eq.}/kg_{N,}$ fosforilannoitteen 1,47 $kg_{CO2eq.}/kg_{P,}$ ja kaliumlannoitteen 1,36 $kg_{CO2eq.}/kg_{K}$. (Kool et. Al. 2012, 13.) Kalkituksessa käytetty kalkki on karbonaattimuodossa. Karbonaatti reagoi maaperässä vapauttaen hiilidioksidia. Kalkin kasvihuonekaasupäästökertoimena on käytetty 0,477 $kgCO_{2eq}/kg_{MgCa(CO3)2.}$ Päästökerroin ottaa huomioon sekä kalkin valmistuksen, että hiilidioksidin muodostumisen maaperässä. (VTT 2000, 14-15.)

Lannoitteiden typpi ja fosfori huuhtoutuvat sade- ja kasteluvesien mukana pois maaperästä. Ravinteiden huuhtoutumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat kastelun ajankohta, kastelu- ja sadantaveden määrä sekä maaperän kosteus ja maalaji. Myös nurmilajikkeiden, nurmen iän ja ilmaston on havaittu vaikuttavan typen huuhtoutumiseen maaperästä (Barton&Colmer 2004.) Typen ja fosforin huuhtoutumista pois golfkentän nurmelta on tutkittu useassa eri tutkimuksessa. Tutkimukset ovat tehty eri tyyppisillä paikoilla ja eri menetelmillä, mutta niiden perusteella voidaan vetää suuntaviivoja siihen, kuinka paljon maaperään sijoitetusta typestä ja fosforista huuhtoutuu maaperästä pois. Shuman et.Al. (2002) tutkimuksen mukaan 0,6 % maaperään sijoitetusta typestä ja 10,9 % fosforista huuhtoutuvat pois (Schuman et. Al. 2002). Eastonin ja Petrovicin (2004) mukaan typen huuhtouma golfkentän maaperästä on 6,2 % (Easton & Petrovic et.Al. 2004). Moss et.Al. (2006) tutkimuksen mukaan 1,5 % lannoitetypestä huuhtoutui pois maaperästä kastelun seurauksena, kun taas sadannan takia 0,5 % lannoitetypestä huuhtoutui pois. Fosforin kohdalla sateet huuhtoivat 3,3 % ja kastelu 5,5 % lannoitefosforista. (Moss et. Al. 2006.) Näiden tutkimuksien perusteella oletetaan, että Meri-Teijon Golfin tapauksessa lannoitetypen huuhtouma kentän maaperästä on noin 2 % lannoitteena käytetystä typestä ja 10 % käytetystä fosforista. Tämä tarkoittaa noin 27,6 kg typpi- ja 17,3 kg fosforihuuhtoutumia vuodessa. Kaliumin huuhtoumaa ei tässä työssä tutkita.

5.2.4 Kentänhoitokaluston polttoaineen kulutus

Kentänhoitokalustolla tarkoitettaan työkoneita, jotka eivät ole liikennekäyttöön suunniteltuja. Työkoneilla voidaan tarkoittaa nurmikon hoitoon ja perustusten tekoon suunniteltuja koneita, sekä maatalouden käyttöön tarkoitettuja koneita. Myös satama- ja kaivoskoneet, murskaimet, hakkurit ja trukit ovat luokiteltaessa työkoneiksi (VTT 2016, 5). Käytettäviä polttoainevaihtoehtoja ovat kevyt polttoöljy eli diesel, sekä bensiini. (Euroopan Komissio 2017.) Diesel on yleisin työkoneissa käytetty polttoaine (VTT 2016, 7).

Valtion Teknologian Tutkimuskeskus VTT on kehittänyt TYKO-laskentamallin, jonka avulla on mahdollista laskea työkoneiden käytöstä aiheutuneita päästöjä ympäristöön sekä koneiden energiankulutusta. Työkoneet ovat TYKO:ssa jaoteltu kahteen polttoaineluokkaan, diesel- ja bensiinikäyttöisiin, sekä kahteen työtapaluokkaan, joita ovat

siirrettävät ja ajettavat koneet. Suomessa tieliikenteen ja työkoneiden vuotuisesta yhteenlasketusta polttoaineiden kulutuksesta 17 % on peräisin työkoneiden käytöstä. Puolestaan yhteenlasketuista tieliikenteen ja työkoneiden käytöstä aiheutuvista hiilidioksidipäästöistä 19 % tulee työkoneiden käytöstä. TYKO-laskentamallia tehtäessä ei ole huomioitu biokomponenttien osuutta dieselissä, mikä selittää eron hiilidioksidipäästöjen ja polttoaineen kulutuksen välillä. Bensiinissä biokomponenttien osuuden on oletettu olevan sama kuin liikenteen polttoaineessa. (VTT 2016, 6-8.)

Työkoneet ovat polttomoottorikäyttöisiä koneita, joiden käytössä vapautuu ilmaan päästöjä. Päästöt ovat peräisin polttoaineen osista, jotka vapautuvat ilmaan polttoaineen palaessa moottorissa. Polttomoottorien tyypillisimpiä päästöjä hiilidioksidin lisäksi ovat hiilimonoksidi, hiilivedyt, typen oksidit sekä pienhiukkaset. Päästöjen määrä vaihtelee polttomoottorin käyttämän polttoaineen mukaan. (Euroopan Komissio 2017.) Bensiinikäyttöiset työkoneet aiheuttavat suurimman osan työkoneiden hiilivetypäästöistä. Etenkin kaksitahtisten polttomoottorien kohdalla hiilimonoksidi- ja hiilivetypäästöt ovat suurin ongelma. (VTT 2016, 7, 10.)

Meri-Teijo Golfissa käytetään sekä bensiini- että dieselkäyttöisiä ajettavia työkoneita kentän hoidossa. Hoitokoneet käyttävät polttoainetta vuodessa noin 7500 litraa (Simola 2016). Suurin osa työkoneista on diesel käyttöisiä koneita. Hiilijalanjälkilaskennassa on oletettu, että 75 % kulutetusta polttoaineesta on dieseliä ja 25 % on bensiiniä. Diesel- ja bensiinikäyttöiset työkoneet on esitetty liitteessä III.

TYKO-tietokannassa dieselkäyttöisten ajettavien työkoneiden hiilidioksidipäästökertoimet vaihtelevat 2,630 $kgCO_{2eq}$:sta 2,649 $kgCO_{2eq}$:iin konetyypistä riippuen. Maatalous- ja teollisuustraktorien päästökerroin on suurin 2,649 $kgCO_{2eq}$. Pienin päästökerroin on dieselkäyttöisillä trukeilla ja ajoruohonleikkureilla. (LIPASTO 2012a.) Tietokannasta on saatu dieselkäyttöisten työkoneiden päästökertoimeksi 2,6 $kgCO_{2eq}$ käytettyä polttoainelitraa kohden. Bensiinikäyttöisten ajettavien työkoneiden hiilidioksidipäästökertoimet vaihtelevat 1,52 $kgCO_{2eq}$:sta 2,212 $kgCO_{2eq}$:iin. 1,520 $kgCO_{2eq}$ edustaa trukkeja ja 2,211 $kgCO_{2eq}$ muiden bensiini käyttöisiä ajettavia työkoneita. Bensiinikäyttöisille työkoneille on hiilidioksidipäästökertoimeksi valittu 2,2 $kgCO_{2eq}$ kulutettua bensiinilitraa kohti. (LIPASTO

2012b.) Eri työkoneiden polttoaineen kulutuksia ei ole tiedossa, minkä takia työkoneiden päästökertoimiksi on valittu kaikille diesel- ja bensiinikäyttöisille koneille yhteiset päästökertoimet niin, että ne edustaisivat polttoaineryhmää ja tarkasteltavaa ajoneuvokantaa mahdollisimman edustavasti. Taulukko 6 esittää työkoneiden polttoaineen kulutusta sekä kasvihuonekaasupäästökerrointa polttoainetyyppiä kohti.

Taulukko 6. Työkoneiden niiden toiminnan kasvihuonekaasupäästöt vuodessa.

Työkonetyyppi	Hiilidioksidipäästö-kerroin, [$kgCO_{2eq}/l$]	Polttoaineen kulutus vuodessa, [l/a]
Ajettava diesel käyttöinen työkone	2,6	5625
Ajettava bensiini käyttöinen työkone	2,2	1875

TYKO-tietokannassa ei ole huomioitu polttoaineen valmistukseen liittyviä päästöjä. TYKO-tietokannan päästökertoimet huomioivat vain työkoneiden käytön aikaiset päästöt. Jotta työkoneiden käytön päästöjä voidaan arvioida kattavasti, on työkoneiden käyttämällä polttoaineelle laskettava myös polttoaineiden valmistuksen energian kulutus sekä kasvihuonekaasupäästöt. Polttoaineen valmistuksen kasvihuonekaasupäästöt lasketaan käyttämällä GaBi –elinkaarimallinnusohjelman valmiita prosesseja dieselin ja bensan tuotannolle. Käytettävät prosessit ovat EU-27: Diesel sekoitus jalostamolta sekä EU-27: Bensiini sekoitus jalostamolta. GaBi:n valmiiden prosessien alkuarvot perustuvat EU-27 -maille tyypillisiin arvoihin, joita ohjelmiston tietokannat sisältävät. Valmisprosessi ottaa huomioon valmistuksen energian ja polttoaineiden kulutuksen sekä käytettyjen raaka-aineiden hankinnan. (GaBi 6.0.)

5.2.5 Hiekan kulutus ja kuljetus

Golfkenttä sisältää useita bunkkereita eli hiekkaesteitä, joiden kunnossapitoon kuuluu hiekan lisäys tietyin väliajoin. Bunkkerien lisäksi kentän väylät tarvitsevat hiekkaa tietyin

väliajoin. Hiekan kulutuksen hiilijalanjälkilasketaan hiekan kuljetuksesta sekä hiekan louhinnasta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen mukaan (Tidåker et.Al.). Hiekan siirrosta ja käsittelystä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt on määritetty kentän hoitokaluston kasvihuonekaasupäästöjen yhteydessä.

Meri-Teijo Golfin hiekan kulutuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt lasketaan GaBi-elinkaarimallinnusohjelman valmiiden prosessien avulla. Hiekan louhinnalle, hiekan kuljetukselle sekä kuljetuksen käyttämän polttoaineen valmistukselle käytetään valmiita prosesseja. Hiekan louhinnan prosessi ottaa huomioon kaikki louhintaprosessin vaiheet kehdosta-portille periaatteella, eli kaikki ne toiminnot, joita hiekan valmistus vaatii aina asiakkaalle kuljetukseen saakka. Hiekan louhinnan alkuarvot perustuvat thinkStepin teollisuudesta sekä kirjallisuudesta keräämään tietoon. Käytettävän prosessin nimi on EU-27: Hiekka 0/2.

Hiekan kuljetukseen käytettävä valmisprosessi on GLO: Kuorma-autoa. Prosessi ottaa huomioon kuorma-auton käytönaikaiset päästöt. Se ei ota huomioon kuorma-auton valmistukseen tai sen käytöstä poistoon liittyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Prosessi on suunniteltu kuljettamaan 12,4 tonnin lasteja Euro 5 –luokan kuorma-autolla. Kuorma-auto käyttämän polttoaineen bioainesosuus on 7 % ja rikkipitoisuus 10 ppm. Kuorma-auto kuluttaa polttoaineenaan dieseliä. Dieselin kulutuksen elinkaariarviointi suoritetaan käyttämällä valmista GaBi-prosessia, EU-27: Dieselsekoitus jalostamolta. (GaBi 6.0.) Kuorma-auton edestakainen kuljetusmatka on yhteensä 150 km. Meri-Teijo Golf kuluttaa hiekkaa 300 000 tonnia vuodessa. (Sahlström 2017.) Kulutetun hiekan kuljettaminen vaatii dieseliä 699 kiloa vuodessa (GaBi 6.0.).

5.2.6 Jätevesien käsittely

Jätevesien käsittelystä aiheutuu ilmastokuormitusta, vesihuoltolaitoksen hiilijalanjälki on kuitenkin pieni verrattuna ihmisten liikkumiseen tai lämpimän käyttöveden kulutukseen. Vesihuollon osuus suomalaisen ihmisen vuotuisesta hiilijalanjäljestä onkin noin 0,1 %. Vesilaitosyhdistyksen mukaan, suomalaisen vesihuoltolaitoksen hiilijalanjälki henkilöä kohti on noin 22,7 $kgCO_{2eq}$. Tämä ottaa huomioon vesihuoltopalveluiden

energiankulutuksen. Vesihuoltolaitoksen materiaalien kulutus sekä kuljetuksien vaikutus on rajattu tämän hiilijalanjäljen ulkopuolelle. (Vesihuoltoyhdistys 2012, 10.)

Jätevettä syntyy golfklubilta, rantasaunalta ja sekä konehallilta. Golfkulubin ja konehallin jätevedet ohjataan Salon kaupungin kunnallistekniikan jätevedenpuhdistamolle. Rantasaunan mustavesi menee umpikaivoon ja harmaa vesi ohjataan imeytyskenttään. Mustavesi viedään jatkokäsiteltäväksi tyhjennyksen jälkeen Salon kaupungin jäteveden puhdistamolle kerran vuodessa. Salon kaupungin jäteveden puhdistamolle ohjataan puhdistettavaksi yhteensä 220 m^3. Rantasaunalla kulutetaan vettä noin 20 m^3 vuodessa. Oletetaan, että rantasaunalla käytetystä vedestä 5 m^3 muuttuu mustaksi vedeksi ja päätyy umpikaivon kautta jäteveden puhdistamolle puhdistettavaksi. Umpikaivo tyhjennetään säiliöautolla, ja mustavesi kuljetetaan Salon jätevedenpuhdistamolle. Kuljetusmatkan edestakainen pituus on 40 km. (Skogster 2017.)

Mustanveden hiilijalanjälkeä laskettaessa, on huomioitava sekä jäteveden puhdistamolla tapahtuvan jäteveden puhdistuksen energiankulutus, sekä mustanveden kuljetuksesta jäteveden puhdistamolle tapahtuvat kasvihuonekaasupäästöt. Jäteveden puhdistukseen sekä mustan jäteveden kuljetukseen käytetään valmiita GaBi-prosesseja. Jäteveden puhdistukseen käytetään EU-27: Yhdyskuntajäteveden puhdistus –prosessia. Prosessi ottaa huomioon jäteveden puhdistuksen energiankulutuksen. Elinkaarimallissa oletetaan, että jäteveden puhdistuksen käyttämä energia, on peräisin sähköverkosta ja kuvastaa Suomalaisen sähkön tuotantojakaumaa ja –olosuhteita. Jäteveden puhdistuksen valmis GaBi-prosessi ottaa huomioon kaikki jäteveden puhdistamoon kulkevat ja sieltä lähtevät energia ja materiaalivirrat. Valmis prosessi perustuu EU-27 –maille tyypillisiin kirjallisuuden ja teollisuuden arvoihin. Oletetaan, että säiliöauton hiilijalanjälki ajokilometriä kohti on sama kuin suurella jakelukuorma-autolla, sillä GaBi-elinkaarimallinnusohjelma ei tunne imuautoa. Imuauton käytön kasvihuonekaasupäästöjen mallintamiseen käytetään kuorma-autoa, jonka lastaustilavuus on 9,3 tonnia, ja kuorma-auton paino on 12-14 tonnia. Kuorma-auto on Euro 6 –luokan ajoneuvo, ja se käyttää polttoaineenaan dieseliä, jossa bioainesosuus on 7 % ja rikkipitoisuus 10 ppm. Dieselin valmistuksen kasvihuonekaasupäästöt on mallinnettu GaBi:lla, käyttäen hyväksi valmista

diesel sekoite -prosessia, joka kuvaa dieselin jalostuksen EU-27 –maissa. (GaBi 6.0.) Kuorma-auton ajama edestakainen ajomatka Meri-Teijosta Saloon on 40 kilometriä.

5.2.7 Typpioksiduulipäästöt

Maapallon typpioksiduulipäästöistä noin kolmasosa on ihmisen aiheuttamia. Suurin päästöjen aiheuttaja on maataloussektori. Loput typpioksiduulipäästöistä syntyy luonnosta maaperän ja merien mikrobitoiminnan seurauksena. Typpioksiduuli on pitkäikäinen kasvihuonekaasu, jonka viipymäaika ilmakehässä on noin 114 vuotta. Typpioksiduuli hajoaa ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta ilmakehän ylimmissä kerroksissa. (IPCC 2007.) (Nevanlinna 2008, 50-53.) Typpioksiduulilla on ilmastoa lämmittävä vaikutus. Sen ilmaston lämpenemispotentiaali (GWP_{100}) on 298, kun hiilidioksidilla se on 1. Hiilijalanjälkilaskentaa varten typpioksiduulipäästöt muutetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi kertomalla typpioksiduulin päästömäärä sen GWP_{100}-kertoimella. (UNFCC 2017.)

Golfkentän nurmen hoitotoimenpiteistä, kuten ruohonleikkauksesta, että lannoitteiden käytöstä aiheutuu typpioksiduulipäästöjä (N_2O). Typpioksiduulia vapautuu ilmakehään maaperästä nitrifikaatio ja denitrifikaatio prosesseissa. Nitrifikaatiolla tarkoitetaan ammoniakin hapettumista nitraatiksi. Denitrifikaatiossa nitrifikaatiossa muodostunut nitraatti muodostaa typpikaasua. Typpioksiduulia vapautuu ilmakehään denitrifikaation ja nitrifikaation sivutuotteena. Denitrifikaatio ja nitrifikaatio reaktiot on kuvattu yhtälöissä 2, 3 ja 4 (Lal & Ussiri 2012, 70,71,79).

Nitrifikaatio:

$$2NH_3 + 0_2 \rightarrow NO_2^- + H_2O + 2H^+ \quad (2)$$

$$NO_2^- + H_2O \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + 2e^- \quad (3)$$

missä,

NH_3	= ammoniakki
0_2	= happi
NO_2^-	= nitriitti
H^+	= vetyioni

e^- = negatiivinen elektroni

H_2O = vesi

NO_3^- = nitraatti

Denitririfikaatio

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2 \quad (4)$$

missä, N_2O = typpioksiduuli

N_2 = typpikaasu

Lannoitteiden käyttö

Typpioksiduulia muodostuu suoraan lannoitteiden käytöstä. Typpilannoitteen hajotessa maaperässä noin 1 % lannoitteen typestä muuttuu typpioksiduuliksi nitrifikaation ja denitrifikaation seurauksena. (IPCC 2006, 11.11.) Meri-Teijo Golfissa lannoitukseen käytetään typpeä vuosittain noin 1380 kiloa. Lannoitteesta vapautuu vuodessa typpioksiduulia 13,8 kiloa ilmaan. Kun typpioksiduulipäästöt muutetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi käyttämällä IPCC:n määrittämää ilmastonlämpenemispotentiaalia 298 GWP_{100}, saadaan typpioksiduulin kasvihuonekaasupäästöiksi 4,1 $tCO_{2eq.}$

Ruohonleikkausjätteen hajoaminen

Tidåker et.Al. huomasivat tutkimuksessaan Ruotsalaisten golfkenttien hoidon kasvihuonekaasupäästöistä, että eräs kentänhoidon kasvihuonekaasupäästöjä lisäävä toimenpide on nurmikonleikkausjätteen jättäminen golfkentälle maatumaan. Kun leikattu nurmi jätetään kentälle kompostoitumaan, vapautuu leikkausjätteestä typpioksiduulia, nurmikkoon sitoutuneen typen reagoidessa hapen kanssa. (Tidåker et.Al. 2016.) Nurmen hoitotoimenpiteet, kuten kastelu ja typpilannoitteiden käyttö takaavat typpioksiduulin vapautumiselle maaperästä optimaaliset olosuhteet. Nitrifikaation ja denitrifikaation on huomattu lisääntyvän nurmen saadessa riittävän määrän vettä sekä typpilannoitetta. (Horgan et.Al 2002.) Lisäksi, typpioksiduulipäästöjä saattaa lisätä maaperän orgaanisen hiilen määrän lisääntyminen. Orgaanisen hiilen lisääntyminen maaperässä tuo korvaajia nitrifikaatio ja denitrifikaatio prosesseille. (Bouwman et.Al 2002.) Nurmikon

hoitotoimenpiteistä aiheutuvia typpioksiduulipäästöjä voi syntyä hehtaarin alalla 0,5-6 kiloa vuodessa. (Groffman et.Al. 2009.) (Kaye et Al. 2004.) Typpioksiduulipäästöjen määrä vaihtelee nurmikon iän ja hoitoasteen mukaan. Vanhempi nurmi vapauttaa enemmän typpioksiduulia nuoreen nurmeen verrattuna. (Gu et. Al 2015.)

Oletetaan, että Meri-Teijo Golfissa typpioksiduulipäästöjä muodostuu 0,5 kg per hehtaari golfnurmea. Golfkentän nurmipinta-ala on 17,5 hehtaaria. Typpioksiduulipäästöjä voi siis syntyä vuodenaikana 8,8 kiloa. Kun typpioksiduulipäästöt muutetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi, saadaan päästöiksi 2,6 $tCO_{2eq.}$

Nurmikon leikkuujätteen sijoittaminen golfkentän nurmelle on kompleksinen näkökulma. Samalla kun osa nurmeen sitoutuneesta typestä vapautuu ilmaan, osa vapautuu maaperään, lisäten maaperän typpipitoisuutta. Tämä puolestaan vähentää typpilannoituksen tarvetta. Lannoitustarpeen väheneminen puolestaan vähentää lannoitteista vapautuneen typpioksiduulin määrää. Ruohonleikkausjätteestä vapautuvan typpioksiduulin määrään liittyy myös epävarmuuttaa. (Tidåker et.Al. 2016.)

5.2.8 Pelaajien ajomatka Meri-Teijo Golfiin

Liikenteen käytössä olevat polttoaineet, bensiini ja diesel, tuottavat palaessaan polttomoottorissa hiilidioksidisia ja vesihöyryä. Vuonna 2010 tieliikenne aiheutti noin 16 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Tämä tarkoittaa noin 11,9 miljoonaa tonnia hiilidioksidia vuodessa. Henkilöautoilun aiheuttamat päästöt olivat vuonna 2010 9,7 % päästöjen kokonaismäärästä, mikä tarkoittaa 7,22 miljoonaa tonnia hiilidioksidia vuodessa. (Motiva 2017.)

Yksityisautoilu muodostaa kasvihuonekaasupäästöjä kaikissa elinkaaren vaiheissa. Yli 90 % auton koko elinkaaren ajan kasvihuonekaasupäästöistä muodostuu auton käyttövaiheessa. Auton käyttövaiheessa muodostuneiden kasvihuonekaasupäästöjen suuruus riippuu auton polttoaineen kulutuksesta. Mitä enemmän polttoainetta autoilu kuluttaa, sitä isompi on myös autoilun hiilijalanjälki. Muiden elinkaaren vaiheiden kuten, valmistuksen, kierrätyksen ja ylläpidon vaikutus autoilun hiilijalanjälkeen on vähäinen. (Autoalan tiedostuskeskus 2017.)

Pelkästään hiilidioksidia ja vesihöyryä muodostuu polttoaineen palaessa täydellisesti. Todellisuudessa moottorista vapautuu myös muitakin päästöjä, jotka ovat palamattomia polttoainesosia ja palamisen sivutuotteita. Muita liikenteen aiheuttamia päästöjä ovat typenoksidit (NO_x), hiilivety-yhdisteet (HC), hiilimonoksidi (CO) ja pienhiukkaset (PM). Typenoksideilla tarkoitetaan typpimonoksidia (NO), typpidioksidia (NO_2) ja typpioksiduulia, jotka syntyvät palamisen sivutuotteena. Etenkin liikenteen hiilivety-yhdisteiden ja hiilimonoksidin muodostumisen vaikutus Suomessa muodostuneisiin kokonaispäästöihin on merkittävä. (Motiva 2017.)

Matkustaminen on merkittävä päästöjen aiheuttaja, sillä golfkentälle pelaamaan saapuminen vaatii auton käyttämistä golfkentän ja kodin väliseen matkustamiseen. Tämän takia Meri-Teijo Golfin toiminnan hiilijalanjälkeä määritettäessä on myös hyvä huomioida pelaajien yksityisautoilun kentälle aiheuttama hiilijalanjälki. Vuonna 2016 Meri-Teijon golfkentällä pelattiin yhteensä 13 737 kierrosta. Vuonna 2016 pelatuista kierroksista, 8887 oli golfkentän jäsenien pelaamia ja 4850 vieraspelaajien pelaamia. Jokainen kierros vaatii matkustamisen kotoa golfkentälle autolla. (Sahlström 2017.)

