

HIILITASELASKELMAT JA HIILIKOMPENSAATIO KITILÄN KULTAKAIVOKSELLA

Siivonen Kati

Opinnäytetyö

Metsätalous
Metsätalousinsinööri (AMK)

2024

Metsätalouden koulutusohjelma
Metsätalousinsinööri (AMK)

Tekijä	Kati Siivonen	Vuosi	2024
Ohjaaja	Jussi Soppela		
Toimeksiantaja	Agnico Eagle Finland Oy		
Työn nimi	Hiilitaselaskelmat ja hiilikompensaatio Kittilän kulta-kaivoksella		
Sivumäärä	59 + 15		

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Kittilän kaivoksen omistamien kiinteistöjen metsien puuston ja kaivospiirin sisällä metsitettyjen suoalueiden hiilensidonnin määrä ja kompensatiovaikutus suhteessa kaivoksen hiilijalanjälkeen. Lisäksi lopuksi lasketaan kaivoksen hiilidioksidikompensaatiotarpeen määrä ja esitetään niiden hyvittämiseksi kompensatoratkaisuja.

Tutkimuksen kenttätöitä on toteutettu kahdessa osassa: kaivoksen metsien maastotarkastukset suoritettiin syksyllä 2022 ennalta valikoiduille metsikkökuvioille, joista mitattiin puustotunnukset, orgaanisilla mailla turpeen paksuus ja määritettiin kuvion kasvupaikka. Metsitetyille suoalueille perustettiin ja inventoitiin elokuussa 2022 koealoja, joissa puustosta mitattiin puustotunnukset, turpeen paksuus ja määritettiin kasvupaikka.

Tutkimuksen hiilitaselaskelmat on laskenut opiskelija sekä Luonnonvarakeskuksen tutkija Antti Wall. Opiskelija on laskenut kaivoksen metsien puuston hiilitaseet Monsu-ohjelmistolla ja tutkija Wall laski istutettujen suoalueiden hiilitaseet Motti-ohjelmistolla. Kaivoksen vuosittaisen hiilijalanjäljen opiskelija laski Envineer Oy:n tekemien hiilijalanjälkilaskelmien pohjalta Excel-ohjelmistolla.

Wallin laskemat osoittivat, että suoalueilla varputurvekankaan maaperä oli hiilinielu koko tarkastelujakson ajan, kun taas ravinteikkaat mustikka- ja ruohoturvekankaat olivat hiilipäästöjä. Suoalueilla puuston osalta ruohoturvekankaan istutettu puusto (kuusi) oli suurin hiilinielu, ja vastaavasti varpu- ja mustikkaturvekankaiden puuston hiilensidonta oli ruohoturvekangasta heikompaa. Kokonaisnettotaseiltaan istutetut suoalueet ovat nettonieluja.

Kaivoksen laskennallinen vuosittainen hiilijalanjälki oli suuri, joten metsien puuston ja istutettujen suoalueiden hiilitase riitti kompensoimaan vain pienen osan hiilijalanjäljestä. Hiilineutraaliuden saavuttamiseksi laskennallista hiilikompensaatiotarvetta kertyi merkittävästi puuston ja istutetuista suoalueiden hiilinieluisista huolimatta.

Avainsanat

hiilikompensaatio, hiilineutraalius, hiilinielu, hiilitase

Forestry
Forestry Engineer

Author	Kati Siivonen	Year	2024
Supervisor	Jussi Soppela		
Commissioned by	Agnico Eagle Finland Oy		
Title	Carbon balance calculations and carbon compensation at Kittilä gold mine		
Number of pages	59 + 15		

The purpose of this study was to find out the amount of carbon sequestration and the compensation effect of forest trees on the properties owned by Kittilä mine and forested peatland areas within the mining district and the compensation effect concerning the mine's carbon footprint.

The research fieldwork has been accomplished in two parts: the examination in the forest was operated in preselected forest stands in fall 2022. Common forest measurements, peat depth in the organic soils, and determined habitat of the stands, were measured. In August 2022 pilot plots in the reforested peatlands were established and field surveys were carried out. In the pilot plots, common forest measurements, peat depth and determined habitats were measured.

The carbon balance calculations are made by the author of the study and Antti Wall, researcher of the Natural Resources Institute Finland. The author of the study calculated the carbon balances of forest trees on the properties with Mon-su software and the researcher Antti Wall calculated the carbon balances of the peatlands with Motti software. The annual carbon footprint calculation of Kittilä mine, which was based on the carbon footprint calculation made by Envineer Oy, was calculated in Excel by the author of the study.

The calculations made by the researcher Antti Wall showed that the soil of dwarf shrub type drained peatland was a carbon sink during the examination period, whereas nutrient-rich soils *Vaccinium myrtillus* type and herb-rich type drained peatlands were carbon emissions. For growing stock (reforested spruce) this part was the greatest carbon sink at the herb-rich type drained peatland and comparably dwarf shrub type and *Vaccinium myrtillus* type drained peatlands had lower carbon sequestrations than herb-rich type drained peatland. The net carbon balance at all reforested peatland areas together are net sinks.

The calculated annual carbon footprint of the mine was large, so the carbon balance of the forest trees and planted peatland areas was enough to compensate for only a small part of the carbon footprint. To achieve carbon neutrality, the calculated need for carbon compensation accumulated significantly despite the carbon sinks of trees and planted peatland areas.

Keywords carbon balance, carbon compensation, carbon neutrality, carbon sink

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	ILMASTONMUUTOS JA ILMASTOPOLITIikka.....	8
2.1	Ilmastonmuutos ja sen vaikutus Suomen metsiin	8
2.1.1	Lämpötilan kohoamisen vaikutus metsiin	8
2.1.2	Sadanta, tuulituhot ja metsäpalot	10
2.2	Suomen kansallinen ja EU:n ilmastopolitiikka	11
2.3	Vapaaehtoiset päästökompensaatiot ja kotimaiset maankäyttösektorin hiilikompensaatiohankkeet ja -palvelut	13
3	METSIIEN JA TURVEMAI DEN HIILITASE.....	16
3.1	Perustietoa hiilenkierrosta.....	16
3.2	Puuston hiilensidonta ja -varastot	18
3.3	Maaperän hiilivarastot ja -päästöt	20
3.4	Kaivostoiminnan vaikutus turvemaiden hiilivarastoihin	23
3.5	Metsätietojärjestelmät, -ohjelmistot ja avoin metsävaratieto	24
4	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	26
4.1	Tutkimuksen työvaiheet	26
4.2	Tutkimuskohteet ja aineiston kerääminen.....	27
4.2.1	Kittilän kaivoksen hiilijalanjälkilaskenta	27
4.2.2	Kaivoksen metsät ja metsitetyt suoalueet	31
4.3	Metsien maastomittaukset ja suoalueiden koealojen mittaukset.....	32
4.4	Tutkimusaineiston analysointi	34
4.4.1	Hiilijalanjälkilaskelmat.....	35
4.4.2	Metsien puustotiedot, Monsu- ja Motti-laskelmat	36
4.4.3	Päästökompensaatoratkaisut	39
5	TULOKSET.....	40
5.1	Kaivoksen hankevaihtoehdon VE2 hiilijalanjälkilaskelman tulokset	40
5.2	Puuston hiilitaselaskelmien tulokset	41
5.3	Suoalueiden hiilitaselaskelmien tulokset.....	42
5.4	Päästöjen kompensointilaskelmien tulokset ja kompensaa toratkaisuvaihtoehtoja	43

5.5	Johtopäätökset	46
6	POHDINTA	48
6.1	Hiilitaseet ja kompensatoratkaisut	48
6.2	Luotettavuus ja hyödynnettävyys	49
	LIITTEET	59

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos uhkaa ihmiskuntaa sekä maapalloa (Peljo 2016). Ihmistoiminnasta aiheutuneiden päästöjen seurauksena maapallon keskilämpötila on nousut esiteollisesta ajasta ja uhkaa nousta niin korkealle, että maapallolla elämä käy sietämättömäksi. Jotta ilmastonmuutoksen kehittyminen saataisiin kuriin, on merkittäviä ilmastotoimia tehtävä hyvin pian. (Ilmatieteenlaitos 2018.) Heinäkuussa 2022 astui voimaan uusi ilmastolaki, jonka tarkoituksena on varmistaa, että Marinin hallituksen hallitusohjelman mukainen Suomen hiilineutraaliustavoite vuoteen 2035 mennessä toteutuu (Valtioneuvosto 2022). Ilmastonmuutos ja hiilinielut ovat viime vuosina olleet paljon näkyvillä esimerkiksi erilaisissa medioissa ja politiikassa. Aiheesta onkin jo vuosien ajan tullut tutkimusnäyttöä muun muassa metsäojituksen ilmastovaikutuksista (Ojanen 2015) ja ilmastonmuutoksen vaikutuksista metsiin (Lehtonen, Venäläinen & Gregow 2020), raportteja, kuten IPCC kuudes arviointiraportti (Lee ym. 2023), yhteenvetoja ynnä muuta ajankohtaista tietoa.

Kittilän kultakaivoksella syntyy vuosittain suuria määriä kasvihuonekaasupäästöjä, joista merkittävä osa syntyy ostosähkön käytöstä, raaka-aineiden valmistuksesta ja kuljetuksesta sekä jätteiden kuljetuksesta. Kaivoksen toiminnan hiilijalanjälkilaskennassa on noudatettu Greenhouse Gas (GHG)-protokollaa. Suunniteltujen hankevaihtoehtojen hiilijalanjälkilaskennassa ei GHG-protokollaa ole voitu tarkasti noudattaa, vaan ne ovat asiantuntijoiden tekemiä skenaarioita. (Envineer Oy 2021, 1.)

Ilmastotoimilla tarkoitetaan konkreettisia toimia, joilla pyritään lisäämään kasvihuonekaasunieluja tai vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä. Maankäyttösektorilla voidaan metsäkadon ehkäisyn ja metsittämisen lisäksi vahvistaa hiilen sidontaa muun muassa vesitaloutta säätelemällä. Vapaaehtoisten päästökompensaatioiden laaduista, käytöistä ja rooleista on herättänyt kiivasta keskustelua. Sittemmin alalla onkin muodostuneet vakiintuneet päästökompensaatioiden minimikriteerit laadun ja toteutumisen varmistamiseksi.

Tämän tutkimuksen tuloksista saadaan selville Kittilän kultakaivoksen omistamien kiinteistöjen puuston hiilivarastot ja metsitettyjen soiden hiilikompensaati-

on määrä sekä näiden vaikutukset kaivoksen päästökompensaatiotarpeen määrään. Puuston hiilen sidontalaskelmia ja suoalueiden hiilikompensaatiolaskelmia verrataan vuonna 2021 Envineer Oy:n tekemiin kaivoksen hiilijalanjälkilaskelmiin osana YVA-selvitystä.

Opinnäytetyön on tilannut Agnico Eagle Finland Oy Kittilän kultakaivos, joka on kanadalaisen Agnico Eagle Mines Limitedin tytäryhtiö. Toimintansa vuonna 2008 aloittanut Kittilän kaivos koostuu vanhoista avolouhoksista ja maanalaisesta kaivoksesta. (Kaivosvastuu Finland 2022.) Opinnäytetyö on toteutettu osin yhteistyössä Luonnonvarakeskuksen kanssa, joka on laskenut metsitettyjen suoalueiden hiilikompensaatiolaskelmat. Lisäksi tutkija Antti Wallilta on saatu opinnäytetyön toteutuksessa ohjausta.

Opinnäytetyössä haetaan vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

- Kuinka paljon Kittilän kultakaivoksen omistamien metsien puusto pystyy sitomaan hiiltä ja kompensoimaan näillä kaivoksen päästöjä?
- Kuinka paljon on Kittilän kultakaivoksen alueen suopohjille tehtyjen istutusten hiilinielu ja -kompensaatio?
- Millä muilla tavoin voidaan kompensoida Kittilän kaivoksen kasvihuonekaasupäästöjä hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi vuoteen 2035 mennessä?

2 ILMASTONMUUTOS JA ILMASTOPOLITIIKKA

2.1 Ilmastonmuutos ja sen vaikutus Suomen metsiin

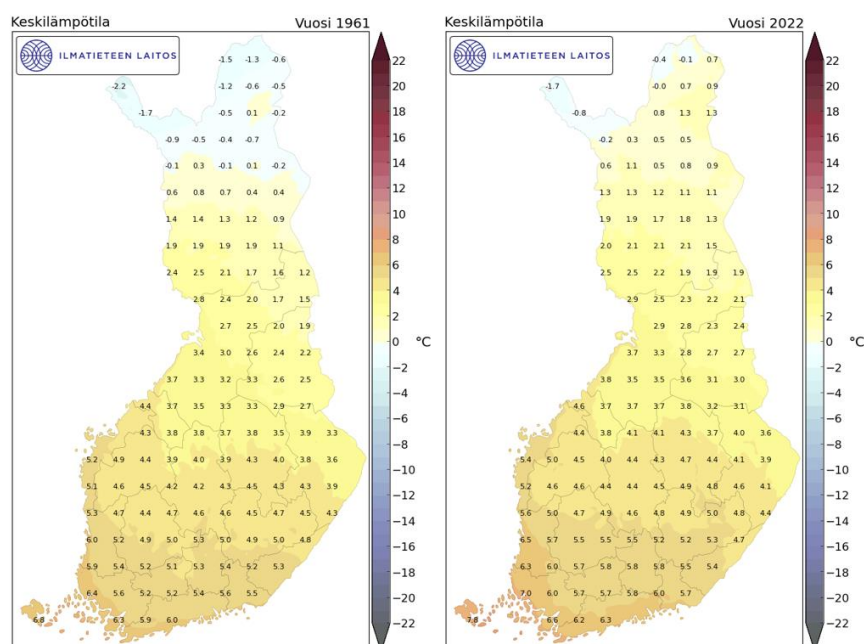
Kasvihuoneilmiö on maapallon elämälle elintärkeä ilmiö, sillä ilman sen vaikutusta maapallon keskilämpötila olisi noin 30 °C:tta matalampi. Kasvihuoneilmiö tarkoittaa ilmakehän kykyä imeä itseensä auringosta tulevaa lämpösäteilyä, ja kasvihuonekaasut säätelevät kasvihuoneilmiön voimakkuutta. Ihmiskunta on toiminnallaan lyhyessä ajassa lisännyt ilmakehän kasvihuonekaasujen määrää, mikä on voimistanut kasvihuoneilmiötä ja nostanut maapallon lämpötilaa. (Lehtonen ym. 2020, 9.)

Suomessa metsämaata on 26,2 miljoonaa hehtaaria eli 86 prosenttia Suomen pinta-alasta ja Pohjois-Suomessa metsämaan osuus on 95 prosenttia sen pinta-alasta. Suomen 12. valtakunnanmetsien inventoinnin mukaan kokonaispuuvaramo oli noin 2,4 miljardia kuutiometriä, josta Pohjois-Suomen osuus on noin 0,8 miljardia kuutiometriä. (Korhonen ym. 2021, 7, 15, 27.) Vuonna 2019 metsät toimivat hiilinieluinä eli metsien maaperään ja puustoon sitoutuu vuosittain hiiltä enemmän kuin vapautuu ilmakehään (Tilastokeskus 2020). Suomen metsien kasvu on nopeutunut, ja sen ennustetaan nopeutuvan tulevaisuudessa lämpenemisen ja lisääntyvän ilmakehän hiilidioksidimäärän takia. Lisääntyvät metsätuhot kuitenkin saattavat kumota tämän kasvun nopeutumisesta aiheutuvan hyödyn. Ilmastonmuutoksen vaikutuksen voimakkuus riippuu muutoksen voimakkuudesta, johon vaikuttavat kasvihuonekaasupäästöt. (Lehtonen ym. 2020, 35; Saksa ym. 2020, 36; Venäläinen ym. 2020, 4190-4192.) Tässä luvussa käydään läpi ilmastonmuutoksen vaikutuksista Suomessa ja Suomen metsiin.

2.1.1 Lämpötilan kohoamisen vaikutus metsiin

Suomen vuotuisen keskilämpötilan ennustetaan nousevan 1,5 – 6 °C:tta vuoteen 2100 mennessä verrattuna vuosiin 1981 – 2000. Ennusteeseen vaikuttaa kasvihuonekaasupitoisuuksien kehitys. (Venäläinen ym. 2020, 4190.) Suomessa ilmastonmuutos ilmenee selkeämmin lämpötilan kohoamisena (kuvio 1), mikä näkyy Suomessa ilmaston vajaan 0,5 °C:een lämpenemisenä tämän vuosi-

kymmenen aikana, ja vuoden keksilämpötilan odotetaan kohoavan 0,5 – 1,5 °C:tta seuraavan 20 vuoden aikana. (Lehtonen ym. 2020, 13 – 14.)



Kuvio 1. Suomen vuoden keskilämpötilat vuosina 1961 ja 2022 (Ilmatieteen laitos 2023)

Ilmaston lämpeneminen vaihtelee vuodenaikojen välillä. Borealisissa metsissä talvi vaikuttaa niiden ekosysteemin toimintaan. Tulevaisuudessa puuston kasvuun vaikuttavat talvien lämpötilojen muutoksien suuruudet. (Saksa ym. 2020, 36.) Ennusteen mukaan talvilämpötilat nousevat jopa kaksinkertaisesti kesään verrattuna. Suomessa alueelliset erot lämpenemisessä eivät ole suuria, mutta Pohjois-Suomessa tämän odotetaan olevan voimakkaampaa, etenkin talvella, Etelä-Suomeen verrattuna. (Lehtonen ym. 2020, 15.) Talvella 0 °C yläpuolisten lämpötilojen lisääntyminen on puustolle haitallisia puiden käyttäessä hengittämiseen energiaa, mikä altistaa pakkasvaurioille ja kuivumiselle kevättalvella (Saksa ym. 2020, 36).

Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa termisten vuodenaikojen siirtymistä ja kasvu-kausien lämpösommien kasvua. Terminen talvi tarkoittaa ajanjaksoa vuodesta, jolloin keskilämpötila on pakkasen puolella ja termisen kesän keskilämpötila on yli 10 °C:tta. Terminen syksy ja kevät osuvat näiden ajanjaksojen väliin. Terminen kasvukausi alkaa vuorokauden keskilämpötilan ollessa yli 5 °C:tta ja päät-

tyy vastaavasti sen laskiessa syksyllä alle 5 °C:tta. Kasvukauden lämpösumma tarkoittaa summaa, joka saadaan laskemalla yhteen kasvukauden aikaiset vuorokauden keskilämpötilat 5 °C:een ylittävältä osalta. (Lehtonen ym. 2020, 15 – 17.)

Kasvien ja puiden kasvukausi pitenee kasvukauden pidentyessä ja lämmetessä, ja erityisesti Pohjois-Suomessa puuston kasvun on ennustettu lisääntyvän (Saksa ym. 2020, 36), mikä lisää puuston hiilensidontaa (Seppälä ym. 2015, 12). Tulevaisuudessa lämpimien kasvukausien todennäköisyys on noin viisikermainen aiempaan verrattuna (Lehtonen ym. 2020, 18). Lämpötilan kohoamisen ja ääri-ilmiöiden ennustetaan lisäävän erilaisten metsätuhojen esiintymisen todennäköisyyttä, kuten uusina tulokas- ja vieraslajeina jo Suomessa tavatut aasianrunkojäärä ja punavyökariste (Metsäkeskus 2023b).

2.1.2 Sadanta, tuulituhot ja metsäpalot

Sademäärien kasvuennusteen mukaan kasvu johtuu pääosin talvisateiden lisääntymisestä. Kesäsateiden ennustetaan kasvavan vain vähän tai jopa vähentyvän sekä sateiden mahdollinen kasvu johtuu rankkasateiden lisääntymisestä. Pohjois-Suomen sademäärien ennustetaan kasvavan Etelä-Suomea enemmän. On viitteitä, että ilmaston lämpeneminen voimistaa rankkasateita jokaisena vuodenaikana. (Lehtonen ym. 2020, 18.) Runsaat sateet kasvukauden aikana voivat nostaa pohjaveden pinnan korkealle sekä pitää maan liian kosteana pitkän aikaa. Nämä vaikuttavat puiden kasvuun turvemailloilla sekä hienojakoisilla kivennäismailloilla. (Saksa ym. 2020, 36.) Vuosittainen sadanta ylittää haihdunnan koko maassa, mutta ilmaston lämpenemisen nopeuttaessa haihduntaa ennustetut sademäärät eivät riitä kompensoidaan lämpötilan noususta aiheutuvaa maaperän kuivumista. Suomessa ennustetaankin maaperän kuivuuden lisääntyvän, jonka odotetaan lisäävän kasvukauden aikaista maastopaloriskiä. (Lehtonen ym. 2020, 18.) Lisäksi mahdollisen kesäaikaisen kuivuuden tai lisääntyvien sateiden seurauksena puuston kasvu saattaa heikentyä (Saksa ym. 2020, 36).

Viime vuosikymmeninä Suomessa on esiintynyt enemmän tuulivahinkoja kuin Ruotsissa ja muualla Euroopassa. Tuulituhojen odotetaan lisääntyvän ilmaston lämpenemisen myötä erityisesti boreaalisen vyöhykkeen etelä- ja keskiosissa,

jossa matalajuurinen kuusi on metsien valtapuuna. Pakkasjaksojen lyhentymisen seurauksena maaperä ei jäädy entiseen tapaan, mikä on omiaan lisäämään tuulituhoriskiä. (Venäläinen ym. 2020, 4190.) Suomessa tuulituhot ovat pahimmillaan kaataneet miljoonia kuutiometrejä puuta. Esimerkiksi vuonna 2001 riehuneet Pyry- ja Janika-myrskyt aiheuttivat 7,3 miljoonan kuutiometrin verran kaatunutta puuta. (Metsäkeskus 2023b.)

Ilmastonmuutoksen ennustetaan moninkertaistavan maastopalojen määrää sekä paloalueiden pinta-aloja. Maastopalojen yhteydessä vapautuu mittavia määriä varastoitunutta hiiltä ilmakehään, mikä kumoo metsien hiilen sidonnan myönteistä vaikutusta ilmastonmuutokseen. (Venäläinen ym. 2020, 4192.) Suomessa kuitenkin maastopalon yleisin aiheuttaja on ihmisen huolimaton avotulen käyttö sekä metsätyökoneet (Metsäkeskus 2023b).

2.2 Suomen kansallinen ja EU:n ilmastopolitiikka

Suomen hiilineutraaliustavoite vuoteen 2035 mennessä oli osa Sanna Marinin hallituksen hallitusohjelmaa. Ilmastolakia uudistettiin tavoitteen saavuttamiseksi ja uusi ilmastolaki (423/2022) tuli voimaan 1.7.2022. Uudessa ilmastolaissa on lisäykset nielujen vahvistamisesta sekä päästövähennystavoitteista verrattuna vuoden 1990 päästötasoon vuosille 2030 (60 %), 2040 (80 %) ja 2050 (90 %) vähennystavoitteilla. Lisäksi uusi laki koskee myös maankäyttösektoria (LU-LUCF). Vuoden 2035 jälkeen tavoitteena on Suomen hiilinegatiivisuus. (Valtioneuvosto 2022.) Euroopan Unionin (EU) tavoite on olla hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä (Laininen, Ahonen, Laine & Kulovesi 2022, 31). EU:n ilmastopolitiikkaa ohjaa Yhdistyneiden kansakuntien (YK) ilmastopöytäkirja ja sitä täydentävät Kioton pöytäkirja ja Pariisin ilmastopöytäkirja. EU ilmastolain mukaan EU sitoutuu vähentämään kasvihuonekaasunettopäästöjä vuoteen 2030 mennessä vähintään 55 prosenttia vuoden 1990 päästötasosta. (Maa- ja metsätalousministeriö 2023a.)

Kansalliset kasvihuonekaasutaseet raportoidaan vuosittain EU:lle kasvihuonekaasuinventariossa YK:n ilmastopöytäkirjan ja Kioton pöytäkirjan mukaisesti. Taseita raportoidaan eri sektoreilta, kuten energia-, teollisuusprosessi-, maata-

lous-, jäte- ja niin sanotulta LULUCF-sektorilta (maankäyttö, maankäytön muutoksen ja metsätalous). Lisäksi teollisuusprosessien ja energiasektorin osalta raportoidaan epäsuorat CO₂-päästöt. Kioton pöytäkirjan alla LULUCF-sektorin sijaan raportoidaan metsittämisen ja metsän hävityksen päästöt ja poistumat sekä metsänhoidon päästöt ja poistumat. (Tilastokeskus 2020a.)