Vieraspelaajista 38 % asuu Pääkaupunkiseudulla, 41 % Varsinais-Suomessa ja 21 % muualla Suomessa. Vieraspelaajista suurin osa, noin 90 %, kulkee Meri-Teijoon pelaamaan samalla autolla toisen pelaajan kanssa. (Sahlström 2017.) Oletetaan, että pääkaupunkiseudulta tulevien pelaajien ajomatka golfkentälle on noin 145 km ja Varsinais-Suomesta 75 km. Muualta Suomesta tulevien pelaajien autoilumatkan oletetaan keskimäärin olevan noin 185 km, mikä vastaa Meri-Teijo Golfin ja Tampereen välistä etäisyyttä. Taulukko 7 havainnollistaa jäsenpelaajien maantieteellistä jakaantumista, vuodessa pelattuja kierroksia sekä ajoetäisyyttä kodista Meri-Teijoon.

Taulukko 7. Jäsenpelaajien kotipaikka, pelattujen kierroksien määrä vuodessa sekä kodin ja Meri-Teijo Golfin välinen etäisyys.

Kotipaikka	Osuus pelatuista kierroksista vuodessa [%]	Pelatut kierrokset vuodessa, [kierros/a]	Arvioitu etäisyys kodista Meri-Teijo Golfiin [km]
Pääkaupunkiseutu	38 %	1843	145 km
Varsinais-Suomi	41 %	1988,5	75 km
Muu Suomi	21 %	1018,5	185 km

Golfkentän jäsenistä suurin osa asuu tai heillä vapaa-ajan asunto kentän lähikunnissa; Kemiössä, Perniössä tai Salossa. Osa kentän jäsenistä asuu Pääkaupunkiseudulla. Heistä osa kulkee Meri-Teijo Golfille pelaamaan kotoaan Pääkaupunkiseudulta ja osa vapaa-ajan asunnoltaan Meri-Teijon lähialueilta. Hiilijalanjälkilaskennassa noin 10 % pelatuista jäsenpelaajien kierroksista oletetaan pelaajan tulleen autolla suoraan Pääkaupunkiseudulta ja noin 90 % oletetaan tulevan Meri-Teijon lähialueilta. Hiilijalanjälkeä laskettaessa on oletettu, että 90 % jäsenien pelaamista kierroksista on lähikunnissa asuvien pelaajien pelaamia. (Sahlström 2017.) Kolmen lähikunnan kesken pelikierroksien oletetaan jakaantuvan tasan. Salosta ja Kemiöstä kulkevien pelaajien ajomatka kentälle on noin 25 km ja Perniöstä tulevien pelaajien ajomatka 15 km. Kentän jäsenistä noin 50 % kulkee kentälle samalla autolla toisen pelaajan kanssa ja loput 50 % kulkee kentälle yksin omalla autolla. Taulukko 8 havainnollistaa jäsenien pelaamien kierroksien määrää ja arvioitujen etäisyyksien pituutta, kentän jäsenen kotipaikasta riippuen.

Taulukko 8. Vieraspelaajien kotipaikka, pelattujen kierroksien määrä vuodessa sekä kodin ja Meri-Teijo Golfin välinen etäisyys.

Kotipaikka	Osuus pelatuista kierroksista vuodessa [%]	Pelatut kierrokset vuodessa, [kierros/a]	Arvioitu etäisyys Meri-Teijo Golfiin [km]
Pääkaupunkiseutu	10 %	888,7	145 km
Kemiö	30 %	2666,1	25 km
Perniö	30 %	2666,1	15 km
Salo	30 %	2666,1	25 km

Pelaajien matkustamisen elinkaariarviointi suoritetaan käyttämällä hyväksi valmiita GaBi-prosesseja GLO: autoa ja EU-27 diesel sekoitetta. Valmiit prosessit ottavat huomioon auton käytöstä sekä polttoaineen valmistuksesta aiheutuvat päästöt ympäristöön. Pelaajien oletetaan kulkevan Euro 5 –luokan henkilöautolla, jonka moottorikoko on 1,4-2 litraa. Henkilöauto kuluttaa dieseliä, joka sisältää 7 % biopolttoainetta ja polttoaineen rikkipitoisuus on 10 ppm. Polttoaineen ominaisuuksien lisäksi GaBi ottaa huomioon henkilöautoilun keskimääräisen ajosuoritteen, johon kuuluu taajama-, maantie- ja moottoritieajoa. GaBi-prosessi ottaa myös huomioon auton käytöstä poiston päästöt. Henkilöauton tiedot perustuvat GaBi:n tietokantoihin ja ne mallintavat globaalia henkilöautokantaa. Autolla ajamisen lisäksi, pelaajien matkustamisen päästöissä huomioidaan dieselin valmistuksen aikaiset päästöt. Dieselin valmistuksen päästöt mallinnetaan käyttämällä EU-27 maiden diesel sekoitteiden valmistusta kuvaavaa GaBi-prosessia. Elinkaariarviointia varten on laskettu, että pelaajien autolla yhteenlaskettu edestakainen ajomatka kodin ja Meri-Teijo Golfin välillä vuodessa on 1 088 271 kilometriä. Autossa yksin ajavien pelaajien yhteenlaskettu ajomatka vuodessa on 362 638 kilometriä ja kahden ihmisen yhdellä autolla ajama matka on 725 634 kilometriä. Pelaajien henkilöautoilla ajamisen dieselin kulutus on vuodessa 46,1 tonnia.

5.2.9 Työntekijöiden työmatkat

Meri-Teijossa työskentelee yhteensä 12 työntekijää. Heistä osa on paikallisia ja osa asuu Meri-Teijon lähikunnissa Perniössä sekä Salossa. Työntekijät kulkevat töihin kukin omalla

henkilöautollaan. Työntekijöiden työmatkoilla on golfkentän hiilijalanjälkeä kasvattava vaikutus. Työntekijät kulkevat työmatkansa yksityisautoilla, joiden käytöstä aiheutuu merkittävästi kasvihuonekaasupäästöjä. Taulukko 9 havainnollistaa työntekijöiden työmatkoja sekä työpäivien määrä vuodessa.

Taulukko 9. Työntekijöiden työmatkojen pituus, sekä työaika vuodessa (Skogster 2017).

Työntekijöiden määrä	Työmatkan päivittäinen edestakainen pituus [km]	Työntekijä työaika vuodessa [kk/a; d/vko]
3	5 km	7 kk/a; 5 d/vko
5	40 km	4 kk/a; 5 d/vko
2	5 km	3 kk/a; 1d/vko
1	30 km	5 kk/a; 5 d/vko
1	40 km	7 kk/a; 5 d/vko

Työntekijöiden ajama yhteenlaskettu työmatka on vuodessa 26 820 kilometriä. Työntekijöiden työmatkojen elinkaariarviointi suoritetaan käyttämällä valmiita GaBi-prosesseja GLO: auto ja EU-27: diesel sekoitetta. Työntekijöiden työmatkojen arvioinnissa on käytetty samoja oletuksia ajoneuvomalleihin ja polttoaineeseen liittyen, kuin pelaajien ajomatkojen elinkaariarvioinnissa.

5.2.10 Jätehuolto

Meri-Teijo Golfissa jätettä tuotetaan vuoden aikana noin 15 000 litraa. Suurin osa jätteestä on sekajätettä, loput biojätettä ja muita jätejakeita. Oletetaan, että syntyvä jäte on kokonaan sekajätettä, sillä muiden jätejakeiden osuus on pieni. Päijät-Hämeen Jätehuollon ja Petra-jätevertailun selvityksen mukaan 600-690 litran jäteastian paino täynnä ollessaan on 50 kiloa (Petra-jätevertailu 2017). Tätä arvoa hyväksi käyttäen saadaan 15 000 litralle sekajätettä painoksi 1250 kiloa. Meri-Teijo Golfin jätehuoltoa hoitaa lounais-Suomen Jätehuolto Oy. Lounais-Suomen Jätehuolto toimittaa sekajätteen Riihimäen, Vantaan, Vaasan ja Tukholman jätteenpolttolaitoksille poltettavaksi. (Lounais-Suomen Jätehuolto 2017.)

Jätehuollon kasvihuonekaasupäästöjen arvioinniksi, valitaan GaBi-elinkaariarviointiohjelmistosta valmisprosessi kotitalouden kiinteiden jätteiden käsittelylle. Prosessin nimi on EU-27: kotitalousjätteen käsittely polttamalla. Jätteiden käsittelyn valmisprosessi ottaa huomioon jätteiden polton kaikki elinkaaren tapahtumat lukuun ottamatta jätteiden keräystä, kuljetusta ja esikäsittelyä. Käytetyn valmisprosessin arvot perustuvat Euroopan alueelta kerättyyn jätteenpolttoon liittyvään dataan. (GaBi 6.0. 2017.) Jätteiden käsittelyn kuljetuksen vaikutus hiilidioksidipäästöihin on jätetty huomioimatta, sillä jätteiden kuljetusmatkoista ei ole tarkkaa tietoa, joiden avulla kuljetusmatkojen vaikutusta voitaisiin arvioida tarkasti.

5.2.11 Ruoan kuljetus ravintolaan

Golfklubilla toimii ravintola kentän aukioloaikoina. Ravintola tilaa raaka-aineet tarjoamiinsa ruokiin ja virvokkeisiin paikalliselta ruoan vähittäiskauppiaalta. Inventaarioanalyysissa tutkitaan ruoan kuljetuksesta syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Ruoan tuotannosta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt on rajattu inventaarioanalyysin ulkopuolelle, sillä niiden määrittäminen on jo kaukana golfkentän toiminnan tarkastelusta.

Matka ruoan vähittäiskauppiaalta Meri-Teijo Golfiin on edestakaisin 50 kilometriä. Vähittäiskauppias kuljettaa raaka-aineita ravintolaan noin 50 kertaa vuodessa. Ruoka ravintolaan kuljetetaan osana jakelureittiä ja noin kymmenesosa lastista on ravintolaan suunnattua. Lastia kuljettava ajoneuvo on pienoiskuorma-auto. Ruoan kuljetuksen aiheuttamat ympäristövaikutukset mallinnetaan käyttämällä hyväksi GaBi:n valmisprosesseja kuljetukselle ja polttoaineen tuotannolle. Kuljetukselle käytetään EURO 6 -luokan kevyttä ajoneuvoa, joka pystyy kuljettamaan 1,5 tonnin lasteja. Prosessin nimi on GLO: kevyt kuljetusajoneuvo. Prosessi ottaa huomioon auton käytön aikaiset päästöt ympäristöön. Ajoneuvon valmistuksen ja käytöstä poiston päästöt jätetään huomioimatta. Polttoaineena käytetään diesel sekoitusta, joka sisältää 7 % biopolttoainetta ja 10 ppm rikkiä. Polttoaineen valmistuksen kasvihuonekaasupäästöt mallinnetaan käyttämällä eurooppalaisen diesel sekoitteen valmistusprosessia. Prosessi ottaa huomioon kaikki polttoaineen tuotannon vaiheet.

5.2.12 Makean vedenkulutus

Golfkentän nurmikko kastellaan kastelujärjestelmän avulla. Kastelu kattaa viheriöt, teet sekä väylät. Kastelualueen koko on 11,7 ha; viheriöt 1 ha, teet 0,8 ha ja väylät 10 ha. Viheriöt sekä teet kastellaan blokkeina, mikä tarkoittaa, että jokaisen viheriön tai teen kastelua ohjataan magneettiventtiilin avulla. Väylien kastelu suoritetaan yhdessä rivissä, väylän keskeltä. Tällöin sadetus toimii yhdestä kahteen sadettimen ryhmissä. Lähestymisalueella sadettimet ovat ohjattavissa yksittäin. Käytettävän sadetusveden määrä vaihtelee 7000 m^3:sta 25 000 m^3:een riippuen vuoden kastelutarpeesta. Kastelutarve arvioidaan joko näköhavaintojen, mekaanisen tarkastuksen tai kosteusmittarin tiedon avulla. (Simola 2016.)

Tällä hetkellä kasteluvesi johdetaan kentälle Sahajärvestä noin kolmen kilometrin pituista putkea pitkin. Vesi pumpataan Sahajärvestä putkistoon paineenkorotuspumpun avulla. Varsinainen tajaarikäyttöinen kastelupumppu sijaitsee golfkentän viereisen laskettelurinteen ala-asemalla. Kastelujärjestelmän käynnistymistä ohjataan ohjauskeskuksesta käsin. Ohjausjärjestelmänä toimii Rainbird Stratus vastaanotinjärjestelmä. Kastelupumpun tuotto on noin 73 m^3/h. Tuotosta saadaan kuitenkin vain käyttöön 55 m^3/h. Heikko käyttöönottosuhde johtuu järjestelmän vedensiirtoputkesta, joka on vanha ja huonossa kunnossa. Tämän takia ei pumppauksen painesuhdetta voida nostaa putken rikkoontumisvaaran takia. (Simola 2016.)

Kastelun lisäksi makeaa vettä käytetään golfkentän alueen kiinteistöissä. Vuotuinen kulutus kiinteistöissä on yhteensä 210 kuutiota. Kulutettu vesi on Salon kaupungin kunnallisvesiverkosta ostettua. Merkittävin pohjaveden kuluttaja on klubirakennus, jossa vettä kuluu vuosittain 160 kuutiota. Muita pohjaveden kuluttajia ovat konehalli 30 kuutiota vuodessa ja rantasauna 20 kuutiota vuodessa. (Simola 2016.)

Kastelun aiheuttama ilmastokuormitus muodostuu kastelujärjestelmän sähkönkulutuksesta. Kastelujärjestelmä sisältää pumppuja, jotka kuluttavat sähköä. Pumppujen sähkönkulutus on esitetty kohdassa 5.4.1. Sadetusjärjestelmän kuluttaman energian hiilijalanjälki on laskettu koko golfkentän sähkönkulutuksen hiilijalanjäljen yhteydessä.

5.4 Vaikutusten arviointi

Vaikutusten arvioinnin tarkoituksena on koota inventaarioanalyysin tulokset ja sijoittaa ne määrällisinä tavoitteiden asettelun mukaiseen vaikutusluokkaan (ISO 14044:2006, 40-42). Luvussa 5.4 on suoritettu inventaarioanalyysi Meri-Teijo Golfin energia, materiaali ja vesi syötteistä sekä näiden hiilidioksidipäästöistä. Tässä luvussa tarkastellaan hiilidioksidipäästöjä golfkentän kokonaistaseen avulla. Lisäksi selvitetään mitkä toiminnot kentän hoidossa aiheuttavat merkittävimmän osan hiilijalanjäljestä. Vaikutusten arvioinnissa tuodaan myös esille mitä muita ympäristövaikutuksia kentän toiminnassa on.

5.4.1 Hiilijalanjälki

Vaikutusten arviointi suoritetaan käyttämällä hyväksi GaBi:n painotuskertoimia ilmastonmuutoksella. Työssä käytettävä kerroin painotukselle on CML2001 – Tam. 2016, Ilmaston lämpenemispotentiaali (GWP 100 vuotta) poislukien bioottiset päästöt. Kerroin ottaa huomioon kaikki elinkaarimallin kasvihuonekaasupäästöt ja muuttaa ne hiilidioksidiekvivalenteiksi ($kgCO_{2eq}$). Tässä työssä hiilidioksidipäästöjä käsitellään GHG-Protocollan mukaisesti tCO_{2eq} –muodossa. Kerroin ottaa huomioon vain fossiilisista lähteistä peräisin olevat kasvihuonekaasupäästöt. Kerroin jättää huomioimatta bioperäiset kasvihuonekaasupäästöt. Työn tuloksia ei normalisoida.

Meri-Teijo Golfin hiilijalanjälki on laskettu käyttämällä hyväksi inventaarioanalyysin tuloksia, kirjallisuudesta peräisin olevia arvoja sekä GaBi-elinkaariarviointi ohjelman tietokantoja. Meri-Teijon Golfin toiminnan hiilijalanjälki 49 tCO_{2eq} vuodessa. Suurimpia kasvihuonekaasupäästöjen lähteitä ovat kentän hoitokaluston käyttö 22,6 tCO_{2eq} vuodessa, lannoitteiden valmistus 9,7 tCO_{2eq} sekä lannoituksesta ja ruohonleikkauksesta vapautuvat typpioksiduulipäästöt 6,7 tCO_{2eq} vuodessa. Merkittävin osa hiilijalanjäljestä syntyy pelaajien matkustamisesta Meri-Teijoon pelaamaan, 161 tCO_{2eq} vuodessa. Mikäli pelaajien matkustaminen kentälle huomioidaan, on Meri-Teijo Golfin hiilijalanjälki 210 tCO_{2eq} vuodessa. Taulukko 10 esittää miten Meri-Teijo Golfin toiminnan hiilijalanjälki vuodessa muodostuu.

Taulukko 10. Meri-Teijo Golfin toiminnan hiilijalanjälki vuodessa.

Toiminto:	Hiilijalanjälki, [tCO_{2eq}/a]
Pelaajien matkustaminen Meri-Teijo Golfiin pelaamaan	161,0
Työkoneiden käyttö kentänhoidossa	22,6
Käytettyjen lannoitteiden valmistus ja kuljetus	9,7
Typpioksiduulipäästöt lannoituksesta ja ruohonleikkauksesta	6,7
Hiekan kuljetutus ja valmistus	4,4
Työntekijöiden työmatkat	4,0
Sähkönkulutus Meri-Teijo Golfin alueella	0,9
Jätehuolto	0,5
Jäteveden puhdistus	0,2
Ruoankuljetus ravintolaan	0,07
Käytettyjen kasvinsuojeluaineiden valmistus ja kuljetus	0,04
Yhteensä:	210,1

Pelaajien matkustaminen henkilöautoilla Meri-Teijo Golfiin pelaamaan on merkittävimpiä kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavia tekijöitä golfkentän toiminnassa. Pelaajien henkilöautoilla matkustamisen hiilidioksidipäästöt ovat 161,0 tCO_{2eq} vuodessa. Suurin osa pelaajien matkustamisen päästöistä on peräisin auton käytön aikaisista päästöistä. Auton käytön aikaiset päästöt vuodessa ovat 138,0 tCO_{2eq} vuodessa. Autojen käyttämän dieselin valmistuksen aikaiset päästöt ovat 23,7 $tCO_{2eq.}$

Työkoneiden käytön aiheuttama ilmastokuormitus Meri-Teijo Golfissa on 22,7 tCO_{2eq} vuodessa. Taulukko 11 esittää Meri-Teijo Golfin työkoneiden käytön hiilidioksidijakauman vuodessa. Kuten taulukosta huomataan, suurin osa työkoneiden käytön kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuu työkoneiden käytöstä, polttoaineen valmistuksen päästöt ovat koneiden käyttöön verrattuna pienet.

Taulukko 11. Meri-Teijon työkoneiden käytön hiilidioksidipäästöt vuodessa.

Työkonetyyppi	Polttoaineen valmistuksen kasvihuonekaasupäästöt vuodessa, [tCO_{2eq}/a]	Työkoneen käytönaikaiset kasvihuonekaasupäästöt vuodessa, [tCO_{2eq}/a]	Kasvihuone-kaasupäästöt vuodessa, [tCO_{2eq}/a]
Ajettava diesel käyttöinen työkone	2,5	14,9	17,4
Ajettava bensiini käyttöinen työkone	1,1	4,2	5,3

Lannoitteiden käytöllä on kolmanneksi merkittävin vaikutus Meri-Teijo Golfin hiilijalanjälkeen. Lannoituksen hiilijalanjälki on 9,7 $tCO_{2eq.}$ Lannoituksen hiilijalanjälki perustuu lannoitteiden valmistuksen energiankulutukseen sekä lannoitteiden kuljetuksen kasvihuonekaasupäästöihin. Itse lannoitteiden levittämisen kasvihuonekaasupäästöt on huomioitu työkoneiden käytön hiilijalanjäljessä. Suurin osa lannoituksen aiheuttamasta ilmastokuormituksesta on peräisin typpilannoitteiden käytöstä. Typpilannoitteiden käytöstä aiheutuva hiilijalanjälki on 7,8 tCO_{2eq} vuodessa. Taulukossa 12 on kuvattu lannoitteiden käytön hiilijalanjälki.

Taulukko 12. Lannoitteiden käytön hiilijalanjälki Meri-Teijo Golfissa.

Lannoite	Hiilidioksidipäästöt vuodessa[$tCO_{2eq.}/a$]
Typpi, N	7,8
Fosfori, P	0,3
Kalium, K	1,2
Kalkki, $MgCa(CO_3)_2$	0,5

Golfkentän typpioksiduulipäästöillä on lannoituksen jälkeen merkittävin ilmastonmuutosta voimistava vaikutus. Typpioksiduulipäästöt ovat peräisin lannoituksesta sekä ruohonleikkauksen nurmijätteen maatumisesta golfkentällä. Typpioksiduulipäästöjen

ilmastonmuutosta voimistava vaikutus on 6,7 tCO_{2eq} vuodessa. Tästä 4,1 tCO_{2eq} on peräisin lannoitteiden käytöstä ja 2,6 tCO_{2eq} ruohonleikkausjätteen sijoituksesta golfkentän nurmikolle.

Työntekijöiden työmatkat aiheuttavat 4,0 tCO_{2eq} Meri-Teijo Golfin toiminnan hiilijalanjäljestä. Kuten myös työkoneiden käytössä ja pelaajien matkustamisessa, suurin osa kasvihuonekaasuista tulee polttomoottorin käytön aikaisista päästöistä. Pelaajien henkilöauton käytön aikaiset kasvihuonekaasupäästöt ovat 3,4 tCO_{2eq} vuodessa. Henkilöautojen käyttämän polttoaineen valmistuksen kasvihuonekaasupäästöt vuodessa ovat 0,8 $tCO_{2eq.}$

Hiekan kuljetuksen ja jalostamisen kasvihuonekaasupäästöt ovat vuodessa yhteensä 4,4 tCO_{2eq} vuodessa. Hiekan jalostamisen kasvihuonekaasupäästöt ovat vuodessa 0,7 $tCO_{2eq,}$ kuorma-auton käytön kasvihuonekaasupäästöt ovat 3,2 tCO_{2eq} vuodessa ja kuorma-auton käyttämän polttoaineen valmistuksen päästöt 0,5 tCO_{2eq}. Merkittävin osa hiekan käytön hiilidioksidipäästöistä tulee hiekan kuljetuksesta kuorma-autolla.

Tuulivoima itsessään on hiilineutraalia energiaa. Energian hiilijalanjälki on 0 kWh/a, sillä energia tuotetaan uusiutuvasta luonnonvarasta, eli tuulesta. (Motiva 2016a.) Kuitenkin todellisuudessa tuulivoimaloiden infrastruktuuri kuluttaa sellaisia materiaaleja, joiden valmistuksessa on käytetty usein fossiilisia luonnonvaroja. Lisäksi, tuulivoimaloiden perustamisessa käytetään koneita, jotka toimivat fossiilisilla polttoaineilla ja tuulivoimaloiden laitteistot tuodaan perustuskohteisiin kulkuneuvoilla, jotka käyttävät fossiilista energiaa. Näiden edellä mainittujen seikkojen takia, ei tuulivoima ole täysin päästötön sähköntuotantokeino. Valmiinprosessin mukaan tuulisähköllä tuotetun sähkön hiilijalanjälki on 0,9 tCO_{2eq}/a, kun otetaan huomioon tuulivoimaloiden perustamiseen, laitteiston valmistamisen ja sähköverkoston materiaalien valmistuksen ja verkoston rakentamisen kasvihuonekaasupäästöt.

Kasvinsuojeluaineiden käyttö muodostaa vain pienen osa Meri-Teijo Golfin hiilijalanjäljestä. Kun tiedetään kasvinsuojeluaineiden käyttötarkoitus, vaikuttavan aineen pitoisuus suojeluaineessa sekä erilaisten kasvinsuojeluaineiden ominaishiilidioksidipäästöt,

on mahdollista laskea kasvinsuojeluaineiden käytölle hiilijalanjälki vuodessa. Adama Tilt ja Medallionin käyttö perustuu kasvitautien torjuntaan, ja Primo Maxx:n sekä Finalsanin käyttö rikkakasvien torjuntaan. Ominaispäästökertoimena käytetään hajonnan keskiarvoa. Taulukko 13 kuvaa eri kasvinsuojeluaineiden hiilidioksidi päästöjä. Kasvinsuojeluaineiden aiheuttama ilmastokuormitus on 0,04 tCO_{2eq} vuodessa.