Vuonna 2015 hyväksyttiin Pariisin sopimus, jonka pyrkimys on rajata maapallon lämpeneminen alle 2 °C:seen ja pyrkiä sellaisiin toimenpiteisiin, joilla lämpeneminen saadaan rajattua 1,5 °C:een. Lisäksi sopimus sisältää globaalin hiilineutraaliustavoitteen vuoteen 2050 mennessä ja näiden tavoitteiden saavuttaminen vaatii jäsenmailta ilmastotoimia. Vuoden 2021 Glasgow'n ilmastokonferenssissa tehtiin päätös, jossa päästöleikkauksia on kasvatettava merkittävästi tämän vuosikymmenen aikana 1,5 °C:een saavuttamiseksi. (Laininen ym. 2022, 10.)

Maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous (LULUCF)-asetuksen (EU) 2018/841 (Maa- ja metsätalousministeriö 2023b) mukaan jäsenmaiden tulee vuosina 2021 – 2025 ja 2026 – 2030 varmistaa, ettei sektorin kokonaispäästöt ylitä hiilinieluja laskennallisesti (Maa- ja metsätalousministeriö 2023a). LULUCF-asetus määrittelee laskentasäännöt millä tavoin LULUCF-sektorin nielut ja päästöt huomioidaan kaudella 2021 – 2030. Soveltamisaikaa kuitenkin laajennetaan vuosille 2021 – 2035. Laskentoihin sisältyvät metsistä, viljelysmaista, ruohikkoalueista ja metsityksestä ja metsien siirtymisestä toiseen maankäyttömuotoon aiheutuvat nielut ja päästöt. Maankäyttömuodoille on erilaiset laskentasäännöt. Laskennat tehdään valtiotasolla, eivätkä näin ollen koske yksittäisiä toimijoita. (Maa- ja metsätalousministeriö 2023b.)

Suomen suuri metsäpinta-ala rajoittaa mahdollisuuksia välttyä metsäkadolta, sillä metsäisenä maana metsäisien alueiden käyttöönottoa on mahdotonta välttää, esimerkiksi rakentamisen takia. Metsäkadolla tarkoitetaan metsän siirtymistä toiseen maankäyttömuotoon, esimerkiksi maatalouteen tai yhdyskuntarakentamiseen. Maaperän kasvihuonekaasupäästöjen muutos riippuu maankäytön muutoksesta eli maan alkuperäisestä käyttömuodosta ja sen uudesta käyttömuodosta. Lisäksi turvekerroksen paksuus vaikuttaa maaperäpäästöjen ilmastovaikutuksiin. Maaperäpäästöjä vähentävät toimet ovat sitä vaikuttavampia

mitä paksumpi turvekerros on kyseessä. Maankäytön muutosten ilmastovaikutukset jaetaan biomassaan sitoutuneeseen hiileen ja maaperän kasvihuonekaasupäästöihin. Suomen osalta merkittävässä asemassa ovat turvemaiden päästöt. (Kärkkäinen ym. 2019, 8 – 9, 17, 46, 47.)

Vuonna 2021 kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt kääntyivät nousuun, kun päästöt ilman LULUCF-sektoria olivat 48 miljoonaa tonnia CO₂-ekv., joka oli 0,1 miljoonaa tonnia edellisvuotta enemmän. Vuonna 2021 LULUCF-sektori oli nettopäästölähde päästöjen ylittäessä poistuman 0,9 miljoonalla tonnilla CO₂-ekv. (Tilastokeskus 2022.) Suomessa kaikki metsät ovat mukana päästölaskennassa, sillä ne katsotaan kuuluvan ihmistoiminnan vaikutuspiiriin (Tilastokeskus 2021, 44).

Potentiaalisia kohteita metsittämistoimille olisivat ruohikkoalueet eli vanhat pelot ja laitumet, joita arviolta oli vuonna 2020 yhteensä 250 000 hehtaaria. Maankäyttösektorilla voidaan metsäkadon ehkäisyn ja metsittämisen lisäksi vahvistaa hiilensidontaa muun muassa kasvipeitteisyyttä lisäämällä ja vesitaloutta säätelemällä. Kuusen viljely on pidetty hyvänä valintana, vaikka boorin puutos aiheuttaa kasvuhäiriöitä. Erityisesti turvemaidella esiintyy puuston kasvuhäiriöitä aiheuttavia ravinnepuutoksia ja -epätasapainoa. Hieskoivu sietää märkyyttä, jolloin pohjaveden pintaa voidaan pitää korkealla. Tämä vähentää maaperän hiilidioksidipäästöjä. (Kärkkäinen ym. 2019, 19, 20.)

2.3 Vapaaehtoiset päästökompensaatiot ja kotimaiset maankäyttösektorin hiilikompensaatiohankkeet ja -palvelut

Suomen hiilineutraaliustavoite vuoteen 2035 mennessä edellyttää huomattavia päästövähennystoimia sekä laajoja keinovalikoimia hiilinielujen ja -varastojen kasvattamiseksi ja ylläpitämiseksi. Maankäyttösektorilla tulisi saavuttaa vuonna 2035 vähintään kolme miljoonaa tonnia CO₂-ekv. vuosittaista päästövähennystä vastaava nettomäärä. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi yhtenä keinona ovat suomalaiset yksityiset hankkeet, joissa pyritään erilaisilla toimilla lisäämään hiilinieluja ja -varastoja. (Laine ym. 2021, 3.) Ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta päästökompensoinnilla tarkoitetaan aiheutettujen ilmastohaittojen ku-

moamista vähentämällä tai sitomalla omien päästöjen verran toisaalla. Yhteiskunnan ja yritysten pyrkiessä hiilineutraaliuteen vapaaehtoisten päästökompensaatioiden kysyntä kasvaa, jonka seurauksena päästökompensaatiopalveluita tarjoavien yritysten määrä on lisääntynyt. (Laine, Airaksinen, Yliheljo, Ahonen & Halonen 2021, 11; Laine ym. 2021, 2.)

Vapaaehtoisella kompensaatiolla tarkoitetaan tapaa, jolla toimija kompensoi päästöjä, joita toimijalla ei ole velvollisuutta tehdä. Suomessa kompensaatiopalveluita ei säännellä erikseen ja sääntelyyn käytetään esimerkiksi kuluttajasuojalakea ja sopimuksia koskevaa yksityisoikeudellista sääntelyä. Yhtenäisen sääntelyn puutteen takia toimijat niin Suomessa kuin maailmalla ovatkin kehittäneet omia suosituksia hyville kompensaatiokäytänteille, mutta nämä saattavat olla keskenään ristiriitaisia. Hyvitysyksiköihin perustuva vapaaehtoinen kompensaatio on yleinen ja vakiintunut käytäntö, mutta muun muassa sertifioimattomia päästövähennyksiä tai hiilidioksidin poistoja hyödynnetään vapaaehtoisessa kompensaatiossa. (Laine, Airaksinen, Yliheljo, Ahonen & Halonen 2021, 11, 13 – 14.)

Pellervon taloustutkimus PTT ry:n ja Gaia Consulting Oy:n tekemässä esiselvityksessä selvitettiin Suomessa sijaitsevien maankäyttösektorin kompensaatiohankkeita, millaisia hankkeet ovat ja miten hankkeiden päästövähennykset tai hiilinielut tai -varastot mitataan, todennetaan ja raportoidaan, millaisia vaikutuksia hankkeilla on ilmastonmuutoksen hillinnässä sekä minkälaisia metodologioita hankkeiden laskennoissa käytetään. Kompensaatiopalveluiden sääntelyä ei Suomessa ole, josta johtuen palveluiden tarjonnassa on suuria vaihteluja esimerkiksi laadun ja todennettavuuden osalta. (Laine, Airaksinen, Yliheljo, Ahonen & Halonen 2021, 11.) Tästä johtuen kompensaatiomarkkinat ovat hyvin moninaisia ja toimijoiden käsitykset kompensaation lähtökohdista ja kriteereistä eriyvät toisistaan (Laine ym. 2021, 2).

Hyvien päästökompensaatiokäytäntöjen mukaan kompensaatiotoimien ei kuulu korvata toimijoiden päästövähennystoimia vaan täydentää niitä (Laininen ym. 2022, 11). Esiselvityksessä määriteltiin hyvän kompensaation kriteerit, joihin kompensaatiohankkeita peilattiin. Hyvän kompensaation kriteerit esiselvityksen

mukaan ovat kompensatiopalveluiden lisäisyys, laskentametodologia, mittaus ja raportointi, riippumaton todentaminen, kaksoislaskennan välttäminen ja palveluiden läpinäkyvyys. (Laine, Airaksinen, Yliheljo, Ahonen & Halonen 2021, 11; Laine ym. 2021, 4 – 5.) Nämä ovatkin vakiintuneet minimikriteereiksi alalla (Laininen ym. 2022, 12).

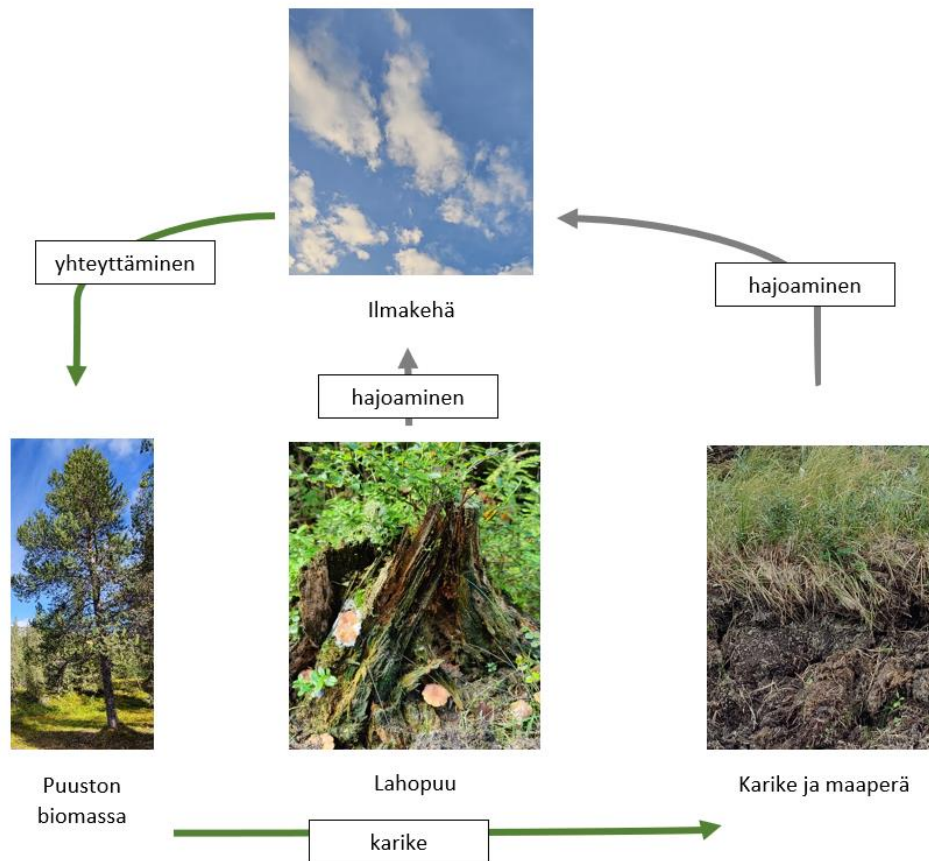
Suomessa on yhteensä 16 toimijaa, jotka tarjoavat maankäyttösektorilla kompensatiorankkeita ja -palveluja. Näitä hankkeita ja palveluita ovat esimerkiksi joutomaiden, peltojen ja turvemaiden metsittäminen, metsien vuokraus, lannoittaminen ja soiden ennallistaminen. (Linjama 2023, 10 – 12.)

3 METSIEN JA TURVEMAIDEN HIILITASE

3.1 Perustietoa hiilenkierrosta

Metsät ovat suuria hiilivarastoja (Soimakallio 2017), ja niillä on suuri merkitys hiilen sitomisessa ilmakehästä ja siten ilmastonmuutoksen hillinnässä (Lehtonen ym. 2020, 35). Suomen metsissä suurin osa varastoituneesta hiilestä on maaperässä tai kuolleessa puuaineksessa ja vain noin 30 – 50 prosenttia on puustossa (Shorokhova 2015, 301).

Puut ja kasvit sitovat hiiltä ilmakehästä yhteyttämällä eli fotosynteesin avulla, ja ne käyttävät sitomaansa hiiltä elintoimintoihinsa ja uusien solukkojen rakentamiseen (Launiainen, Lehtinen & Laurén 2015, 306) ja osan tästä hiilestä kasvit hengittävät takaisin ilmakehään (Ojanen, Lehtonen, Heikkinen, Penttilä & Minkkinen 2014, 60). Hiilenkierto metsäekosysteemissä tapahtuu ilmakehän, puuston biomassan, lahopuun ja maaperän välillä (kuvio 2). Yhteyttäessään puut sitovat ilmakehästä hiiltä biomassaansa, minkä jälkeen ne siirtävät sitä maaperään. Puun kuollessa syntyy kuolleen orgaanisen aineksen (lahopuu) hiilivarasto. Lahottajien lahottaessa puuta hiilidioksidia vapautuu takaisin ilmakehään. (Shorokhova 2015, 301 – 302.) Puuston biomassan lisäksi kasvillisuuden biomassa, karikke ja maaperän hiili muodostavat hiilivarastoja. Karikke koostuu muun muassa kuolleista lehdistä, neulasista, juurista, oksista, kannosta ja puun rungosta. Karikkeen muodostumiseen vaikuttaa metsän ikä ja koko, puulajit ja kasvupaikkatyypit. (Launiainen ym. 2015, 306 – 307.)



Kuvio 2. Hiilivarasto ja hiilenkierto (mukaillen Shorokhova 2015, 302)

Hiilensidonta tulee erottaa termistä hiilinielu. Metsät toimivat hiilinieluinä, kun niiden hiilivarasto kasvaa. Hiilivaraston kasvu riippuu hiilensidonnän ja vapautumisen vuorosuhteesta (Seppälä ym. 2015, 8) eli edellytyksenä hiilivaraston kasvulle on, että metsien puuston kasvussa tapahtuu enemmän hiilensidontaa kuin hiilen vapautumista hakkuiden ja lahoamisen myötä. Hiililähde tarkoittaa päinvastaista tapahtumaa eli metsä toimii hiilen lähteenä, jos metsästä vapautuu enemmän hiilidioksidia kuin siihen sitoutuu ja hiilivarasto pienenee (Saksa ym. 2020, 8). Hiilensidonnän ja vapautumisen ollessa tasapainotilassa puuston hiilivarasto pysyy vakiona ja hiilinielu on nolla (Seppälä ym. 2015, 30; Shorokhova 2015, 302; Soimakallio 2017). Hiilen viipymäaika ilmaisee ajan, jonka hiilimolekyylillä on sitoutuneena varastossa. Viipymäaika vaihtelee kasvien elinajan mukaan joistakin kuukausista (mm. hienajuuret, lehdet) kymmeneen tai satoihin vuosiin (mm. rungot, paksut juuret). (Launiainen ym. 2015, 306.)

Vuosittainen hiilitase on positiivinen hiilensidonnän ylittäessä hiilipäästöt ja päinvastoin. Metsien hiilitaseessa tapahtuu koko ajan muutoksia, kun puusto

kasvaa ja kuolee. Vastaavasti nettohiilitaseessa tapahtuu muutoksia, jos metsäpinta-ala tai metsärakenne muuttuvat, esimerkiksi hakkuiden tai metsäpinta-alan toiseen maankäyttöluokkaan muuttumisen takia. (Shorokhova 2015, 302.) Hiilitaseeseen vaikuttavat metsien luontaiset tekijät, kuten kasvupaikkatyypit, luonnon häiriöt sekä metsien käsittely. Metsätalousmailla metsien käsittelyllä on suurempi vaikutus hiilitaseeseen kuin luontaisilla tekijöillä. Luonnonhäiriöiden (maastopalo, myrskytuhot, hyönteistuhot jne.) vaikutus metsien hiilensidontaan riippuu niiden luonteesta, vaikutusalasta eli pinta-alasta, toistuvuudesta sekä voimakkuudesta. (Shorokhova 2015, 302.)

Päästölaskennassa yleisesti käytetty yksikkö hiilidioksidille on hiilidioksidiekvivalenttitonni (t CO₂-ekv.). Hiilen (C) määrä muutetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi käyttämällä kerrointa 3,67, joka tulee hiilidioksidin ja hiilen atomien painon suhteesta (44/12). (MTK 2021, 8.) Hallitusten välisten ilmastopaneelin (IPCC:n) päätöksen mukaan hiilidioksidiekvivalenttitonnit ilmoitetaan negatiivisena, jos hiilensidonta ylittää päästöt ja päinvastoin (Wall 2023b).

3.2 Puuston hiilensidonta ja -varastot

Metsien toimiminen hiilinieluinä ja -varastoinä perustuu puuston kykyyn sitoa ja varastoida hiiltä biomassansa (Seppälä ym. 2015, 21). Puuston biomassasta muodostuvan hiilivaraston kokonaismäärään vaikuttavat puuston ympäristö, kasvupaikka sekä mahdolliset metsänhoidolliset menetelmät. Puuston biomassan hiilivaraston määrä on verrannollinen rungon tilavuuteen. Puunrungon kasvaessa puun energiantarve kasvaa, joka edellyttää muun muassa oksien, neulasten ja juurten biomassan kasvua. (Launiainen ym. 2015, 307.) Suomen elävän puuston biomassa on keskimäärin 1744 miljardia kiloa. Keskimääräinen kasvun biomassa on 76 miljoonaa kiloa hehtaarille hyvätuottoisissa metsissä. Keskimäärin 57 prosenttia puuston biomassasta tulee rungosta. (Korhonen ym. 2021, 20.) Boreaalisisä metsissä maanpäällinen hiilen määrä on reilu 50 hiilitonnia hehtaarilla (Finnish Forest Association 2022), joka tarkoittaa noin 184 tonnia CO₂-ekv. hehtaarilla. Vuosittainen puuston hiilinielu on suurimmillaan puuston ollessa nuori ja elinvoimainen sekä hyödyntäessään kasvutilansa hyvin

ja kasvaessaan nopeasti, jolloin biomassan tuotanto on parhaimmillaan (Pingoud, Ekholm, Soimakallio & Helin 2016, 101).

Vanhojen metsien puuston hiilinielu heikkenee pitkän ajan kuluessa, jolloin metsä menee tasapainotilaan (Seppälä ym. 2015, 30). Hakkuukypsyuden ohittaneet vanhat metsät pystyvät toimimaan hiilinieluinä vielä satoja vuosia, eli ne pystyvät kasvattamaan hiilivarastoja vielä pitkään vaikkakin heikommin kuin nuoret metsät. Vanhoissa metsissä on usein runsaasti kuolleita maa- ja pystypuita, minkä seurauksena näissä on suurimmat hiilivarastot. Talousmetsissä kuitenkin näitä kuolleita puita on vähän. Vastaavasti talousmetsien maaperän hiilivarastot ovat suuremmat kuin vanhoissa metsissä. (Shorokhova 2015, 302.) Hiilen viipymäajan vaihdellessa kuukausista satoihin vuosiin riippuen kasvin elinajasta ja kasvin osasta (Launiainen ym. 2015, 306), vanhaan metsään voi olla kertyneenä puustoon ja maaperään hiiltä merkittävästi enemmän kuin nuoreen metsään (Scultze Körner, Law, Haberl & Luysaert 2012, 614).

Suomen metsätalousmaista soita on yhteensä 8,7 miljoonaa hehtaaria, joista noin 4,7 miljoonaa hehtaaria on ojitettu. Ojituksen seurauksena puuston kasvu nopeutuu ja puuston biomassa sitoo hiiltä ojittamattomia soita nopeammin. (Launiainen ym. 2015, 307.) Ojituksella on tarkoitus parantaa puuston kasvua pohjavedenpintaa alentamalla. Veden pinnan laskiessa happea pääsee syvemmälle turpeeseen ja parantaa puun kasvuolosuhteita. (Ojanen 2015, 51.) Ojitetuilla turvemaidella kasvavan puuston hiilidontakyky voi olla yhtä suuri tai suurempi kuin turpeen hajoamisesta johtuva hiilen hävikki. Pitkällä aikavälillä rehevillä kasvupaikoilla (ruoho- ja mustikkaturvekankaat) alle kymmenen senttimetrin paksuisilla turvemaidella puuston hiilivarasto nousee merkittävämpään osaan kuin maaperän hiilivarasto. (Ojanen & Minkkinen 2020.)

Metsittämällä saadaan kasvatettua biomassaa, johon hiiltä sitoutuu. Metsäkatoa estämällä pyritään estämään biomassaan sitoutuneen hiilen vapautumista takaisin ilmakehään sekä maaperän päästöjen hillitsemiseen. (Kärkkäinen ym. 2019, 45.) Puuston hiilivarasto vaihtelee suuresti vuosien mittaan muun muassa

puuston kasvusta riippuen. Päästöjä voidaan vähentää puuston määrää lisäämällä ja pitämällä metsät runsaspuustoisina. (Ojanen ym. 2014, 68.)

3.3 Maaperän hiilivarastot ja -päästöt

Suomen kangasmetsien maaperään on sitoutunut hiiltä noin 60 – 80 tonnia hehtaarilla (Lehtonen, Puolakka, Ihalainen, Heikkinen & Korhonen 2011, 19). Tämä tarkoittaa kokonaisuudessaan kangasmetsiin sitoutuneen hiilen määrän olevan noin 960 miljoonaa tonnia (Liski ym. 2006, 691), mikä tarkoittaa noin 3500 miljoonaa CO₂-ekv. tonnia. Kangasmaiden maaperä on yleensä hiilinielu (Lehtonen ym. 2011, 19), mikä oli vuonna 2019 -7,9 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. (Tilastokeskus 2021, 44).

Metsätalouden harjoittaminen vaikuttaa hiilitaseeseen eri tavoin, kuten metsän uudistamisen yhteydessä tehty maanmuokkaus ja turvemaiden ojitus aiheuttavat hiilivarastojen häviämistä ja lisää maaperän kasvihuonekaasupäästöjä (Shorokhova 2015, 302; Kärkkäinen ym. 2019, 33). Maan muokkaamiselta voidaan välttyä jatkuvalla kasvatuksella, jolloin metsä uudistuu luontaisesti koko ajan ja metsä pysyy jatkuvasti peitteisenä. Jatkuvassa kasvatuksessa hiilivarastot eivät välttämättä suurene merkittävästi, vaan metsä sitoo tasaisesti hiiltä. (Shorokhova 2015, 302.)

Merkittävä määrä Suomen talousmetsistä sijaitsee turvemaiden ojitettuna (Ojanen 2015, 49), joista ojitamattomia soita on 0,8 miljoonaa hehtaaria ja ojitettuja 4,7 miljoonaa hehtaaria (Luonnonvarakeskus 2023a). Ojitettujen soiden maaperän hiilipäästöt olivat 6,7 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. vuonna 2019 (Tilastokeskus 2021, 44). Turvemaat ovat merkittävä hiilen varasto sekä mahdollinen kasvihuonekaasujen nielu tai lähde (Ojanen 2015, 49). Hiilidioksidin vapautuessa ilmakehään poistuu turvekerroksesta myös siihen varastoitunutta hiiltä eli mitä suuremmat hiilidioksidipäästöt ovat, sitä nopeampaa turvekerros supistuu. (Kärkkäinen ym. 2019, 48.) Rehevät ruoho- ja mustikkaturvemaat ovat hiilidioksidilähteitä turpeen vähenemisestä johtuen. Karuilla puolukka- ja varputurvemaiden turve ei merkittävästi vähene. Ojituksen myötä puustobiomassan määrä

kasvaa merkittävästi, mikä tekee metsäojitetuista soista Suomessa kasvihuonekaasujen nettonielun. (Ojanen 2015, 49.)

Luonnontilaiseen turvemaahan turvetta kertyy kuolleiden kasvinosien epätäydellisessä hajoamisessa maaperän hapettomien olojen takia. Turpeen kuivamassasta noin 50 prosenttia on hiiltä. (Ojanen 2015, 50.) Turve pystyy pidättämään tehokkaasti vettä, minkä ansiosta turvekerroksissa muodostuu hapettomat olosuhteet ja turpeen hajoaminen hidastuu (Launiainen ym. 2015, 306).

Yhteyttäessään kasvit sitovat hiiltä ilmakehän hiilidioksidista. Kasvien kuoltua ja hajotessa epätäydellisesti hiili varastoituu turpeeseen ja siten suo toimii hiilinieluna. Samaan aikaan hapettomissa oloissa elävien mikrobien epätäydellinen orgaanisen aineen hajotus aiheuttaa metaanipäästöjä, jotka suo päästää ilmakehään. Näin ollen soiden metaanipäästöt vähenevät merkittävästi ojituksesta johtuvan vedenpinnan laskun seurauksena. Metaani on hiilidioksidia paljon tehokkaampi kasvihuonekaasu, sillä metaanin lämmittävä vaikutus on satakertainen verrattuna samaan määrään hiilidioksidia. Toisaalta metaani hajoaa ilmakehässä reilussa 10 vuodessa, kun taas hiilidioksidi ei hajoa, vaan sitä poistuu vähitellen maaperään ja vesistöihin. (Ojanen 2015, 49, 50, 51.)

Ojituksella on tarkoitus parantaa puuston kasvua pohjavedenpintaa alentamalla. Vedenpinnan laskiessa hapetta pääsee syvemmälle turpeeseen, mistä johtuen puun kasvuolosuhteet paranevat, mutta toisaalta pohjavedenpinnan laskeminen yhä alemmas kasvattaa hiilidioksidipäästöjä. (Ojanen 2015, 49, 51.) Vedenpinnan laskiessa keskimäärin yli 30 senttimetrin syvyydelle hiilipäästöt lisääntyvät ja vedenpinnan laskiessa yli 40 senttimetrin syvyyteen karutkin kasvupaikat muuttuvat nettohiililähteiksi (Ojanen & Minkkinen 2019, 7 – 8). Lisäksi vedenpinnan laskiessa hapellinen hajotusprosessi kiihtyy, mikä johtaa turvehävikkiin (Ojanen, Minkkinen & Regina 2020). Maaperän hajottajat käyttävät kariketta energian sekä hiilen lähteenään ja vapauttavat hiljalleen hiilidioksidia takaisin ilmakehään (Ojanen ym. 2014, 60). Sekä karujen että rehevien kasvupaikkojen turpeen hävikkiä pystytään hidastamaan pitämällä kuivumisvaikutusta mahdollisimman pienenä (Ojanen & Minkkinen 2020). Karut ojitetut turvemaat, joiden turpeenhävikki on pientä, ovat maaperän päästöiltä kivennäismaiden maaperän kaltaisesti hiilinieluja (Ojanen ym.2020).

Ojitetuilla soilla metsänkasvatuksen jatkaminen vaikuttaisi parhaimmalta ratkaisulta ilmastonmuutoksen kannalta tulevien vuosikymmenten aikana. Soita ennallistamalla pystyttäisiin estämään turpeen väheneminen turvemaidella, mutta toisaalta samaan aikaan puustobiomassan kasvu vähenee ja metaanipäästöt kasvavat. Ennallistamisen jälkeen suon palautuminen ilmaston kannalta parempaan tilaan kestäisi vuosikymmenistä satoihin vuosiin. Toisaalta hyvin pitkällä tähtäimellä ennallistaminen olisi ilmastoa ajatellen metsänkasvatusta parempi vaihtoehto, sillä jo muutama kymmenen senttimetrin paksuinen turvemaan häviäminen vaikuttaa niin merkittävästi hiilen vapautumiseen, ettei suurikaan puustobiomassa pysty kompensoimaan tätä päästön määrää. (Ojanen 2015, 49.)

Tutkimuksen mukaan ojitettujen soiden hiilen lyhyttä viipymisaikaa tarkasteltaessa suurin osa suotyypeistä on hiilen lähteitä. Vain karuimmat suotyypit puolukkaturvekangas II ja varputurvekangas olivat hiilivarastoja. Hiilen pitkää viipymisaikaa tarkastellessa kaikki suotyypit ovat hiilinieluja. On kuitenkin erittäin vaikeaa sanoa, onko jokin tietty ojitettu suotyyppi hiilen lähde vai nielu. (Ojanen ym. 2014, 66 – 67.) Vuosisatoja kestävässä aikahaarukassa ilmastokestävä ja hiilivaraston turvaava metsäojitus on rehevillä ruoho- ja mustikkaturvekankailla mahdollista hyvin ohutturpeisilla alueilla. Näillä turvemaidella puuston hiilivarasto on merkittävämmässä osassa kuin turpeen hiilivarasto. Karuilla puolukka- ja varputurvekankailla metsäojitus voi olla ilmastokestävää paksutturpeisilla turvemaidella. Paksutturpeisilla mailla edellytyksenä kuitenkin on vedenpinnan pysyminen riittävän korkealla. Ojituksen tulee pysyä maltillisena ja puuston haihdunnan aiheuttama kuivattava vaikutus ei saa kasvaa liian suureksi. (Ojanen & Minkkinen 2020.)

Ojitusten vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin ja ilmastoon on laskettava niin, että ojitettujen soiden päästöistä vähennetään päästöt, jotka samoilla alueilla olisi soiden ollessa luonnontilaisina. Ei voida varmuudella todeta metsäojitusalueiden olevan hiilidioksidinieluja tai -lähteitä, mikä johtuu hankaluudesta mitata maahan tulevan hiilen määrää sekä maaperästä vapautuvan hiilidioksidin määrää. Myös soiden yhteen laskennassa tapahtuu hiilinielujen ja -lähteiden

toisiaan kumoamista. (Ojanen 2015, 53.) Puuston määrää lisäämällä voidaan vähentää päästöjä sekä on viittauksia siihen, että ilmaston lämpeneminen vähentäisi päästöjä. Päästöjä voidaan myös vähentää pitämällä metsät runsaspuustoisina. (Ojanen ym. 2014, 68.)

3.4 Kaivostoiminnan vaikutus turvemaiden hiilivarastoihin

Tässä opinnäytetyössä ei ole huomioitu kaivostoiminnan vaikutuksia turvemaiden hiilivarastoihin, sillä niistä ei ole tehty riittäviä mallinnuksia. Glina, Gajewski, Mendyk, Zawieja ja Kaczmarek (2019) tutkivat Keski-Puolassa ihmistoiminnan ja ilmastomuutoksen vaikutusta turvemaiden avokaivoksen vaikutuspiirissä oleviin suoalueiden orgaanisen hiilen määrään. Tutkimuksessa havaittiin orgaanisen aineksen kokonaispaksuuden pienenevän. Keskimäärin vuotuinen turpeen vajoamismäärä oli noin 1,5 senttimetriä vuodessa. Maaperän ja hydrologisten muutosten aiheuttamana osasta koealoja havaittiin jopa noin 30 senttimetriä orgaanisen aineen hupenema kymmenen vuoden aikana. (Glina ym. 2019, 2375.)

Pintamaiden vedenpidätyskapasiteettien keskiarvo vuonna 2005 oli 0,76, joka on tyypillinen arvo voimakkaasti muuttuneelle turpeelle, ja vuonna 2015 keskiarvo oli 0,83, joka kertoo heikentyneestä turpeesta. Pohjamaassa lukemien perusteella kumpikin olivat voimakkaasti muuttuneita turpeita. Pintamaakerrokset luokiteltiin keskisuuriksi ja voimakkaasti muuttuneiksi turvemaaksi. Maaperän orgaanisen hiilen määrä vaihteli suuresti koealojen ja vuosien välillä. Lähes koko tutkimusalueella maaperän orgaanisen hiilen pitoisuuksien keskiarvot kasvoivat vuodesta 2005 vuoteen 2015. Muutamalla koealueella maaperän hiilen määrä väheni. (Glina ym. 2019, 2375 – 2376.)

Tutkimuksen mukaan aika ja ihmistoiminta vaikuttavat avokaivoksen läheisyydessä oleviin turvemaihin. Maaperän orgaanisen hiilen määrä vähenee ja maaperä kärsii jatkuvista muutoksista, mitkä käyvät ilmi maaperän ominaisuuksista, kuten hiilen ja typen kokonaispitoisuuksista, massatiheydestä, ja vedenpidätyskapasiteetista. Nämä tulokset tukevat avolouhostoiminnasta johtuvan pitkäaikaisen vedenpoiston vaikuttavan turvemaiden maaperään. Lisäksi tutkimus

vahvistaa avokaivostoiminnan vaikuttavan haitallisesti alueen hydrologiaan. Avokaivostoiminnalla on siis merkittävä vaikutus alueen soihin. Orgaanisen maa-aineksen väheneminen todettiin johtuvan vedenpinnan laskusta ja orgaanisen aineksen asteittaisesta mineralisoitumisesta. (Glina ym. 2019, 2376 – 2377.)

3.5 Metsätietojärjestelmät, -ohjelmistot ja avoin metsävaratieto

Tietoa Suomen metsistä kerää ja jakaa Suomen metsäkeskus. Metsävaratieto sisältää muun muassa metsien kasvupaikka- ja puustotietoja sekä metsien käyttötietoja. Suurin osa avoimesta metsävaratiedosta on kaikille saatavilla sähköisessä muodossa. (Metsäkeskus 2023a.)

ForestKIT on metsätietojärjestelmä, joka on tarkoitettu metsävarojen hallintaan ja metsäsuunnitteluun. ForestKIT-järjestelmässä on muun muassa erilaisia kartta- ja paikkatietotoimintoja, metsävaratiedon keräys-, käsittely- ja muokkausmahdollisuus sekä kattavia metsätalouslaskelmia, kuten tila-arvioita ja metsäsuunnitelmia. (Tapio Oy 2023.) ForestKIT-järjestelmään voidaan tuoda metsävaratietoa XML-muodossa tai avointa metsävaratietoa kiinteistötunnuksen perusteella. Tuonnin yhteydessä järjestelmä muodostaa automaattisesti kiinteistöt sekä puustotiedot päivitetään ajan tasalle nykyhetkeen. Kiinteistöillä puustotiedot näkyvät kuviokohtaisina, joita pystyy hallitsemaan ja muokkaamaan niin toimistossa kuin maastossakin. Maastossa voi päivittää esimerkiksi metsäkuvioiden perustietoja, puustotietoja ja toimenpide-ehdotuksia. Metsien kasvumallinnukset perustuvat Motti-kasvumalleihin. Uusimmat Motti-mallit kuvaavat paremmin valtakunnan metsien inventoinneissa mitattuja lukuja ja ne huomioivat sekapuuston. (Digitapio Oy 2023.)

Monsu-ohjelmisto on metsän monikäytön suunnitteluun tarkoitettu ohjelmisto, joka on tehty opetus- ja metsäsuunnittelukäyttöön. Monsu laskee tavallisten puustotunnusten lisäksi muun muassa monimuotoisuutta ja hiilitasetta kuvaavia tunnuksia. Monsu tulkitsee tiedostoista suuren määrän laskentaan vaikuttavia parametrejä, joita ovat esimerkiksi puulajien nimet, kasvupaikkojen ja kehitysvaiheiden nimet. Laskelmat perustuvat kuvioittaiseen arviointiin. Monsu huomioi

hiilitasetta laskiessa kaikki kuvion puuston. Lisäksi se ennustaa metsikössä oleva lahopuun määrän, jonka lahoamista se simuloi hiilitaseen laskemiseksi. (Pukkala 2021.)

Luonnonvarakeskuksen tuottama Motti-ohjelmisto on tieteelliseen tutkimukseen perustuva ohjelmisto, jolla voidaan havainnollistaa erilaisia metsän kasvatusvaihtoehtoja ja niiden seurauksia (Luonnonvarakeskus 2023b). Puuston kehitysmallien tuottamiseen Motti käyttää kasvu- ja tuotosmalleja, jotka perustuvat pitkälliseen tutkimustyöhön ja suuriin aineistoihin. (Siipilehto, Valkonen, Ojan-suu, Hynynen, Miina & Saksa 2014, 5.) Lisäksi Mottia voidaan hyödyntää muun muassa tutkimuksien analyyseissä ja uusien mallien kehittämisessä (Luonnonvarakeskus 2023b). Motti-ohjelmistosta on luotu monia versioita, kuten Suoje-luMOTTI (2011), jonka avulla voidaan laskea metsän suojelun puuntuotannolli-set ja taloudelliset vaikutukset, sekä OpeMOTTI (2013), joka on luotu metsä-alan oppilaitoksia varten (Siipilehto ym. 2014, 5).

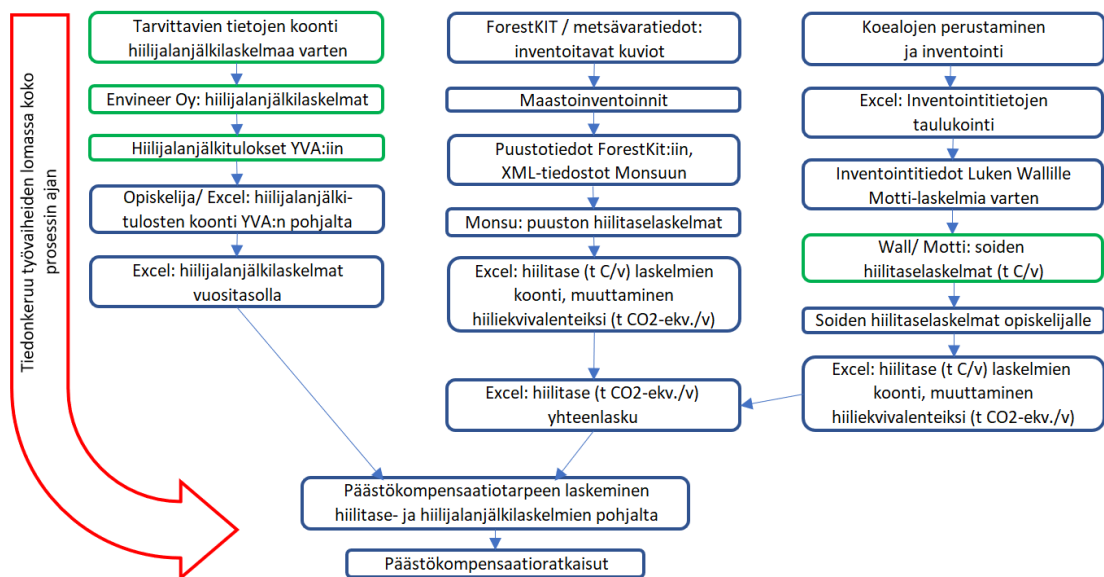
Puuston syntymistä ja kehitystä mallinnetaan puuston keski- ja summatunnus-ten avulla, joita ovat esimerkiksi puuston runkoluku, keskipituudet ja pohjanpin-ta-ala. Laskettavalle metsikölle määritetään sijainti (kunta), kasvupaikkatyyp-ppi, pääpuulaji, synty tapa ja puuston ikä, joiden avulla saadaan puustotunnusten odotusarvot. (Siipilehto ym. 2014, 6.)

4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

4.1 Tutkimuksen työvaiheet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää kaivoksen omistamien kiinteistöjen metsien puuston ja kaivospiirin sisällä metsitettyjen suoalueiden hiilensidonnann määrä ja kompensatiovaikutus suhteessa kaivoksen hiilijalanjälkeen. Lisäksi lopuksi lasketaan kaivoksen hiilidioksidikompensaatiotarpeen määrä ja esitetään niiden hyvittämiseksi kompensatoratkaisuja.

Kuviossa 3 havainnollistetaan opinnäytetyön prosessia ja työvaiheita. Opinnäytetyössä on monta työvaihetta ja niin sanottuja osa-alueita, joita ovat hiilijalanjälkilaskennat, puuston hiilensidontalaskennat ja metsitettyjen suoalueiden hiilitaselaskennat. Näistä hiilijalanjäljen laskentaprosessin ovat tehneet kaivoksen asiantuntijat ja ympäristöalan asiantuntijapalveluita tarjoava Envineer Oy vuonna 2021. Tutkimusaineistoa ovat tuottaneet myös ympäristöalan asiantuntijat sekä Luonnonvarakeskuksen tutkija. Nämä muiden tahojen tekemät työvaiheet näkyvät kaaviossa vihreissä laatikoissa. Sinisissä laatikoissa on opinnäytetyöntekijän tekemät työvaiheet. Tiedonhakua (punainen nuoli) tehtiin koko opinnäytetyöprosessin ajan.



Kuvio 3. Opinnäytetyön etenemisestä vaiheittain

Opinnäytetyö rajattiin niin, että Kittilän kultakaivoksen omistamien kiinteistöjen metsien hiilinieluaskelmat tehtiin vain puustolle. Maaperän hiilinielut ja -päästöt rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle niiden monimutkaisen ja haastavan laskentatavan takia. Lisäksi hiilitaselaskennoissa on jätetty huomioimatta kaivoksen vaikutukset maaperän hiilivarastomuutoksiin, sillä laskentamallit eivät huomioi niitä. Istutettujen suoalueiden hiilitaselaskelmissa huomioitiin sekä puuston että maaperän hiilensidonta ja -päästöt.

4.2 Tutkimuskohteet ja aineiston kerääminen

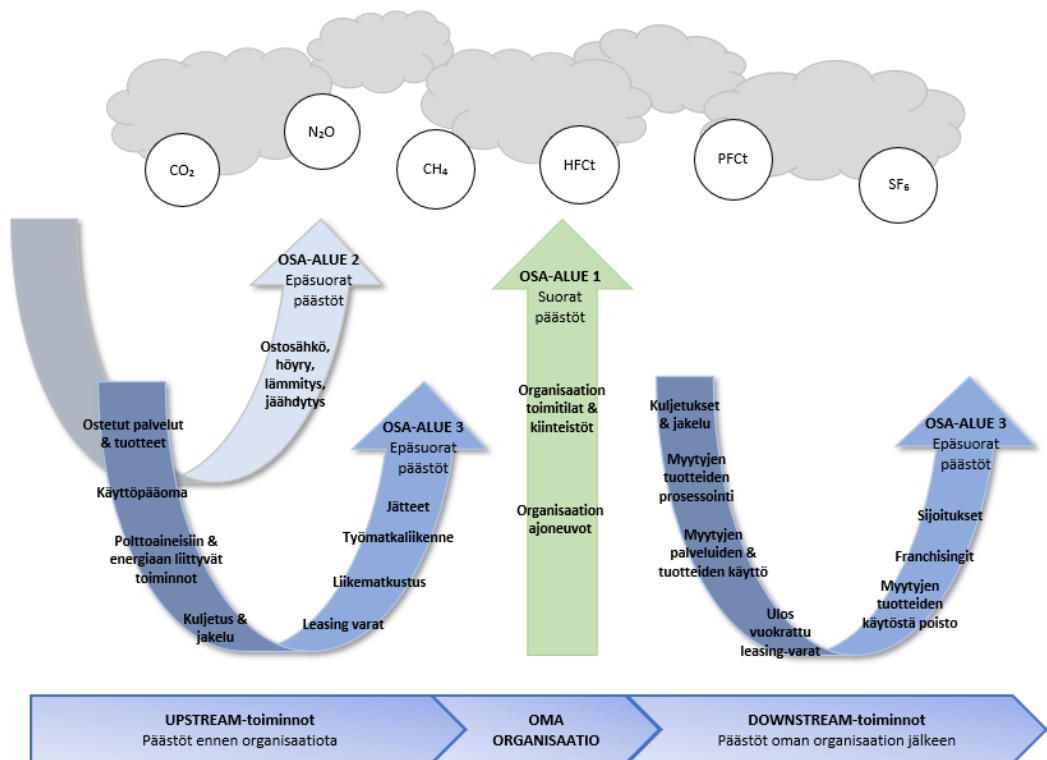
Seuraavaksi esitellään opinnäytetyön tutkimuskohteet ja aineiston keruumenetelmät. Ensimmäisenä esittelyssä on Envineer Oy:n tekemät hiilijalanjälkilaskelmat, joiden pohjalta opiskelija laski vuosittaisen kokonaishiilijalanjäljen. Lisäksi perehdytään Greenhouse Gas (GHG) -protokollaan. Sen jälkeen esitellään kaivoksen omistamien metsien puustotietojen sekä istutettujen suoalueiden puustotietojen keruumenetelmät.

4.2.1 Kittilän kaivoksen hiilijalanjälkilaskenta

Ympäristöalan asiantuntijapalveluita tarjoava Envineer Oy on tehnyt Kittilän kultakaivoksen hiilijalanjälkilaskelmat vuonna 2021 osana kaivoksen YVA-menettelyä. Hiilijalanjäljen laskennalla voidaan arvioida Kittilän kaivoksen hankkeen kolmen eri vaihtoehdon ilmastovaikutuksia ja niiden vaikutusta. Kussakin vaihtoehdossa tarkasteltiin rakentamisen, toiminnan ja sulkemisen hiilijalanjäljet. (Envineer Oy 2021, 1.) Liitteessä 3 esitetään Envineer Oy:n tekemät laskennalliset toiminnan hankekohtaiset hiilijalanjälkitulokset yhtä keskimääräistä toimintavuotta kohden sekä rakentamisen ja sulkemisen hiilijalanjälkitulokset.

Kittilän kaivoksen toiminnan hiilijalanjälkilaskennassa noudatettiin GHG-protokollaa, joka on World Resource Institute- ja World Business Council for Sustainable Development-järjestöjen standardi (Envineer Oy 2021, 1). GHG-protokollassa päästöt jaetaan kolmeen kategoriaan (osa-alueet 1 – 3) (kuvio 4). Organisaation suorat päästöt, jotka ovat aiheutuneet omista kiinteistöistä, energiantuotannosta ja organisaation ajoneuvoista, kuuluvat GHG-protokollan osa-

alueeseen 1. Osa-alueeseen 2 kuuluvat ostoenergian tuotannosta johtuvat päästöt. Usein toimitiloissa käytetty energia, kuten sähkö, lämmitys ja jäähdytys, kuuluvat tähän osa-alueeseen. Ostetut uusiutuvasta energianlähteistä tuotettu sähkö ja lämmitys eivät tuota laskennallisia päästöjä. Osa-alueeseen 3 kuuluvat organisaation arvoketjun muut epäsuorat päästöt, jotka jaetaan kahden kategoriaan: upstream- ja downstream-toimintoihin. Upstream-toiminnot tarkoittavat päästölähteitä ennen organisaatiota eli tuotteiden ja palveluiden valmistuksessa ja prosesseissa syntyneitä päästölähteitä. Näitä ovat esimerkiksi jätteet, liikematkustus ja työmatkaliikenne sekä ostetut tuotteet ja palvelut. Downstream-toiminnot tarkoittavat päästölähteitä organisaation jälkeen eli organisaation yrityksen valmistamista tuotteista ja palveluista sekä niiden prosesseista syntyneitä päästölähteitä. Näitä ovat esimerkiksi omien tuotteiden ja palveluiden kuljetukset ja jakelu, myytyjen tuotteiden prosessointi, myytyjen tuotteiden tai palveluiden käyttö, tuotteiden käytöstä poisto ja sijoitukset. (Kuiri 2022.)



Kuvio 4. GHG-protokolla (Bhatia, Cummis, Brown, Rich, Draucker & Lahd 2011, 5)

GHG-protokollan 1 – 3 osa-aluetta koskevat tiedot on kerätty kyselylomakkeen avulla (Saukkoriipi ym. 2020, 3030). Kaivoksen toiminnan hiilijalanjälki on ilmoitettu keskimääräistä toimintavuotta kohden hiilioksidiekvivalenttitonneina (t. CO₂-ekv) (Envineer Oy 2021, 2), joka laskennallisesti vastaa yhden hiilidioksiditonnin ilmasto- lämmittävää vaikutusta (Luonnonvarakeskus 2023c).