Taulukko 13. Kasvinsuojeluaineiden hiilidioksidipäästöt vuodessa.

Kasvinsuojeluaine	Vaikuttavan aineen määrä käytössä, [kg/a]	Vaikuttavan aineen ominaispäästökerroin [$kgCO_{2eq}/kg_{vaikuttava-aine}$]	Kasvinsuojeluaineen käytön hiilidioksidipäästöt vuodessa, [tCO_{2eq}/a]
Adama Tilt	1,125	11,94	0,013
Primo Maxx	0,726	18,25	0,013
Medallion TL	0,500	11,94	0,006
Finalsan	0,281	18,25	0,005

Jäteveden puhdistus ja jätteiden käsittely tuottavat vain pienen osa golfkentän kasvihuonekaasupäästöistä. Jäteveden puhdistuksen kasvihuonekaasupäästöt aiheutuvat jätevedenpuhdistamon energiankulutuksesta, erilaisten materiaalien puhdistusprosessissa sekä mahdollisista kuljetuksista, joita puhdistamon tarvitsemien materiaalien kuljetus vaatii. Jäteveden puhdistamon hiilijalanjälki on 0,2 tCO_{2eq}, jäteveden puhdistamon Meri-Teijo Golfin jätevesien puhdistukseen käyttämän sähkön hiilijalanjälki vuodessa on 0,01 tCO_{2eq} mustan veden imuautolla kuljettamisen aikaiset päästöt 0,01 tCO_{2eq}ja kuljetuksen käyttämän dieselin valmistuksen 0,002 $tCO_{2eq.}$ Jätehuollon hiilijalanjälki puolestaan on 0,5 tCO_{2eq} vuodessa. Tämä ei kuitenkaan huomioi jätteiden kuljetuksen päästöjä, sillä jätteitä viedään Lounais-Suomen Jätehuollon toiminta-alueelta moneen eri paikkaan. Tämän takia ei jätteiden kuljetuksen päästöjä ole huomioitu. Todennäköistä kuitenkin on, että jätteiden kuljetuksen huomioiminen tulisi lisäämään jätehuollon aiheuttamaa hiilijalanjälkeä.

Ravintolaan toimitetun ruoan toimitusmatkojen vaikutus Meri-Teijo Golfin hiilijalanjälkeen on hyvin pieni. Ruoan toimituksen hiilijalanjälki on 0,07 tCO_{2eq} vuodessa. Ruoankuljetuksen hiilijalanjäljen pienuuteen vaikuttaa se, että ruoka tilataan lähikauppiaalta. Lisäksi

kuljetusmatkojen päästöt jakautuvat usealle eri toimijalle, sillä noin kymmenes osa kuljetuksesta on suunnattu Meri-Teijo Golfille.

5.4.2 Muut ympäristövaikutukset

Inventaarioanalyysin perusteella makean veden käyttö kastelussa ja lannoitteiden käyttö kentän hoidossa, antavat syyn arvioida kentän toiminnan rehevöittävää ja makeaa vettä kuluttavaa vaikutusta. Tarkoituksena on arvioida, mitkä Meri-Teijo Golfin toiminnan osa-alueet ovat sellaisia, joilla on rehevöitymistä ja makeanveden kulutusta voimista vaikutus. Arviointi suoritetaan inventaarioanalyysin tuloksien perusteella, käyttämällä CML2001 Tam. 2016 –painotuskertoimella rehevöitymiselle ja Vesi-painotuskerrointa veden käytölle. Kertoimien avulla inventaarioanalyysin tulokset muutetaan laadullisiksi. Inventaarioanalyysin tuloksia ei normeerata.

Rehevöityminen

Rehevöityminen on ilmastonmuutoksen lisäksi erä merkittävä golfkentän toiminnasta aiheutuva ympäristönäkökulma. Rehevöityminen on seurausta maapallon luonnollisen typen ja fosforin kierron muuttumisesta, mikä on eräs Rockström et. Al. (2009) määrittämistä maapallon kantokyvyn rajoista (Rockström et. Al. 2009). Typpi ja fosfori kuormitusta aiheutuu esimerkiksi pintavalumien kautta. Lannoitteiden käytön seurauksena osa käytetystä kemiallisesta typestä ja fosforista valuu vesistöihin aiheuttaen rehevöitymistä. (WWF 2017.) Koska Meri-Teijo Golf, muiden golfkenttien tapaan käyttää kemiallisia typpi- ja fosforilannoitteita kentän hoidossa, on tärkeää huomioida ilmastonmuutoksen lisäksi kentän hoidon rehevöittävä vaikutus.

Rehevöitymistä tutkittaessa, kaikki toiminnan päästöt ilmaan, veteen ja maaperään muutetaan laadullisiksi, yksikköön $kgPO_4^{3-}{}_{eq}$ käyttämällä hyväksi CML2001 Tam. 2016. Rehevöitymisen -painotuskerrointa. Meri-Teijo Golfin rehevöitymisen vaikutus on 204 $kgPO_4^{3-}{}_{eq}$ vuodessa. Painotuksen avulla huomataan, että merkittävin ympäristön rehevöitymistä aiheuttava toiminto Meri-Teijo Golfissa on pelaajien yksityisautoilu golfkentälle pelaamaan. Pelaajien matkustamisen vaikutus rehevöitymiseen on 125 $kgPO_4^{3}{}_{eq}$

vuodessa. Tämä johtuu henkilöautojen typpipäästöistä. Lannoituksen oletettiin ennen elinkaariarviointia olevan eniten rehevöitymistä aiheuttava tekijä. Arvioinnin jälkeen paljastuikin, että lannoituksen vaikutus on pelaajien matkustamista vähäisempi, kun mietitään rehevöitymiseen vaikuttavia tekijöitä. Lannoituksen vaikutus on vuosittain 64,5 $kgPO_4^{3-}{}_{eq}$ ja se kattaa golfnurmeen käytetyistä lannoitteista valuneen typen ja fosforin ympäristöä rehevöittävän vaikutuksen. Tähän arvoon liittyy kuitenkin epävarmuutta, sillä arvo perustuu kirjallisuudesta peräisin oleviin oletuksiin typen ja fosforin valumisesta, eikä todellisiin mittauksiin.

Kuten jo aikaisemmin mainittiin, vaikutusten arviointi Meri-Teijo Golfin toiminnan rehevöittävästä vaikutuksesta ei ole täysin kattava, sillä inventaarioanalyysin tulokset on kerätty niin, että ne palvelevat parhaalla mahdollisella tavalla hiilijalanjäljen laskentaa. Tämän takia rehevöitymisen kannalta olennaisia seikkoja ei ole kerätty kattavasti. Esimerkiksi kasvinsuojeluaineiden valmistuksen ja käytön rehevöittävä vaikutus jätettiin vaikutusten arvioinnissa huomioimatta, sillä inventaarioanalyysiä varten kasvinsuojeluaineiden käytön osalta kerättiin vain sellaista dataa, jonka perusteella on mahdollista arvioida kasvinsuojeluaineiden käytön vaikutus ilmastonmuutokseen. Rehevöitymisen vaikutus ympäristöön on havainnollistettu taulukossa 14.

Taulukko 14. Meri-Teijo Golfin toiminnan vaikutus ympäristön rehevöitymiseen.

Toiminto:	Rehevöityminen, [$kgPO_4^{3-}{}_{eq}$/a]
Pelaajien matkustaminen Meri-Teijo Golfiin pelaamaan	125,0
Työkoneiden käyttö kentänhoidossa	2,9
Lannoitteiden käyttö	64,5
Typpioksiduulipäästöt lannoituksesta ja ruohonleikkauksesta	0
Työntekijöiden työmatkat	3,1
Hiekan kuljetutus ja valmistus	1,0
Sähkönkulutus Meri-Teijo Golfin alueella	0,3
Kasvinsuojeluaineiden valmistus	n.a.
Jäteveden puhdistus	0,005
Yhteensä:	197,9

Makean vedenkulutus

Makean vedenkulutus on ilmastonmuutoksen ja ravinnekierron häiriintymisen lisäksi yksi planeettarajoista (Rockström et. Al. 2009). Meri-Teijo Golf käyttää makeaa vettä golfkentän kastelussa. Kastelu kuluttaa merkittävästi makeaa vettä, minkä takia se on valittu erääksi tarkastelukohteeksi ilmastonmuutoksen lisäksi muita ympäristönäkökulmia tunnistettaessa.

Vedenkulutuksen vaikutus arvioidaan käyttämällä painotuskerrointa Vesi – Sinisen veden käyttö. Painotuskerroin kertoo, kuinka monta kiloa sinistä vettä käytetään Meri-Teijo Golfin vuotuisen toiminnan kautta vuodessa. Sinisellä vedellä tarkoitetaan vettä, joka on peräisin pintavedestä tai pohjavedestä (Hoekstra et.Al. 2011, 23-24). Tämä painotuskerroin antaa inventaarioanalyysin perusteella Meri-Teijo Golfin toiminnan vedenkulutuksen vuodessa. Meri-Teijo Golfin vedenkulutus voidaan jakaa suoraan ja epäsuoraan vedenkulutukseen. Suoraa vedenkulutusta ovat pohjaveden kulutus sekä pintaveden kulutus kasteluun. Epäsuoria vedenkuluttajia ovat hiekan valmistus ja kuljetus, pelaajien matkustaminen, työkoneiden käyttö työntekijöiden työmatkat, jätevedenpuhdistus sekä sähkönkulutus. Lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden käytön vaikutusta vedenkulutukseen ei tässä työssä

arvioida. Sillä inventaarioanalyysissä keskitytään kasvinsuojeluaineiden ja lannoitteiden käytön osalta pelkästään niiden vaikutukseen ilmastonmuutokseen, eikä niiden laskennassa ole käytetty valmiita prosesseja, jotka perustuvat GaBi:n tietokantoihin.

Meri-Teijo Golfin suora vedenkäyttö on 16 210 kuutiota vuodessa. Tästä määrästä 210 kuutiota tulee Meri-Teijo Golfin pohjaveden käytöstä ja 16 000 kuutiota golfkentän kastelusta. Meri-Teijo Golfin suora vedenkulutus vastaa yli puolta koko golfkentän toiminnan veden käytöstä. Taulukko 15 havainnollistaa Meri-Teijo Golfin sinisen veden käyttöä. Vedenkäyttö voidaan suhteuttaa Meri-Teijo Golfin pinta-alaan, joka on 52,3 hehtaari. Kun vedenkäyttö suhteutetaan alueen pinta-alaan, saadaan 528 000 kg/ha.

Taulukko 15. Meri-Teijo Golfin sinisen veden käyttö.

Toiminto:	Vedenkäyttö, [kgH_2O/a]
Vedenkulutus (kasteluvesi ja vesijohtovesi)	$1,6*10^7$
Pelaajien matkustaminen Meri-Teijo Golfiin pelaamaan	$6,9*10^6$
Työkoneiden käyttö kentänhoidossa	$1*10^6$
Lannoitteiden käyttö	n.a.
Typpioksiduulipäästöt lannoituksesta ja ruohonleikkauksesta	n.a.
Työntekijöiden työmatkat	$1,7*10^5$
Hiekan kuljetutus ja valmistus	$9,3*10^5$
Sähkönkulutus Meri-Teijo Golfin alueella	$1,4*10^5$
Kasvinsuojeluaineiden valmistus	n.a.
Jäteveden puhdistus	$9,4*10^5$
Yhteensä:	$2,8 *10^7$

5.5 Tulosten tulkinta

Elinkaariarvioinnin viimeinen vaihe on tulosten tulkinta. Tulosten tulkinnan tarkoituksena on kuvailla ja tulkita inventaarioanalyysin sekä vaikutusten arvioinnin tuloksia sellaisessa muodossa, että lukijan on tuloksia helppo ymmärtää. (ISO 14044:2006, 55.) Tulosten

tulkinnassa verrataan saatuja hiilijalanjälkilaskennan tuloksia samankaltaisiin tieteellisiin tutkimuksiin sekä maatalouden arvoihin. Tulosten tulkinnassa arvioidaan myös, kuinka suuri on yhden pelikierroksen hiilijalanjälki, sekä käytetään tätä tietoa hyväksi, kun suhteutetaan pelaamisen vaikutus suomalaisen hiilijalanjälkeen. Pelaamisen hiilijalanjäljen avulla kuvaillaan sitä, kuinka suurta osaa yhden pelikierroksen pelaaminen vastaa suomalaisen toiminnan hiilijalanjäljestä vuodessa. Tulosten tulkintaan kuuluu myös kuvaus siitä, minkälaisia epävarmuuksia hiilijalanjäljen määrittämiseen liittyy.

Vertailu muihin golfkenttiin

Bartlett ja James (2011) sekä Tidåker et.Al. (2017) ovat tutkineet golfkenttien hiilijalanjälkiä. Bartlett ja James tutkivat kahden Iso-Britannialaisen golfkentän hiilidioksidipäästöjä. Tutkimuksessa huomioitiin kastelun, lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden käytön, energiankulutus, kentänhoitokaluston käytön ja polttoaineen valmistuksen käytöstä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt sekä typpioksiduulin muodostuminen typpilannoitteiden käytöstä. Lisäksi, tutkimuksessa huomioitiin, kuinka hyvin golfkenttä pystyy sitomaan hiiltä. (Bartlett & James 2011.) Tidåker et. Al. tutkimuksessa tutkittiin kahden ruotsalaisen golfkentän hiilidioksidipäästöjä. Tutkimuksessa huomioitiin samat kentän hoidonkannalta oleelliset kasvihuonekaasupäästöt, kuin Bartlettin ja Jamesin tutkimuksessa. Lisäksi Tidåker et.Al. tutkimuksessa kentänhoidon toimenpiteenä otettiin huomioon myös kentällä käytetyn hiekan kuljetuksesta peräisin olevat kasvihuonekaasupäästöt sekä kentänhoitokaluston valmistuksen päästöt. (Tidåker et.Al. 2017.) Bartlettin ja Jamesin, sekä Tidåker et.Al. tutkimuksien tulokset on esitelty taulukossa 16.

Taulukko 16. Kasvihuonekaasupäästöt (tCO_{2eq}/ha,a) kahden isobritannialaisen golfkentän hoidosta (Bartlett ja James 2011.) ja kahden ruotsalaisen kentän hoidosta (Tidåker et.Al. 2017).

	Iso-Britannia		Ruotsi	
	Links	Parkland	Sigtuna	Uppsala
Pelialueen keskiarvo	1,4	1,7	1,0	1,6

Meri-Teijo Golfin kentän hoidon hiilijalanjälki on 42,3 tCO_{2eq} vuodessa, kun huomioidaan kentänhoitokoneiden käytön ja niiden polttoaineiden valmistuksen, lannoitteiden käytön ja valmistuksen, kasvinsuojeluaineiden käytön ja valmistuksen, hiekan louhinnan ja kuljetuksen, kastelujärjestelmän pumppujen energiankulutuksen sekä kentän nurmelta vapautuneesta typpioksiduulista aiheutuvat päästöt. Pelialueen pinta-ala Meri-Teijo Golfissa on 17,5 hehtaaria. Kun kentän hoidon hiilidioksidipäästöt jaetaan pelialueen koolla, saadaan pelialueen hoidon hiilijalanjäljeksi 2,4 tCO_{2eq} per hehtaari. Kun tiedetään, minkälainen Meri-Teijo Golfin pelialueen hoidon hiilijalanjälki on, voidaan tätä arvoa vertailla Bartlettin ja Jamesin sekä Tidåker et.Al. tutkimuksien tuloksiin.

Verrattuna Barttlett ja Jamesin sekä Tidedåker et.Al. tutkimuksiin, Meri-Teijo Golfin kentän hoidosta aiheutuva hiilijalanjälki on suuri. Syy siihen, minkä takia Meri-Teijo Golfin hiilijalanjälki on muihin kenttien hiilijalanjälkiin nähden suuri, johtunee erilaisista arvoista kasvihuonekaasupäästökertoimina sekä ruohonleikkausjätteestä aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen huomioimisessa Meri-Teijo Golfin hiilijalanjäljessä. Ruohonleikkausjätteen lahoamisen aiheuttamat typpioksiduulipäästöt ovat 2,6 tCO_{2eq}. Jos ruohonleikkausjätteen typpioksiduulipäästöt jätetään huomioimatta, pelialueen hiilijalanjälki on 2,3 tCO_{2eq} per hehtaari vuodessa. Myös erilaiset oletukset koskien hoitokalustoa, voivat selittää eroja golfkenttien välillä.

Isobritannialaisien golfkenttien hiilijalanjälkiin nähden Meri-Teijon kentänhoidon suurempaa hiilijalanjälkeä saattaa myös selittää se, että Meri-Teijon hiilijalanjäljessä on huomioitu hiekan kuljetuksen ja valmistuksen kasvihuonekaasupäästöt (Bartlett & James 2011). Hiekan kuljetus ja valmistus tuottavat päästöjä 4,4 tCO_{2eq} vuodessa. Jos nämä jätetään Meri-Teijo Golfin hiilijalanjäljessä huomioimatta, on pelialueen hoidon hiilijalanjälki 2,2 tCO_{2eq} per hehtaari.

Meri-Teijo Golfin hiilijalanjäljen suuruus ruotsalaisiin kenttiin nähden ei johdu siitä, että typpilannoitteiden käyttömäärät olisivat suurempia Meri-Teijo Golfissa kuin Ruotsissa käytetyt typpilannoitemäärät. Signitunassa käytettiin typpilannoitteita 111 kg/ha ja Uppsalassa 166 kg/ha, kun taas Meri-Teijossa typpilannoitteiden määrä oli käytössä 79 kg/ha (Tidåker et.Al.2017). Myöskään energian kulutuksesta aiheutuvilla

kasvihuonekaasupäästöillä ei voida selittää Meri-Teijo Golfin suurta hiilijalanjälkeä, sillä Meri-Teijo Golfissa käytetty sähkö on peräisin tuulivoimasta, joka on peräisin uusiutuvista energialähteistä. Bartlettin ja Jamesin, sekä Tidåker et.Al. tutkimuksissa kastelupumppujen energia on oletettu olevan peräisin osittain fossiilisista energialähteistä (Bartlett & James 2011) (Tidåker et.Al.2017). Edellä mainittujen seikkojen perusteella suurin syy hiilijalanjälkien erovaisuuksiin löytynee erilaisista oletusarvoista ominaishiilijalanjälkikertoimina.

Vertailu suomalaisen hiilijalanjälkeen

Keskiverto suomalaisen hiilijalanjälki vuodessa on 8700 $kgCO_{2eq.}$ Tämä huomioi asumisen, matkustamisen, ruoan ja juoman, sekä tavaroiden ja palveluiden kulutuksen vaikutuksen ihmisen hiilijalanjälkeen. Tavaroiden ja palveluiden aiheuttama hiilijalanjälki on 2000 $kgCO_{2eq}$ henkilöä kohden vuodessa ja siinä huomioidaan tietotekniikan, vaatteiden, jalkineiden ja muiden tavaroiden hankinnat sekä tietoliikenteen ja palveluiden käyttö. Tavaroiden ja palveluiden osuus kattaa siis alle neljäsosan keskivertosuomalaisen hiilijalanjäljestä. (Hinku 2017.)

Meri-Teijo Golfissa pelataan noin 15 000 kierrosta vuodessa. Keskivertopelaaja pelaa viisi kierrosta vuoden aikana. (Sahlström&Skogster 2017.) Jos Meri-Teijo Golfin oman toiminnan hiilijalanjälki 49 tCO_{2eq} suhteutetaan viiteen kierrokseen, saadaan 0,016 $tCO_{2eq.}$ Kentän toiminnan hiilijalanjälki ottaa huomioon ravintolan, työntekijöiden, energiankulutuksen, jätehuollon, jätevedenkäsittelyn sekä kentänhoitotoimenpiteiden vaikutuksen kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajana. Tämä vastaa siis keskivertogolffarin hiilijalanjälkeä, kun hän pelaa Meri-Teijossa Golfissa. Mikäli suhteutetaan keskivertogolffarin hiilijalanjälki keskivertosuomalaisen hiilijalanjälkeen, huomataan, että viiden kierroksen pelaaminen vastaa noin 0,2 prosenttia keskivertosuomalaisen vuotuisen toiminnan hiilijalanjäljestä.

Vertailu maanviljelyn hiilijalanjälkeen

Golfkentän hoito muistuttaa maanviljelyä. Kentänhoito, kuten maanviljely, vaatii hoitokaluston, kasvinsuojeluaineiden sekä lannoitteiden käyttöä. Viljelyn hiilijalanjälkeä on tutkittu Suomessa. Rajaniemi et.Al. (2011) on tutkimuksessaan määrittänyt hiilijalanjäljen perinteisille suomalaisille viljakasveille, eli kauralle, vehnälle, rukiille ja ohralle. Hiilijalanjäljen määrityksessä on huomioitu viljan viljelyn koko tuotantoketju. Tuotantoketju kattaa siemenien valmistuksen, lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden käytön, sekä työkoneiden käytön maanmuokkauksessa, kylvämisessä ja muissa hoitotoimenpiteissä. Tuotantoketju kattaa myös siemenien, lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden kuljetuksen tilalle sekä sadon kuljetuksen tilalta pois. Perinteisen maatalouden hiilijalanjälki on esitetty taulukossa 17. (Rajaniemi et.Al 2011.)

Taulukko 17. Eri viljakasvien viljelyn hiilijalanjälki (Rajaniemi et.Al. 2011).

Viljat	Sato [kg/ha]	N-lannoitteen käyttö [kg/ha]	Kasvihuonekaasupäästöt per hehtaari [tCO_{2eq}/ha]
Kaura	3,2	77	1,8
Ohra	3,4	86	1,9
Vehnä	3,9	116	2,3
Ruis	2,6	116	2,3

Meri-Teijo Golfin kentänhoidon hiilijalanjälki suhteutettuna pelialueen pinta-alaan on esitetty taulukossa 18. Pelialueen hoitotoimenpiteisiin on luettu lannoitus, kasvinsuojeluaineiden käyttö, kastelupumppujen sähkönkulutus, hiekankuljetus ja valmistus, hoitokaluston käyttö ja polttoaineen valmistus sekä typpioksiduulipäästöt typpilannoitteen käytös ja ruohonleikkausjätteen hajoamisesta kentällä.

Taulukko 18. Meri-Teijo Golfin hiilijalanjälki.

Hiilijalanjälki	Pinta-ala [ha]	Hiilijalanjälki [tCO_{2eq}]	Hiilijalanjälki [tCO_{2eq}/ha]
Pelialueen hoitotoimenpiteet	17,5	42,3	2,4

Kun vertaillaan golfkentän hoitotoimenpiteiden ja viljanviljelyn hiilijalanjälkeä, voidaan huomata, että golfkentän hoitotoimenpiteillä on lähes yhtä suuri hiilijalanjälki maatalouteen verrattuna. Lisäksi tuloksista voidaan myös huomata, että lannoitteiden käyttö on keskimäärin yhtä suurta hehtaaria kohti. Typpilannoitteita käytetään maanviljelyssä 77-116 kg/ha, kun Meri-Teijo Golfissa typpilannoitteita käytetään keskimäärin 78,9 kg/ha. On kuitenkin huomattava, että ravinnekuormitus ympäristöön on suurempi maataloudessa, kuin golfkentän hoidossa. Ravinnevalumat ovat golfkentän hoidossa noin 2 % typpilannoitteesta ja 10 % fosforilannoitteesta. Maataloudessa valumat ovat monin kertaisia golfkenttään nähden. Maatalouden typpivalumat voivat olla 11-33 % ja fosforivalumat 17-59 % levitetystä lannoitteesta (Turtola & Kemppainen 1998.)

Golfin ja maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen vertaamisessa on tärkeää muistaa kummankin merkitys ihmisen hyvinvoinnin kannalta. Maatalouden tarkoituksena on olla vastuussa maan ruokahuollosta ja ruoantuotannon omavaraisuudesta. Golf on harrastus, jonka tarkoituksena on tuottaa mielihyvää ja edesauttaa yksilön fyysistä sekä henkistä hyvinvointia.

5.5.1 Herkkyystarkastelu

Herkkyysanalyysin tarkoituksena on selvittää, minkälaisia epävarmuuksia hiilijalanjäljen laskentaan liittyy. Herkkyysanalyysi suoritetaan muuttamalla inventaarioanalyysin alkuarvoja, joiden perusteella tulkitaan elinkaariarviointiin perustuvan hiilijalanjäljen tuloksia uudelleen. Herkkyysanalyysissä muutettavia alkuarvoja ovat pelaajien matkustamisen kilometrimäärä Meri-Teijoon, kasvinsuojeluaineiden ja lannoitteiden päästökertoimet.

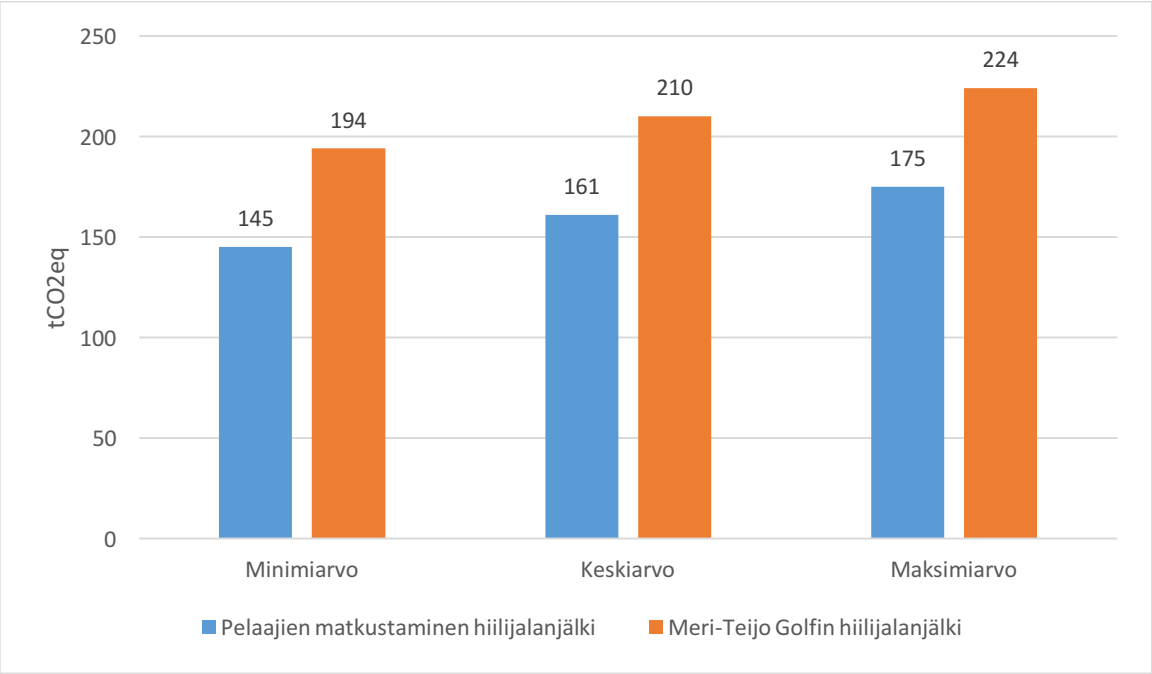
Pelaajien ajokilometrit Meri-Teijo Golfiin

Pelaajien ajokilometrien määrä perustui inventaarioanalyysissä oletusarvoihin, siitä mistä pelaajat matkustavat Meri-Teijo Golfiin pelaamaan. Oletusarvot tehtiin Meri-Teijo Golfin arkistojen mukaan, arvioiden kuinka monta kilometriä keskimäärin etäisyydet voisivat olla ja kuinka usein pelaajat käyttävät kimppakyytejä. Jotta, inventaarioanalyysissä käytettyjen

oletuksien vaikuttavuutta tuloksiin ja täten tuloksien epävarmuutta voidaan arvioida, on sille suoritettava herkkyysanalyysiä.

Meri-Teijo Golfin pelaajien yhteenlaskettu ajokilometrimäärä on 1 088 271 kilometriä. Tästä määrästä, 725 634 kilometriä ajettiin niin, että autossa oli kaksi matkustajaa ja 362 627 kilometriä niin, että autossa oli vain yksi pelaaja. Oletetaan, että virhemarginaali ajokilometrien määrässä on 10 %. Tämä tarkoittaa sitä, että ajokilometrien hajonnan minimiarvo on 979 444 kilometriä ja maksimiarvo 1 197 098 kilometriä. Kun nämä arvot syötetään GaBi:iin, voidaan tarkkailla kuinka paljon hajontaa ja epävarmuutta oletuksista aiheutuu.

Kuvassa 5 tarkastellaan kilometriarvioiden vaikuttavuutta hiilijalanjälkeen. Kuten kuvasta voidaan huomata. Kilometriarviointien vaikutus Meri-Teijo Golfin hiilijalanjälkeen on merkittävä. Kymmenen prosentin hajonnalla kilometrimäärissä saadaan aikaan kymmenien tonnien eroa Meri-Teijo Golfin hiilijalanjälkeen.

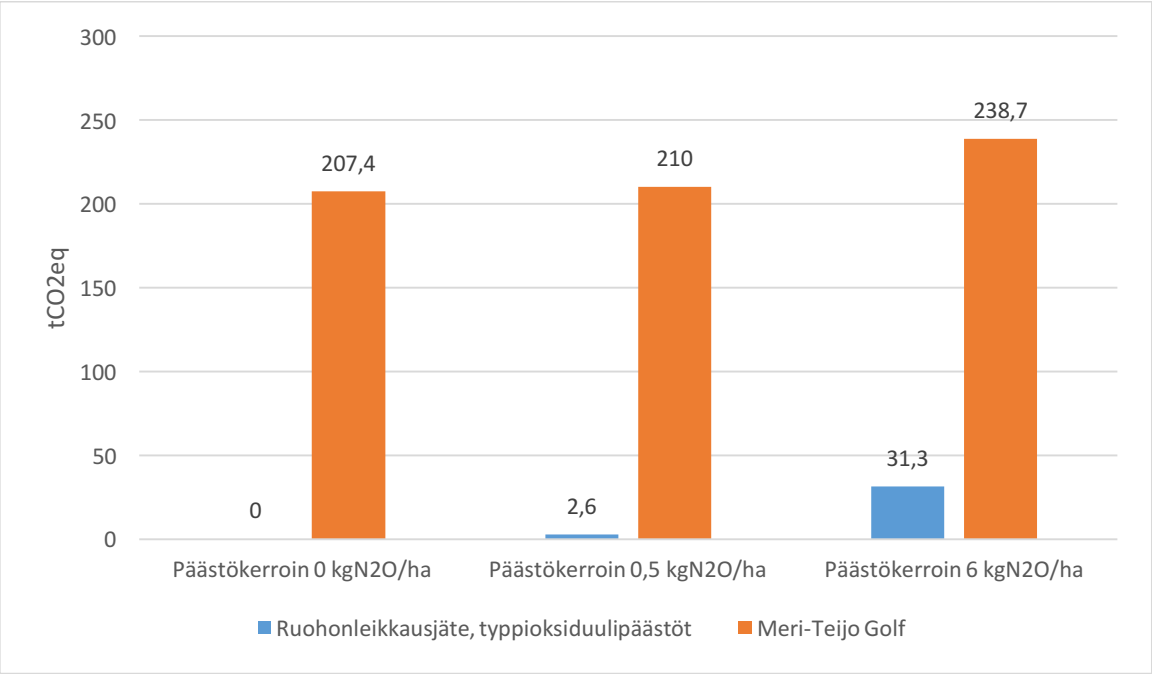


Kuva 5. Pelaajien ajomatkojen kilometrimäärien herkkyystarkastelua.

Ruohikon leikkausjätteen typpioksiduulipäästöt

Golfkentän ruohikon leikkausjätteen hajoamisen aiheuttamat typpioksiduulipäästöt on otettu huomioon kentän kasvihuonekaasupäästöjen inventaariossa. Groffmannin (2009) sekä Kayen (2004) tutkimuksissa on arvioitu, että typpioksiduulia muodostuu 0,5-6,0 kiloa per hehtaari, kun leikattu nurmi jätetään kentälle lahoamaan. Tässä diplomityössä oletettiin, että lahoamisesta aiheutuvat päästöt olisivat 0,5 kiloa per hehtaari. Herkkyystarkastelussa tutkitaan, mikä vaikutus ruohikonleikkausjätteen lahoamisella on kentän kasvihuonekaasupäästötaseeseen. Herkkyystarkastelussa tarkastellaan tilannetta, jossa nurmen leikkausjätteen typpioksiduulipäästöt jätetään tarkastelematta, sekä tilannetta, jossa käytetään leikkausjätteen lahoamisen typpioksiduulipäästökertoimena arvoa 6 kiloa per hehtaari.

Kuvassa 6 on tarkasteltu typpioksiduulin muodostumisen ruohonleikkausjätteestä päästökerrointa. Kuvan avulla voidaan huomata, että mikäli käytetään päästökerrointa 6 kg_{N2O}/ha saadaan laskettua merkittävästi suurempi hiilijalanjälki, kuin käyttämällä arvoa 0,5 kg_{N2O}/ha. Ero hiilijalanjäljissä on 28,7 tCO_{2eq} vuodessa. Toisaalta sillä käytetäänkö kerrointa 0,5 kg_{N2O}/ha, on hiilijalanjäljen kannalta vähäisempi merkitys.



Kuva 6. Ruohonleikkausjätteestä muodostuvan typpioksiduulin päästökertoimen vaikutus hiilijalanjälkilaskennan tuloksiin.

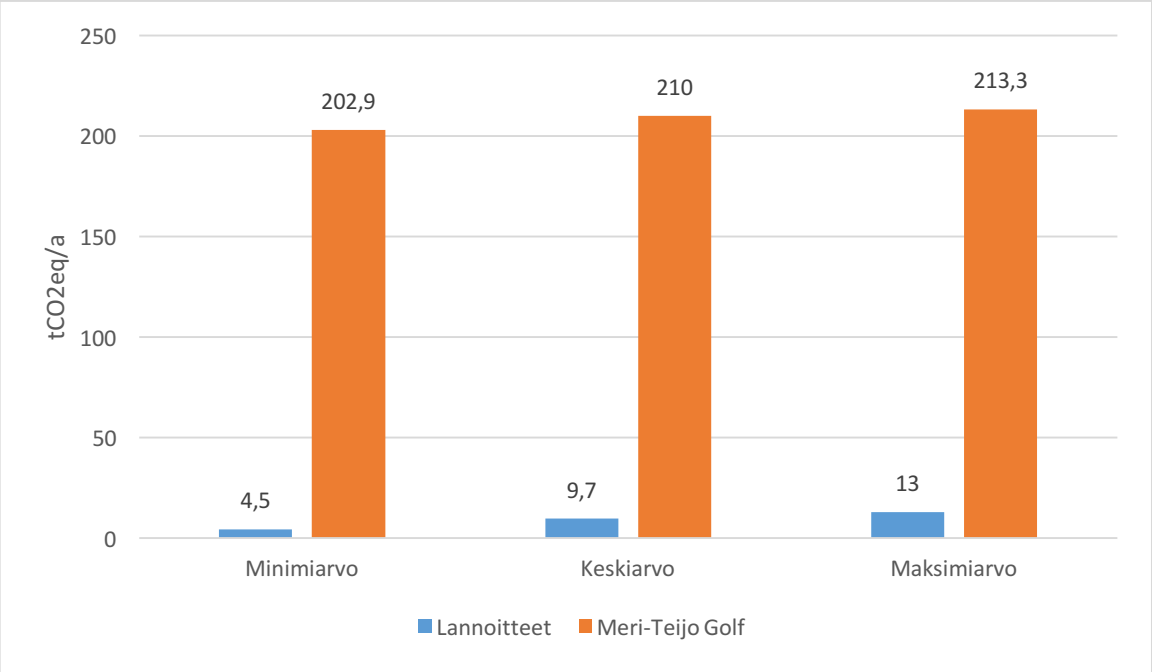
Lannoitteet

Lannoitteiden käytön kasvihuonekaasupäästökerroin on peräisin Blonk konsulttien vuoden 2012 tutkimuksesta, jossa määritettiin kasvihuonekaasupäästökertoimet typpi, fosfori- ja kaliumlannoitteille (Kool et.Al. 2012, 13). Lannoitteiden päästökertoimille määritettiin tutkimuksessa keskihajonta. Meri-Teijo Golfin hiilijalanjäljen määrityksessä länsi-Euroopassa tuotetuille lannoitteille käytettiin hyväksi päästökertoimien mediaania. Herkkyysanalyysissä tutkitaan, kuinka päästökertoimien minimi- ja maksimiarvo vaikuttavat Meri-Teijo Golfin hiilijalanjälkeen. Typpi-, fosfori- ja kaliumlannoitteiden minimi ja maksimi kasvihuonekaasupäästökertoimet on havainnollistettu taulukossa 19. Kalkin päästökertoimelle ei ollut VTT:n tutkimuksessa määritetty hajontaa, minkä takia kalkki on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

Taulukko 19. Länsi-Eurooppalaisten lannoitteiden kasvihuonekaasupäästökertoimien jakauma (Kool et.Al. 2012, 13).

	Typpilannoite		Fosforilannoite		Kaliumlannoite	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Kasvihuonekaasupäästökerroin, [$kgCO_{2eq}/kg_{lannoite}$]	3,05	7,27	-0,29	2,49	-0,21	2,31

Mikäli käytetään lannoitteiden minimi kasvihuonekaasupäästökertoimia, saadaan lannoitteiden käytön hiilijalanjäljeksi 4,5 tCO_{2eq} vuodessa, kun mediaanien arvolla laskettuna se on 9,7 tCO_{2eq} vuodessa. Tämä tarkoittaisi sitä, että Meri-Teijo Golfin kokonaishiilijalanjälki olisi 210,0 tCO_{2eq} sijaan, 202,9 tCO_{2eq} vuodessa. Toisaalta, mikäli käytetään kasvihuonekaasupäästökertoimien maksimiarvoja, saadaan lannoitteiden käytön hiilijalanjäljeksi 13,0 tCO_{2eq} vuodessa. Maksimi päästöarvojen käyttäminen Meri-Teijo Golfin hiilijalanjäljen laskennassa, nostaisi vuotuista hiilijalanjälkeä 3,3 $tCO_{2eq.}$ Tämä tarkoittaisi, että maksimipäästöarvoja käytettäessä kokonaishiilijalanjälki olisi 213,3 tCO_{2eq} vuodessa. Kuva 7 edustaa lannoitteiden käytön herkkyystarkastelua.



Kuva 7. Lannoitteiden käytön päästökertoimen herkkyystarkastelua suhteessa lannoitteiden käytön hiilijalanjälkeen ja kokonaishiilijalanjälkeen.

Kasvinsuojeluaineet

Kasvinsuojeluaineiden päästökertoimet ovat peräisin Greenin (1987) ja Williamsin (2006) tutkimuksista. Tutkimuksissa kasvitautien, tuholaisten ja rikkaruohojen torjunta-aineille on määritetty kasvihuonekaasupäästökertoimet ja kertoimille keskihajonta. Käyttämällä kertoimien keskihajontoja, on mahdollista tarkastelle päästökertoimen valinnanvaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin. Kasvinsuojeluaineiden kasvihuonekaasupäästökertoimien hajonnat on esitetty taulukossa 20.

Taulukko 20. Kasvinsuojeluaineiden kasvihuonekaasupäästökertoimet, sekä kertoimien hajonta (Green 1987) (Williams 2006).

Kasvinsuojeluaineen käyttökohde	Ominaispäästökerroin [$kgCO_{2eq}/kg_{vaikuttava\text{-}aine}$]
Rikkakasvit	18,25 ± 8,71
Tuholaiset	14,79 ± 11,44
Kasvitaudit	11,94 ± 10,35

Kasvinsuojeluaineiden kasvihuonekaasupäästökertoimien keskihajontojen perusteella voidaan suorittaa herkkyysanalyysiä. (Green 1987.) (Williams et.Al. 2006.)

Kasvinsuojeluaineiden käytön hiilijalanjälki on minimihajontoja käyttäen 0,012 tCO_{2eq} vuodessa ja maksimihajonnan arvoa käyttäen 0,063 $tCO_{2eq.}$ Maksimi- ja minimihajontojen käytöllä ei ole suurta vaikutusta Meri-Teijo Golfin kokonaishiilijalanjälkeen, joka on 210tCO_{2eq} vuodessa.

6 KOHTI ILMASTOYSTÄVÄLLISTÄ MERI-TEIJO GOLFIA

Hiilineutraaliudella tarkoitetaan tilaa, jossa tarkastelusysteemin toiminnan nettohiilitase on nolla. Hiilijalanjäljen neutraloinnilla tarkoitetaan tarkastelusysteemistä muodostuvien päästöjen vähentämistä niin, että hiilijalanjälki on nolla tai tarkastelusysteemissä muodostuvien päästöjen kompensoimista lisäämällä hiiltä joko tarkastelusysteemin sisällä tai sen ulkopuolella. Ison-Britannian ympäristönsuojeluviranomainen Defra (2009) on määrittänyt yritysten ja organisaatioiden hiilineutraaliuden eli ilmastoystävällisyyden tavoittelun vaiheistuksesta seuraavasti. (Seppälä et.Al 2017, 5,13.)

1. Suoria, yrityksen tai organisaation kasvihuonekaasupäästöjä vähennetään muokkaamalla omaa energian ja materiaalin käyttöä sellaiseksi, ettei kasvihuonekaasupäästöjä muodostu. (Scope 1)
2. Tuotannon epäsuoria, energiaperäisiä kasvihuonekaasupäästöjä on vähennettävä. Nämä energiaperäiset kasvihuonekaasupäästöt voivat olla peräisin ostosähkön ja -lämmön tuotannosta. (Scope 2)
3. Muita kuin kohtaan 2 kuuluvia päästöjä, joilla on yrityksen tai organisaation hiilijalanjälkeen vaikutusta tulee vähentää. Tämän kaltaiset päästöt voivat olla peräisin esimerkiksi tuotannon raaka-aineiden valmistuksesta, hankituista kuljetuspalveluista sekä työntekijöiden tai kuluttajien liikkumisesta. (Scope 3)
4. Jos kaikkia yrityksen tai organisaation toiminnasta peräisin olevia päästöjä ei kyetä vähentämään edellä mainituin keinoin, on päästöjä kompensoitava. Lisäisyyden periaate on toteuduttava päästöjä kompensoitaessa. (Scope 4)

Samankaltaisia ohjeita on annettu myös ISO 14064-1 standardissa. Yritys voi vähentää kasvihuonekaasupäästöjään kahdella tavalla; joko lisäämällä hiilinieluja, joilla se pystyy kompensoimaan toimintansa päästöjä, tai se voi muuttaa toimintaansa niin, että kasvihuonekaasupäästöjä muodostuu aikaisempaa vähemmän. Hiilinieluja voi lisätä joko omalla toiminnalla tai ottamalla osaa projekteihin, joiden toimintaa kuvataan tarkemmin standardin toisessa osassa, 14064-2. (ISO 14064-1:2006, 8.)

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisellä on monia positiivisia seurauksia yrityksen liiketoimintaan. Päästöjen vähentäminen on tärkeä keino minimoida ja hallita kasvihuonekaasupäästöihin liittyviä liiketoiminnantoiminnan riskejä. Päästöjen vähentäminen on myös eräänlainen keino sopeutua jo etukäteen tulevaisuudessa tiukentuviin kasvihuonekaasupäästöregulaatioihin. Päästöjen vähentäminen on monesti taloudellisesti kannattavaa. Usein samalla kun vähennetään päästöjä, luodaan myös kustannuspohjaisia säästöjä. Päästöjen vähentäminen antaa yritykselle myös mahdollisuuden löytää luovia ratkaisuita siihen, kuinka vähentää päästöjä ja luoda näin ollen innovaatioita. Reagointi ilmastonmuutokseen vähentämällä yrityksen toiminnan päästöjä ja tästä viestiminen, antavat yrityksille kilpailuedun vastuullisena yrityksenä. Esimerkiksi osallistuminen vapaaehtoisiin päästöjen vähennysohjelmiin viestii yrityksen vastuullisuudesta. (GHG-Protocol 2015, 75-76.)

Kohti hiilineutraalia Meri-Teijo Golfia mentäessä, on diplomityössä kehitetty esimerkki suunnitelmasta, jolla annetaan eväitä hiilineutraaliuteen. Suunnitelman tarkoituksena on olla suuntaa antava, ja tarjota Meri-Teijo Golfille eväitä, joilla voi tavoitella hiilineutraalia toimintaa. Hiilineutraaliuden tavoittelu vaatii toimintoja, joiden avulla golfkentän toiminnasta syntyviä päästöjä voidaan vähentää tai kompensoida. Esimerkkisuunnitelmassa päästöjen vähentämiseksi on luotu käyttämällä hyväksi Defran ohjeistusta, joka on aikaisemmin kuvailtu. Esimerkissä tavoitteena on ensin vähentää Scope 1 päästöjä, jonka jälkeen vähennetään Scope 2 ja Scope 3 päästöjä. Ne päästöt, joita ei saada erilaisissa toimenpiteillä vähennettyä, kompensoidaan ostamalla vapaaehtoisilta päästömarkkinoilta päästölupia. Suunnitelman aikajänteeksi on valittu kymmenen vuotta.

6.1 Scope 1 –päästöjen vähentäminen

Seuraavissa luvuissa on esitetty keinoja, joilla Meri-Teijo Golf voi muuttaa toimintaansa niin, että sen omasta toiminnasta syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen määrä vähenee. Kasvihuonekaasujen syntymistä golfkentällä voidaan vähentää, muuttamalla työkoneissa käytetty diesel ja bensiini uusiutuvaksi polttoaineeksi. Lisäksi lannoitteiden käytön päästöjä voidaan vähentää ravinteiden kierrätysjärjestelmän avulla. Luvussa pohditaan myös

mahdollisuutta vähentää lannoitteiden käyttöä ruohonleikkausjätteestä peräisin olevan typen avulla sekä ruohonleikkaustarpeen vähentämistä Primo Maxx kasvunhidasteen avulla.

6.1.1 Työkoneiden kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen

Suurin osa Meri-Teijon oman toiminnan aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä syntyy fossiilisten polttoaineiden käytöstä työkoneissa. Fossiilisten polttoaineiden käytöstä syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä on mahdollista vähentää parantamalla energiatehokkuutta sekä työkone- että moottoritasolla, korvaamalla työkoneissa käytettävät perinteinen bensiini ja diesel bioperäisillä polttoaineilla sekä tehostamalla työkoneiden käyttöä (VTT 2016, 14).

Meri-Teijo Golfin tapauksessa yksinkertaisin tapa vähentää työkoneiden käytöstä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä, on korvata työkoneissa käytetyt polttoaineet bioperäisillä polttoaineilla. Uuden teknologian biopolttoaineet ovat kemiallisilta ominaisuuksiltaan samankaltaisia, kuin perinteiset fossiiliset polttoaineet, joten biopolttoaineita on mahdollista käyttää kaikissa nestemäisiä polttoaineita käyttävissä työkonemoottoreissa. Dieselpolttoaineille on keväällä 2016 tullut voimaan eurooppalainen standardi EN 15940, missä säädetään dieselpolttoaineiden bioperäisestä osuudesta ja polttoaineen päästöistä. Bioperäisten, uuden sukupolven dieselpolttoaineiden on todettu myös vähentävän pakokaasupäästöjä. Etenkin raakahiukkas- ja hiilivetypäästöjen on todettu vähentyvän uudensukupolven biodieselin käytön myötä noin 25-30 % fossiilisen dieselin käyttöön verrattuna. Kasvihuonekaasupäästöjen on todettu laskevan koko elinkaaren aikana 80-90 %, kun on käytetty jäte- ja tähdeperäisiä biopolttoaineita. (VTT 2016, 15.)

Työkoneiden käytöstä aiheutuu päästöjä 22,5 tCO_{2eq}. Työkoneiden käytön kasvihuonekaasupäästöjä on mahdollista pienentää 80-90 % korvaamalla fossiiliset polttoaineet biopolttoaineilla. Esimerkiksi Nesteen My Diesel on uusiutuva biopolttoaine, joka on valmistettu ruokajätteestä. (Neste 2017). Jos oletetaan, että päästöjä on mahdollista vähentää 90 % tämä tarkoittaa, että kasvihuonekaasupäästöjä muodostuisi työkoneiden käytöstä ainoastaan 2,3 tCO_{2eq} vuodessa.