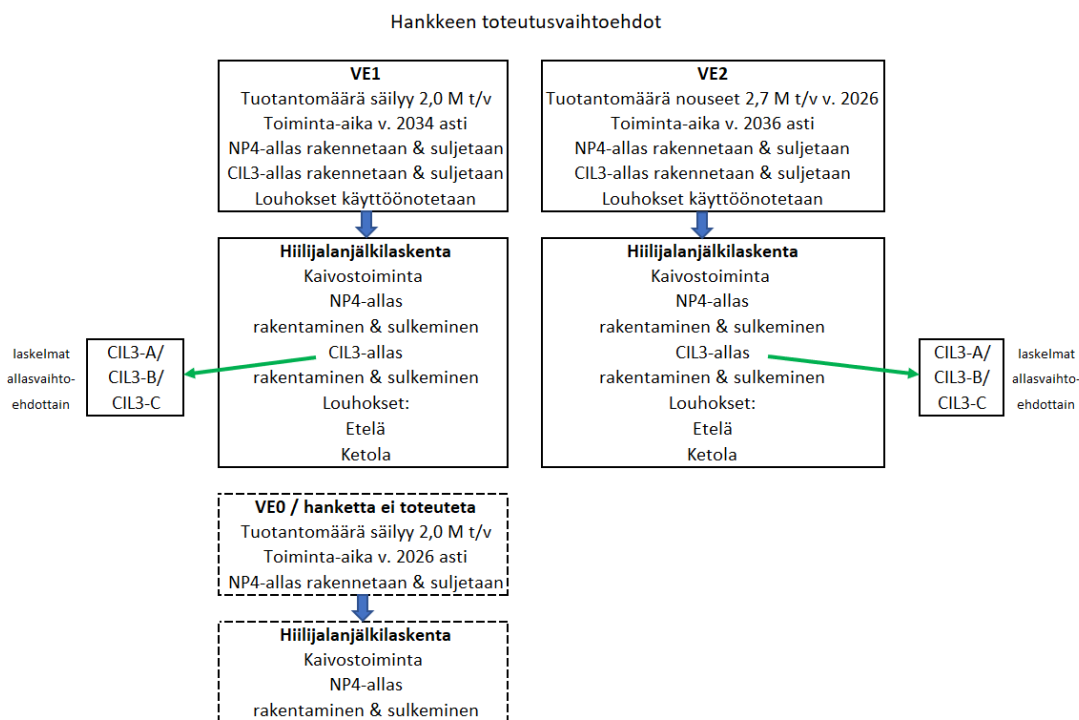
Toiminnan hiilijalanjälkilaskennassa käytetty tieto on laadukasta kaivoksen tarkasta toiminnan seurannasta johtuen. Rakentamisen ja sulkemisen osalta ei tiedon laatua pystytä arvioimaan niiden skenaarioperustan takia. Hiilijalanjälkilaskennassa on käytetty Ecoinvent 3.6 - ja LIPASTO -tietokantoja sekä Tilastokeskuksen tilastotietoja energiapäästöistä sekä ympäristöselosteista saatuja tietoja raaka-aineiden ja materiaalien kasvihuonekaasupäästöistä. (Envineer Oy 2021, 3.)

Vuonna 2021 päästölaskentaa ei ole voitu suorittaa tarkasti GHG-protokollan mukaisesti tietojen epävarmuuksista ja tiedonpuutteesta johtuen. Näin ollen rakentamista ja sulkemista koskevat laskelmat eivät suoraan noudata GHG-protokollaa, vaan nämä asiantuntijoiden luomat skenaariot perustuvat laskennan ajankohtana saatavilla oleviin tietoihin, jotka ovat kuitenkin keskenään verrannollisia. Toimintaa koskeviin lähtötietoihin kuuluvat kaivoksen koko toiminnassa kuluvat raaka-aineet, energia- ja vesimäärät sekä jätteiden määrä ja niiden käsittely. Rakentamisen ja sulkemisen lähtötietoihin kuuluvat käytetyt maa- ja kiviainekset, poistettu pintamaa, hakkuiden laatu ja määrä sekä työkoneiden polttoaineiden laatu ja määrä. Jokaisessa tiedossa huomioitiin valmistaja, laatu, kuljetustapa, -reitti ja -matka. (Envineer Oy 2021, 1, 2, 3.)

Hiilijalanjälkilaskennassa huomioitiin toiminnan osalta osa-alueet 1 ja 2 kokonaisuudessaan. Osa-alueen 3 kohdalla huomioitiin vain upstream-toiminnot, joiden osalta leasing-varat, työmatkaliikenne ja liikematkustus rajattiin laskentojen ulkopuolelle. Toiminnassa syntyvien jätteiden (ei kaivannaisjätteet) osalta otettiin huomioon jätteet, joiden osuus on yli prosentin vuoden aikana syntyvästä jättemäärästä. Laskennan ulkopuolelle on rajattu kemikaaleja, joiden massa on rajauskriteerin mukaan alle prosentin toiminnassa käytettyjen kemikaalien massasta. Altaiden osalta laskennoissa päästöissä on huomioitu altaiden raken-

taminen sekä sulkeminen. Ketolan ja Etelän louhosten sekä Pokantien siirrossa huomioitiin vain rakentaminen, sillä sulkemisen vaikutus on arvioitu pieneksi, minkä takia sulkemisen päästöt on rajattu ulkopuolelle. Muut toiminnot rakentamisen ja sulkemisen osalta on huomioitu osana jokaista hankevaihtoehtoa, minkä takia myös nämä on rajattu laskentojen ulkopuolelle. Kuljetuksien osalta raaka-aineiden valmistusmaiden tietojen puuttuessa on tehty joitakin oletuksia. (Envineer Oy 2021, 3.)

Hiilijalanjälkilaskelmat on tehty kaivoksen hankkeelle, jossa arvioidaan hankkeen kolmen eri toteutusvaihtoehdon hiilijalanjäljet (Envineer Oy 2021, 1). Hankevaihtoehdoissa tarkastellaan kaivoksen tuotannon noston, Etelän ja Ketolan louhosten toiminnan, kiven ja maa-aineksen ottotoiminnan sekä uuden CIL3-altaan sijoitusvaihtoehtojen hiilijalanjälkeä elinkaaren aikana. Laskelmissa on tarkasteltu hankkeen toteutusvaihtoehtoja VE1 ja VE2, joissa on kolme alavaihtoehtoa CIL3-altaalle. Vaihtoehdossa VE0 ei hanketta toteuteta (Saukkoriipi ym. 2020, 23, 55), mutta sille lasketaan myös hiilijalanjälki. Seuraavassa kuviossa 5 esitetään nämä vaihtoehdot.



Kuvio 5. Kaksi erilaista hankkeen toteutusvaihtoehtoa (VE1, VE2)

4.2.2 Kaivoksen metsät ja metsitetyt suoalueet

Puuston hiilensidontalaskelmia varten tarvittiin puustotiedot, joiden pohjalta laskelmat toteutettiin. Kittilän kultakaivos omistaa yhteensä viisi metsäkiinteistöä, joiden puuston hiilensidonta laskettiin. Metsävaratiedot ladattiin ForestKIT-ohjelmistoon, jossa voidaan tarkastella ja hyödyntää muun muassa metsäkiinteistöjä, kuvio- ja puustotietoja. Kaivoksen kiinteistöjen yhteenlaskettu pinta-ala on 632,5 hehtaaria, joista metsikkökuvioiden yhteenlaskettu pinta-ala on noin 255 hehtaaria (taulukko 1). Karttakuva metsäkuvioista löytyy liitteestä 1. Kaivoksen metsien kokonaispinta-alan ollessa niin suuri ei ollut järkevää tehdä maastomittauksia koko alueelle, vaan vain osalle metsäkuvioista. Tämä tarkoittaa sitä, että lopun kuvioiden osalta tuli hyödyntää olemassa olevaa laserkeilaamalla saatuja metsävaratietoa. Maastotarkastukset keskityttiin tekemään kuvioilla, joissa tiedon varmuus ja laatu on heikompaa. Metsävaratiedon epävarmuutta ja tiedonlaadullista eroavaisuutta on havaittu etenkin taimikoissa ja nuorissa kasvatusmetsissä (Niemi, Mäkinen, Viitala & Lumperoinen 2020, 12). Taimikkokuviota on kiinteistöillä vähän, ja näin ollen maastotarkastuskohteiksi valikoitui nuoret kasvatusmetsikkökuviot. Kuviot määriteltiin ForestKIT-ohjelmiston kuviotietojen perusteella ja paikannettiin kuviokartan avulla.

Taulukko 1. Kiinteistöjen pinta-alat (ForestKIT 2023)

KIINTEISTÖJEN PINTA-ALAT										
KIINTEISTÖN NIMI JA TUNNUS, METSÄSERTIFIKOINTI	PINTA-ALA (HA)	METSÄMAA	KITUMAA	JOUTOMAA	MUU METSÄTALOUSMAA	TONTTI	MAATALOUSMAA	MUU MAA	VESISTÖ	YHT. (HA)
261-406-46-13 261-406-46-13	46.9	20.7								20.7
261-406-68-9 261-406-68-9	467.2	74.6	18.2	25.5		0.5				118.8
261-406-50-2 261-406-50-2	112.7	33.8	38.9	37.9						110.5
261-406-9-1 261-406-9-1	3.7	0.8	3.0							3.7
261-406-46-7 261-406-46-7	2.0	1.1								1.1
Yht.		131.0	60.0	63.4	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	254.9

Kaivoksen ympäristöosaston työntekijä oli suorittanut metsitettävien suoalueiden suunnittelu- ja valmistelutoimet etukäteen. Metsitettäväksi suoalueiksi valikoitui kaivospiirin länsilaidalla olevia suopohjia, joissa oli havaittavissa puuston luontaisen uudistamisen merkkejä. Istutettavaksi puulajiksi valikoitui kuusi. Ke-

väällä 2022 tehdyn suunnitelman mukaan kaivospiirin alueelle istutetaan 40 000 kuusen tainta ja 10 000 rauduskoivun tainta. Rovaniemen taimitarhalta (Fin Forrelia Oy) kerrottiin eläinten tuhonneen koivun taimet, joten näitä ei ollut saatavilla.

Istutusalueita oli suunnitteilla suoalueilla kaivospiirin länsipuolella yhteensä noin 20 hehtaaria. Toukokuun lopulla ja kesäkuun alussa 2022 istutusalueet ojitustätätettiin. Soiden liiallisesta märkydestä johtuen kaikille suunnitelluille istutusalueille ei päästy työkoneella työskentelemään, minkä takia uusiksi istutusalueiksi valikoitui kaivospiirin sisällä olevia rakennettuja maita eli maaperää, jota on muokattu infrastruktuurin rakentamisen vuoksi. Rakennetusta maasta johtuen nämä alueet jäivät tämän tutkimuksen ulkopuolelle, vaikka ovatkin tärkeä osa muun muassa kaivosalueen maisemointia ja monimuotoisuuden parantamista. Lopullinen istutuspinta-ala oli yhteensä noin viisi hehtaaria. Karttakuva istutetuista alueista löytyy liitteestä 2.

4.3 Metsien maastomittaukset ja suoalueiden koealojen mittaukset

Suoalueiden ja metsäkiinteistöjen maastoinventoinnit on suoritettu syksyllä 2022 työskennellessäni Kittilän kaivoksella. Metsäkiinteistöjen osalta metsävaratietojen pohjalta valituille nuorille kasvatusmetsäkuvioille suoritettiin maastomittaukset. Maastotarkastettavien kuvioiden yhteenlaskettu pinta-ala on 30,5 hehtaaria. Metsäkuvioilta kerättiin tietoja mittausmenetelmin sekä silmämääräisellä arvioinnilla. Kasvupaikka määritettiin silmämääräisesti arvioimalla ja kangas- ja turvemaat erotettiin toisistaan. Puuston tilavuudet ja puulajijakaumat on mitattu kuviokohtaisesti relaskoopikoealoilta, jotka on sijoitettu subjektiivisen arvion pohjalta. Koealoilta määritettiin puuston summa- ja keskitunnukset, pohjanpinta-ala (PPA), keskiläpimitta ($d_{1,3}$), keskipituus (h) ja ikä. Taimikon mittaukseen ei relaskooppia käytetty, vaan ne mitattiin ympyräkoealan avulla, jossa käytettiin 3,98 metrin pituista vapaa. Ympyräkoealan alueelta lasketaan jokaisen puulajin runkoluvut ja saatu lukumäärä kerrottiin 200:lla, jolloin saatiin runkoluku hehtaaria kohden. Koealoja otettiin yleensä 3 - 5 koealaa kuviolle, isoimmille kuvioille vielä enemmän ja erittäin pienille kuvioille kaksi. Turvemailla

mitattiin turpeen paksuus halkaisijaltaan kymmenen millimetrin ja pituudeltaan noin 150 senttimetrillä rassilla.

Metsitetyille suoalueille perustettiin koealoja ositusalueille (kuvio 7), joista laskettiin istutettujen taimien määrä. Ositusalue määriteltiin suon kasvupaikkatyyppin mukaan, joka on yhdellä alueella yhtenäinen. Yhdelle ositteelle perustettiin vähintään kolme koealaa yhteen linjaan 30 metrin välein (Wall 2022). Jos koealan keskipiste olisi tullut keskelle ojaa, siirrettiin keskipistettä seuraavaan mahdolliseen kohtaan turvemaalle. Näitä siirrettyjä koealapisteitä tuli kaksi kappaletta koko tutkimusalueella. Kasvukauden päätyttyä elokuussa 2022 istutusalueet maastoinventointiin mittaamalla taimien pituus ja pituuskasvu. Kasvupaikkatyyppi määriteltiin silmämääräisesti arvioiden ja turpeen paksuus halkaisijaltaan kymmenen millimetrin rassilla. Ympyräkoealan säde on 3,98 metriä, jolloin koealan koko on 50 neliometriä.



Kuvio 6. Koealojen perustaminen

Koealojen lukupuille annettiin järjestysluku, jotta jatkossa tehtävissä mittauksissa samat koepuut tulivat mitatuksi oikeassa järjestyksessä ja näin jokainen lukupuu yksilöitiin lukupuunumerolla (järjestysnumero). Lukupuiden järjestysnumeroa ei merkattu puihin, vaan lukupuiden mittaus aloitettiin aina pohjoisesta ilmansuunnasta, joka varmistettiin kompassin avulla jokaisella koealalla (kuvio 8). Näin varmistettiin, että oikeat lukupuut tulevat jatkossakin mitattua oikeassa lukujärjestyksessä.



Kuvio 7. Koealan mittaussuunnan määrittäminen kompassin avulla

4.4 Tutkimusaineiston analysointi

Tässä luvussa esitellään opinnäytetyössä käytetyn aineiston analysointimenetelmät ja vaiheet sekä käytetyt ohjelmistot. Esittelyssä ovat opiskelijan työvaiheiden kuvailun lisäksi muiden asiantuntijoiden aineiston käsittelyn työvaiheet.

4.4.1 Hiilijalanjälkilaskelmat

Envineer Oy:n tekemien Kittilän kaivoksen hiilijalanjälkilaskelmien pohjalta tehtiin Excel-laskelmat kaivoksen vuosittaisesta kokonaishiilijalanjäljestä kaivoksen arvioidun elinkaaren ja sulkemistoimien päättymiseen saakka. Envineer Oy:n tekemissä laskelmissa kaivoksen toiminnan hiilijalanjälki on laskettu vuositasolla, mutta altaiden ja louhosten rakentamisen ja sulkemisen hiilijalanjäljet ovat kokonaishiilijalanjälkiä. Rakentamisen ja sulkemisen kestojen arviointiin liittyen on saatu tarkentavia tietoja kaivoksen rakentamisinsinööritä Piekkarilta. Näiden tietojen avulla on laskettu rakentamisten ja sulkemisten keskimääräinen vuosittainen hiilijalanjälki.

Kittilän kultakaivos on päätynyt toteuttamaan hankevaihtoehtoa VE2. Envineer Oy:n tekemien hiilijalanjälkilaskentojen pohjalta opiskelija teki vaihtoehdolle VE2 vuositason hiilijalanjälkilaskelmat, jossa huomioitiin sekä toiminnan että rakentamisen ja sulkemisen hiilijalanjäljet vuositasolla. NP4- ja CIL3-altaiden rakentamisen ja sulkemisen hiilijalanjäljet on määritetty yhtä rakentamiseen ja sulkemiseen kulunutta vuotta kohden. Kolmesta CIL3-allasvaihtoehdosta on päädytty toteuttamaan allasvaihtoehto CIL3-B (Piekkari 2023b).

NP4-allasta on aloitettu rakentamaan vuonna 2019, ja CIL3-altaan rakennustoimet on aloitettu vuonna 2023. Kummankin altaan rakennustoimien on arvioitu kestävän kaivoksen eliniän ajan eli vuoteen 2036, jonka jälkeen tehdään sulkemistoimenpiteet. Sulkemistoimien on arvioitu kestävän vuosien ajan, arviolta 5 – 10 vuotta. (Piekkari 2023c.) Tässä opinnäytetyössä altaiden sulkemistoimet on laskettu kestäväksi yhdeksän vuotta, vuoteen 2045 saakka. Näin ollen NP4-altaan rakentaminen ja sulkeminen tapahtuvat arviolta 27 vuoden aikana. NP4-altaan päästöt on jaettu 27 vuodella, jolloin saadaan keskimääräinen vuosittainen päästö. Vastaavasti CIL3-altaan rakentaminen ja sulkeminen tapahtuu arviolta 23 vuoden aikana ja sen päästöt on jaettu 23 vuodella. Etelän ja Ketolan louhosten rakentamista ja Pokantien siirtoa ei tämänhetkisen suunnitelman mukaan toteuteta, minkä takia niiden hiilijalanjäljet jäävät laskennan ulkopuolelle. (Piekkari 2023a.)

4.4.2 Metsien puustotiedot, Monsu- ja Motti-laskelmat

Avoimet metsävaratiedot saatiin Metsäkeskuksen tuottamista aineistoista ja käsiteltiin ForestKIT-ohjelmistolla, jossa voidaan tarkastella ja hyödyntää muun muassa metsäkiinteistöjä, kuvio- ja puustotietoja. Metsävaratietojen pohjalta valikoitiin maastomittauskohteet. Maastomittaukset tehtiin maastossa paperille älylaitteiden hitauden ja toimimattomuuden takia, jolloin mittaustiedot vietiin myöhemmin ForestKIT-ohjelmistoon, joka käsitteli tiedot kuviokohtaisesti niille kuvioille, jotka on tarkastusmitattu maastokäynneillä. Muiden kuvioiden puustotietoihin ei tehty muutoksia. ForestKIT-ohjelmistosta ladattiin XML-tiedostomuodossa olevat metsävaratiedot, joita hyödynnettiin Monsu-ohjelmistossa seuraavassa vaiheessa.

Puuston hiilitaselaskemia varten käytettiin Monsu-ohjelmistoa. Jokaiselle kiinteistölle luotiin uusi metsäalue, johon nimitettiin tietokannan numero, jolla metsäalueen löytää jatkossa, sekä työkansion sijainti. Lisäksi täytettiin muut tiedot: rekisteriä vastaavan alueen nimitykseen valitaan "Omistaja" ja alayksikön nimitykseksi "Tila". Omistajatietoja täytettiin vain nimen osalta. Seuraavaksi numeroitiin tila numeroiden 1 – 999 väliltä. Tässä opinnäytetyössä kiinteistönumeron kaksi tai kolme viimeistä numeroa valittiin tilan numeroksi. Lisäksi sijaintikunnaksi määritettiin Kittilä ja sijaintikyläksi Kiistala. Samalla tavalla meneteltiin jokaisen kiinteistön kanssa.

XML-tiedostoissa olevat metsävaratiedot ladattiin Monsuun antamalla XML-tiedoston sijainti, josta tiedosto ladattiin tietokoneelta ohjelmistoon. Tämän jälkeen metsikkötietoihin syötettiin puustotiedot kuvioittain (kuvio 9). Lämpösummaksi määritettiin 750. Tässä opinnäytetyössä ei metsiin kohdistettu mitään metsänkäsittelyjä, jolloin kuvioittaisia puustotietoja syöttäessä laitettiin rasti ei käsitellä-kohtaan. Laskennassa on käytetty Monsu-malleja (Pukkala ym.), joita on käytetty sekä kivennäis- että turvemaille.

Monsu

Omistaja	89	Lämpösusma	750	Kehitysvaihe	6
AEF		Maaluokka	1	Turve, cm	0
Tila	689	Alaryhmä	1	Korjuukelpoisuus	2
Kuvio	8	Ravinteisuus	3	Grafikan laatu	
Pinta-ala (ha)	1.79	Maalaji	1	<input checked="" type="radio"/> Heikko (nopea)	
Vuosi	2022	Ojitustilanne	1	<input type="radio"/> Keskinkertainen	
Kuukausi	10	Kivisyys	1	<input type="radio"/> Hyvä (hidas)	

	PuLa	PPA	RuLu	Pitu	Ikä	Dmin	D	Dmax	Alku	Laatu
Mänty	1	11.5	0	10.8	38.0	0.0	14.3	0.0	0	0
Mänty	1	0.00	500	3.5	17.0	0.0	3.2	0.0	0	0
Kuusi	2	0.20	0	6.0	28.0	0.0	7.8	0.0	0	0
Kuusi	2	0.00	100	2.5	20.0	0.0	2.7	0.0	0	0
Hieskoivu	4	0.30	0	7.5	21.0	0.0	6.8	0.0	0	0
Hieskoivu	4	0.00	1700	5.4	14.0	0.0	3.0	0.0	0	0

Tekstikoodit

Jatkuva kasvatus

Ei käsitellä

Kuvio 8. Metsikkötietojen syöttäminen Monsuun kuvioittain

Metsikkötietojen syöttämisen jälkeen tehtiin nykytilalaskenta, jonka jälkeen aloitettiin simulointi. Simuloinnissa käytettiin Luke ja Pukkala 2021-kasvumallia. Simulointia varten määriteltiin aloitusvuodeksi vuosi 2023, kausien määräksi yksi ja kauden pituudeksi 27 vuotta. Ilmastonmuutosta ei huomioitu laskelmissa. Simuloinnin jälkeen asetettiin tavoitteet, joihin valittiin heuristinen optimointi ja tavoitteeksi valittiin hiilitase ja ainespuukertymä. Tämän jälkeen siirryttiin suoraan optimointiin, jossa valittiin heuristiikaksi Hero. Optimoinnin jälkeen Monsu esitteli puuston hiilitaseen laskelmien tulokset suunnitelmatulosteina kiinteistöittäin, josta ne siirrettiin ja koottiin yhteen Excel-taulukoihin. Monsu-ohjelmisto tuotti hiilitasetulokset varastoituneen hiilitonnessa (t C) ja hiilidioksidiekvivalentttonnessa (t CO₂-ekv.).

Monsu tuottaa hiilitasetulokset niin, että tulos on positiivinen, jos puusto sitoo enemmän kuin päästää hiiltä. Hallitusten välisten ilmastopaneeli (IPCC) päätöksen mukaan hiilidioksidiekvivalenttitonnit ilmoitetaan negatiivisena, jos hiilensidonta ylittää päästöt ja päinvastoin (Wall 2023b). Tästä syystä Monsun tuottamat puuston hiilitasetulokset muutettiin tätä sopimusta vastaavaksi kertomalla kertoimella -1, jolloin tulokset saivat negatiiviset lukemat.

Metsitettyjen suoalueiden koealojen inventointien mittaustulokset kirjattiin maastossa ruutupaperille, josta tulokset siirrettiin Excel-taulukoihin ja koottiin yhteen. Excelissä taulukoihin koottiin tiedot koealoittain kuusien runkoluku sekä niiden pituus ja kasvukauden pituuskasvu. Lisäksi taulukoihin laitettiin ositteen pinta-ala, suotyyppi ja turpeen keskimääräinen paksuus. Excel-taulukot koealoista lähetettiin Luonnonvarakeskuksen tutkija Antti Wallille Motti-laskelmia varten.

Luonnonvarakeskuksen tutkija Antti Wall laski keväällä 2023 istutetuille soille puuston ja maaperän hiilivaraston muutokset. Maaperän hiilivarasto on laskettu perustuen kansallisen kasvihuonekaasujen inventaarion päästökertoimiin vuosina 1990 – 2021. Turvemaiden maaperän päästöt on laskettu päästökertoimilla, jotka on laskettu vähentämällä turpeen ja karikkeen hajoamisesta syntyvästä hiilestä maahan karikkeena syntyvällä uudella hiilellä. Maaperän hiilivaraston osalta positiivinen arvo tarkoittaa hiilen kertymää ja negatiivinen arvo hiilipäästöä. (Wall 2023b.)

Puuston biomassat on laskettu Repolan (2009) biomassayhtälöillä. Puuston biomassassa on rungon lisäksi laskettu neulaset, oksat, kanto ja juuristo. Lasketut biomassat on muutettu hiilen määräksi käyttämällä hiilen 50 prosentin osuutta biomassasta. Motilla simuloitiin puuston kasvun uudistamisvaiheesta vakiintumisvaiheeseen käyttäen kivennäismaan kasvumalleja, minkä jälkeen puuston kehitys simuloitiin turvekangastyyprien mukaan. Wall on käyttänyt laskennoissa lämpösummaa 798. (Wall 2023a.)