Biopolttoaineiden käytöllä ei ole vaikutusta työkoneiden polttoaineen kulutukseen. Polttoaineiden kulutukseen voidaan vaikuttaa työkoneen toimintatekniikalla ja sen käyttötavoilla. Mikäli työkoneiden polttoaineen kulutusta halutaan tekniikan avulla saada energiatehokkaammaksi, on uusiin työkoneisiin investoitaessa kiinnitettävä huomioon koneiden polttoaineiden käytön energiatehokkuuteen. Työkoneiden moottorien energiatehokkuuden parantamisella voidaan vähentää työkoneen kasvihuonekaasupäästöjä noin 15 %, mikäli moottorin energiatehokkuus paranisi 7 %:lla. Työkoneiden moottorin energiatehokkuutta voidaan parantaa tekemällä muutoksia moottorikitkaan, kaasunvaihtoon, palamiseen, apulaitteisiin, lämmönhallintaan ja hukkalämmöntalteenottoon pakokaasuista. Työkoneiden energiatehokkuutta voidaan lisätä myös kehittämällä moottorin ja voimansiirron toimintaa. Esimerkiksi voimansiirron muuttamisella hybriditeknologiaa hyödyntäväksi tai sähköiseksi on mahdollista vähentää päästöjä jopa 50 %. Monista työkoneista on jo olemassa sähköistetty versio, joka käyttää hyväksi hybriditekniikkaa. Energiatehokkuuden parantaminen työkoneessa lisää koneen takaisinmaksuaikaa muutamalla vuodella. (VTT 2016, 15-16.)

Käytön tehostamisella voidaan lisätä koneen energiatehokkuutta ja päästöjä. Työkoneen käyttöä voidaan tehostaa muun muassa käyttämällä työkoneita optimaalisilla kierrosluvuilla ja vähentämällä joutokäyntiä. Myös automatisoinnin lisääminen ja ohjaustoimintojen parantaminen voivat lisätä koneen käytön energiatehokkuutta. Työkoneen käytön tehostamisella voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä jopa 35 %. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen lisäksi työkoneen tuottavuus ja polttoaineen käytön vähentyminen ovat työkoneiden käytön tehostamisen seurauksia. (VTT 2016, 15-16.)

Energiatehokkaammilla koneilla on mahdollisuutta vähentää golfkentällä syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä nykyisestä. Kun Meri-Teijo Golfissa tehdään uusia työkonehankintoja, on niissä kiinnitettävä huomiota koneiden energiatehokkuuteen. Myös investointi tarpeen mukaan sähköisiin työkoneisiin on eräs keino vähentää kentällä syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä.

6.1.2 Ruohonleikkausjäte lannoitteiden korvaajana

Ruohonleikkausjätteeseen on sitoutunut kasvun aikana typpeä. Osa nurmijätteen typestä vapautuu nurmen lahotessa ilmaan ja maaperään. Kopp ja Guillard (2001) tutkimuksen mukaan noin 50 % kemiallisten lannoitteiden käytöstä urbaaneilla nurmilla voidaan vähentää jättämällä ruohonleikkausjäte nurmelle maatumaan (Kopp & Guillard 2001). Mikäli typpilannoitteiden käyttöä saadaan vähennettyä myös kemiallisten lannoitteiden valmistuksesta ja käytöstä syntyvät kasvihuonekaasupäästöt vähentyisivät. Toisaalta, nurmikon lahotessa, vapautuu ilmaan typpioksiduulia, joka on kasvihuonekaasu. (Tidåker et.Al. 2017.)

Meri-Teijo Golfissa ruohonleikkauksesta syntyvä ruohojäte jätetään golfkentälle maatumaan. Eräs keino vähentää nykyistä kemiallisten lannoitteiden määrää käytössä olisikin selvittää, vähentääkö leikkausnurmen jättäminen golfkentälle maatumaan kentän kemiallisen lannoituksen tarvetta. Meri-Teijo Golf käyttää typpeä lannoitteena 1,3 tonnia vuodessa. Oletetaan, että sijoittamalla leikattu nurmi takaisin golfkentälle, saadaan kemiallisen lannoitetypen määrää vähennettyä 50 % (Kopp & Guillard 2001). Tämä tarkoittaa sitä, että lannoitetypen käyttö golfkentällä vähenee 0,7 tonniin vuodessa.

Kemiallisen typpilannoitteen käytön vähentämisellä on suora vaikutus Meri-Teijo Golfin hiilijalanjälkeen. Kemiallisten typpilannoitteiden käytön vähentäminen puolella vähentää samalla typpilannoitteiden käytöstä peräisin olevia päästöjä puolella. Tämä tarkoittaa sitä, että tämän hetkinen 9,7 tCO_{2eq} vähenisi 5,8 tCO_{2eq} vuodessa. Myös kemiallisen typpilannoitteen käytöstä aiheutuvat typpioksiduulipäästöt vähenisivät puolella, 4,1 tCO_{2eq} vuodessa 2,1 tCO_{2eq} vuodessa. Kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi, on tärkeää huomata se, että kemiallisten lannoitteiden käytön vähentymisellä on rehevöitymistä heikentävä vaikutus. Onkin siis mahdollista, että ruohonleikkausjätteen käytöllä pelialueen lannoitteena on mahdollista vähentää puolella myös lannoitetypen poishuuhtoutumista kentältä.

Ruohonleikkausjätteen sijoittamista pelialueelle on tutkittava ensin, ennen kuin voidaan olla varmoja sen hyödyistä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen kannalta. Tutkimuksessa on selvitettävä, onko pelialustan kunnon kannalta mahdollista käyttää kemialliselle typpilannoitukselle ja ruohonleikkausjätteelle suhdetta 50- 50. Pelialueen nurmen on oltava

hyväkuntoinen, jotta se palvelee golfin luonnetta parhaalla mahdollisella tavalla. Mikäli ruohonleikkausjätteestä peräisin oleva typpi ei onnistu korvaamaan 50 % pelialueen typen tarpeesta, on kemiallisen typpilannoitteen määrää lisättävä niin, että saadaan mahdollisimman hyväkuntoinen pelialusta. Ruohikonleikkausjätteen sijoittaminen golfkentän pelialueella ei myöskään saa haitata pelin luonnetta. Ruohonleikkausjäte voi esimerkiksi haitata pallon liikkeitä, sekä pelaajien lyöntejä. Tämän takia pitää ruohonleikkausjätteen sijoittamiseen pelialueelle suhtautua varauksella.

6.1.3 Primo-Maxx:n käyttö kasvun hidasteena

Meri-Teijo Golf käyttää kentän hoidossa hyväkseen kemikaalia, jonka tarkoituksena on hidastaa nurmikon kasvua. Kasvunhidasteiden käytön tarkoituksena on vähentää ruohikon leikkaustarvetta ja näin ollen leikkauksen kuluttamaa energiatarvetta. Meri-Teijo Golfissa käytetty kasvunhidaste, Primo Maxx, sisältää trinexapac-etyyliä, joka estää viimeisen vaiheen gibberelliini hapon biosynteesissä. Gipperelliini happo on eräs kasvihormooni. (STERF 2014, 4.)

Primo Maxx:n käyttöä golfkentillä on tutkittu STERF:n (Scandinavian Turfgrass and Environment Research Foundation) tutkimuksessa. STERF on pohjoismaalainen tutkimusjärjestö, jonka tutkimuskohteena on golfkenttien ympäristö sekä nurmi. Vuoden 2014 tutkimuksessa Primo Maxx:n käyttöä tutkittiin kuudella Norjassa ja Suomessa sijaitsevalla golfkentällä. Tutkimuksen perusteella Primo Maxx:n käytöllä havaittiin olleen vaikutusta nurmen väriin ja tiheyteen. Lisäksi huomattiin 8-44 % vähennys nurmen leikkaustarpeessa. (STERF 2014, 8.)

Primo Maxx:n käytöstä on Meri-Teijo Golfissa huomattu olevan vaikutusta golfkentän nurmikon tiheyteen ja väriin. Primo Maxx:n käytön vaikutusta nurmen leikkauskertoihin ei kuitenkaan ole selvitetty. (Skogster 2017.) Eräs vaihtoehto pienentää kentän toiminnan hiilijalanjälkeä, olisi tutkia, minkälainen vaikutus Primo Maxx:n käytöllä on golfkentän nurmen leikkaustiheyteen. Jos nurmenleikkaustarve olisi joka toinen päivä, vähentyisi leikkauspäivien määrä nykyisestä kuudesta päivästä viikossa, kolmeen tai neljään päivään viikossa.

Ajettava nurmikonleikkuri kuluttaa polttoainetta noin 0,25 litraa tunnissa (Paalijärvi et.Al. 2015, 69). Erilaisia golfkentän nurmen leikkaukseen tarkoitettuja leikkureita käytettiin vuonna 2016 yhteensä 13 900 tuntia. Mikäli ruohonleikkaustarve puolittuisi, vuotuisien käyttötuntien määrä olisi 6950 tuntia. Tämä tarkoittaisi sitä, että polttoaineen kulutus vähenisi 3473 litrasta 1736 litraan. Polttoaineen käytön myötä, myös ruohonleikkauksen kasvihuonekaasupäästöt vähenisivät puolella. Ruohonleikkauksen polttoaineen kulutuksen arvioidaan olevan noin puolet työkoneiden polttoaineen kulutuksesta. Ruohonleikkauksen kasvihuonekaasupäästöt olisivat tällöin 5,5 tCO_{2eq} vuodessa, 10,9 tCO_{2eq} sijaan. Tämä pienentäisi hoitokaluston polttoaineen kasvihuonekaasupäästöjä nykyisestä tasosta 24 %:lla, kun oletetaan että polttoaineet ovat nykyisin käytettyjä, fossiilisia polttoaineita.

Golfkentän nurmen pituus on tärkeä osa pelin sujuvuutta. Nurmen leikkauksen vähentämistä olisi ensin tutkittava pienellä alueella. Mikäli nurmen leikkaustarve on tiheämpi kuin joka toinen päivä, on nurmea tällöin leikattava tarpeen mukaan.

6.1.4 Lannoitteiden kierrätysjärjestelmä

Eräs keino vähentää lannoitteiden käyttöä golfkentän hoidossa on luoda kentälle kasteluveden kierrätysjärjestelmä. Järjestelmän tarkoituksena on kerätä kentällä käytetty kasteluvesi valuma-altaaseen, mistä se voidaan pumpata takaisin kastelujärjestelmään. (Skogster 2016.) Kemiallisten lannoitteiden käytön vähentämisellä on hiilijalanjäljen pienentymisen lisäksi, rehevöitymistä heikentävä vaikutus. Typpi- ja fosforivalumien uudelleen käyttö kasteluvedessä pienentää golfkentältä tulleiden valumien kuormitusta Itämereen. Mikäli huuhtoutunut typpi ja fosfori saataisiin kierrätettyä takaisin golfnurmen ravinteeksi, vähentäisi tämä kemiallisten lannoitteiden tarvetta ja niiden käytön aiheuttamaa ilmasto- ja ravinnekuormitusta. Valumaveden uudelleen käytöllä saadaan myös tehostettua makean veden käyttöä ja vähennettyä käytön tuhlaavuutta, kun ravinteiden lisäksi myös vesi kiertäisi golfkentän alueella.

Uudella kastelujärjestelmällä korvattaisiin vanha kastelujärjestelmä, joka alkaa olla elinkaarensa loppupäässä. Uuden kastelujärjestelmän tulisi sisältää allas, jonne valumavedet

kentältä johdetaan. Vesi johdetaan valuma-altaalle jo olemassa olevaa ojaa pitkin, joka laskeutuu kentän itäosasta kentän länsiosaan perustetulle valuma-altaalle. Valumavesien lisäksi altaalle pumpataan vettä Itämerestä. Merivettä on mahdollista käyttää hyväksi kastelussa, mikäli kasteluveden suolapitoisuus ei ylitä 0,5 %. Suolapitoisuus Turun saariston Itämeren osissa on noin 0,60 %. (Jävenpää & Savolainen 2015, 168.) Meri-Teijon tapauksessa Itämeren vettä olisi mahdollista käyttää hyväksi kastelussa, mikäli sitä sekoitettaisiin valumaveteen. Sekoitussuhteen on tässä tapauksessa oltava sellainen, että veden suolapitoisuus on alle 0,5 %.

Uuteen kastelujärjestelmään kuluu kaksi haaraa. Toisen haaran tarkoituksena on kastella kentän lounaisosa ja toisen itäosa. Kastelujärjestelmän lounaisosa on samalla korkeudella valuma-altaan kanssa. Kentän itäosan ja suunniteltavan valuma-altaan välillä on noin 30 metriä korkeuseroa. Oletetaan, että vuotuisen kastelun määrä on enintään noin 25 000 m^3. Tästä 10 000 m^3. kuluu lounaisosan kasteluun ja 15 000 m^3 itäosan kasteluun.

Kastelujärjestelmään tarvitaan vähintään kolme pumppua. Yhden pumpun tarkoituksena on pumpata merivettä Itämerestä, toisen pumpata vettä valuma-altaasta lounaisosan kastelujärjestelmään ja kolmannen kastelujärjestelmän itäosaan. Pumppujen mitoitusvirtaamat, käyntiajat, energiankulutus sekä nostokorkeudet on esitetty taulukossa 21. Virtaamat on arvioitu perustuen aikaisemman kastelujärjestelmän toimintaan. Nostokorkeus on arvioitu maastokartan korkeuskäyrien perusteella. Virtaamien ja nostokorkeuden perusteella saadaan kaikille kolmelle pumpulle laskettua pumppujen vuotuinen energiankulutus.

Taulukko 21. Tietoja pumpun toiminnasta (Grundfors 2017).

Pumppu	Pumpun toiminta	Virtaama	Pumpun hyötysuhde	Nosto-korkeus	Energian-kulutus
Pumppu 1	Itämeri – Valuma-allas	75 m^3/h	-	max. 5 m	3983 kWh/a
Pumppu 2	Kastelu lounaisosa	34,5 m^3/h	53,8 %	max. 5 m	420 kWh/a
Pumppu 3	Kastelu itäosa	50,6 m^3/h	72 %	max. 30 m	2500 kWh/a

Aikaisemmin on oletettu, että lannoitetypen vuotuinen huuhtoutuma Meri-Teijo Golfissa on 35,3 kiloa ja lannoitefosforin huuhtoutuma 19,7 kiloa. Tämä tarkoittaa sitä, että veden kierrätyksen kautta olisi mahdollista korvata 10 % lannoitefosforista ja 2 % lannoitetypestä. Huuhtoutuneen typen uudelleen käyttäminen ravinteena vähentäisi lannoitteiden kulutuksen aiheuttamaa hiilijalanjälkeä 0,2 tCO_{2eq} vuodessa. Fosforin uudelleen kierrättäminen puolestaan vähentäisi lannoituksen aiheuttamaa hiilijalanjälkeä 0,03 tCO_{2eq} vuodessa. Yhteensä lannoituksen hiilijalanjälkeä olisi mahdollista vähentää 0,23 tCO_{2eq} vuodessa. Kemiallisten lannoitteiden käytön hiilijalanjälki olisi tällöin enää 9,5 tCO_{2eq} vuodessa.

Typpi- ja fosforivalumien määrä on epätarkka. Mikäli kastelujärjestelmän kautta tapahtuvaa ravinteiden kierrätystä halutaan toteuttaa, on kentällä suoritettavia mittauksia. Meri-Teijo Golfin keskellä virtaamasta ojasta on mitattava vuoden aikana joka kuukausi typen ja fosforin pitoisuudet ojavedestä. Mittauksien avulla voidaan määrittää se, kuinka paljon lannoitetyppeä ja -fosforia voidaan valumavesistä käyttää uudelleen hyväksi. Lisäksi, tulisi mitata ojan veden virtaama, eli kuinka paljon ojassa virtaa vettä tunnissa. Vesi tullaan johdattamaan altaaseen, josta se pumpataan kastelujärjestelmään. Pumpun tarkkaa mitoitusta varten tulisi pumpattavan veden määrän lisäksi tietää veden nostokorkeus, eli kastelujärjestelmän eri osien korkeuserot. Jotta kentän hoidon kannalta löydettäisiin sopiva ravinnetasapaino, on kentän valumavesistä otettava näytteitä. Näytteistä voidaan analysoida tarkat typpi- ja fosforipitoisuudet, joiden avulla, saadaan tietää ravinteiden poistuman tarkka

määrä, ja näin arvioida se kuinka paljon kemiallisia voidaan ravinteiden kierrätysjärjestelmällä korvata.

6.2 Scope 2: Energian tuotannosta aiheutuvien epäsuorien päästöjen vähentäminen

Sähkönkulutuksen aiheuttamia päästöjä voidaan vähentää korvaamalla fossiilisilla energiamuodoilla tuotettu sähkö uusiutuvalla energialla tuotetulla sähköllä. Uusiutuvan sähkön käyttö on eräs tärkeä ratkaisu yrityksen kasvihuonekaasupäästöjä vähennettäessä. (GHG-Protocol 2017, 12.) Uusiutuvalla energialla tuotettua sähköä voidaan tuottaa joko omavaraisesti tai sitä voi ostaa sähkönmyyjältä. Uusiutuvalla sähköllä tarkoitetaan sähköä, jonka tuotannossa ei ole käytetty fossiilisia energialähteitä. Uusiutuvia energialähteitä ovat esimerkiksi bioenergia, aurinkosähkö, merivoima, tuulivoima ja vesivoima. (Motiva 2017.) Meri-Teijo Golf käyttää jo nykyisin uusiutuvaa tuulisähköä, joten varsinaisia päästövähennyksiä ei enää voida saada vaihtamalla energian alkuperää. Meri-Teijo Golf voi kuitenkin lisätä energiantuotannon omavaraisuutta tuottamalla osan omasta sähkönkulutuksestaan omilla aurinkopaneeleilla.

Aurinkosähkö on uusiutuvaa energiaa. Sähkön hiilijalanjälki on 0 $kgCO_{2eq}$/MWh. Aurinkosähkön energia on peräisin fotoneista, jotka ovat auringon säteilyenergiaa kuljettavia säteitä. Aurinkopaneelit on valmistettu kennoista, joiden sisällä on elektroneja. Auringon säteilyn osuessa aurinkokennoon, fotonit luovuttavat energiansa kennojen elektroneille. Sähkövirta saadaan aikaan, kun elektronit ohjataan kennojen virtajohtimiin. (Motiva 2016a.)

Aurinkopaneelit ovat kooltaan noin 1,5 m^2. Paneelien nimellisteho vaihtelee noin 200-250 W:n välillä. Aurinkopaneelien hyötysuhde on noin 13 %. Aurinkopaneelien elinikä on noin 25-30 vuotta. Paneelien tehotakuu on 25 vuotta. Tehotakuulla tarkoitetaan sitä, että paneelit toimivat vähintään 90 %:n nimellisteholla ensimmäiset kymmenen vuotta ja 80 %:n nimellisteholla 25 vuoden ajan. (Motiva 2016b.)

Aurinkopaneeleita asennettaessa tulee ottaa huomioon paneelin suuntaus, kallistus sekä sijainti. Aurinkopaneelit voidaan asentaa katolle, katon lappeen suuntaisesti, tai maahan, erilliselle telineelle asennettuna. Pienien järjestelmien tapauksessa, on suotavampaa asentaa paneelit katolle. Katolle asennettaessa on kuitenkin muistettava käyttää aurinkopaneeleille sopivia kannattimia. Aurinkopaneelien ja katon väliin on jäätävä tilaa, jotta ilmavirta pääsee jäähdyttämään paneelien pintaa. Paneelien pinnan lämpeneminen vaikuttaa paneelien hyötysuhteeseen negatiivisesti. Paneelit on kuitenkin asennettava katon tuetulle alueelle, eikä niitä saa asentaa esimerkiksi räystäitä hyväksi käyttäen. Optimaalinen paneelien asennuskulma on 35-45º, mutta paneelia katolle asennettaessa ei ole taloudellisesti kannattavaa asentaa paneelia muuhun kuin katon harjan mukaiseen kulmaan. Optimaalinen suuntaus aurinkopaneelille on sen suuntaaminen etelään. Myös kaakkoon tai lounaiseen suuntaaminen ovat hyviä vaihtoehtoja. Kaakkoon suunnattaessa sähkön huipputuotanto ajoittuu aamupäivään ja lounaaseen suunnattaessa iltaan. Aurinkopaneelin pinnalle ei saa osua varjostuksia, jotka haittaisivat auringon säteilyn pääsyä paneelin pinnalle. Varjostukset heikentävät paneelin sähköntuotantoa. (Motiva 2016c.)

Eräs keino lisätä Meri-Teijo Golfin energiaomavaraisuutta on asentaa aurinkopaneelit uuden huoltohallin katolle. Meri-Teijo Golfiin ollaan rakentamassa uutta konehallia, jonka katolle aurinkopaneeleita voitaisiin asentaa. Katon harjan kokonaispinta-ala on 450 m^2. Konehallin toinen harja on suunnattu etelään ja toinen pohjoiseen. Aurinkopaneelit olisi mahdollista asentaa katon etelä-harjalle. Mikäli koko etelän puoleinen harja asennettaisiin täyteen 1,5 m^2:n kokoisia ja 250 W:n nimellistehoisia aurinkopaneeleita, olisi mahdollista tuottaa sähköä 37 kW:n kokonaisteholla. Vuotuinen sähköntuotanto on mahdollista laskea PVGIS-aurinkosähkölaskurilla (JRC 2017). Laskuriin syötetään paneelien sijainti, kokonaisteho, suuntaus sekä asennuskulma. Asennuskulma oletetaan olevan 40º ja häviöiden 13 %. Aurinkosähkölaskurin mukaan aurinkopaneelien vuosituotoksi saadaan 31,6 MWh (JRC 2017).

Meri-Teijo Golfin sähkön kulutus vuodessa on 98,1 MWh. Sähkön tuottaminen aurinkopaneeleilla vastaisi 32 % sähkön kokonaistarpeesta. Tämä tarkoittaisi, että tarvittavat 68 % sähköstä olisi edelleen ostettava sähkönmyyjältä. Vaikka aurinkoenergia itsessään on uusiutuvaa, vaatii paneelien valmistus ja materiaalien sekä tuotteiden kuljetus tuotteen eri

elinkaaren osissa energiaa. Meri-Teijo Golfin sähköntuotannon kasvihuonekaasupäästöt kasvaisivatkin hieman, mikäli osa energiasta tuotettaisiin aurinkopaneeleilla. Sähkönkulutuksen kokonaispäästöt olisivat tällöin 2,2 tCO_{2eq} vuodessa, aikaisemman 0,9 tCO_{2eq} sijaan. Aurinkosähkön tuotannon avulla voidaan lisätä energiantuotannon omavaraisuutta sekä viestiä yleisölle positiivisesta suhtautumisesta ilmastonmuutoksen torjunnassa.

6.3 Scope 3: Muiden epäsuorien päästöjen vähentäminen

Merkittävin osa Scope 3 päästöistä syntyy pelaajien matkustamisesta henkilöautoilla Meri-Teijoon pelaamaan golfia. Scope 3 tason päästöjä on hankala pienentää, sillä ne eivät synny suoraan yrityksen toiminnasta, vaan ne syntyvät yrityksen kulutuksen kautta. Yritys ostaa toisesta yrityksestä palveluja tai materiaaleja, joiden tuotanto ja kuljetus ovat muodostaneet kasvihuonekaasupäästöjä. Mikäli yritys haluaa vaikuttaa Scope 3 tason päästöihin, on tämän muutettava omaa kulutustaan. Toisen yrityksen tuotantoprosesseissa muodostuviin päästöihin on vaikea vaikuttaa. (GHG-Protocol 2011, 106-107.)

Suurin osa Meri-Teijon toiminnan hiilijalanjäljestä ja Scope 3:n päästöistä tulee pelaajien yksityisauton käytöstä matkustaessaan kentälle ja takaisin. Pelaajien kulkemisen aiheuttama hiilijalanjälki on 161,0 tCO_{2eq} vuodessa, kun taas golfkentän sisäisen toiminnan hiilijalanjälki on 47 tCO_{2eq}. Eräs keino vähentää pelaajien yksityisautoilun ilmastokuormitusta, on lisätä kimppakyytien määrää entisestään. Meri-Teijo Golfin pelaajat käyttävät kentälle matkustamiseen kimppakyytejä jo nykyisin. Kimppakyytien lisääminen 10 %:lla nykyisestä vähentäisi pelaajien kulkemisen hiilijalanjälkeä 1,2 % 161,0 tCO_{2eq}:sta 159,0 tCO_{2eq}: iin vuodessa. Jos kimppakyytejä lisättäisiin 15 %:lla vähenisivät päästöt 157 tCO_{2eq} vuodessa.

Tärkeässä roolissa pelaajien kimppakyytien lisäämiseksi on Meri-Teijo Golfin asema pelaajien motivaattorina. Shaheen et.Al. (2016) mukaan tärkeitä motivaation lähteitä kimppakyytien käyttäjien lisäämiseksi on tuoda esiin kimppakyytien helppous sekä säästöt,

joita kimppakyytien avulla pelaaja saa (Shaheen et.Al. 2016). Kimppakyydit lisäävät pelaajien sosiaalista hyvinvointia, sekä vähentävät ajotaakkaa pitkillä ajomatkoilla.

Meri-Teijo Golfin tapauksessa suurin osa pelaajista matkustaa kentälle pelaamaan joko Varsinais-Suomesta, Pääkaupunkiseudulta tai Meri-Teijon lähialueilta. Koska pelaajien kotipaikkakunta jakautuu selkeästi kolmeen eri ryhmään, helpottaa tämä kimppakyytien järjestämisen logistiikkaa. Mikäli pelaajien kotipaikkakunnat olisivat enemmän toisistaan hajallaan, olisi kimppakyytien järjestäminen logistisesti hankalaa. Kimppakyytien lisäämiseksi, voisi Meri-Teijo Golf perustaa facebook-ryhmän tai jonkin muun sosiaalisen median kanavan, jonka avulla pelaajien olisi helppo keskustella mahdollisista kyydityksistä kentälle. Myös muita kannustimia voidaan käyttää kimppakyytien lisäämiseksi. Mikäli pelaajat tulevat kentälle kimppakyydillä, voitaisiin heille antaa alennusta pelimaksuissa.

Pelaajien hiilijalanjäljen neutralointi on hankalaa, sillä pelaamisen edellytys on kentälle kulkeminen. Pelaajien ajotottumuksiin ei voida puuttua niin, että samalla aiheutettaisiin kentän toiminnalle haittaa. Julkisilla kulkuneuvoilla liikkuminen ei ole vaihtoehto vähentää pelaajien kulkemisen ilmastovaikutusta, sillä Meri-Teijo Golfiin ei ole mahdollista päästä julkisilla ajoneuvoilla. Golftarvikkeet vaativat myös paljon tilaa, minkä takia julkisissa kulkuneuvoissa liikkuminen on hankalaa.

6.3 Scope 4: Kasvihuonekaasupäästöjen kompensointi

Ne Meri-Teijo Golfin vuotuisesta toiminnasta aiheutuvat Scope 1, 2 ja 3 tason päästöt, joita ei erilaisten toimien avulla saada neutraloitua, kompensoidaan erilaisilla keinoilla. Näitä keinoja ovat hiilensidontakyvyn lisääminen golfkentän alueella, biohiilen käyttäminen ravinteiden kerääjänä golfkentän valumavesistä sekä kasvihuonekaasupäästöjen kompensointi ostamalla vapaaehtoisilta päästömarkkinoilta päästölupia. Ensisijaisesti on tarkoitus sitoa hiiltä kentän sisällä ja sen jälkeen sijoittaa hankkeisiin, joiden avulla voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjen syntymistä tai lisätä maapallon hiilensidontakykyä muualla.

6.4.1 Hiilensidontakykyn lisääminen golfkentän alueella

Puiden kykyä sitoa hiiltä ilmakehästä on tutkittu viime aikoina ahkerasti. Vielä ei kuitenkaan ole osattu osoittaa tarkkoja arvoja urbaanien viheralueiden hiilensidontakyvystä. Puiden hiilensidontakyky liittyy puiden maanpäällisten ja –alaisten osien, sekä maaperän hiilen sidonta- ja vapauttamiskykyyn (Pataki et.Al. 2006). Helsingin Yliopiston Metsätieteellinen tiedekunta on tutkinut vuosien 2002 ja 2011 välisenä aikana kahdella Helsingissä sijaitsevalla viheralueella urbaanien puiden hiilensidontakykyä. Toiselle tutkimusalueelle oli istutettu tutkimuksen alussa tervaleppää (*Alnus glutinosa*) 22 kappaletta ja toiselle puistolehmuksia 15 kappaletta (*Tilia vulgaris*). Vuosien 2003 ja 2011 välisenä aikana lehmuksien havaittiin sitoneen hiiltä 26 kg puuta kohti eli ilmasta hiilidioksidia 96 kg, kun taas tervalepän havaittiin sitoneen hiiltä 38 kg puuta kohti, eli 132 kg hiilidioksidia ilmasta. Puun hiilensidontakykyä tarkasteltaessa huomioitiin sekä puun biomassaan, oksiin, lehtiin sekä juuriin sitoutunut hiili. (Riikonen et.Al. 2017.) Mikäli Meri-Teijoon istutettaisiin 50 tervaleppää ja 50 lehmusta, voitaisiin golfkentän hiilensidontakykyä lisätä noin 11,4 tCO_{2eq}. Mikäli puiden istutus jaetaan tasan kymmenelle vuodella, voidaan olettaa, että Meri-Teijo Golfin hiilensidontakykyä lisätään joka vuosi tänä aikana 1,1 $tCO_{2eq.}$

6.4.2 Biohiilen lisääminen maaperään

Biohiilellä tarkoitetaan pyrolyysissä biomassasta valmistettua hiiltä. Pyrolyysi tapahtuu lähes hapettomissa oloissa, noin 350-1000 ºC lämpötilassa. Pyrolyysi-prosessissa valmistuu biohiilen lisäksi bioöljyä ja biokaasua. Biohiiltä voidaan valmistaa lietteistä, puuperäisestä massasta tai kasveista. Euroopan biohiili sertifikaatin mukaan biohiilen on sisällettävä vähintään 50 % hiiltä. (EBC 2012, 6-7,10.)

Biohiiltä voidaan hyödyntää ilmastonmuutoksen hidastamisessa, energiantuotannossa, jätteiden käsittelyssä sekä maanparannusaineena. Biohiili on hiilinegatiivinen materiaali. (Lehmann & Joseph 2009.) Hiilinegatiivisuus perustuu siihen, että biomassan kasvuaikanaan sitoma ilmakehän hiilidioksidi, ei pääse pyrolyysissä vapautumaan takaisin ilmakehään, kuten tavallisessa polttoprosessissa. Biomassaan sitoutunut hiili säilyttää kiinteän olomuotonsa biohiilessä. Biohiilelle on useassa eri tutkimuksessa yritetty määrittää

päästökerrointa, jonka tavoitteena on ilmasta, kuinka paljon yksikkö biohiiltä on sitonut ilmakehän hiilidioksidia itseensä. Galinaton tutkimuksen mukaan 1 tC biohiiltä olisi sitonut hiilidioksidia 3,6 $tCO_{2eq.}$ (Galinato et. Al. 2011.)

Hiilinegatiivisuuden lisäksi, muita biohiilen ominaisuuksia ovat biohiilen käyttäminen valumavesien puhdistuksessa. Biohiili sitoo itseensä typpeä ja fosforia, minkä takia sitä voidaan käyttää ravinteiden poistossa valumavesistä. Reddyn et.Al. (2014) tutkimuksessa puuperäisen biohiilisuodattimen käytön havaittiin vähentäneen 47 % valumaveden fosforipitoisuudesta ja 85 % typestä (Reddy et.Al. 2014). Tianin et. Al. (2014) tutkimuksessa puuperäisen biohiilen havaittiin vähentäneen 74 %:lla huleveden ammonium-typpi pitoisuutta (Tian et.Al. 2014). Biohiilen on havaittu olevan kestävä ja pitkäkestoinen materiaali. (Nabiul Afrooz & Boehm 2017.)

Meri-Teijo Golfin eräs mahdollisuus vähentää toimintansa ilmasto- ja ravinnekuormitusta on rakentaa kentälle biohiilisuodattimella varustettu kosteikko. Kosteikko voidaan perustaa valuma-alueelle, esimerkiksi golfkentän läpi valuvan ojan alapuolelle ennen kuin vesi lasketaan Itämereen. (Schipper et.Al. 2010.) Kosteikko tulee mitoittaa sellaiseksi, että se pidättää vähintään 1-2 vuorokauden vesiviipymän myös sulamisvesien aikaan, kun vettä virtaa ojassa normaalia enemmän. Viipymän tulee olla tarpeeksi pitkä, jotta ravinteet ehtivät imeytymään valuma-altaan pohjan läpi. (Joensuu et.Al. 2012, 26.)

Oletetaan, että kosteikon pohjalle sijoitetaan biohiiltä tonni. Biohiili tonnin sijoittaminen kosteikkoon vastaisi kerralla 3,6 tCO_{2eq} päästövähennystä Meri-Teijo Golfin kokonaispäästöistä. Tämä vastaisi alle kymmentä prosenttia vuotuisista kentältä peräisin olevista päästöistä. Sijoittamalla biohiiltä kentälle enemmän, on mahdollista kompensoida toiminnan päästöjä vielä enemmän. Biohiilen suurempi hyöty ympäristön näkökulmasta on ravinnevalumien kerääjänä valumavesistä. Oletetaan, että noin 40 % fosforihuuhtoutumista ja 70 % typpihuuhtoutumista olisi mahdollisuus vähentää käyttämällä biohiiltä suodatin materiaalina kosteikossa. Tämä tarkoittaisi sitä, että jos noin 2 % lannoitetypestä eli 27,6 kiloa huuhtoutuu pois golfnurmelta, voidaan tästä 70 % estää pääsemästä Itämereen. Biohiilisuodatin voisi kerätä 19,3 kiloa huuhtoutunutta ravinnetyppeä. Fosforia pääsee valumaan noin 10 % lannoitefosforin määrästä, eli 17,3 kiloa. Biohiilisuodattimen avulla

Itämäreen päätyvän valuman määrästä voitaisiin vähentää noin 40 % eli 6,9 kiloa. Itämereen kohdistuvan ravinnekuormituksen määräksi jäisi vuodessa näin ollen 8,3 kiloa typpeä ja 10,4 kiloa fosforia.

Kosteikon positiivisiin ympäristövaikutuksiin kuuluu myös biodiveristeetin lisääminen. Kosteikon yhteyteen on mahdollista istuttaa hiiltä sitovia kasveja, joilla lisätä Meri-Teijo Golfin hiilensitomiskapasiteettiä. Valitsemalla mahdollisimman paljon eri kasvilajikkeita kosteikkoalueelle kasvamaan, voidaan lisätä Meri-Teijo Golfissa luonnon biodiversiteettiä. Lisäksi, kosteikkojen on todettu houkuttelevat eliöstöä pesimään ja vierailemaan kosteikkoalueelle, millä myös on biodiversiteettiä vahvistava vaikutus. (Niemelä 2014.)

6.4.3 Kasvihuonekaasupäästöjen hyvittäminen

Yksityinen henkilö, yritys tai yhteisö voi hyvittää tekemiään kasvihuonekaasupäästöjä maksamalla vapaaehtoisia korvauksia. Maksut käytetään projekteihin, joiden avulla vähennetään kasvihuonekaasupäästöjen muodostumista tai lisätään hiilidioksidin sidontakykyä. Päästövähennysyksikkönä käytetään tonnia hiilidioksidiekvivalentti (tCO_{2eq}). Vapaaehtoisia markkinoita ovat Gold Standardin VER (Verified Emission Reduction), VCS:n (Verified Carbon Standard) VCU (Verified Carbon Unit), Kioton yhteystoteutus-hankemekanismin (JI, Joint Implementation) ERU (Emission Reduction Unit) sekä velvoitemarkkinoilla Kioton puhtaan kehityksen hankemekanismin (CDM, Clean Development Mechanism) alainen CER (Certified Emission Reduction). (Kuitunen & Ollikainen 2014, 101, 107.) Päästövähennysmarkkinoilla on käytössä erilaisia standardeja, joiden käytön tarkoituksena on todentaa luotettavasti päästövähennykset. Suosituimpia standardeja ovat VCS ja Gold Star, sillä nämä ovat yhdenmukaisia Kioton pöytäkirjan mukaisissa hankemekanismeissa. (Peters-Stanley & Lin 2013.) Esimerkiksi VCS:n hankkeiden todentamiskriteereihin kuuluu viisi kohtaa, jotka hankkeen pitää täyttää. VCS:n mukaan päästövähennyshakkeiden tulee olla todellisia, mitattavia, pysyviä, lisäisiä ja puolueettomasti todennettavia. Todellisilla tarkoitetaan sitä, että kaikkien päästövähennyksiä luovien projektien toteutumisesta tulee olla todisteita. Mitattavilla tarkoitetaan sitä, että projektien luomat päästövähennykset on kyettävä mittaamaan. Hankkeiden on oltava pysyviä, eli niiden tulee toimia päästöjen vähentämiseksi pitkän

ajanjakson ajan ja luoda päästövähennyksiä, koko elinkaarensa aikana. Päästövähennysprojektien kannalta tärkeä elementti on se, ettei projektin toteuttaminen saa aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjä enempää kuin mitä päästöjen vähentymä on. Päästövähennykset on oltava puolueettoman tahon sertifioimia ja todentamia. (VCS 2017.)

Esimerkkejä vapaaehtoisista projekteista ovat uusiutuvan energian, maankäytön sekä metsien istuttamishankkeet. Uusiutuvan energianhankkeet voivat olla sellaisia, joilla rakennetaan tuulivoimala korvaamaan fossiilista energiantuotantoa. Monet päästövähennyksiä tarjoavat projektit ottavat huomioon kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi ekologiset ja sosiaaliset tekijät. Vapaaehtoiset päästöjen vähentämishankkeet sijaitsevat usein Kiinassa, Pohjois-Amerikassa tai kehittyvissä maissa. Euroopassa Euroopan Unionin päästökauppa estää vapaaehtoisten päästövähennysprojektien toteutumisen, vähennysten kaksoislaskennan mahdollisuuden takia, esimerkiksi uusiutuvan energian lisäämisen osalta. (Kuitunen & Ollikainen 2014, 101-102.)

Tällä hetkellä (29.7.2017) EU:n päästökaupassa hiilidioksiditonnin päästöluvan hinta on 4,79 euroa (Intercontinental Exchange 2017). Päästövähennyksien hintaan vaikuttaa hanketyyppi. Vuonna 2013 Kioton protokollan alaisten CER- ja ERU-yksiköiden hinnat olivat alle euron, kun taas EU:n velvoitemarkkinoilla päästöyksikön hinta oli reilu neljä euroa. (EEX 2013.) (Kuitunen & Ollikainen 2014, 103.) On muistettava, että hiilidioksidipäästötonnin hinta on paljon pienempi, kuin ilmastonmuutoksesta aiheutuvat haitat. Tol (2009) tutkimuksessa on selvitetty rajakustannusta hiilidioksidi tonnille. Rajakustannuksen tarkoituksena on suhteuttaa kasvihuonekaasupäästöjen ja ilmastonmuutoksen haittojen kustannuksia toisiinsa. Tutkimuksessa arvioitiin rajakustannukseksi 35 euroa päästötonnia kohti. (Tol 2009.) (Kuitunen & Ollikainen 2014.)

Meri-Teijo Golfin tapauksessa ne kasvihuonekaasupäästöt, joita ei saada vähennettyä käyttämällä eri vähennyskeinoja, voidaan kompensoida ostamalla päästölupia vapaaehtoisilta päästömarkkinoilta. Kompensoitavat päästöt voidaan jakaa kahteen osaan; pelaajien matkustamisesta pelaamaan golfia aiheutuviin päästöihin sekä Meri-Teijon oman toiminnan päästöihin. Meri-Teijon omantoiminnan päästöt kattaa kaikki muut, paitsi pelaajien matkustamisesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Jaottelun peruste on siinä,

että jokaisen pelaajan matkustamisesta aiheutuva hiilijalanjälki on erisuuruinen riippuen siitä, kuinka pitkä ajomatka on, kuinka monta ihmistä auton kyydissä istuu ja kuinka usein pelaaja käy Meri-Teijo Golfissa pelaamassa. Pelaajien matkustamisesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt neutraloidaan tehokkaammin ja tarkemmin, mikäli pelaaja itse on siitä vastuussa.

Meri-Teijo Golfin oman toiminnan vuotuinen hiilijalanjälki on 49 tCO_{2eq}. Mikäli kompensoidaan pelkästään Meri-Teijo Golfin oman toiminnan hiilijalanjälki, kompensoinnin hinta on 230 euroa, kun oletetaan, että päästötonnin hinta on 4,69 euroa. Meri-Teijo Golfissa on tarkoitus suorittaa kompensointia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen ohessa. Tällä tarkoitetaan sitä, että vuositasolla vapaaehtoisilla päästöluvilla neutraloidaan se osuus hiilijalanjäljestä, joka jää jäljelle vuotuisten päästöjen vähentämistoimenpiteiden jälkeen.

Myös Meri-Teijo Golfin pelaajien on mahdollista neutraloida omien pelimatkojensa hiilijalanjälki ostamalla vapaaehtoisilta päästömarkkinoilta päästölupia. Laskemalla oman matkustuksen Meri-Teijoon pelaamaan hiilijalanjälki, on mahdollista laskea tarvittavan kompensoinnin hinta. Omasta matkustamisesta aiheutuvan hiilijalanjäljen suuruus on mahdollista laskea VTT:n lipastotietokannan arvoja käyttämällä tai käyttämällä internetistä löytyviä hiilijalanjälkilaskureita. Tällaisia internetsovelluksia hiilijalanjäljen laskennalle tarjoaa Suomen Ympäristökeskus, jonka sovellus yksityisen henkilön hiilijalanjäljen laskennalle sijaitsee osoitteessa www.ilmastodieetti.fi.

6.5 Aikataulu ja toteutus

Hiilijalanjäljen neutralointikeinojen pohjalta on laadittu esimerkkisuunnitelma, jonka avulla voidaan alkaa rakentaa ilmastoystävällistä Meri-Teijo Golfia 2027. Suunnitelmaan on merkitty toimenpiteet, joiden avulla voidaan neutraloida kentän toiminnan hiilidioksidipäästöjä. Suunnitelma kokoaa päästöjen vähennyskeinot luvuista 6.1-6.4. Suunnitelman avulla on tarkoitus neutraloida vain kentän sisäisen toiminnan päästöt. Pelaajien matkustamisesta kentälle aiheutuva hiilijalanjälki rajataan suunnitelman

ulkopuolelle, sillä se ei kuulu kentän ydinliiketoimintaan. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, ettei pelaajien päästöjen vähentämisellä olisi merkitystä. Suunnitelma on esitetty taulukossa 22.

Taulukko 22. Suunnitelma toimenpiteistä, joilla vähentää Meri-Teijo Golfin hiilijalanjälkeä, sekä suunnitelman aikataulu.

	Toimenpide	Kasvihuonekaasupäästövähenemä [tCO_{2eq}/a]
2017	Nykyinen toiminta: Perustaso	Perustaso: 49 tCO_{2eq}/a
2018	- Biopolttoaineiden käyttöönotto kentänhoitokalustossa	- 20,2 tCO_{2eq}/a
	- Puiden istutus	- 1,1 tCO_{2eq}/a
	- Kokeilu Primo Maxx:n ja ruohonleikkausjätteen hyödyistä kasvihuonekaasupäästöjen vähentäjinä	-
2019	- Ravinteiden kierrätysjärjestelmän perustaminen	- 0,23 tCO_{2eq}/a
	- Puiden istutus	- 1,1 tCO_{2eq}/a
2020	- Biohiilisuodattimien asennus valuma-alueille, estämään Itä-Meren ravinnekuormitusta	- 3,6 tCO2eq/krt
2021	- Puiden istutus	- 1,1 tCO_{2eq}/a
2022	- Puiden istutus	- 1,1 tCO_{2eq}/a
2023	- Puiden istutus	- 1,1 tCO_{2eq}/a
2024	- Puiden istutus	- 1,1 tCO_{2eq}/a
2025	- Puiden istutus	- 1,1 tCO_{2eq}/a
2026	- Puiden istutus	- 1,1 tCO_{2eq}/a
2027	- Aurinkovoimalan rakentaminen uuden konehallin katolle ja omavarainen sähköntuotanto	
	- Puiden istutus	- 1,1 tCO_{2eq}/a

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

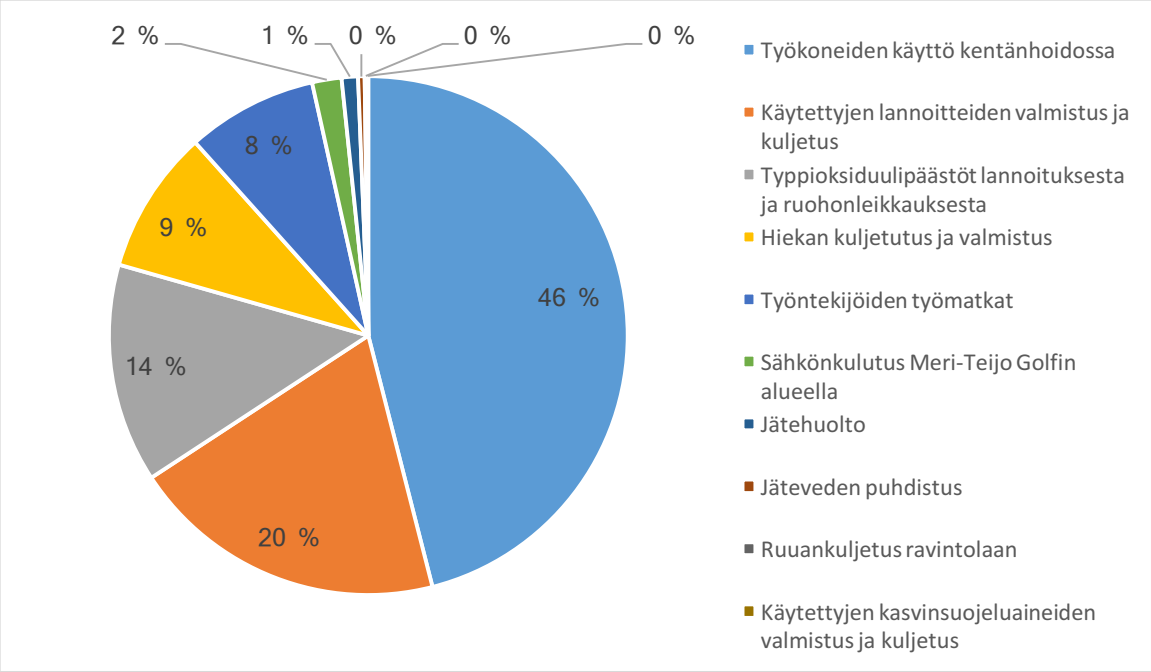
Tämän diplomityön tarkoituksena on ollut määrittää Meri-Teijo Golfin toiminnan hiilijalanjälki, sekä se, millä toiminnoilla on suurin vaikutus hiilijalanjälkeen. Hiilijalanjäljen määrityksen jälkeen voidaan löytää keinoja, joilla hiilijalanjälkeä on mahdollista vähentää. Lisäksi työn tavoitteena on pohtia sitä, millä muilla tavoilla golfkentän toiminta vaikuttaa ympäristöön.

Mikä on Meri-Teijo Golfin toiminnan hiilijalanjälki ja millä toiminnoilla on suurin vaikutus hiilijalanjälkeen?

Meri-Teijo Golfin oman toiminnan hiilijalanjälki vuodessa on 49 tCO_{2eq} vuodessa. Hiilijalanjälki kattaa Meri-Teijo Golfin sisäisen toiminnan, eli kentänhoitoon liittyvät toimenpiteet, sähkönkulutuksen kentänalueella, työntekijöiden työmatkat, jäteveden käsittelyn sekä ravintolan toiminnan. Ravintolan toiminnan tarkastelu kattaa ravintolan sähkönkulutuksen sekä raaka-aineiden kuljetuksen ravintolaan.