Motti-ohjelmisto laskee suoraan hiilensidonnann vuotta kohden (t C/v). Jotta sekä Motti- että Monsu-ohjelmistojen tekemät hiililaskelmat olisivat verrattavissa kaihoksen hiilijalanjälkituloksiin, tulee ne muuttaa hiilidioksidiksi (t CO₂-ekv.) Hiilen määrä muutettiin hiilidioksidiekvivalenteiksi käyttämällä kerrointa -3,67, joka tulee hiilidioksidin ja hiilen atomien painon suhteesta (44/12) (MTK 2021, 8). Kertoimen miinusmerkki saatiin aiemmin mainitsemasta sopimuskäytännöstä, jolloin arvo 3,67 kerrotaan arvolla -1.

4.4.3 Päästökompensaatoratkaisut

Kompensaatoratkaisuksi otettiin neljä kotimaista kompensatiohanketta toteutavaa toimijaa. Nämä hankkeet valikoituivat sen perusteella, oliko näiden verkkosivuilla antaa kustannuksien suuruudet nähtävillä. Suurimmalla osalla hankkeista kustannukset riippuivat kompensatiotarpeen suuruudesta ja olisi tullut tehdä tarjous. Tästä syystä nämä rajoutuivat ulkopuolelle. Lopulta yksi neljästä hankkeesta rajautui vielä ulkopuolelle, kun havaittiin sen toiminnan olevan loppunut tai tauolla, eivätkä yrityksen internetsivut ole enää käytössä. Näin ollen kolme hanketta päätyi kompensatiotarkaisuvaihtoehdoksi.

Ilmastoapu on suomalainen yritys, joka tarjoaa päästövähennyshankkeina esimerkiksi kotimaan hiilinieluja, sademetsien suojelua sekä lentomatkailun päästöhvytyspaketteja (Ilmastoapu Oy 2018). Taimiteko on Suomen 4H-yhdistyksen perustama päästövähennyshanke, jonka tavoitteena on taimien istuttamisella lisätä Suomen hiilinieluja (Suomen 4H-yhdistys 2023). Hiilipörssi tarjoaa päästövähennyshankkeena Suomen ojitettujen soiden ennallistamista, jolla pyritään estämään turvemaiden hiilivuodot (Hiilipörssi Oy 2023).

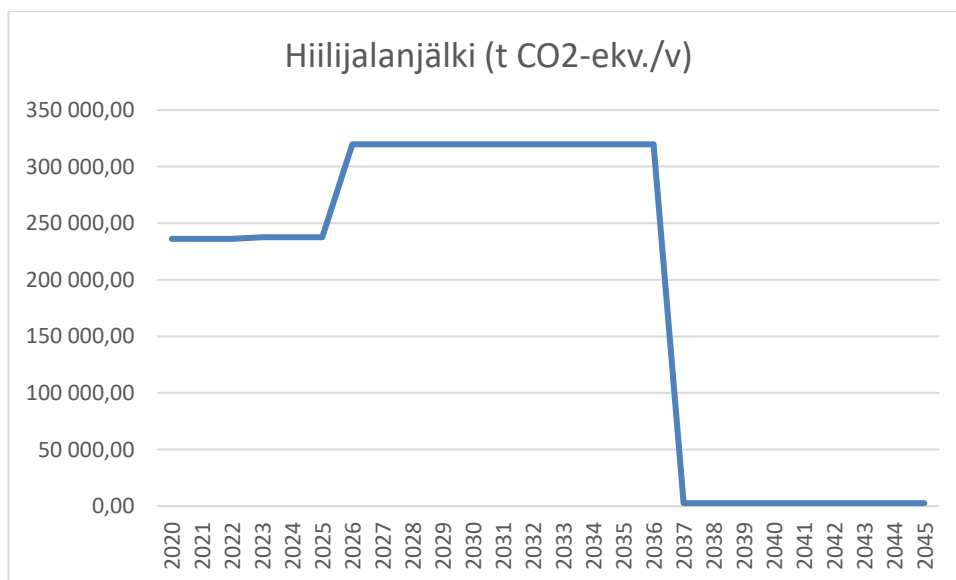
Kompensaatiohankkeiden verkkosivuilla olevan hinnaston mukaan laskettiin kustannus kaivoksen kompensatiotarpeen suuruiselle määrälle. Laskenta toteutettiin jokaisen kompensatiohankkeen kohdalla niin, että kaivoksen kompensatiotarpeen määrä jaettiin palvelun tarjoavan kompensatiomäärällä tietylle hinnalle, jonka tulos kerrottiin hinnalla. Esimerkiksi vuosittainen kompensatiotarve on 200 000 CO₂-ekv., palveluntarjoajan tuotteen kompensatiiovähennys on sata tuhatta CO₂-ekv. hintaan 700 euroa. Hinta kompensatiolle saadaan laskemalla $(200000/100) \times 700 = 1\,400\,000$ euroa vuodessa.

5 TULOKSET

5.1 Kaivoksen hankevaihtoehdon VE2 hiilijalanjälkilaskelman tulokset

Liitteestä 3 nähdään kaivoksen toiminnan sekä NP4- ja CIL3-altaiden rakentamisen ja sulkemisen hiilijalanjäljet vuositasolla. NP4-altaan rakentamisen ja sulkemisen aikaskaala on vuosille 2019 – 2045, jolloin hiilijalanjälki on 1 321,14 tonnia CO₂-ekv. vuodelle. CIL3-altaan hiilijalanjälki on jaettu vuosille 2023–2045, jolloin hiilijalanjälki on 1 260,83 tonnia CO₂-ekv. vuodelle. Altaiden kokonaishiilijalanjälki on jaettu vuosien määrällä. Taulukointi alkaa vuodesta 2020, josta lähtien Envineer Oy:n asiantuntijat ovat laskeneet toiminnan päästöt.

Kuviossa 9 on esitetty kaivoksen yhteenlaskettu hiilijalanjälki vuosille 2020 – 2045. Kaaviosta voidaan havaita, että vuonna 2026 päästöt nousevat noin 320 000 tonnin CO₂-ekv. vuositasolle, jossa ne pysyvät vuoden 2036 loppuun, jolloin kaivostoiminta on arvioitu loppuvan. Vuoden 2037 jälkeen laskennalliset päästöt laskevat reilusti noin 2 500 tonnin CO₂-ekv. vuositasolle, jotka jatkuvat vuoteen 2045.



Kuvio 9. Kaivoksen yhteenlaskettu vuosittainen hiilijalanjäljen kehitys vuosille 2020 – 2045

5.2 Puuston hiilitaselaskelmien tulokset

MONSU-ohjelmisto tuotti puuston hiilitasetulokset vuodesta 2023 vuoteen 2050, johon asti kansallisia ilmastoskenaarioita on tehty eli hiilitaselaskelmat ovat yhdelle 27-vuotiselle kaudelle. Hiilitaseet ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttitonneina (t CO₂-elv.). Monsu tuottaa hiilitasetulokset niin, että tulos on positiivinen puuston sitoessa enemmän, kuin päästää hiiltä. IPCC:n päätöksen mukaan hiilidioksidiekvivalenttitonnit ilmoitetaan negatiivisena, jos sidonta ylittää päästöt ja päinvastoin. Tästä syystä Monsun tuottamat hiilitasetulokset muutetaan tätä sopimusta vastaavaksi kertomalla kertoimella -1, jolloin tulokset saavat negatiiviset lukemat (taulukko 2).

Taulukko 2. Monsun tuottamat puuston hiilitasetulokset

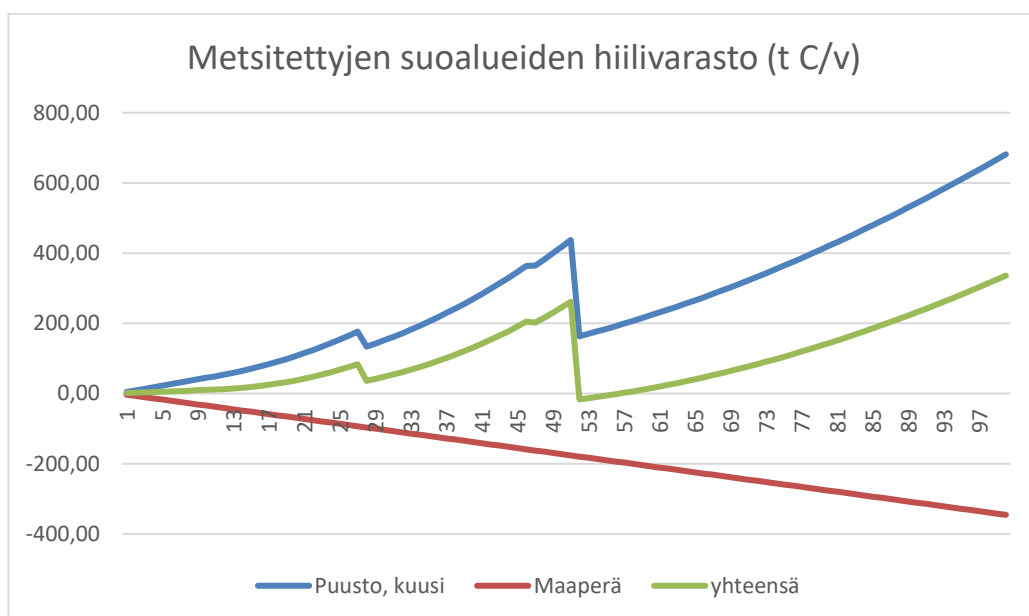
kiinteistö	t CO ₂ -ekv. / kausi	t CO ₂ -ekv. / vuosi	t CO ₂ -ekv. / ha / kausi	t CO ₂ -ekv. / ha / vuosi
1. 261-406-9-1	-57	-2,111	-15,4054	-0,57057
2. 261-406-46-7	-154	-5,704	-140	-5,18519
3. 261-406-50-2	-3 047	-112,852	-27,5747	-1,02128
4. 261-406-46-13	-2 173	-80,481	-104,976	-3,88799
5. 261-406-68-9	-7 212	-267,111	-60,7071	-2,24841
yht.	-12 643	-468,259	-49,5998	-1,83703

Monsun tuottamat hiilitasetulokset on laskettu koko kaudelle (v. 2023 – 2050) jokaisen kiinteistön metsien puustolle sekä niiden yhteenlaskettu määrä. Kaikkien kaivoksen metsien puuston hiilitase 27 vuoden aikana on reilu -12 600 tonnia CO₂-ekv. Kaikkien kiinteistöjen yhteenlaskettu yhden vuoden keskimääräinen hiilitase puustolle on noin -468 tonnia CO₂-ekv. vuodessa. Suurimmat hiilitaseet ovat pinta-aloiltaan suurimmilta kiinteistöiltä. Kiinteistöjen hehtaarikohtaiset hiilitaseet yhden kauden aikana vaihtelevat välillä -15 – -140 tonnia CO₂-ekv. hehtaarilla. Kaikkien kiinteistöjen keskimääräinen hiilitase kauden aikana on noin -50 tonnia CO₂-ekv. hehtaarilla. Kiinteistöjen hehtaarikohtaiset keskimääräiset hiilitaseet vuoden ajalle jakaantuvat välille -0,6 – -5,2 tonnia CO₂-ekv. hehtaarilla ja kaikkien kiinteistöjen keskimääräinen hiilitase on -1,8 tonnia CO₂-ekv. hehtaarilla. Pienimmän kiinteistön -46-7 hehtaarikohtainen hiilitase on korkein ja toiseksi pienimmän kiinteistön -9-1 matalin. Kitumaita ja/tai joutomaita esiintyvillä kiinteistöillä -9-1, -50-2 ja -68-9 keskimääräinen hiilitase hehtaarille

on selkeästi heikompi kuin kiinteistöillä -46-13 ja -46-7, joilla ei ole kitumaita tai joutomaita (taulukko 1).

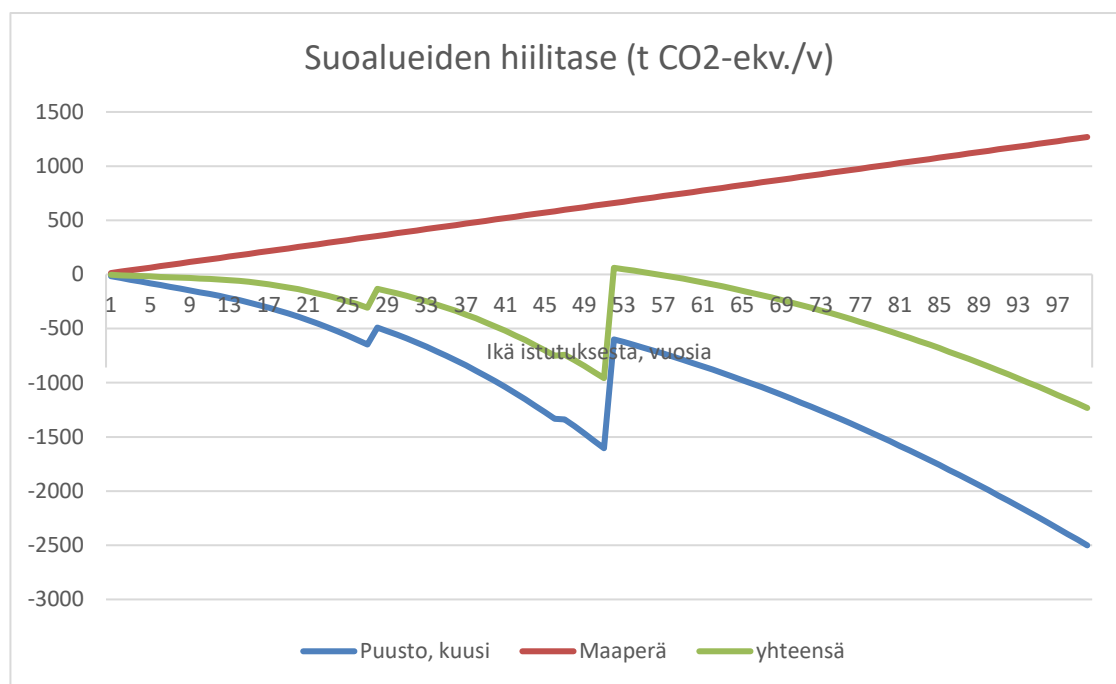
5.3 Suoalueiden hiilitaselaskelmien tulokset

Istutettujen soiden puuston ja maaperän hiilivaraston muutoksen laski Luonnonvarakeskuksen tutkija Antti Wall (liite 4). Tulokset on esitetty kuviossa 10 vuoteen 2123 asti. Tulokset esittävät kaikkien istutettujen alueiden hiilivarastoa yhteensä 4,9 hehtaarin alalle.



Kuvio 10. Istutettujen soiden puuston ja maaperän hiilivaraston muutos sekä hiilitase sadalle vuodelle

Metsitettyjen soiden hiilen määrä muutettiin hiilidioksidiekvivalenttonneiksi (t CO₂-ekv.) käyttämällä kerrointa -3,67. Kuviossa 11 on esitetty metsitettyjen suoalueiden puuston ja maaperän hiilivarastomuutokset hiilidioksidiekvivalenttonneina vuosien 2023 ja 2123 välillä suoalueiden kokonaispinta-alalle (4,9 ha). Soiden maaperän päästöt kasvavat lineaarisesti koko sadan vuoden tarkastelujakson ajan. Istutetun puuston hiilitase laskee eksponentiaalisesti koko tarkastelujakson ajan lukuun ottamatta kahta simuloinnissa toteutetusta harvennuksesta johtuvaa hiilitasearvon laskua ajankohtina 28 vuotta ja 52 vuotta istutuksesta, jolloin hiilitase on viiden vuoden ajan negatiivinen eli hiilipäästö.



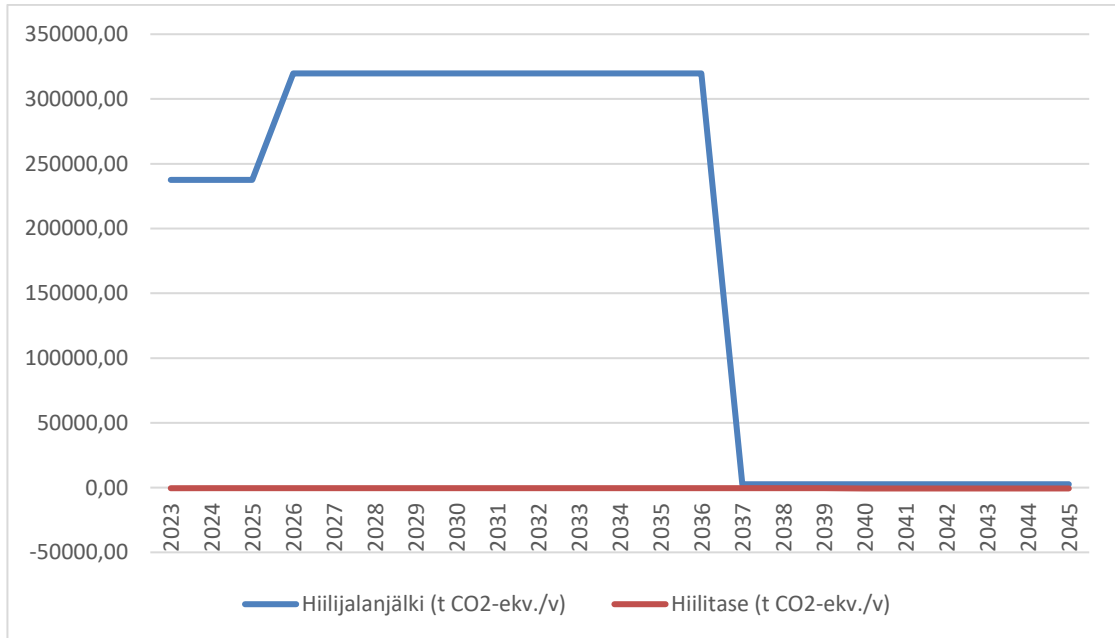
Kuvio 11. Suoalueiden hiilivarastojen muutokset ja hiilitase hiilidioksidiekvivalenttitonneina sadalle vuodelle

Liitteessä 5 on esitetty istutettujen suoalueiden ositekohtaiset hiilitaseen muutokset hehtaaria kohti sadan vuoden tarkastelujaksolle. Tarkastelujaksolla varputurvekankaan maaperä on hiilinielu ja mustikka- sekä ruohoturvekankaiden maaperät ovat hiilen lähteitä, joista mustikkaturvekankaan maaperä on suurempi hiilen lähde kuin ruohoturvekankaan maaperä. Suoalueilla puuston osalta suurin hiilivarasto sadan vuoden jälkeen on ruohoturvekankaalla ylittäen 150 hiilitonnia hehtaarilla. Varpu- ja ruohoturvekankailla puuston hiilivarastot ovat noin 120 hiilitonnia hehtaarilla sadan vuoden jälkeen.

5.4 Päästöjen kompensointilaskelmien tulokset ja kompensaaoratkaisuvaihtoehtoja

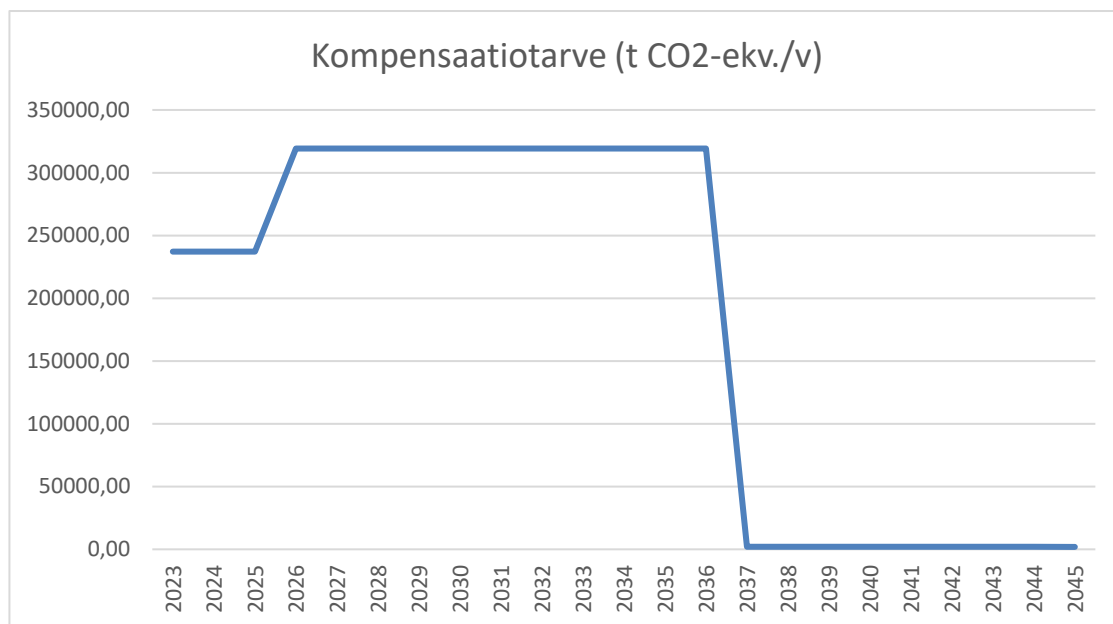
Liitteessä 6 on taulukoitu kaivoksen hiilijalanjälki, puuston ja metsitettyjen suoalueiden yhteenlaskettu hiilitase, jotka on graafisesti esitetty kuviossa 12. Vuonna 2023 puuston hiilitaseen osuus on noin 0,2 prosenttia kaivoksen hiilijalanjäljestä ja istutettujen soiden hiilitaseen osuus kaivoksen hiilijalanjäljestä on vain 0,002 prosenttia. Vuonna 2026 nousevan vuosittaisen hiilijalanjäljen vuoksi hiilitaseen kompensoatio-osuus laskee 0,15 prosenttia hiilijalanjäljestä ja kai-

vostoiminnan päättymiseen asti osuus vaihtelee välillä 0,15 – 0,17 prosentin välillä. Vuosien 2037 ja 2045 välillä yhteenlasketun hiilitaseen osuus hiilijalanjäljestä vaihtelee 20,8 – 25,8 prosentin välillä.



Kuvio 12. Kaivoksen hiilijalanjälki ja puuston sekä istutettujen suoalueiden yhteenlaskettu hiilitase

Vuonna 2023 puuston hiilitaseen osuus on noin 0,2 prosenttia kaivoksen hiilijalanjäljestä ja istutettujen soiden hiilitaseen osuus kaivoksen hiilijalanjäljestä on vain 0,002 prosenttia. Vuonna 2026 nousevan vuosittaisen hiilijalanjäljen vuoksi hiilitaseen kompensatio-osuus laskee 0,15 prosenttia hiilijalanjäljestä ja kaivostoiminnan päättymiseen asti osuus vaihtelee välillä 0,15 – 0,17 prosentin välillä. Vuosien 2037 ja 2045 välillä yhteenlasketun hiilitaseen osuus hiilijalanjäljestä vaihtelee 20,8 – 25,8 prosentin välillä.



Kuvio 13. Kaivoksen hiilijalanjäljen vuosittainen kompensointitarve vuosien 2023 – 2045 väliselle ajalle

Päästökompensaation ratkaisuvaihtoehtoja laskettiin kolmelle kompensatioratkaisulle vuodesta 2023 vuoteen 2045, johon päättyy kompensaatiotarve (taulukko 3). Hiilipörssi tarjoaa kompensatioratkaisuja -10 000 tonnia CO2-ekv. hintaan 400 000 euroa, Ilmastoavun kompensatioratkaisumäärä on -60 tonnia CO2-ekv. hintaan 578 euroa ja Taimiteon kompensatioratkaisumäärä on -93,867 tonnia CO2-ekv. hintaan 1 000 euroa.

Taulukko 3. Kompensatioratkaisujen toimijat ja niiden hinnasto

Hanketoimija	t CO2-ekv.	€
Hiilipörssi	-10000	400000
Ilmastoapu	-60	578
Taimiteko	-93,867	1000

Kompensaatiokustannus laskettiin kaivoksen kompensaatiotarpeen suuruiselle määrälle. Taulukossa 4 on esitetty kolmen kompensatioratkaisun tuottaman kompensaation kokonaiskustannus kompensoidaan kaivoksen hiilijalanjälkeä.