Eri hiilijalanjäljen osa-alueet Meri-Teijo Golfissa on esitetty kuvassa 8. Merkittävin osa kentän sisäisen toiminnan kasvihuonekaasupäästöistä muodostuu polttomoottorikäyttöisten työkoneiden käytöstä. Kentänhoitokoneiden käyttö muodostaa noin 46 % kentän sisäisen toiminnan kasvihuonekaasupäästöistä. Toiseksi merkittävä päästöjen aiheuttaja on lannoitteiden käyttö. Lannoitteiden käyttö muodostaa noin 20 % kentän sisäisen toiminnan kasvihuonekaasupäästöistä. Kolmanneksi merkittävin hiilijalanjäljen aiheuttaja kentän toiminnassa on ruohonleikkauksesta ja lannoitteiden käytöstä aiheutuvat typpioksiduulipäästöt. Typpioksiduulipäästöt muodostavat 14 % sisäisen toiminnan päästöistä. Tästä voidaan huomata, että kentän hoitotoimenpiteillä on paljon suurempi vaikutus, kuin esimerkiksi ravintolan toiminnalla, golfkentän alueen jätevesien puhdistuksella tai jätehuollolla. Näiden toimintojen osuus Meri-Teijo Golfin toiminnan hiilijalanjäljestä on yhteensä alle 2 %. Voidaan myös todeta, että kaikki toiminnot, joihin liittyy kuljetusta aiheuttavat merkittävän osan Meri-Teijo Golfin hiilijalanjäljestä. Esimerkiksi työntekijöiden työmatkat aiheuttavat 8 % kentän toiminnan hiilijalanjäljestä.

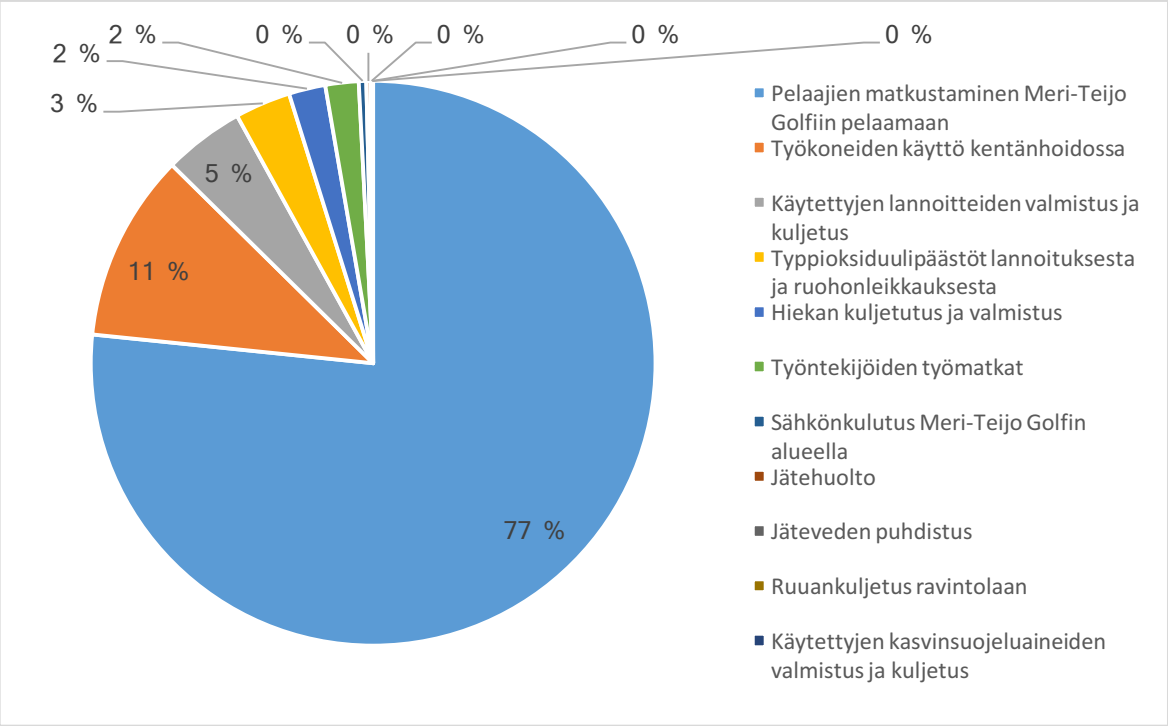
Myös hiekan kuljetuksesta ja louhinnasta aiheutuva osuus hiilijalanjäljessä on merkittävät 9 %.



Kuva 8. Hiilijalanjälki Meri-Teijo Golfin oma toiminta.

Mikä on pelaajien matkustamisen merkitys kasvihuonekaasupäästöjen syntymiseen?

Pelaajien matkustamisen hiilijalanjäljeksi on saatu 161 tCO_{2eq} vuodessa. Tämä on yli kolminkertainen määrä golfkentän sisäiseen toimintaan verrattuna. Pelaajat matkustava yksin tai yhdessä toisen pelaajan kanssa kentälle pelaamaan. Kuvassa 9 on esitetty pelaajien matkustamisen suhde Meri-Teijo Golfin toimintaan nähden.



Kuva 9. Meri-Teijo Golfin hiilijalanjälki.

Loppujen lopuksi, kun mietitään ihmisen harrastuksia, itse harrastustoiminta ei ole läheskään yhtä kuormittavaa ilmastoa kohtaan, kuin harrastukseen matkustaminen. Meri-Teijo Golfin tapauksessa 77 % päästöistä muodostuu pelaajien matkustamisesta Meri-Teijoon pelaamaan. Jo aikaisemmin tehdyssä Virolaisen (2014) diplomityössä havaittiin, että suurin osa Lahden Sinfoniaorkesterin päästöistä, noin 59 % muodostuu yleisön matkustamisesta konserttipaikalle. (Virolainen 2014, 82.) Matkustaminen harrastuspaikalle on kuitenkin harrastamisen edellytys. Tämän takia onkin pohdittava sitä, miten ihminen harrastuspaikalle matkustaa. Ihminen voi vaikuttaa oman matkustuksensa hiilijalanjälkeen valitsemalla ilmastoa vähän kuormittavia vaihtoehtoa. Luonnollisin vaihtoehto yksilön matkustamisen kasvihuonekaasujen muodostumisen vähentämiseen on suosia kimppakyytejä. Kimppakyydit ovat helppo ja kustannustehokas ratkaisu kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Muita ratkaisuja henkilökohtaisen matkustamisen päästöjen vähentämiseen ovat julkisenliikenteen suosiminen, biopolttoaineiden suosiminen henkilöautojen polttoaineina, perinteisen polttomoottoriajoneuvon korvaaminen hybridisellä tai sähköisellä. Yksilön vastuu oman hiilijalanjälkensä muodostumiseen on tärkeä.

Millä toimenpiteillä saavutetaan hiilineutraali golfkenttä?

Hiilineutraalius on mahdollista saavuttaa erilaisilla päästöjenvähennyskeinoilla. Keinoja ovat kentänhoitokoneiden polttoaineiden vaihtaminen biopolttoaineisiin, ravinteiden kierrätysjärjestelmän luominen kastelujärjestelmän yhteyteen sekä ruohonleikkausjätteen ja Primo Maxx kasvunhidasteen käytön arviointi kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksessä. Lisäksi kentän alueella voidaan lisätä kentän hiilidioksidin sidontakykyä. Sidontakykyä on mahdollista lisätä istuttamalla alueelle hiiltä tehokkaasti sitovia kasveja. Päästöjä voidaan myös neutraloida asettamalla kentälle hiilinegatiivista biohiiltä, joka toimii suodattimena ravinnevalumille.

Suurin osa, noin 90 %, kentänhoitokoneiden kasvihuonekaasupäästöistä on mahdollista neutraloida korvaamalla nykyisin käytetyt polttoaineet biopolttoaineilla. Samalla myös suurin osa kentän sisäisen toiminnan kasvihuonekaasupäästöistä neutraloituu. Tämän perusteella voidaan sanoa, että tehokkain keino neutraloida Meri-Teijo Golfin oman toiminnan päästöjä on korvata, perinteiset fossiiliset polttoaineet kentänhoitokoneissa biopolttoaineilla. Samalla fossiilisten polttoaineiden korvaaminen on myös helppo toimenpide kasvihuonekaasujen vähentämisessä, sillä se ei vaadi suuria investointeja uuteen tekniikkaan. On kuitenkin muistettava, että työkoneiden ollessa elinkaarensa loppuvaiheessa, olisi ne korvattava mahdollisimman energiatehokkaalla tekniikalla ja mahdollisuuksien mukaan sähköisillä tai hybridisillä koneilla.

Ravinteiden kierrätysjärjestelmä kastelujärjestelmän kautta on eräs keino saada kemiallisista lannoitteista peräisin olevia ravinteita, kuten typpeä ja fosforia, takaisin kentän ravinnekiertoon. Työssä on oletettu, että mahdollista saada noin 2 % lannoitetypestä ja 10 % lannoitefosforista takaisin kentän ravinnekiertoon. Tämä arvio perustuu Schuman et.Al. (2002), Eastonin ja Petrovicin (2004), sekä Mossin et.Al. (2006) tutkimuksiin. Kun osa lannoitetypestä on mahdollista saada takaisin kentän ravinnekiertoon, on mahdollista pienentää kentän kasvihuonekaasupäästöjä, vähentää kentän toiminnan rehevöittävää vaikutusta sekä makeanveden kulutusta. Ravinteiden kierrätysjärjestelmän hyödyt jäävät kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen kannalta vähäisiksi, sillä tämä vähentäisi Meri-Teijo Golfin oman toiminnan hiilijalanjälkeä 0,4 %:lla. Merkittävämpi hyöty ravinteiden

kierrätysjärjestelmässä on ympäristön näkökannalta se, että pelialueen kasteluun käytetään kentältä huuhtoutunutta vettä ja Itämereen kohdistuvaa ravinnekuormitusta pienennettyä. Veden uudelleen käyttö vähentää niin kutsuttua tuhlaavaa vedenkäyttöä, jota järviveden käyttö kastelussa on.

Ravinteiden kierrätysjärjestelmää tehokkaampi vaihtoehto vähentää lannoitteiden käyttöä ja sen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä sekä ympäristön rehevöitymistä, on hyötykäyttää ruohonleikkausjätettä typenlähteenä kentän lannoituksessa. Ruohonleikkausjätettä käyttämällä on arvioitu voitavan vähentää 50 % lannoitetypen tarpeesta. (Kopp & Guilliard 2001). Tällä hetkellä ruohonleikkausjäte jätetään kentälle maatumaan. Meri-Teijo Golfissa, ei kuitenkaan ole tutkittu sitä, kuinka paljon ruohonleikkausjätteen jättäminen kentälle korvaa lannoitetypen määrää. Tämän takia olisi tärkeää selvittää se kuinka paljon ruohonleikkausjätteen maatuessa vapautuu typpeä maaperään. Samalla kun ruohonleikkausjätteellä korvataan lannoitetypen määrää, voidaan vähentää kentän lannoituksen rehevöittävää vaikutusta. Ruohonleikkausjätteen negatiivinen puoli lannoitteiden kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksessä on se, että ruohonleikkausjätteen hajotessa muodostuu ilmaan typpioksiduulia, joka on voimakas kasvihuonekaasu. Typpioksiduulin muodostumista on kuitenkin hankala arvioida, sillä muodostumiseen vaikuttaa nurmen ikä sekä nurmen hoitoaste (Gu et.Al. 2015).

Ruohonleikkausjätteen lisäksi Primo Maxx kasvunhidasteen käyttö on eräs mahdollinen keino vähentää kentän toiminnan kasvihuonekaasupäästöjä. Primo Maxx:in hyöty kasvihuonekaasupäästöjen vähentäjä, perustuu sen käytön avulla vähentyneeseen ruohonleikkaustarpeeseen. STERF:in tekemän tutkimuksen perusteella on arvioitu, että Primo Maxx:in käytön avulla voidaan vähentää ruohonleikkauksen tarvetta 8-44 % vuodessa (STERF 2014, 8). Meri-Teijo Golf käyttää kasvunhidastetta tutkimuksen aikana, mutta sen hyödyistä ruohonleikkauskertojen vähentämisessä ja näin ollen kasvihuonekaasujen vähentäjänä ei ole tutkittu. Primo Maxx:in käyttö on ristiriitaista, sillä se on kemiallinen aine, jonka valmistuksen ja kuljetuksen aikana on vapautunut kasvihuonekaasupäästöjä ympäristöön. Primo Maxx:in käytön hiilijalanjälki on kuitenkin pienempi kuin ruohonleikkauksen hiilijalanjälki Meri-Teijossa. Näin ollen kasvihuonekaasujen

vähentämisen kannalta Primo Maxx:in avulla on mahdollista vähentää kasvihuonekaasupäästöjä.

Meri-Teijo Golfin kulutussähkö on peräisin uusiutuvasta energiasta. Tämä tarkoittaa sitä, ettei sähkönkulutuksen osalta tarvitse tehdä muutoksia golfkentän toiminnassa, jotta saadaan pienennettyä kentän hiilijalanjälkeä. Toisaalta ilmastoystävällisisyydestä viestittäessä, saattaisi omasta aurinkovoimalasta olla hyötyä, sillä Meri-Teijo Golfissa vierailevat ihmiset huomaavat aurinkopaneelit ja rekisteröivät tämän ilmastoystävällisenä tekona. Oman aurinkovoimalan perustaminen lisäisi myös sähkönkulutuksen omavaraisuutta, kun osa sähköstä voidaan tuottaa kentän alueella.

Erilaisten kasvihuonekaasujen vähennystoimenpiteiden lisäksi, päästöjä on mahdollista neutraloida istuttamalla puita tai muita hiilidioksidia sitovia kasveja kentän alueelle. Eri puulajikkeille on arvioitu hiilidioksidin sidontakyky niiden elinkaaren aikana. Mikäli esimerkiksi kumpiakin tervaleppää ja lehmusta istutetaan kentälle vuosittain 5 kappaletta, voidaan lisätä kentän hiilidioksidinsidontakykyä 1,1 tCO_{2eq} vuosittain. Tämä neutraloi oman toiminnan päästöistä noin 2 % vuodessa, kun oman toiminnan päästöt ovat 49 tCO_{2eq} vuodessa. Puiden lisääminen golfkentän alueelle edesauttaa myös kentän biodiversiteettiä.

Myös hiilinegatiivisen biohiilen lisääminen kentän alueelle on eräs keino neutraloida kentän kasvihuonekaasupäästöjä. Biohiiltä voidaan käyttää maanparannusaineena tai hulevesiojien suodattimina. Biohiili on tehokas suodattamaan fosforia ja typpeä hulevedestä. (Tian et.Al 2014.) Tonnin biohiiltä on työssä oletettu vastaavan -3,6 tCO_{2eq}:a (Gallinato et.Al. 2011). Mikäli tonni biohiiltä sijoitettaisiin kentälle, voidaan sillä kerralla neutraloida 3,6 tCO_{2eq}:a kyseisen vuoden päästöistä, mikä vastaisi tämän hetken vuotuisista 49 tCO_{2eq}:n päästöistä 7 %. Biohiilen kohdalla päästöjen neutralointi voidaan ajatella vain kertaluontoisena, ellei biohiiltä sijoiteta jatkuvasti kentälle.

Kaikkia kasvihuonekaasupäästöjä ei saada neutraloitua erilaisten vähennyskeinojen avulla. Tämän takia on osa kasvihuonekaasupäästöistä kompensoitava ostamalla päästövähennyksiä vapaaehtoisilta päästömarkkinoilta. Ostettavien päästölupien tulee olla kansainvälisten

standardien hyväksymiä. Tällöin voidaan olla varmoja, että päästöluvan avulla saavutetaan päästövähennyksiä.

Mitä muita ympäristövaikutuksia on ilmastonmuutoksen lisäksi?

Ilmastonmuutoksen lisäksi, kentän toiminnalla on muitakin ympäristöä kuormittavia toimintoja. Muita ympäristönäkökulmia ilmastonmuutoksen lisäksi ovat rehevöityminen ja makean veden kulutus. Toiminnan ympäristöä rehevöittävä vaikutus on peräisin lähinnä pelaajien autoilusta ja kemiallisten lannoitteiden käytöstä. Meri-Teijo Golf sijaitsee Itämeren rannalla, minkä takia toiminnan rehevöittävä vaikutus on hyvä tuoda esiin. Makean veden kulutusta aiheutuu pelialueen kastelusta, kun kasteluvetenä käytetään läheisestä järvestä peräisin olevaa makeaa vettä. Rehevöityminen ja makean veden kulutus ovat eräitä Rocktrömm et.Al. (2009) määrittämistä planeettarajoista, joilla tarkoitetaan maapallon sietokyvyn rajoja.

Kemiallisten lannoitteiden käytön johdosta, osa lannoitteiden typestä ja fosforista valuu pintavalunnan mukana Itämereen. On kuitenkin huomioitava, että golfkentän ravinnevalumat ovat vähäisiä maatalouteen verrattuna. Golfkentällä on ympärivuotinen kasvupeite, mikä edesauttaa ravinteiden sitoutumista maaperään. Maanviljelyssä maata joudutaan muokkaamaan säännöllisin väliajoin, ja täten maan pinnalla ei ole kasvupeitettä ympärivuorokautisesti. On myös todettava, että pelaajien matkustamisella on diplomityön tuloksien perusteella voimakkaampi vaikutus rehevöitymiseen, kuin lannoitteiden käytöllä. Toki on muistettava, että rehevöitymisen arviointiin tulee suhtautua varauksella, sillä rehevöitymisen arvioinnin näkökulmasta inventaarioanalyysi ei ole kattava.

Vaikutustenarvioinnin perusteella voidaan todeta, että ilmastonmuutosta, rehevöitymistä ja makean veden kulutusta kuormittavat samat kentän toiminnot. Ilmastonmuutoksen ja rehevöitymisen kannalta merkittävimpiä toimintoja ovat pelaajien matkustaminen ja lannoitteiden käyttö. Myös kentän hoitokaluston käyttäminen ja työntekijöiden matkustaminen ovat merkittäviä kuormittajia kummassakin vaikutusluokassa. Vaikka,

makean veden kulutuksen kannalta merkittävin toimenpide on kastelu, on toiseksi merkittävin kuormitustekijä pelaajien matkustaminen kentälle pelaamaan.

Kuten edellä mainittiin, ilmastonmuutoksen, rehevöitymisen ja makean veden kulutuksen kuormittajia ovat samat toiminnot. Tämän takia rehevöitymisen ja makean veden kulutuksen ympäristövaikutusten vähentämisessä pätevät samat keinot, kuin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Rehevöitymisen vaikutusta voidaan vähentää samoilla keinoilla, kuin lannoitteiden käytön ilmastovaikutusta, eli vähentämällä lannoitteiden käyttöä. Biohiilisuodattimien lisääminen kentällä on tehokas keino vähentää golfkentän ravinnekuormitusta Itämereen. Ruohonleikkausjätteen uudelleenkäyttö sekä kastelujärjestelmään perustuva ravinteiden kierrätys kentän hulevesistä vähentävät kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi, myös kentän rehevöittävää vaikutusta. Kun ravinteiden kierrätys tehdään valumavesien kautta, veden käyttö ei ole kuluttavaa.

7.1 Jatkoehdotuksia

Hiilijalanjäljen määritykseen sekä hiilijalanjäljen neutralointiin liittyy epävarmuuksia. Jotta epävarmuuksia voidaan vähentää, on suoritettava jatkotoimenpiteitä. Ehdotuksia jatkotoimenpiteiksi ovat golfkentän läpi virtaavan ojan virtaaman suuruuden sekä virtaaman sisältämän ravinnepitoisuuden mittaus. Toiminnan kannalta pelialueen nurmen ravinnetypen- ja fosforin tarve tulisi selvittää mittauksien avulla, jotta voidaan olla varmoja nurmen todellisesta ravinnetarpeesta. Meri-Teijo Golfin pelialueen nurmen ravinteiden tarvetta ei ole aikaisemmin määritetty, vaan lannoitus on tehty lannoitevalmistajan ohjeiden ja omien näköhavaintojen perusteella. (Simola 2016). Koska ravinnetarvetta ei ole mitattu, voi tällä hetkellä käytettyjen kemiallisten lannoitteiden käyttö olla liiallista. Mikäli lannoitteiden käyttö on liiallista, on mahdollista käytön optimoinnilla hiilijalanjälkeä neutraloiva vaikutus. Toisaalta, mikäli lannoitteiden käyttö on liian vähäistä, on kentän kuntoa arvioimalla pyrittävä lisäämään lannoitteiden käyttöä, siten että lannoitteita käytetään vain sen verran, mitä on tarvetta pelialueen kunnon kannalta. Nurmen ravinnetarpeen määrittäminen on tärkeää myös sen kannalta, että osataan luoda sellaisia ratkaisuja, joiden avulla voidaan vähentää kemiallisten lannoitteiden käyttöä. Lisäksi, kuten aikaisemmin on

jo todettu, on selvitettävä tarkemmin, miten ruohonleikkausjätettä voitaisiin hyötykäyttää kemiallisten ravinteiden korvikkeena sekä se, mikä on Primo Maxx:in käytön hyöty ruohonleikkauksen vähennyksessä; Saadaanko Primo Maxx:in käytöllä vähennettyä ruohonleikkausta ja leikkauksen kasvihuonekaasupäästöjä.

LÄHTEET

Autoalan tiedotuskeskus. 2017. Autoala ja ilmaston muutos. [verkkosivu.] [viitattu: 16.3.2017.] Saatavilla: http://autoalantiedotuskeskus.fi/ymparisto/autoala_ja_ilmastonmuutos

Bartlett MD, James IT .2011 .A model of greenhouse gas emissions from the management of turf on two golf courses. Science of The Total Environment.409(23). s. 5137-47. ISSN:0048-9697.

Collins, H., December 2008. Use of biochar from the pyrolysis of waste organic material as a soil amendment: laboratory and greenhouse analyses. A Quarterly Progress Report Prepared for the Biochar Project.

Cubasch Ulrich (toim.). Wuebbles Donald (toim.). 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. [verkkojulkaisu.] [viitattu 27.3.2017.] Saatavilla: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter01_FINAL.pdf

Defra. 2009. Guidance on carbon neutrality. Department of energy and climate change. [verkkodokumentti.] [viitattu 28.2.2017.] Saatavilla: http://carbonneutral.ksepb.gov.tw/download_doc/UK%20Carbon%20neutrality%20guidance_en.pdf

Easton, Z.M. & A, M.P. 2004, "Fertilizer Source Effect on Ground and Surface Water Quality in Drainage from Turfgrass", *Journal of environmental quality,* vol. 33, no. 2, pp. 645-55.

EBC (2012) 'European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.' European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. Available at http://www.europeanbiochar.org/en/download. Version 6.2E of 04th February 2016, DOI

Edwards Robert. Hass Heinz. Larive Jean Francois. Lonza Laura. Maas Heiko. Rickeard David. 2014. JRC Technical reports: WELL-TO-WHEELS Appendix 1: Summary of WTW Energy and GHG balances. [verkkodokumentti.] [viitattu 3.4.2017.]. Saatavilla: http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu.about-jec/files/documents/wtw_app_1_v4a_march_2014_final.pdf

Euroopan Komissio. 2017. Non-road mobile machinery emissions. [Euroopan Komission verkkosivulla.] [viitattu 6.4.2017.] Saatavilla: https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive/environment-protection/non-road-mobile-machinery_en

EU. 2014. WELL-TO-WHEELS Appendix 1 - Version 4.a. Summary of WTW Energy and GHG balances. [verkkodokumentti.] [viitattu 24.5.2017.] Saatavilla: http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu.about-jec/files/documents/wtw_app_1_v4a_march_2014_final.pdf

EU. 2016a. About JEC. [Euroopan komission verkkosivuilta.] [viitattu 3.4.2017.] Saatavilla: https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/about-jec

EU. 2016b. Well-to-Wheels Analyses. [Euroopan komission verkkosivuilta.] [viitattu 3.4.2017.] Saatavilla.: https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/activities/wtw

FAO. 2015. Global database of GHG emissions related to feed crops. Methodology. [verkkojulkaisu.] [viitattu 29.3.2017.] Saatavilla: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/benchmarking/docs/leap_methodolgy_draft.pdf

Framstad Erik. de Wit Heleen. Kartul Erik. Larjavaara Markku. Mäkipää Raisa. Vesterdal Lars. 2013. Biodiversity, Carbon Storage and Dynamics of Old Northern Forests. Nordic Council of Ministers. Rosendahl-Schultz Grafisk. Denmark. ISBN 978-92-893-2510-3

Galinato SP, Yoder JK, Granatstein D. 2011. The economic value of biochar in crop production and carbon sequestration. Energy Policy. 39(10). s. 6344-50. ISSN:0301-4215.

GHG-Protocol. 2015. Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard. [verkkodokumentti.] [viitattu: 19.6.2017.]