Taulukko 4. Kolmen kompensointipalvelun kustannukset kompensoimaan kaivoksen hiilijalanjälkeä

Vuosi	Kompensointi- tarve (t CO ₂ -ekv.)	Ilmastoapu yht. €	Taimiteko yht. €	Hiilipörssi yht. €
2023	237046,77	2 283 551	2 525 347	9 481 871
2024	237043,05	2 283 515	2 525 308	9 481 722
2025	237039,34	2 283 479	2 525 268	9 481 573
2026	319263,50	3 075 572	3 401 233	12 770 540
2027	319259,78	3 075 536	3 401 193	12 770 391
2028	319256,06	3 075 500	3 401 153	12 770 242
2029	319252,34	3 075 464	3 401 114	12 770 094
2030	319248,62	3 075 428	3 401 074	12 769 945
2031	319244,91	3 075 393	3 401 035	12 769 796
2032	319241,19	3 075 357	3 400 995	12 769 648
2033	319237,39	3 075 320	3 400 954	12 769 496
2034	319232,36	3 075 272	3 400 901	12 769 295
2035	319226,05	3 075 211	3 400 834	12 769 042
2036	319218,41	3 075 137	3 400 752	12 768 736
2037	2044,71	19 697	21 783	81 788
2038	2034,22	19 596	21 671	81 369
2039	2022,23	19 481	21 544	80 889
2040	2008,69	19 350	21 399	80 348
2041	1993,53	19 204	21 238	79 741
2042	1976,71	19 042	21 059	79 068
2043	1958,17	18 864	20 861	78 327
2044	1937,86	18 668	20 645	77 514
2045	1915,73	18 455	20 409	76 629

5.5 Johtopäätökset

Kaivostoiminnan aikana puuston ja metsityksen yhteenlaskettu hiilensidontakapasiteetti riittää kompensoimaan kaivoksen hiilidioksidipäästöistä 0,15 – 0,20 prosenttia. Vuonna 2023 puuston hiilitaseen osuus on noin 0,2 prosenttia kaivoksen hiilijalanjäljestä ja istutettujen soiden hiilitaseen osuus kaivoksen hiilijalanjäljestä on vain noin 0,002 prosenttia. Vuonna 2026 nousevan vuosittaisen hiilijalanjäljen vuoksi hiilitaseen kompensatio-osuus laskee 0,15 prosenttia hiilijalanjäljestä ja kaivostoiminnan päättymiseen asti osuus vaihtelee 0,15 – 0,17 prosenttia. Vuosien 2037 ja 2045 välillä yhteenlasketun hiilitaseen osuus hiilijalanjäljestä vaihtelee 20,8 – 25,8 prosenttia.

Vuonna 2026 kaivoksen päästöjen kasvaessa kompensatiotarve nousee lähes 35 prosentilla edellisvuoteen verrattuna. Kompensatiotarpeen määrä pysyy samassa suuruusluokassa aina vuoden 2036 loppuun, jonka jälkeen kaivoksen päästöt laskevat huomattavasti yhteen prosenttiin edellisvuoteen verrattuna. Vuoden 2037 jälkeen sulkemistoimenpiteiden johdosta laskennallisia päästöjä vielä kertyy noin 2 600 tonnia CO₂-ekv. vuodessa vuoteen 2045 saakka.

Kompensaatiopalveluista edullisin vaihtoehto on Ilmastoapu, josta laskennallisia kustannuksia koko tarkastelujaksolle tulee yhteensä noin 40,9 miljoonaa euroa. Kompensaatiokustannukset tarkastelujaksolla ovat Taimiteon palvelussa yhteensä noin 45,2 miljoonaa euroa ja Hiilipörssin yhteensä noin 170 miljoonaa euroa. Taimiteon kustannukset ovat noin 10 prosenttia korkeammat kuin Ilmastoavulla ja Hiilipörssin kustannukset ovat yli nelinkertaiset Ilmastoapuun verrattuna.

6 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Kittilän kultakaivoksen omistuksessa olevien metsien puuston hiilensidontakyky ja kompensatiotoimena tehtyjen suoalueiden metsittämisen hiilitasetta sekä näiden hiilidioksidikompensaatiovai-
kutusta kaivoksen hiilidioksidipäästöihin. Lisäksi selvitettiin vapaaehtoisia kom-
pensaatiovaihtoehtoja kotimaisten hiilikompensaatiomarkkinoilta ja niiden kus-
tannuksia. Tutkimus on erittäin ajankohtainen ja tärkeä osa sekä kaivoksen että
Suomen kansallista hiilineutraaliustavoitetta. Tutkimuksen avulla pystyttiin ha-
vainnoimaan kaivoksen olemassa olevia hiilen sitomisresursseja sekä kuinka
paljon metsittämistoimenpiteet lisäävät hiilinielujen määrää.

Työn edetessä hahmottui tarkemmin kokonaiskuva kaivostoiminnan erilaisista
ilmastovaikutuksista, kuten hiilidioksidipäästöistä. Kaivostoiminta luo teollisuu-
den näkökulmasta hiilidioksidipäästöjä esimerkiksi työkoneiden käytöstä, rikas-
tamolta, erilaisten laitosten käyttö, ja niin edelleen. Lisäksi hiilidioksidipäästöjä
syntyy myös maankäyttösektorilla, kun metsää ja maa-alueita raivataan muun
muassa infraa, rakennuksia ja patoaltaita varten, jolloin menetetään puuston ja
maaperän hiilensidontakapasiteetti. Monsu-ohjelmistoa en ole koskaan aiemmin
käyttänyt, joten sen käyttö tuli opetella puuston hiilitaselaskelmia varten aivan
alusta. Rohkealla toimintojen kokeilulla pääsin eteenpäin laskelmien tuottami-
sessa. Ajan kanssa sain jonkinlaiset tulokset tuotettua ohjelmistolla, mutta olin
hyvin epävarma, olenko toiminnot suorittanut oikealla tavalla. Lopulta varmistin
lehtori Pasaselta, miten hiilitaselaskelmat tulisi tehdä ja paljastui, että itse yrit-
tämäni toiminnot olivat hiukan virheelliset ja toteutustapani erittäin työläs. Opet-
telemalla ja yrittämällä itsekseni opin kuitenkin paljon Monsusta ja sen toimin-
noista, joten alkuvaiheen hapuilu ohjelmiston kanssa ei mennyt hukkaan.

6.1 Hiilitaseet ja kompensatoratkaisut

Kiinteistöjen metsien valtatyyppiset kasvupaikat sekä maa-aines (orgaaninen,
kivennäismaa) vaihtelevat, mikä näkyy puuston kasvukyvyssä ja siten hiilita-
seessa. Kaivoksen metsien puuston heikkoon hiilitaseeseen vaikuttavat metsien
hoitamattomuus sekä ojittamattomat turvemaat. Ojittamattomat turvemaat sito-
vat hiiltä heikommin, jolloin ojittamattomuus heijastuu hiilitaseeseen heikenty-

neenä hiilensidontana. Soiden ja turvemaiden suuri osuus näkyy heikkona hiilitaseena hehtaaria kohti, kun verrataan kuvion 6 suhteellista kasvupaikkaa kiinteistöillä.

Monsun tuottamat metsien puuston hiilitaselaskelmat on tehty 27-vuotiselle kaudelle, joka on antanut tulokseksi koko kauden puuston hiilitaseen ja vuosittainen hiilitase on saatu laskemalla keskiarvo yhdelle vuodelle. Tästä ei nähdä vuosittaista puuston hiilitaseen muutosta 27 vuoden aikana. Päädyin tuottamaan Monsulla yhden pitkän kauden puuston hiilitaseen, koska en nähnyt tätä opinnäytetyötä varten tarpeelliseksi tuottaa vuosittaisia hiilitasemuutoksia. Lisäksi tässä vaiheessa osaamistani en olisi osannut tulkita niistä saatua tietoa riittävästi, jotta niille olisi saatu tarvittavaa lisäarvoa.

Metsittämällä saadaan lisättyä alueen biomassan määrää, jolloin puustoon sitoutunut hiili auttaa kompensoimaan maaperän päästöt, jotka lisääntyvät ajan saatossa ojituksesta johtuen. Ojitetuilla turvemaidella puuston hiilensidonta pitkällä tähtäimellä suurempaa kuin mahdolliset maaperän päästöt. Metsitettävän suoalueen turvekangastyypillä on merkitystä sille, onko maaperä hiilinielu vai päästön lähde. Rehevillä turvekankailla maaperä on hiilen lähde. Karuilla turvekankailla turpeen hävikki ei ole merkittävää, jolloin lisääntyvän biomassan ansiosta maaperä on hiilivarasto.

Esiintuodut vapaaehtoiset kompensatoratkaisut eivät ole tässä opinnäytetyössä hyvien kompensatiokäytäntöjen mukaisia, sillä yrityksen tulisi ensin pyrkiä itse vähentämään omilla toimilla hiilidioksidipäästöjään mahdollisimman paljon. Kompensatoratkaisuja tulisi hyödyntää vasta, kun ensin kaikin mahdollisin toimin on hiilidioksidipäästöjä pyritty vähentämään. Metsien puuston sekä istutettujen hiilitaseet riittävät kompensoimaan kaivoksen kaivostoiminnan aikaisesta hiilijalanjäljestä hyvin pienen osa, jolloin merkittäville hiilidioksidikompensatiotoimille jää tehtävää.

6.2 Luotettavuus ja hyödynnettävyys

Kaivoksen metsien maastotarkastuksissa on pyritty noudattamaan huolellisuutta puustotunnuksia mitatessa ja pyritty mittauskoealojen suhteen työskentelemään niin, että saadaan mahdollisimman todenmukainen kuvaus mitattavasta metsik-

kökuviosta. Kaivoksen metsistä suurin osa on luonnontilaisia tai sen kaltaisia. Tämä loi maastoinventoinneissa oman haasteensa, sillä luonnontilaisissa kuvi-
oissa on luonnollista maaston ja kasvillisuuden vaihtelua. Jotta kuviolta sai mi-
tattua mahdollisimman hyvin yleiskuvaavat puustotunnukset, tuli silmämääräi-
sesti pyrkiä arvioimaan sopivat ja riittävän monipuoliset koealakohtat. Rajalli-
sen ajan ja ajoittain hyvinkin haastavan maaston vuoksi tuli tehdä kompromis-
seja koealojen suhteen; kuinka monta niitä on järkevää tehdä ja miten niitä si-
joittaa. Tämä saattaa näkyä kuvion puustotunnusten luotettavuudessa, sillä
koealojen mittaus tehdään silmämääräisesti ja oman arvion mukaan, joka on
subjektiivinen näkemys kuviosta, joka taas voi poiketa todellisuudesta.

Suoalueiden koealojen inventoinnissa on noudatettu huolellisuutta ja pyritty
tarkkoihin mittaustuloksiin. Inventointia on suorittanut yksi inventoija, jolloin sa-
ma ohjeistus ja mittaustavat ovat pysyneet kaikissa kohteissa. Lisäksi puuston
maastoinventoinnissa on noudatettu mahdollisimman hyvää tarkkaavaisuutta ja
maastoinventointimenetelmä on pysynyt samanlaisena koko maastotyön ajan.
Istutetut suoalueet sijaitsevat kaivosalueella kaivosinfrastruktuurin ympäröimä-
nä ja alueet ovat pääsääntöisesti pieniä. Tästä johtuen on epävarmaa sanoa
kuinka paljon alueiden ympäristö ja pienuus vaikuttaa muun muassa maape-
rään ja puustoon ja siten suoalueiden hiilitaseeseen.

Suurin osa Monsu-laskelmissa käytetyistä metsien puustotiedoista on ladattu
avoimesta metsävaratietopalvelusta, jossa tiedot on saatu laserkeilaamalla.
Vain reilussa kymmenesosassa kaivoksen kiinteistöjen metsäpinta-alassa to-
teutettiin maastotarkastus, jolloin lopun pinta-alan kohdalla tuli luottaa laserkei-
lausdataan. Laserkeilausdatassa tiedetään olevan jonkin verran virhemahdolli-
suuksia, jolloin tämä myös heijastuu tuotettuihin Monsu-tuloksiin virhemahdolli-
suuksina. Monsu-laskelmissa ei ole huomioitu ilmastonmuutoksen vaikutusta
epävarmuuksien vuoksi. Ilmastonmuutos saattaa Suomessa kiihdyttää puuston
kasvua, jolloin tähän opinnäytetyöhön tuotetut Monsu-laskelmat olisivat alakant-
tiin. Lisäksi muita ilmastonmuutoksen vaikutusta metsiin ei vielä tarkkaan tiede-
tä, jolloin oli perusteltavaa jättää ilmastonmuutos huomioimatta tässä opinnäyte-
työssä.

Luonnonvarakeskuksen tutkija Wall joutui tekemään hiilitaselaskelmat istutetuille suoalueille sovelletusti käyttämällä puuston kasvulle kivennäismaiden kasvumalleja. Tämä johtui Motti-ohjelmiston toiminnan ongelmista ja saadaksemme Motin tuottamat hiilitasetulokset opinnäytetyötä varten tuli Wallin laskea tämä edellä mainitulla tavalla. Tämä johtaa siihen päätelmään, että kivennäismaiden puuston kasvun ollessa parempi kuin turvemaidella, on suoalueiden laskelmien puuston kasvu yläkanttiin, joka heijastuu puuston hiilitaseeseen sen olevan myös yläkanttiin. Tämä vaikuttaa suoalueiden hiilitaselaskelmien luotettavuuteen.

Kittilän kultakaivoksen vuonna 2021 valmistuneet hiilijalanjälkilaskelmat on teetetty ulkopuolisella yrityksellä, jolla on asiantuntijuutta laskelmien tekoon. Laskelmat on pyritty tekemään mahdollisimman tarkasti olemassa olevan tiedon perusteella kuitenkin joitakin rajauksia ja oletuksia tehden, jotka vaikuttavat laskelmiin ja hiilijalanjälkitulokseen. Nämä tuovat laskelmiin epävarmuutta jo lähtökohtaisesti sen takia, että kaikkia kaivoksen tuottamia suorja tai välillisiä päästöjä ei ole laskelmissa huomioitu, kuten työmatkaliikenne. Laskelmiin päätyneet osa-alueet on saatu laskettua luotettavien tietojen pohjalta, joten huomioidut ja lasketut päästöt voidaan olettaa olevan riittävän luotettavia. Kokonaishiilijalanjäljen voi kuitenkin olettaa rajauksista johtuen olevan jonkin verran alakanttiin, mutta kuinka merkittävästi, sitä on vaikea minun arvioida.

Tulevaisuudessa istutettujen suoalueiden hiilitasetuloja voidaan hyödyntää suunnitellessa mahdollisia turvemaiden metsittämistoimia tai muita kompensatiotoimia. Tulokset antavat suuntaa millaisille turvekankaille on kannattavinta tehdä metsitystoimia puuston sekä maaperän hiilitaseiden kannalta. Kittilän kaivoksen omistamien metsäalueiden maaperän hiilensidontakapasiteettia olisi hyvä tutkia ja laskea, sillä kuten työssä on mainittu, maaperän hiilensidonta- ja varastokapasiteetti saattaa olla reilusti puustoa parempi. Lisäksi tulisi kartoittaa ja toteuttaa muut hiilidioksidipäästöjä vähentävät toimet, jolloin saadaan suuria hiilidioksidipäästöjä vähennettyä.

LÄHTEET

Bhatia, P., Cummis, C., Brown, A., Rich, D., Draucker, L. & Lahd, H. 2011. Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard. Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard. World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development. Viitattu 7.3.2023
https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613_2.pdf.

Digitapio Oy 2023. ForestKIT – Yksi ja sama järjestelmä työpöytä- ja maastokäyttöön. Viitattu 27.8.2023
<https://www.etapio.fi/ForestKIT/mika-jarjestelma/paajarjestelma/>.

Envineer Oy 2021. Agnico Eagle Finland Oy: Hiilijalanjäljen laskenta. [sisäinen arkisto].

Finnish Forest Association 2022. Kuinka paljon hehtaari kasvavaa metsää sitoo hiilidioksidia? Viitattu 16.3.2024
<https://forest.fi/fi/faq/kuinka-paljon-hehtaari-kasvavaa-metsaa-sitoo-hiilidioksidia-sitooko-nuori-tai-vanha-metsa-enemman/#dc7bcf98>.

ForestKIT 2023. Kiinteistöjen pinta-alat. [sisäinen arkisto.]

Glina B., Gajewski, P., Mendyk, Ł., Zawieja, B. & Kaczmarek, Z. 2019. Recent changes in soil properties and carbon stocks in fen peatlands adjacent to open-pit lignite mines Land Degradation & Development 2019; 30:2371 – 2380.

Hiilipörssi Oy 2023. Tietoa Hiilipörssistä ja soista. Viitattu 19.3.2024
<https://www.hiiliporssi.fi/tietoa>.

Ilmastoapu Oy 2018. Verkkokauppa. Viitattu 16.3.2024
<https://www.ilmastoapu.fi/verkkokauppa>

Ilmatieteen laitos 2018. IPCC: Ilmasto lämpenee hälyttävällä vauhdilla. Viitattu 16.3.2024
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/706150487>.

Ilmatieteen laitos 2023. Lämpötila- ja sadekarttoja vuodesta 1961. Viitattu 22.3.2023
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/karttoja-vuodesta-1961>.

Korhonen, K. T., Ahola, A., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Hotanen, J.-P., Ihalainen, A., Melin, M., Pitkänen, J., Rätty, M., Sirviö, M. & Strandström, M. 2021. Forests of Finland 2014–2018 and their development 1921 – 2018. Silva Fennica. Viitattu 24.6.2023
<https://www.silvafennica.fi/article/10662>.

Kuiri, M. 2022. Greenhouse Gas-protokolla auttaa organisaatioita merkittävimpien päästölähteiden tunnistamisessa – WWF Green Officen työkaluilla lasket ja seuraat päästöjä. Blogi-kirjoitus. Viitattu 16.10.2023
<https://wwf.fi/greenoffice/tarina/greenhouse-gas-protokolla-auttaa-organisaatioita-merkittavimpien-paastolahteiden-tunnistamisessa-wwf-green-officen-tyokalulla-lasket-ja-seuraat-paastoja%E2%80%AF/>.

Kärkkäinen, L., Haakana, M., Heikkinen, J., Helin, J., Hirvelä, H., Jauhiainen, L., Laturi, J., Lehtonen, H., Lintunen, J., Niskanen, O., Ollila, P., Peltonen-Sainio, P., Regina, K., Salminen, O., Tuomainen, T., Uusivuori, J., Wall, A. & Packalen, T. 2019. Maankäyttösektorin toimien mahdollisuudet ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 67/2018. Viitattu 20.3.2023
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-618-8>

Laine, A., Airaksinen, J., Yliheljo, E., Ahonen, H.-M. & Halonen, M. 2021. Vapaaehtoisten päästökompensaatioiden sääntely. Ympäristöministeriön julkaisu 2021:26. Viitattu 8.5.2023
<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163347>.

Laine, A., Auer, J., Halonen, M., Horne, P., Karikallio, H., Kilpinen, S., Korhonen, O., Airaksinen, J., Valonen, M. & Saario, M. 2021. Esiselvitys maankäyttösektorin hiilikompensaatiohankkeista. Viitattu 8.5.2023
https://mmm.fi/documents/1410837/22876822/Esiselvitys+maank%C3%A4ytt%C3%B6sektorin+hiilikompensaatiohankkeista_julkaistava+raporttiversio_27.1.2021.pdf/485cb89f-6c7a-b1a8-bb88-200021861238/Esiselvitys+maank%C3%A4ytt%C3%B6sektorin+hiilikompensaatiohankkeista_julkaistava+raporttiversio_27.1.2021.pdf?t=1611824118664.

Laininen, J., Ahonen, H.-M., Laine, A. & Kulovesi, K. 2022. Selvitys – Vapaaehtoiin päästökompensaatioihin liittyvät erityiskysymykset. Ympäristöministeriö. Viitattu 8.5.2023
https://ym.fi/documents/1410903/33891761/Selvitys_Vapaaehtoiin+p%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6kompensaatioihin+liittyv%C3%A4t+erityiskysymykset-FINAL-.pdf/ece9af07-2cf1-e9f3-206f-7c8bbc90d4c5/Selvitys_Vapaaehtoiin+p%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6kompe nsaatioihin+liittyv%C3%A4t+erityiskysymykset-FINAL-.pdf?t=1664526153936.

Launiainen, S., Lehtonen, A. & Laurén, A. 2015. Boreaalisten metsien hiilivirrat ja varastot. Teoksessa K. Salo (toim.). Metsä. Monikäyttö ja ekosysteemipalvelut. Helsinki. Luonnonvarakeskus (Luke), 305 – 309. Viitattu 4.3.2023
<https://jukuri.luke.fi/handle/10024/520558>.

Lee, H., Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner G, Mukherji, A., Thorne, P., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S. L., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., Jotzo, F., Krug, T., Lasco, R., Lee, J.-Y., Masson-Delmotte, V., Meinshausen, M., Mintenbeck, K., Mokssit, A., Otto, F. E. L., Pathak, M., Pirani, A., Poloczanska, E., Pörtner, H.-O., Revi, A., Roberts, D. C., Roy, J., Ruane, A. C., Skea, J., Shukla, P. R., Slade, R., Slangen, A., Sokona, Y., Sörensson, A. A., Tignor, M., van Vuuren, D., Wei, Y.-M., Winkler, H., Zhai, P., Zommers, Z., Hourcade, J.-C., Johnson, F. X., Pachauri, S., Simpson, N. P., Singh, C., Thomas, A. & Edmond Totin, E. 2023. Synthesis Report of The IPCC Sixth Assessment Report (AR6) - Summary for Policymakers. Viitattu 22.10.2023

https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf.

Lehtonen, A., Puolakka, P., Ihalainen, A., Heikkinen, J. & Korhonen, K. T. 2011. Metsähallituksen hallinnoimien metsien hiilitaseet. Metlan työraportteja 199. Viitattu 5.7.2023

<https://jukuri.luke.fi/handle/10024/536107>.

Lehtonen, I., Venäläinen, A. & Gregow, H. 2020. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Helsinki: Ilmatieteen laitos. Viitattu 18.6.2023

https://www.researchgate.net/publication/344329237_Ilmastonmuutoksen_vaikutukset_Suomessa_metsanhoidon_nakokulmasta.

Linjama, J. 2023. Vapaaehtoiset päästökompensaatiot - Ilmastoviisas Meri-Lappi – ILME. Pilottiselvitys. Ilmastoviisas Meri-Lappi. Viitattu 19.10.2023

<https://ilmastoviisasmerilappi.fi/wp-content/uploads/2023/04/Vapaaehtoiset-paastokompensaatiot-PDF.pdf>.

Liski, J., Lehtonen, A., Palosuo T., Peltoniemi, M., Eggers, T., Muukkonen, P. & Mäkipää, R. 2006: Carbon accumulation in Finland's forests 1922–2004 – an estimate obtained by combination of forest inventory data with modelling of biomass, litter and soil Carbon accumulation in Finland's forests 1922–2004 – an estimate obtained by combination of forest inventory data with modelling of biomass, litter and soil. Viitattu 16.5.2023

https://www.researchgate.net/publication/200152340_Carbon_accumulation_in_Finland's_forests_1922-2004_-_An_estimate_obtained_by_combination_of_forest_inventory_data_with_modeling_of_biomass_litter_and_soil.

Luonnonvarakeskus 2023a. Suometsien puuntuotanto ja ympäristövaikutukset. Viitattu 16.4.2023

<https://www.luke.fi/fi/ajankohtaista/teemat-ja-kampanjat/suometsat/suometsien-puuntuotanto-ja-ymparistovaikutukset>.

Luonnonvarakeskus 2023b. Luonnonvarakeskuksen Motti-ohjelmistolla voidaan ennustaa metsikön tulevaa kehitystä. Viitattu 27.8.2023

<https://www.luke.fi/fi/palvelut/luonnonvarakeskuksen-mottiohjelmistolla-voidaan-ennustaa-metsikon-tulevaa-kehitysta>.

Luonnonvarakeskus 2023c. Ihmisen toiminta muokkaa luontaista hiilenkiertoa. Viitattu 16.10.2023
<https://hiilikompensaatioinfo.fi/hiilenkierto/>.

Maa- ja metsätalousministeriö 2023a. EU:n ilmasto- ja energiapolitiikka. Viitattu 17.4.2023
<https://mmm.fi/luonto-ja-ilmasto/energia-ja-ilmastopolitiikka/eu-energia-ja-ilmastopolitiikka>.

Maa- ja metsätalousministeriö 2023b. Maankäyttösektorin sisällyttäminen EU:n ilmastotavoitteisiin. Viitattu 17.4.2023
<https://mmm.fi/lulucf>.

Metsäkeskus 2023a. Avoin metsä- ja luontotieto on kaikkien käytettävissä. Viitattu 7.4.2023
<https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto>.

Metsäkeskus 2023b. Tuhot metsissä. Viitattu 15.9.2023
<https://www.metsakeskus.fi/fi/metsan-kaytto-ja-omistus/metsanhoito-ja-hakkuut/tuhot-metsissa>.

MTK 2021. Maatilan hiililaskuri – usein kysytyt kysymykset. Viitattu 6.5.2023
<https://www.mtk.fi/documents/20143/447984/Maatilan+hiililaskurin+usein+kysytyt+kysymykset.pdf/5952806c-8e1a-f662-38ae-ebe31169ba57?t=1625572703186>.

Niemi, M., Mäkinen, A., Viitala R. & Lumperoinen, M. 2020. Metsäsuunnittelun laskennan periaatteet – arvoja yhteensovittamassa. Keuruu: Tapio Oy. Viitattu 28.7.2023
<https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/08/Metsasuunnittelun-laskennan-periaatteet.pdf>.

Ojanen, P. 2015. Metsäojituksen vaikutukset ilmastoon – Climatic impacts of forestry on drained boreal peatlands. *Suo* 66(2): 49–55 — Katsaukset. Helsinki: Suoseura. Viitattu 22.6.2023
<https://suo.fi/article/9898>.

Ojanen, P., Lehtonen, A., Heikkinen, J., Penttilä, T. & Minkkinen, K. 2014. Soil CO₂ balance and its uncertainty in forestry-drained peatlands in Finland. *Forest Ecology and Management* 325 (2014) 60 – 73. Viitattu 16.6.2023
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112714002035>.

Ojanen, P. & Minkkinen, K. 2019. The dependence of net soil CO₂ emissions on water table depth in boreal peatlands drained for forestry. *Mires and Peat*, Volume 24 (2019), Article 27, 1 – 8. Viitattu 23.4.2023
http://mires-and-peat.net/media/map24/map_24_27.pdf.

Ojanen, P. & Minkkinen, K. 2020. Metsäojitetun suon ilmastovaikutukset. Viitattu 19.3.2023
<https://www.suoseura.fi/ojitettujen-soiden-kestava-kaytto/metsaojitetun-suon-ilmastovaikutukset/>.

Ojanen, P., Minkkinen, K. & Regina, K. 2020. Ojituksen vaikutus maaperän kasvihuonekaasupäästöihin. Viitattu 19.3.2023
<https://www.suoseura.fi/ojitettujen-soiden-kestava-kaytto/ojituksen-vaikutus-maaperan-kasvihuonekaasupaastoihin/>.

Peljo, J. 2016. Aika päivittää näkökulma: ilmastopolitiikka on turvallisuuspolitiikkaa. Viitattu 16.3.2024
<https://www.sitra.fi/blogit/aika-paivittaa-nakokulma-ilmastopolitiikka-turvallisuuspolitiikkaa/>.

Piekkari, M. 2023a. YVA opparia varten. Yksityinen sähköpostiviesti 28.4.2023. Viestin saaja: Kati Siivonen.

Piekkari, M. 2023b. YVA opparia varten. Yksityinen sähköpostiviesti 29.4.2023. Viestin saaja: Kati Siivonen.

Piekkari, M. 2023c. YVA opparia varten. Yksityinen sähköpostiviesti 8.5.2023. Viestin saaja: Kati Siivonen.

Pingoud, K., Ekholm, T., Soimakallio, S. & Helin, T. 2016. Carbon balance indicator for forest bioenergy scenarios. *GCB Bioenergy* 8: 171–182. Viitattu 18.6.2023
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcbb.12253>.

Pukkala, T. 2021. Monsu. [sisäinen arkisto].

Saksa, T., Repo, T., Sarkkola, S., Repo, A., Lehtonen, A., Akujärvi, A. & Soimakallio, S. 2020. 5. Raportin keskeiset viestit. Teoksessa T. Saksa (toim.) Ilmastonmuutos ja metsänhoito – Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista metsänhoitoon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 98/2020. Helsinki: Luonnonvarakeskus, 36 – 37. Viitattu 18.6.2023
<https://jukuri.luke.fi/handle/10024/546573>.

Saukkoriipi, J., Nousiainen, J., Piekkari, M., Karvo, J., Reijonen, T., Viitasalo, M., Paldanius, P., Karjalainen, N., Varis, L., Uimarihuhta, H. & Väyrynen, T. 2020. Agnico Eagle Finland Oy – Tuotannon nosto ja CIL-rikastushiekan hallinta, YVA-ohjelma. Viitattu 1.2.2023
https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/LAPPI_Kittilan_kaivoksen_tuotannonosto_CIL_rikastushiekanhallinta_210121.pdf.

Sculze, E.-D., Körner, C., Law, B. E., Haberl, H. & Luysaert, S. 2012. Large-scale bioenergy from additional harvest of forest biomass is neither sustainable nor greenhouse gas neutral. *Bioenergy* 4: 611 – 616. Viitattu 5.5.2023
https://www.researchgate.net/publication/235589531_Large-scale_bioenergy_from_additional_harvest_of_forest_biomass_is_neither_sustainable_nor_greenhouse_gas_neutral.

Seppälä, J., Kanninen, M., Vesala, T., Uusivuori, J., Kalliokoski, T., Lintunen, J., Saikku, L., Korhonen, R. & Repo, A. 2015. Metsien hyödyntämisen ilmastovaikutukset ja hiilinielujen kehittyminen. Ilmastopaneelin raportti 3. Helsinki. Viitattu 4.7.2023

<https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2018/10/Metsien-hyodyntamisen-ilmastovaikutukset-ja-hiilinielujen-kehittyminen.pdf>.

Shorokhova, E. 2015. Hiilensidonta ja ekosysteemin palautumiskyky. Teoksessa K. Salo (toim.). Metsä. Monikäyttö ja ekosysteemipalvelut. Helsinki. Luonnonvarakeskus, 301 – 304. Viitattu 18.8.2023
<https://jukuri.luke.fi/handle/10024/520558>.

Siipilehto, J., Valkonen, S., Ojansuu, R., Hynynen, J., Miina, J. & Saksa, T. 2014. Metsikön varhaiskehityksen kuvaus MOTTI-ohjelmistossa. Metlan työraportteja 286. Vantaa. Viitattu 28.10.2023
<https://jukuri.luke.fi/handle/10024/536193>.

Soimakallio, S. 2017. Sampo Soimakallio: Avaimia metsien käytön ilmastovaikutusten ymmärtämiseen. Blogi-kirjoitus. Viitattu 7.5.2023
[https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Ratkaisujablogi/Sampo_Soimakallio_Avaimia_metsien_kayton\(42331\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Ratkaisujablogi/Sampo_Soimakallio_Avaimia_metsien_kayton(42331)).

Suomen 4H-liitto 2023. Kaikki Taimiteosta. Viitattu 19.3.2024
<https://www.taimiteko.fi/info/>.

Tapio Oy 2023. ForestKIT-metsätietojärjestelmä. Viitattu 27.8.2023
<https://tapio.fi/tuotteet-ja-palvelut/forestkit/>.

Tilastokeskus 2020. Laatuseloste: kasvihuonekaasut. Viitattu 16.3.2023
https://www.stat.fi/til/khki/2018/khki_2018_2020-03-13_laa_001_fi.html.

Tilastokeskus 2021. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2020. Helsinki. Tilastokeskus.

Tilastokeskus 2022. Kasvihuonepäästöt vuonna 2021 pienessä nousussa. Viitattu 19.3.2023
<https://stat.fi/julkaisu/cktlf0i203azm0a519to5exzc>.

Valtioneuvosto 2022. Uusi ilmastolaki. Power Point-esitys. Viitattu 16.4.2023
https://ym.fi/documents/1410903/0/Ilmastolaki_HE1_final.pdf/95e84169-7415-926e-9d0a-502e5614e26d/Ilmastolaki_HE1_final.pdf?t=1654770493478.

Venäläinen, A., Lehtonen, I., Laapas, M., Ruosteenoja, K., Tikkanen, O.-P., Viiri, H., Ikonen, V.-P. & Peltola, H. 2020. Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: A literature review. *Global Change Biology* 2020; 26: 4178–4196. Viitattu 21.9.2023
https://www.researchgate.net/publication/341621749_Climate_change_induces_multiple_risks_to_boreal_forests_and_forestry_in_Finland_A_literature_review

Wall, A. 2022. Opinnäytetyö Kittilän kaivokselle. Yksityinen sähköpostiviesti 15.7.2022. Viestin saaja: Kati Siivonen.

Wall, A. 2023a. Kittilän tulokset. Yksityinen sähköpostiviesti 11.5.2023. Viestin saaja: Kati Siivonen.

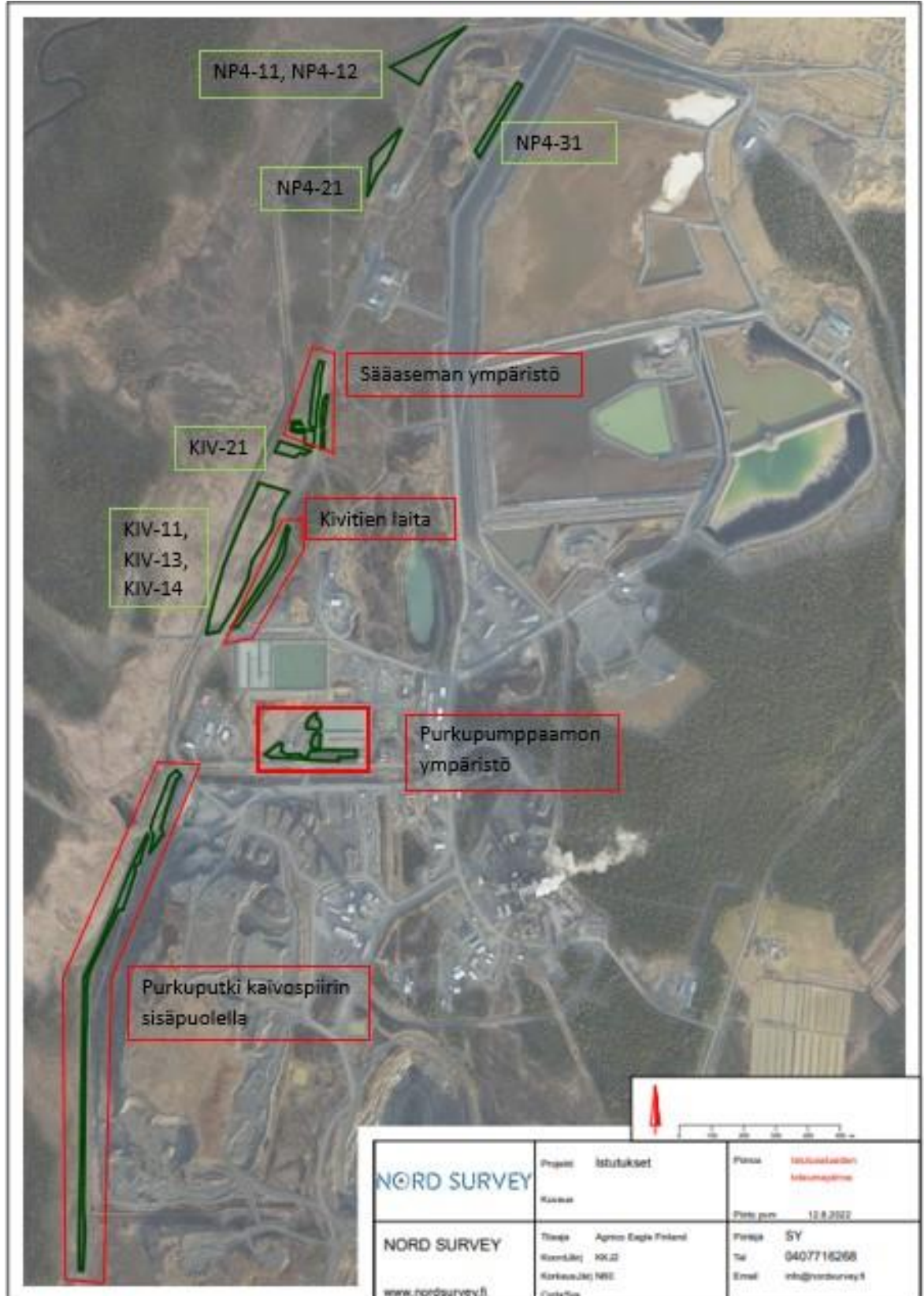
Wall, A. 2023b. Kittilän tulokset. Yksityinen sähköpostiviesti 15.5.2023. Viestin saaja: Kati Siivonen.

LIITTEET

- Liite 1. Kittilän kaivoksen kiinteistöjen metsikkökuviot kartalla
- Liite 2. Kesällä 2022 istutetut alueet kartalla
- Liite 3. Kittilän kultakaivoksen hiilijalanjälki
- Liite 4. Istutettujen soiden puuston ja maaperän hiilivaraston muutos
- Liite 5. Istutettujen soiden puuston ja maaperän hiilivaraston muutos
- Liite 6. Kaivoksen hiilijalanjäljen kompensoinnintarve

Liite 2. Kesällä 2022 istutetut alueet kartalla

Nord Survey 2022. Toteutuneet istutukset-karttakuva. Sisäinen arkisto.



Liite 3 1(2). Kittilän kultakaivoksen hiilijalanjälki

Taulukko 5 Kittilän kultakaivoksen hiilijalanjälkilaskelmat (Envineer Oy 2021).

TOIMINNAN PÄÄSTÖT

Osa-alueet	VE0	VE1	VE2	yksikkö
Osa-alue 1	7 564,00	7 564,00	10 211,40	t. CO2-ekv./v
Osa-alue 2	37 541,53	37 541,53	50 681,07	t. CO2-ekv./v
Osa-alue 3	189 831,25	189 831,25	256 272,19	t. CO2-ekv./v
Yht.	234 936,78	234 936,78	317 164,66	t. CO2-ekv./v
Yht. /malmitonni	0,12	0,12	0,12	t. CO2-ekv./t
Yht. /tuotettu kultakilo	31 324,90	31 324,90	31 324,90	kg CO2-ekv./kg
Yht. / tuotettu kultaunssi	0,97	0,97	0,97	t. CO2-ekv./oz.

CIL3-ALLAS

VE1	CIL3-A	CIL3-B	CIL3-C	yksikkö
Rakentaminen	13 898,17	15 401,98	16 064,95	t. CO2-ekv.
Sulkeminen	10 774,49	13 508,21	13 508,21	t. CO2-ekv.
Yht.	24 672,66	28 910,19	29 573,16	t. CO2-ekv.

VE2	CIL3-A	CIL3-B	CIL3-C	yksikkö
Rakentaminen	13 975,60	15 490,82	16 153,80	t. CO2-ekv.
Sulkeminen	10 774,49	13 508,21	13 508,21	t. CO2-ekv.
Yht.	24 750,09	28 999,03	29 662,01	t. CO2-ekv.

NP4-ALLAS

	VE0	VE1	VE2	yksikkö
Rakentaminen	14 993,07	21 292,60	21 500,75	t. CO2-ekv.
Sulkeminen	14 099,34	14 099,34	14 170,13	t. CO2-ekv.
Yht.	29 092,41	35 391,94	35 670,88	t. CO2-ekv.

MUU RAKENTAMINEN

VE1, VE2	Etelä	Ketola	Pokantien siirto	yksikkö
Rakentaminen	438,57	449,18	1 992,85	t. CO2-ekv.

Liite 3 2(2). Kittilän kultakaivoksen hiilijalanjälki

Taulukko 6 Kittilän kaivoksen hankevaihtoehdon VE2 hiilijalanjälkitulokset vuosille 2020-2045.

Vuosi	Toiminta (t CO2- ekv./v)	CIL3-B (t CO2- ekv./v)	NP4 (t CO2- ekv./v)	YHT. (t CO2- ekv./v)
2020	234 936,78		1 321,14	236 257,92
2021	234 936,78		1 321,14	236 257,92
2022	234 936,78		1 321,14	236 257,92
2023	234 936,78	1 260,83	1 321,14	237 518,75
2024	234 936,78	1 260,83	1 321,14	237 518,75
2025	234 936,78	1 260,83	1 321,14	237 518,75
2026	317 164,66	1 260,83	1 321,14	319 746,63
2027	317 164,66	1 260,83	1 321,14	319 746,63
2028	317 164,66	1 260,83	1 321,14	319 746,63
2029	317 164,66	1 260,83	1 321,14	319 746,63
2030	317 164,66	1 260,83	1 321,14	319 746,63
2031	317 164,66	1 260,83	1 321,14	319 746,63
2032	317 164,66	1 260,83	1 321,14	319 746,63
2033	317 164,66	1 260,83	1 321,14	319 746,63
2034	317 164,66	1 260,83	1 321,14	319 746,63
2035	317 164,66	1 260,83	1 321,14	319 746,63
2036	317 164,66	1 260,83	1 321,14	319 746,63
2037		1 260,83	1 321,14	2 581,97
2038		1 260,83	1 321,14	2 581,97
2039		1 260,83	1 321,14	2 581,97
2040		1 260,83	1 321,14	2 581,97
2041		1 260,83	1 321,14	2 581,97
2042		1 260,83	1 321,14	2 581,97
2043		1 260,83	1 321,14	2 581,97
2044		1 260,83	1 321,14	2 581,97
2045		1 260,83	1 321,14	2 581,97

Liite 4 1(2). Istutettujen soiden puuston ja maaperän hiilivaraston muutos

Puuston ja maaperän hiilivaraston muutokset hiilitonneina (t C/v) seuraavalle 100 vuodelle eli vuoteen 2122 asti. (Wall 2023.)

Kokonaispinta- ala, ha	4,9		
	Puusto, kuusi	Maaperä	yhteensä
Hiilivarasto pinta-alalla, t C/v			
1	4,47	-3,46	1,01
2	8,94	-6,91	2,03
3	13,41	-10,37	3,04
4	17,88	-13,83	4,05
5	22,35	-17,28	5,07
6	26,82	-20,74	6,08
7	31,29	-24,19	7,09
8	35,76	-27,65	8,11
9	40,23	-31,11	9,12
10	44,69	-34,56	10,13
11	49,19	-38,02	11,17
12	54,01	-41,48	12,54
13	59,19	-44,93	14,26
14	64,73	-48,39	16,34
15	70,65	-51,84	18,80
16	76,96	-55,30	21,66
17	83,68	-58,76	24,93
18	90,83	-62,21	28,62
19	98,42	-65,67	32,75
20	106,46	-69,13	37,33
21	114,96	-72,58	42,38
22	123,95	-76,04	47,92
23	133,44	-79,49	53,95
24	143,44	-82,95	60,49
25	153,97	-86,41	67,56
26	165,03	-89,86	75,17
27	176,65	-93,32	83,33
28	133,23	-96,78	36,45
29	142,14	-100,23	41,91
30	151,47	-103,69	47,78
31	161,22	-107,15	54,07
32	171,39	-110,60	60,79
33	182,00	-114,06	67,94
34	193,06	-117,51	75,55
35	204,57	-120,97	83,60
36	216,55	-124,43	92,12
37	228,99	-127,88	101,11
38	241,91	-131,34	110,57

39	255,31	-134,80	120,52
40	269,21	-138,25	130,96
41	283,61	-141,71	141,90
42	298,51	-145,16	153,34
43	313,92	-148,62	165,30
44	329,85	-152,08	177,78
45	346,31	-155,53	190,78
46	363,29	-158,99	204,31
47	364,62	-162,45	202,17
48	382,01	-165,90	216,11
49	399,93	-169,36	230,57
50	418,37	-172,82	245,56
51	437,36	-176,27	261,09
52	163,01	-179,73	-16,72
53	169,98	-183,18	-13,21
54	176,97	-186,64	-9,67
55	184,14	-190,10	-5,95
56	191,49	-193,55	-2,07
57	199,00	-197,01	1,99
58	206,69	-200,47	6,23
59	214,55	-203,92	10,63
60	222,59	-207,38	15,21
61	230,80	-210,83	19,97
62	239,19	-214,29	24,90
63	247,74	-217,75	30,00
64	256,48	-221,20	35,27
65	265,38	-224,66	40,72
66	274,46	-228,12	46,35
67	283,72	-231,57	52,14
68	293,14	-235,03	58,11
69	302,74	-238,48	64,26
70	312,51	-241,94	70,57
71	322,46	-245,40	77,06
72	332,57	-248,85	83,72
73	342,85	-252,31	90,54
74	353,31	-255,77	97,54
75	363,93	-259,22	104,71
76	374,72	-262,68	112,04
77	385,68	-266,14	119,54
78	396,81	-269,59	127,21
79	408,10	-273,05	135,05
80	419,55	-276,50	143,05
81	431,17	-279,96	151,21
82	442,96	-283,42	159,54
83	454,90	-286,87	168,03
84	467,01	-290,33	176,68
85	479,27	-293,79	185,48
86	491,69	-297,24	194,45
87	504,27	-300,70	203,58

88	517,01	-304,15	212,85
89	529,90	-307,61	222,29
90	542,94	-311,07	231,88
91	556,14	-314,52	241,62
92	569,49	-317,98	251,51
93	582,98	-321,44	261,55
94	596,63	-324,89	271,73
95	610,42	-328,35	282,07
96	624,35	-331,80	292,55
97	638,43	-335,26	303,17
98	652,65	-338,72	313,93
99	667,01	-342,17	324,84
100	681,51	-345,63	335,88

Liite 4 2(2). Istutettujen soiden puuston ja maaperän hiilivaraston muutos

Puuston ja maaperän hiilivaraston muutokset hiilidioksidiekvivalenttitonneina (t CO₂-ekv./v) seuraavalle 100 vuodelle eli vuoteen 2122 asti.