GHG-Protocol. 2015. A Corporate Accounting and Reporting Standard. [verkkodokumentti.] [viitattu: 19.6.2017.]

Gholami H, Rezaei G, Saman MZM, Sharif S, Zakuan N .2016 .State-of-the-art Green HRM System: sustainability in the sports center in Malaysia using a multi-methods approach and opportunities for future research. Journal of Cleaner Production.124. s. 142-63.ISSN:0959-6526.

Global Crisis Information Network. 2016. Urheilu ja ilmastonmuutos. [Global Crisis Now:n verkkosivusto.] [viitattu 3.1.2017]. Saatavilla: http://www.globalcrisisnow.org/fi/urheilu-ja-ilmastonmuutos/

Golf Liitto. 2017. Golf Suomessa. [Golf Liiton verkkosivuilla.] [viitattu 18.4.2017.] Saatavilla: https://golf.fi/golf-suomessa/

Golfpiste. 2017. Golfkenttä. [Golfpisteen verkkosivuilla.] [viitattu: 18.4.2017.] Saatavilla: https://golfpiste.com/aloita-golf/golf-pelina/golfkentta/

Green, M.B. 1987. Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In: Z.R. Helsel (editor) Energy in Plant Nutrition and Pest Control. Elsevier, Amsterdam, p.165-177.

Grundfors. 2017. Mitoitus. [verkkosivu.] [viitattu 29.7.2017.] Saatavilla: https://product-selection.grundfos.com/front-page.html?custid=GMAtotal&lang=FIN&qcid=235619827&time=1501332202097

HINKU. 2017. Kodin ilmastovaikutukset. [verkkodokumentti.] [viitattu 26.6.2017.]

IPCC. 2007a. Other Kyoto Protocol Gases. Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis. Fourth Assessment Report: Climate Change. [IPCC:n verkkosivuilla.] [viitattu 29.3.2017.] Saatavilla: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-3-3.html

IPCC. 2007b. Direct Global Warming Potentials. Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis. Fourth Assessment Report: Climate Change. [IPCC:n verkkosivuilla.] [viitattu 29.3.2017.] Saatavilla: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html

IPCC. 2013. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. [verkkojulkaisu.] [viitattu 28.3.2017.] Saatavilla: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf

Intercontinental Exchange. 2017. Asset Classes Emissions. [ICE:n verkkosivuilla.] [viitattu: 19.5. 2017.] Saatavilla: https://www.theice.com/emissions

International Golf Federation. 2017a. History of Golf. [International Golf Federation - verkkosivuilla.] [viitattu: 18.4.2017.] Saatavilla https://www.igfgolf.org/about-golf/history/

International Golf Federation. 2017b. IGF Members. [International Golf Federation - verkkosivuilla.] [viitattu: 18.4.2017.] Saatavilla: https://www.igfgolf.org/about-igf/nationalmembers/

IPCC. 2014a. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Freshwater resources. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [verkkojulkaisu.]

[viitattu 28.3.2017.] Saatavilla: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf

IPCC. 2014b. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Chapter 7: Energy systems. [verkkojulkaisu.] [viitattu 4.4.2017.] Saatavilla: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter7.pdf

ISO 14040. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 48 s.

ISO 14044. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 96 s.

ISO 14064-1. 2006. Greenhouse Gases. Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 20 s.

ISO 14067. 2013. Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista ja viestimistä koskevat vaatimukset ja ohjeet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 103 s.

JRC. 2017. Performance of Grid-connected PV. [JRC:n verkkosivuilta.] [viitattu 9.5.2017.] Saatavilla: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php

Järvenpää Lasse. Savolainen Mika. (toimittaneet.) 2015. Maankuivatuksen ja kastelun suunnittelu. Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2015. Suomen ympäristökeskus (SYKE). Vesikeskus. ISBN 978-952-11-4517-9

kestäväkehitys.fi. 2017. Mitä on kestävä kehitys?. [internet sivu.] [viitattu 3.1.2017.] Saatavilla: http://kestavakehitys.fi/kestava-kehitys

Klöpffer, Walter, Grahl, Birgit. 2014. Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. 396 s. ISBN: 978-3-527-32986-1.

Kool, A., Marinussen, M. and Blonk, H. 2012. LCI data for the calculation tool Feedprint for greenhouse gas emissions of feed production and utilization: GHG emissions of N, P, and K fertilizer production. Blonk Consultants. [verkkodokumentti.] [viitattu 31.1.2017.] Saatavilla: http://www.blonkconsultants.nl/wp-content/uploads/2016/06/fertilizer_production-D03.pdf

Kopp, K. L., & Guillard, K. 2002. Clipping management and nitrogen fertilization of turfgrass: Growth, nitrogen utilization, and quality. *Crop Science, 42*(4), 1225-1231. Saatavilla: https://ezproxy.cc.lut.fi/docview/212625057?accountid=27292

Kuitunen Aino & Ollikainen Markku. 2014. OSA 5: VAPAAEHTOISET PÄÄSTÖJEN KOMPENSOINTIMARKKINAT–HAHMOTELMIA SUOMALAISIKSI LISÄTOIMIKSI. Ilmastopaneeli: Kohti hiilineutraali yhteiskuntaa. Toim. Jyri Seppälä. [verkkojulkaisu.] [viitattu: 1.6.2017.] Saatavilla: http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset_lausunnot/Hiilineutraalisuus_taustaraportit_2014.pdf

Lal Rattan. Ussiri David. 2012. Soil Emission of Nitrous Oxide and its Mitigation: Formation and Release of Nitrous Oxide from Terrestrial and Aquatic Ecosystems. Springer Netherlands. s. 63-98. ISBN 978-94-007-5364-8.

LEHMANN, J. and JOSEPH, S., 2009. *Biochar for environmental management : science and technology.* London: Earthscan ISBN 978-1-84407-658-1.

LIPASTO. 2012. Dieselkäyttöiset henkilöautot. [verkkosivu.] [viitattu 2.1.2017.] Saatavilla: http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/tieliikenne/henkiloautot/hadies.htm

Lounais-Suomen Jätehuolto. 2016. Vuosikatsaus 2016. [verkkosivu.] [viitattu: 28.7.2017.] Saatavilla: https://lsjh.e-julkaisu.fi/vuosikatsaus2016/fi/jatteen-hyodyntaminen-ja-kasittely

Metla a. 2012. Suomen metsät 2012: Kriteeri 1 Metsävarat. [verkkosivu.] [viitattu 16.2.2017.] Saatavilla: http://www.metla.fi/metinfo/kestavyys/c1-forest-area.htm

Metla b. 2012. State of Finland's Forests 2012: Finnish Forests in European context demonstrated with selected indicators. [verkkosivu.] [viitattu: 16.2.2017.] Saatavilla: http://www.metla.fi/metinfo/sustainability/finnish-growing-stock.htm

Moss, J. Q., Bell, G. E., Kizer, M. A., Payton, M. E., & al, e. 2006. Reducing nutrient runoff from golf course fairways using grass buffers of multiple heights. *Crop Science, 46*(1), 72-80. Retrieved from https://ezproxy.cc.lut.fi/docview/212627391?accountid=27292

Motiva. 2016a. Auringosta sähköä. [Motivan verkkosivuilta.] [viitattu: 9.5.2017.] Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa

Motiva. 2016b. Aurinkosähköjärjestelmän teho. [Motivan verkkosivuilta.] [viitattu: 9.5.2017.] Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho

Motiva. 2016c. Aurinkopaneelien asentaminen. [Motivan verkkosivuilta.] [viitattu: 9.5.2017.] Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen

Motiva. 2017. Uusiutuva Energia. [Motivan verkkosivuilla.] [viitattu 10.5.2017.] Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia

Mälkki Helena. Hongisto Mikko. Turkulainen Tarja. Kuisma Jaakko. Loikkanen Torsti. 1999. Vihreän energian kriteerit ja elinkaariarviointi energiatuotteiden ympäristökilpailukyvyn arvioinnissa. [verkkojulkaisu.] [viitattu 10.5.2017.] Saatavilla: http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1974.pdf

Nabiul Afrooz, A R M and BOEHM, A.B., 2017. *Effects of submerged zone, media aging, and antecedent dry period on the performance of biochar-amended biofilters in removing fecal indicators and nutrients from natural stormwater.* Available from: http://www.sciencedirect.com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S0925857417301209 ISBN 0925-8574. DOI //dx.doi.org.ezproxy.cc.lut.fi/10.1016/j.ecoleng.2017.02.053.

Neste. 2017. Neste MY uusiutuva diesel™ – Sinun panoksesi ilmastotalkoisiin. [verkkosivu.] [viitattu 31.7.2017.] Saatavilla: https://www.neste.fi/artikkeli/neste-my-uusiutuva-dieseltm-sinun-panoksesi-ilmastotalkoisiin

Nevanlinna, H. (toim.). 2008. Muutamme ilmastoa. Karttakeskus. s.50-53.

Niemelä. 2014. Kosteikkokoulutus. [verkkodokumentti.] [viitattu 29.7.2017.] Saatavilla: www.syke.fi/download/noname/%7BD98B816A-E928-4FBE-A4CC.../99096

Paalijärvi Sari. Rannikko Maire. Suomalainen Sari. Tajakka Hanna. 2015. LIFE09 ENV FI 000570 LCA in Landscaping. Elinkaarianalyysin soveltaminen kestävään, kierrätysmateriaaleja hyödyntävään viherrakentamiseen. Työpaketti 1: Erilaisten koristenurmikoiden rakentamisen ja ylläpidon toiminnalliset laatuvaatimukset. [verkkojulkaisu.] [viitattu 10.5.2017.] Saatavilla: https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/hankkeet/lcainlandscaping/Julkaisut/Annex%20Ac1%20x%20LIFE09%20ENV%20FI%20000570%20Deliverable%20Specifications%20for%20lawn%20establihsment%20and%20management%20procedures.pdf

Pataki De, Alig Rj, Fung As, Golubiewski Ne, Kennedy Ca, Mcpherson Eg, Nowak Dj, Pouyat Rv, Romero Lankao P. 2006. Urban ecosystems and the North American carbon cycle. *Global Change Biology*, 12(11), 2092-102. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01242.x

Petra-jätevertailu. 2017. Jätteen määrän laskenta ja arviointi yrityksessä. [verkkodokumentti.] [viitattu 26.6.2017.] Saatavilla: http://www.petrajatevertailu.fi/phj/jatteen_maara_ja_laskenta.pdf

Pharand-Deschênes /Globaïa F. 2016 Planetary boundaries research. [Stockhoms Resilience Center –verkkosivuilla]. [viitattu 9.1.2017.] Saatavilla: http://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html

R&A. 2017. Planning for changing climate. [verkkosivu.] [viitattu 13.2.2017.] Saatavilla: http://golfcoursemanagement.randa.org/en/Environmental-Impact/Planning-for-climate-change.aspx

Rajaniemi M. Mikkola H. Ahokas J. 2011. Greenhouse gas emissions from oats, barley, wheat and rey production. Agronomy Research. Biosystem Engineering Special Issue 1. S. 189-195. Saatavilla: http://agronomy.emu.ee/vol09Spec1/p09s123.pdf

K.R. Reddy, T. Xie, S. Dastgheibi. 2014. Evaluation of biochar as a potential filter media for the removal of mixed contaminants from urban storm water runoff. Journal of Environmental Engineering. 140. p. 04014043

Retkikartta.fi. 2017. [karttapalvelu.] [viitattu 20.1.2017.] Saatavilla: https://www.retkikartta.fi/

RIIKONEN, A., PUMPANEN, J., MÄKI, M. and NIKINMAA, E., 2017. High carbon losses from established growing sites delay the carbon sequestration benefits of street tree plantings – A case study in Helsinki, Finland. *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 26, pp. 85-94 ISSN 1618-8667. DOI //doi.org/10.1016/j.ufug.2017.04.004.

Rockström, J., L. Gordon, M. Falkenmark, C. Folke, and M. Engvall. 1999. Linkages among water vapor flows, food production, and terrestrial ecosystem services. Conservation Ecology 3(2): 5. [verkkojulkaisu.] Saatavilla: http://www.ecologyandsociety.org/vol3/iss2/art5.

Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, III, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. De Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J. Foley. 2009. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* **14**(2): 32. [verkkojulkaisu] Saatavilla: http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32

Sahlström Jyrki. 2017. Sähköpostikysely

Sala, S. and Goralczyk, M. 2013. Chemical footprint: A methodological framework for bridging life cycle assessment and planetary boundaries for chemical pollution. Integr Environ Assess Manag, 9: 623–632. doi:10.1002/ieam.1471

Scott, D., & Jones, B. 2006. The impact of climate change on golf participation in the greater toronto area (GTA): A case study. Journal of Leisure Research, 38(3), 363-370,372-380. Retrieved from https://ezproxy.cc.lut.fi/docview/201123525?accountid=27292

Seppälä Jyri. Alestalo Mikko. Ekholm Tommi. Kulmala Markku. Soimakallio Sampo. Ilmastopaneeli. Hiilineutraalisuuden tavoittelu – Mitä se on missäkin yhteydessä. [verkkodokumentti.] [viitattu 28.2.2017.] Saatavilla: http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset_lausunnot/Hiilineutraalisuuden%20tavoittelu%20-%20mit%C3%A4%20se%20on%20miss%C3%A4kin%20yhteydess%C3%A4.pdf

SFS. 2017. Usein kysyttyä. [verkkosivu.] [viitattu: 28.2.2017.] Saatavilla: http://www.sfs.fi/usein_kysyttya#Mikonstandardi

Shaheen Susan A. Chan Nelson D. Gaynor Teresa. 2016. Casual carpooling in the San Francisco Bay Area: Understanding user characteristics, behaviors, and motivations. Transport Policy. Volume 51. October 2016. Pages 165-173. Saatavilla: https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.01.003

Shuman, L. M. (2002). Phosphorus and nitrate nitrogen in runoff following fertilizer application to turfgrass. *Journal of Environmental Quality, 31*(5), 1710-5. Saatavilla: https://ezproxy.cc.lut.fi/docview/197399608?accountid=27292

Simola Juha. 2016. Sähköpostikysely

Skogster Tommy. 2017. Sähköpostikysely.

Smakhtin, V. 2008. Basin closure and environmental flow requirements. International Journal of Water Resources Development 24. s. 227–233.

Peters-Stanley, M.; Lin, D. 2013. Maneuvering the mosaic: State of the voluntary carbon markets 2013.Forest Trends' Ecosystems Marketplace 2013. [verkkojulkaisu.] [viitattu 13.6.2017.] Saatavilla: http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_3898.pdf

SCHIPPER, L.A., ROBERTSON, W.D., GOLD, A.J., JAYNES, D.B.and CAMERON, S.C., 2010. *Denitrifying bioreactors—An approach for reducing nitrate loads to receiving waters.* Saatavilla: http://www.sciencedirect.com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S0925857410000807 ISBN 0925-8574. DOI //dx.doi.org.ezproxy.cc.lut.fi/10.1016/j.ecoleng.2010.04.008.

Suomen Luonnonsuojeluliitto. 2017. Ilmastonmuutos ja kehitys. [Suomen Luonnonsuojeluliiton verkkosivuilla.] [viitattu 29.3.2017.] Saatavilla: http://www.sll.fi/mita-me-teemme/ilmasto/ilmastonmuutos-ja-kehitys

Suomen YK-liitto. 2017. Ilmastonmuutos. [Suomen YK-liiton verkkosivuilta.] [viitattu 29.3.2017.] Saatavilla: http://www.ykliitto.fi/yk70v/ekologinen/ilmastonmuutos

Tian, S. Yi, P. Imhoff, P. Chiu, M. Guo, J. Maresca, V. Beneski, S. Cooksey. 2014. Biochar-amended media for enhanced nutrient removal in stormwater facilities
World Environ. Water Resour. Congr. 19. pp. 7-208

TIDÅKER, P., WESSTRÖM, T. and KÄTTERER, T., 2017. Energy use and greenhouse gas emissions from turf management of two Swedish golf courses. *Urban Forestry & Urban Greening,* **21**, pp. 80-87.

thinkstep. 2017a. What is Gabi software. [thinkstep Gabi –verkkosivuilla.] [viitattu 29.3.2017.] Saatavilla: http://www.gabi-software.com/nw-eu-english/overview/what-is-gabi-software/

thinkstep. 2017b. What does it do? [thinkstep Gabi –verkkosivuilla.] [viitattu 29.3.2017.] Saatavilla: http://www.gabi-software.com/nw-eu-english/overview/what-does-it-do/

thinkstep. 2017c. LCA Databases. [thinkstep Gabi –verkkosivuilla.] [viitattu 29.3.2017.] Saatavilla: http://www.gabi-software.com/nw-eu-english/databases/

thinkstep. 2017d. What advantages does it deliver? [thinkstep Gabi –verkkosivuilla.] [viitattu 29.3.2017.] Saatavilla: http://www.gabi-software.com/nw-eu-english/overview/what-advantages-does-it-deliver/

Tukes. 2008. Tilt 250 EC. [verkkodokumentti.] [viitattu 31.1.2017.] Saatavilla: https://kasvinsuojeluaineet.tukes.fi/Download/1572MPTilt250EC.pdf

Tukes. 2009. FINALSAN SAMMALTUHO/MOSSFRI. [verkkodokumentti.] [viitattu 31.1.2017.] Saatavilla: https://kasvinsuojeluaineet.tukes.fi/KareDocs%5C3021MPFinalsanSammaltuhoMossfri.pdf

Tukes. 2012. Primo maxx. [verkkodokumentti.] [viitattu 31.1.2017.] Saatavilla: https://kasvinsuojeluaineet.tukes.fi/KareDocs%5C3045Myyntipaallyksenteksti.pdf

Tukes. 2015. Medallion TL. [verkkodokumentti.] [viitattu 31.1.2017.] Saatavilla: https://kasvinsuojeluaineet.tukes.fi/KareDocs%5C3150Myyntipaallyksenteksti.pdf

Turtola Eila. Kemppainen Erkki. 1998. Typen ja fosforin kulkeutuminen pinta- ja salaojavalunnassa lietelannalla ja NPK-lannoitteella lannoitetulla nurmella. Agricultural and Food Science in Finland. Vol. 7. S. 569-581.

UNFCC. 2017. Global Warming Potentials. [verkkosivu.] [viitattu 13.2.2017.] Saatavilla: http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php

VCS. 2017. VCS Quality Assurance Principles. [verkkosivu.]. [viitattu: 13.6.2017.] Saatavilla: http://www.v-c-s.org/vcs-quality-assurance-principles/

Vesihuoltoyhdistys. 2012. Välttämätön vesi. [verkkojulkaisu.] [viitattu 10.5.2017.] Saatavilla: https://www.vvy.fi/files/5208/valttamaton_vesi_vvy_2016_netti.pdf

VTT. 2006. Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit. [verkkodokumentti.] [viitattu 3.4.2017.] Saatavilla: http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2357.pdf

VTT. 2016. Työkoneiden CO2 päästöt ja niihin vaikuttaminen. Kirjoittanut: [viitattu 7.4.2017.] s. 18

Williams, A.G., Audsley, E and Sandars, D.L. (2006) Final report to Defra on project IS0205.

Wang Hongtao. Yang Yi. Keller Arturo A. Li Xiang. Feng Shijin. Dong Ya-nan. Li Fengting. 2016. Comparative analysis of energy intensity and carbon emissions in wastewater treatment in USA, Germany, China and South Africa. Applied Energy. Volume 184. 15 December. Pages 873-881. Saatavilla: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.061

WWF. 2017. Ravinnekuormitus. [verkkosivu.] [viitattu 28.7.2017.] Saatavilla: https://wwf.fi/alueet/itameri/rehevoityminen/

Qian Y. Follett R. 2012. Carbon dynamics and sequestration in urban turffgrass ecosystem. In Lal R, Augustin B (Eds.). Carbon Sequestration in Urban Ecosystem. Springer. ISBN: 978-94-007-2366-5

Liite I, Kasvinsuojeluaineiden käyttötiedot vuonna 2016

päivämäärä	Kasvinsuojeluaine	Annosmäärä	Kasvinsuojeluaineen käyttöala	Kohteena oleva kasvi
2.5.2016	Finalsan	1,5 l	10 m2, greenit 1-19	Golfkentän nurmikko
8.6.2016	Primo maxx	0,6 l	1.5 ha, greenit 1-19/ par3	Golfkentän nurmikko
21.6.2016	Adama (tilt)	1.0 l	1.5 ha, greenit 1-19/ par3	Golfkentän nurmikko
22.6.2016	Primo maxx	0,6 l	1.5 ha, greenit 1-19/ par3	Golfkentän nurmikko
20.7.2016	Primo maxx	0,6 l	1.5 ha, greenit 1-19/ par3	Golfkentän nurmikko
29.7.2016	Adama (tilt)	2.0 l	2,2 ha, greenit 1-19/ foret	Golfkentän nurmikko
11.8.2016	Primo maxx	0,6 l	1.5 ha, greenit 1-19/ par3	Golfkentän nurmikko
13.9.2016	Adama (tilt)	1,5 l	1,4 ha, greenit 1-19	Golfkentän nurmikko
31.10.2016	Medallion TL	4 l	1,4 ha, greenit 1-19	Golfkentän nurmikko

Liite II, Lannoituksen ravinneaineiden yhteenveto

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	Ravinnemäärät kg/ha											
Viheriöt	152	22	125	173	97	152	0,953	1,7	24,4	21,6	0,14	2,0
Lyöntipaikat	100	11	84	120	70	108	0,68	0,4	8,0	6,6	0,06	0,4
Väylät	68	9	38	0	10	64	0,18	0,1	4,5	2,3	0,02	0,1
Viheriön ympärykset	84	6	54	120	63	84	0,48	0,3	6,0	6,0	0,06	0,3

Liite III: Työkonelista, koneiden käyttötunnit vuosittain 2014-2016 sekä käytettävät polttoaineet

Työkone	**Merkki**	**2014 tunnit**	**2015 tunnit**	**2016 tunnit**	**Polttoaine**
Greenileikkuri (uudempi)	G-Plex III		1581	1774	Polttoöljy
Greenileikkuri	G-Plex III	2139	2263	2455	Polttoöljy
Pystyleikkuu yksiköt G-Plex III(3kpl)					
Tiileikkuri	Tri King	1460	1591	1722	Polttoöljy
Väyläleikkuri	Toro 6700-D	1330	1643	1927	Polttoöljy
Väyläleikkuri range	Fairway 405	2375	2426	2484	Polttoöljy
Työajoneuvo, akku	EZ-GO				Sähkö
Työajoneuvo	Cushman	1264	1327	1381	Polttoöljy
Työajoneuvo	ClubCar				Sähkö
Lautaslevitin	Turfco Widespin 1530 TM				
Traktori	Iseki TK 538	1685		2050	Polttoöljy
Peräkärry	Muuli				
Peräkärry pieni	Agri-Fab				
Ruisku	Caysa 400l				
Bunkkerikone	Toro sand-pro	326	444	599	Bensiini
Karheikkoleikkuri	R311T	223	447	731	Polttoöljy
Karheikkoleikkuri	HR5111	2368	2576	2798	Polttoöljy

Puutarhaleikkuri	Husqvarna R118S				Bensiini
Siemenkylvökone	Verti-seed				
Ilmastaja	Verti-Drain 7212				
Pystyleikkuri singeli	Sisis Auto-Rotorake				
Kanttileikkuri	Mitsubishi TL33				
Moottorisaha	Husqvarna 339				
Reppuruisku	Birchmeier Power LG				
Lehtipuhallin	Ryobi RBL42BP				
Lehtipuhallin	Husqvarna				
Raivaussaha	Husqvarna 345 FR				
Klapikone	Turbo 7				
Keskipakolevitin	Spyker 25kg				
Ilmatyynyleikkuri	Toro				Bensiini
Viheriöjyrä	Greensiron	98	121	123	Bensiini
Ruohonleikkuri	McCulloch				Bensiini
Pallonkeruulaite 5 yks	Range Maxx				
Porakone	DeWalt				
Porakone	Makita 6227D				
Laikkakone	Black&Decker CD115				

Laikkakone	Makita Ga9020S				
Kuviosaha	Makita 4351FCT				
Epäkeskohiomakone	Bosch Pex 400 AE				
Tasohöylä	Makita				
Sähk.rasvaprässi					
Man.rasvaprässi					
Painepesuri	Kärcher HD 650				
Paineilmakompressori 2kpl					
Asiakkaiden käytössä golfautot 7 kpl	ClubCar				Sähkö