Hiilivarasto pinta-alalla hiilidioksidiekvivalenttitonneina (t CO₂-ekv./v)

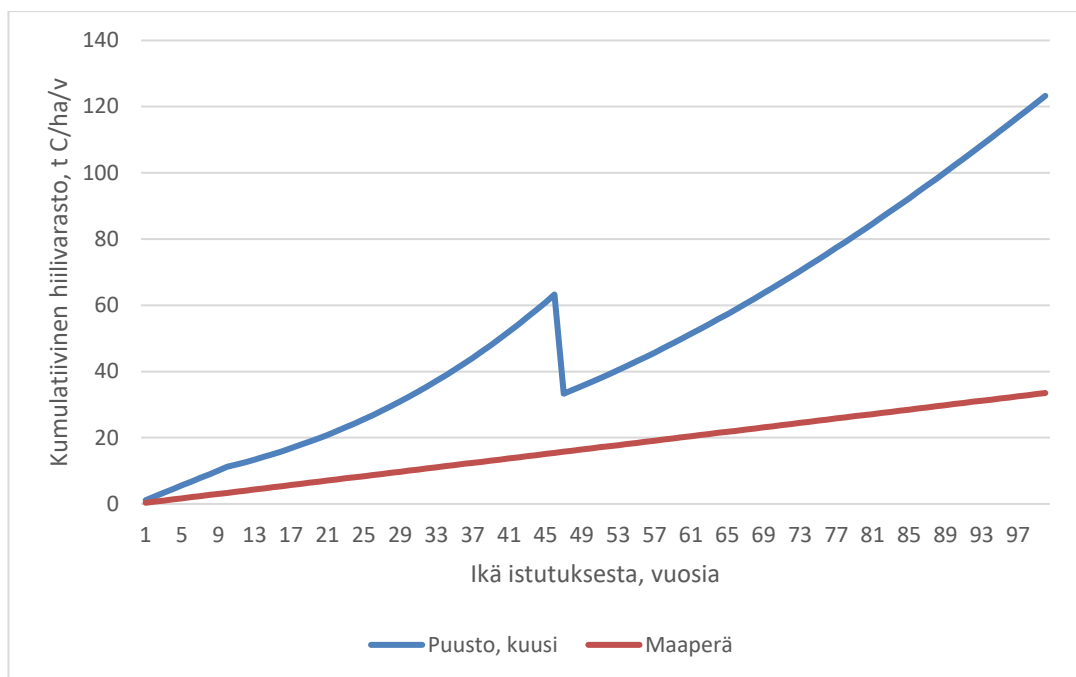
vuosi	Puusto, kuusi	Maaperä	yhteensä
2023	-16,40287778	12,684621	-3,718256783
2024	-32,80575557	25,369242	-7,436513565
2025	-49,20863335	38,053863	-11,15477035
2026	-65,61151113	50,738484	-14,87302713
2027	-82,01438891	63,423105	-18,59128391
2028	-98,4172667	76,107726	-22,3095407
2029	-114,8201445	88,792347	-26,02779748
2030	-131,2230223	101,476968	-29,74605426
2031	-147,6259	114,161589	-33,46431104
2032	-164,0287778	126,84621	-37,18256783
2033	-180,5119105	139,530831	-40,98107948
2034	-198,2233149	152,215452	-46,00786295
2035	-217,2174988	164,900073	-52,3174258
2036	-237,5491565	177,584694	-59,96446247
2037	-259,2730835	190,269315	-69,00376853
2038	-282,4440933	202,953936	-79,49015733
2039	-307,1169361	215,638557	-91,47837913
2040	-333,346221	228,323178	-105,023043
2041	-361,1863406	241,007799	-120,1785416
2042	-390,6913987	253,69242	-136,9989787
2043	-421,9151411	266,377041	-155,5381001
2044	-454,9108896	279,061662	-175,8492276
2045	-489,7314787	291,746283	-197,9851957
2046	-526,4291964	304,430904	-221,9982924
2047	-565,0557275	317,115525	-247,9402025
2048	-605,6621001	329,800146	-275,8619541
2049	-648,2986362	342,484767	-305,8138692
2050	-488,954318	355,169388	-133,78493
2051	-521,6696392	367,854009	-153,8156302
2052	-555,8946013	380,53863	-175,3559713
2053	-591,6617354	393,223251	-198,4384844
2054	-629,0029498	405,907872	-223,0950778
2055	-667,9495083	418,592493	-249,3570153
2056	-708,5320104	431,277114	-277,2548964
2057	-750,7803729	443,961735	-306,8186379
2058	-794,7238146	456,646356	-338,0774586
2059	-840,3908407	469,330977	-371,0598637
2060	-887,8092311	482,015598	-405,7936331
2061	-937,0060286	494,700219	-442,3058096
2062	-988,0075294	507,38484	-480,6226894

2063	-1040,839275	520,069461	-520,7698143
2064	-1095,526047	532,754082	-562,7719647
2065	-1152,091858	545,438703	-606,6531546
2066	-1210,559951	558,123324	-652,4366272
2067	-1270,952797	570,807945	-700,1448524
2068	-1333,292091	583,492566	-749,7995251
2069	-1338,141643	596,177187	-741,9644557
2070	-1401,967449	608,861808	-793,1056411
2071	-1467,726271	621,546429	-846,1798416
2072	-1535,435458	634,23105	-901,2044076
2073	-1605,111593	646,915671	-958,1959222
2074	-598,2403213	659,600292	61,35997068
2075	-623,8096592	672,284913	48,47525379
2076	-649,4913481	684,969534	35,47818594
2077	-675,8050946	697,654155	21,84906038
2078	-702,7526359	710,338776	7,586140126
2079	-730,3354376	723,023397	-7,312040578
2080	-758,5546985	735,708018	-22,84668048
2081	-787,4113547	748,392639	-39,01871565
2082	-816,906084	761,07726	-55,82882399
2083	-847,0393108	773,761881	-73,27742978
2084	-877,8112104	786,446502	-91,36470841
2085	-909,2217142	799,131123	-110,0905912
2086	-941,270514	811,815744	-129,45477
2087	-973,9570676	824,500365	-149,4567026
2088	-1007,280603	837,184986	-170,0956174
2089	-1041,240125	849,869607	-191,3705181
2090	-1075,834418	862,554228	-213,2801895
2091	-1111,062051	875,238849	-235,8232021
2092	-1146,921387	887,92347	-258,9979172
2093	-1183,410583	900,608091	-282,802492
2094	-1220,527597	913,292712	-307,2348852
2095	-1258,270194	925,977333	-332,2928612
2096	-1296,63595	938,661954	-357,9739961
2097	-1335,622257	951,346575	-384,275682
2098	-1375,226329	964,031196	-411,1951328
2099	-1415,445205	976,715817	-438,7293884
2100	-1456,275758	989,400438	-466,8753205
2101	-1497,714696	1002,085059	-495,6296369
2102	-1539,758567	1014,76968	-524,9888867
2103	-1582,403766	1027,454301	-554,9494652
2104	-1625,646541	1040,138922	-585,5076185
2105	-1669,482992	1052,823543	-616,6594485
2106	-1713,909081	1065,508164	-648,4009173
2107	-1758,920637	1078,192785	-680,727852
2108	-1804,513356	1090,877406	-713,6359495
2109	-1850,682808	1103,562027	-747,1207805
2110	-1897,424442	1116,246648	-781,1777945
2111	-1944,733593	1128,931269	-815,8023236

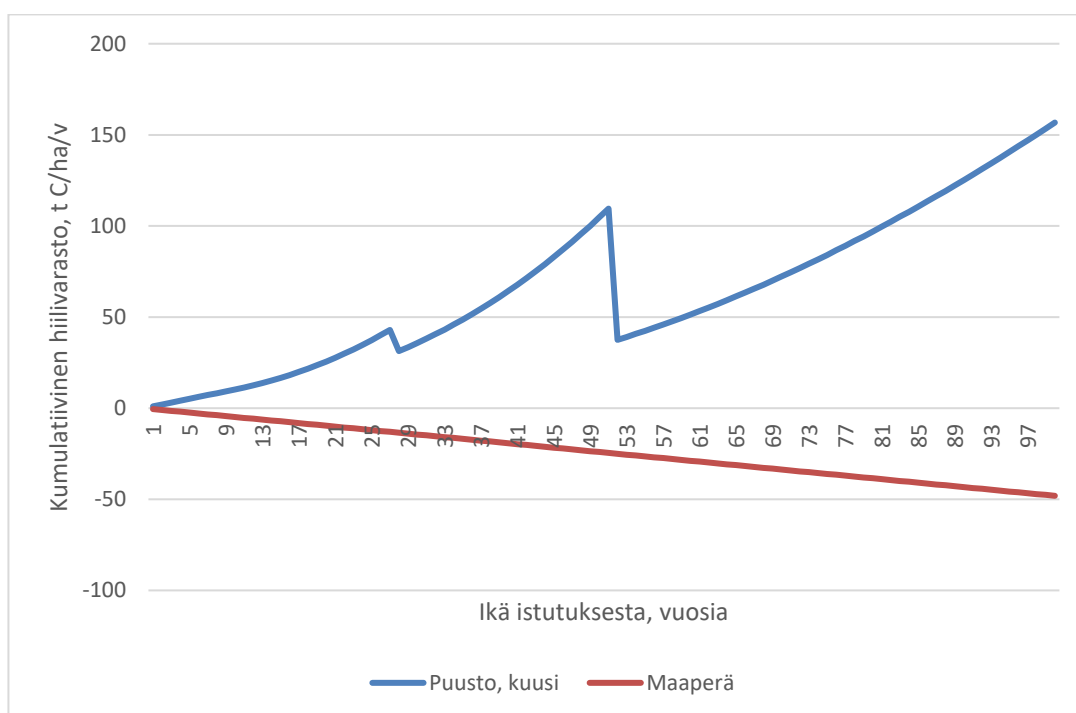
2112	-1992,605477	1141,61589	-850,9895873
2113	-2041,035207	1154,300511	-886,7346965
2114	-2090,01779	1166,985132	-923,0326578
2115	-2139,548131	1179,669753	-959,8783776
2116	-2189,62104	1192,354374	-997,2666657
2117	-2240,231235	1205,038995	-1035,19224
2118	-2291,373345	1217,723616	-1073,649729
2119	-2343,041916	1230,408237	-1112,633679
2120	-2395,23141	1243,092858	-1152,138552
2121	-2447,936215	1255,777479	-1192,158736
2122	-2501,150643	1268,4621	-1232,688543

Liite 5. Istutettujen suoalueiden osittaiset hiilitaseiden muutokset sadan vuoden ajalle

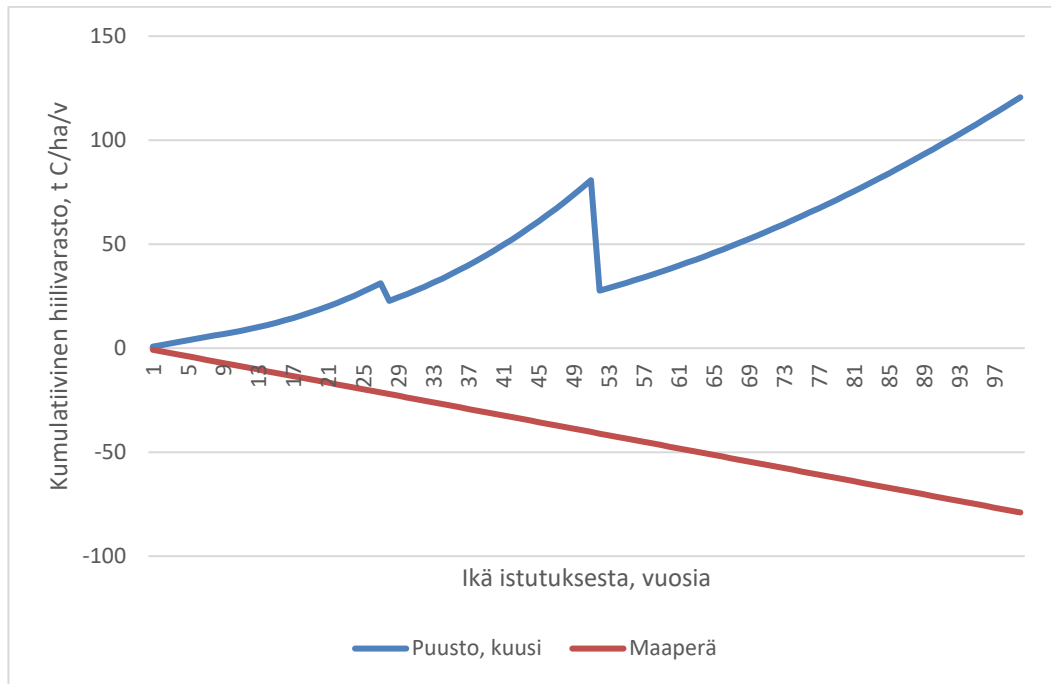
Hiilitaseet ilmoitettuna hiilitonneina hehtaaria kohti vuoden aikana (t C/ha/v). Positiivinen arvo tarkoittaa hiilen sidontaa ja negatiivinen arvo hiililähdettä. (Wall 2023.)



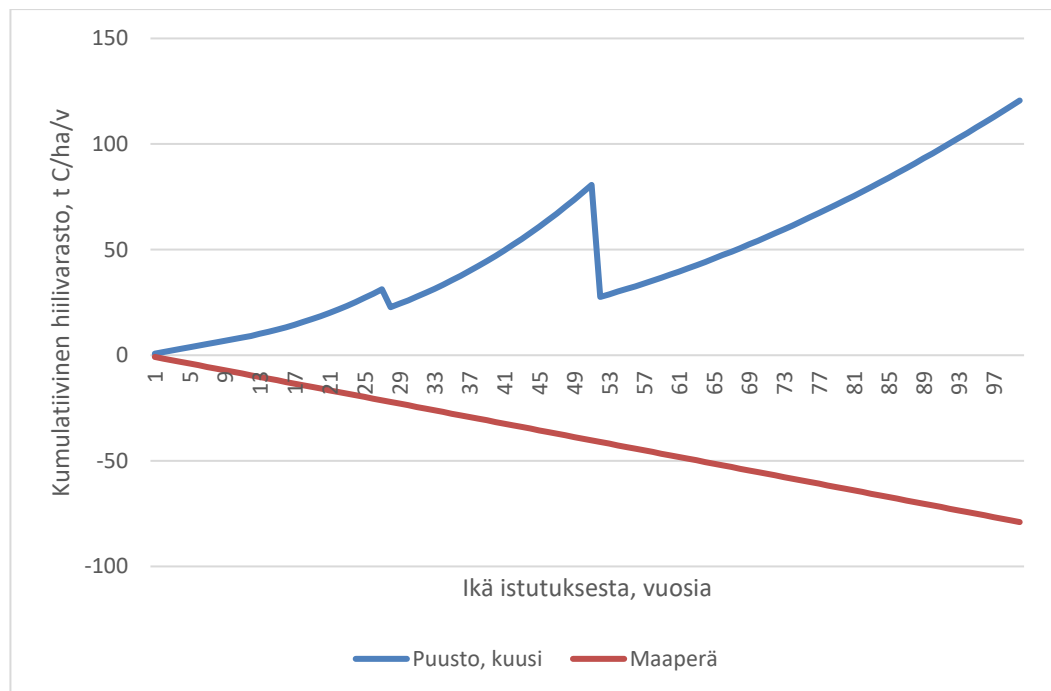
Kuvio 14 Koeala NP3-11: varputurvekangas, 0,5ha



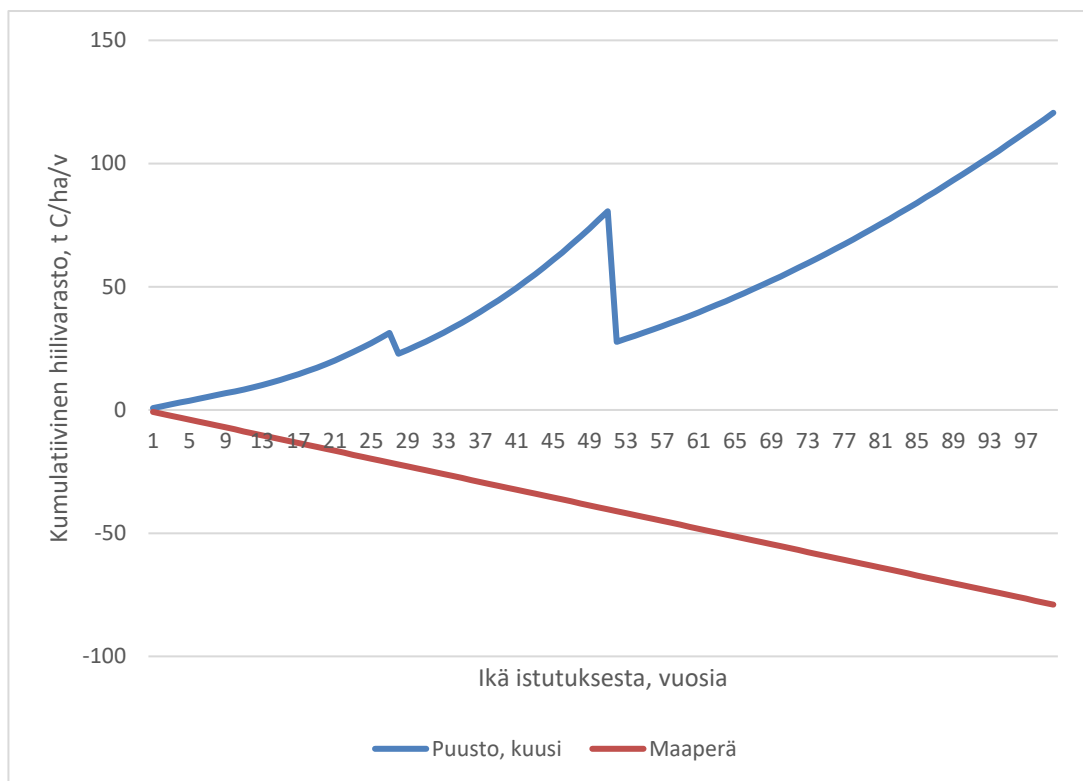
Kuvio 15 Koeala NP3-12: ruohoturvekangas, 0,5 ha



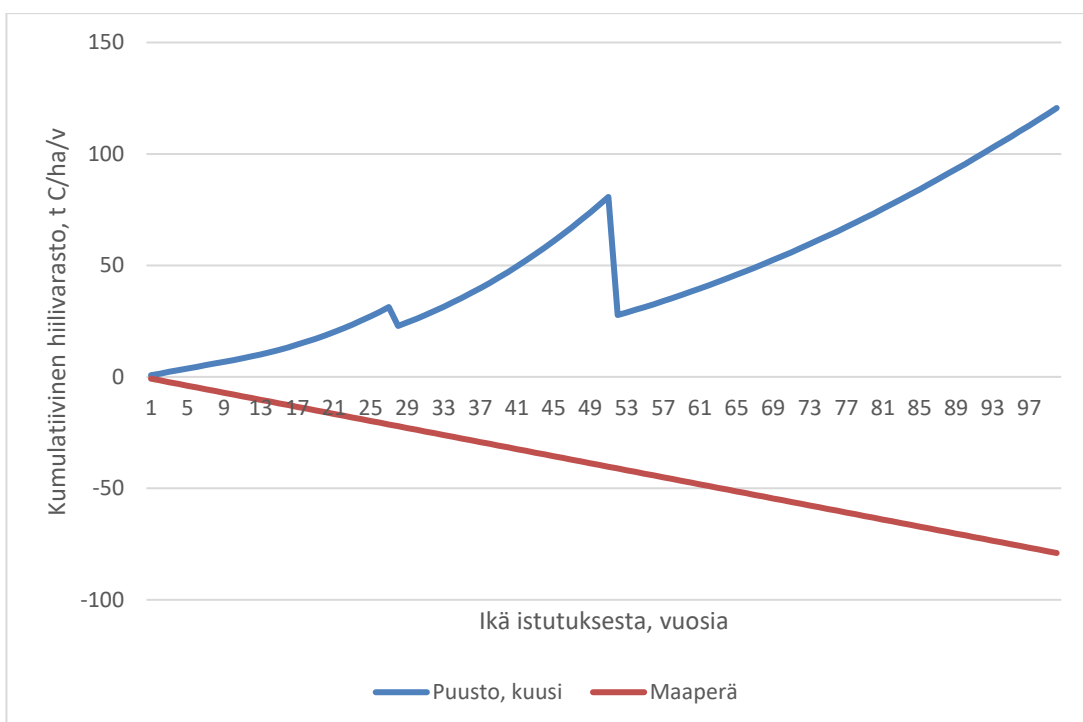
Kuvio 16 Koeala NP3-21: mustikkaturvekangas, 0,4 ha.



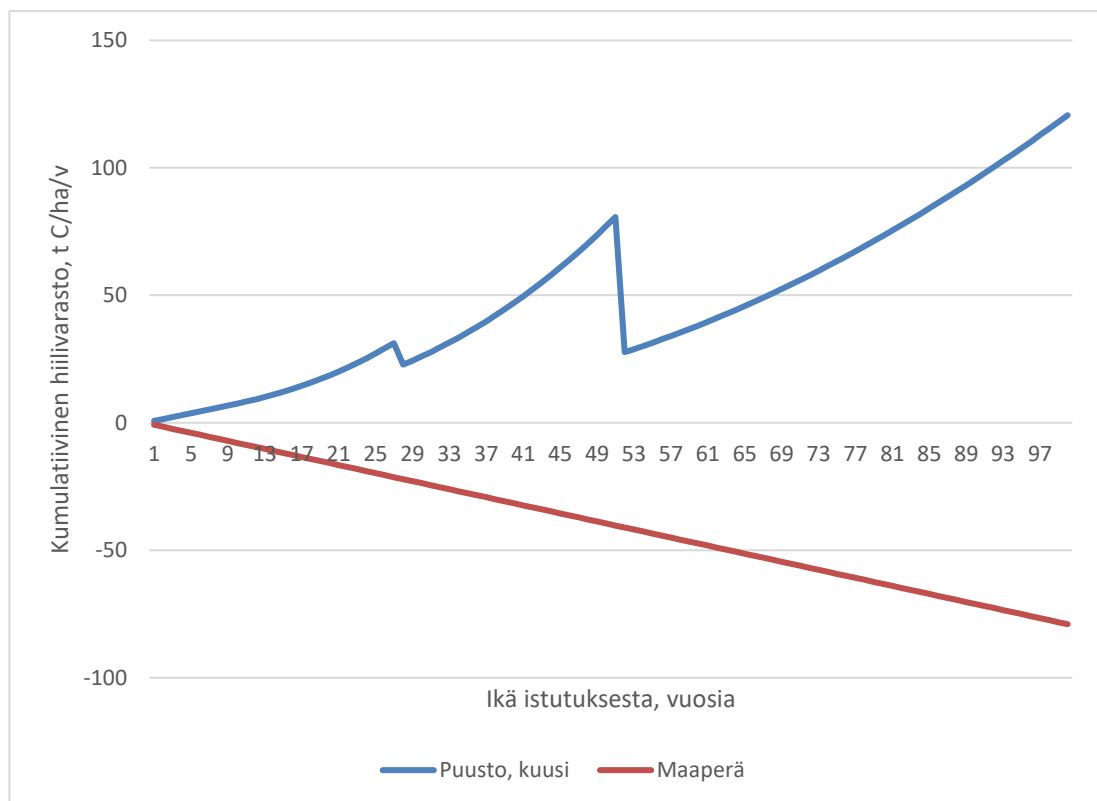
Kuvio 17 Koeala NP3-31: mustikkaturvekangas, 0,5 ha



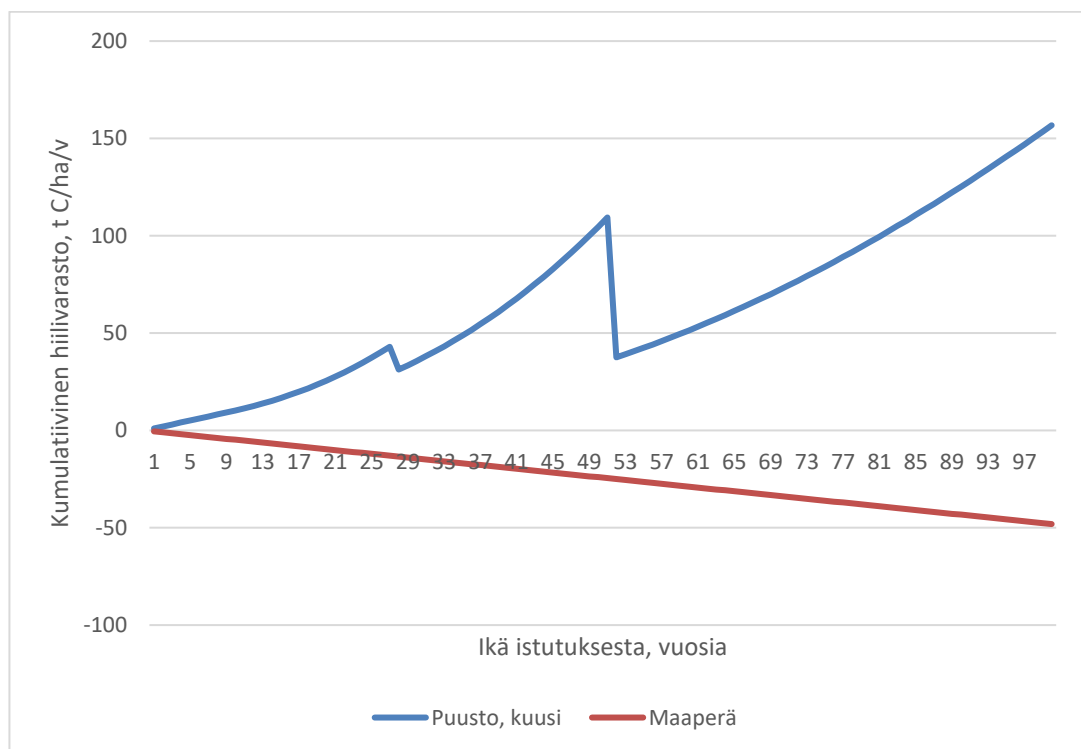
Kuvio 18 Koeala KIV-11, mustikkaturvekangas, 1,8 ha



Kuvio 19 Koeala KIV-13, mustikkaturvekangas, 1 ha



Kuvio 20 Koeala KIV-14, mustikkaturvekangas, 0,4 ha



Kuvio 21 Koeala KIV-21, ruohoturvekangas, 0,3 ha

Liite 6. Kaivoksen hiilijalanjäljen kompensoinnintarve

Vuosi	Hiilijalanjälki (t CO2- ekv./v)	Hiilitase (t CO2-ekv./v)	Kompensaatiotarve (t CO2- ekv./v)
2023	237518,75	-471,978	237046,77
2024	237518,75	-475,696	237043,05
2025	237518,75	-479,414	237039,34
2026	319746,63	-483,132	319263,50
2027	319746,63	-486,851	319259,78
2028	319746,63	-490,569	319256,06
2029	319746,63	-494,287	319252,34
2030	319746,63	-498,005	319248,62
2031	319746,63	-501,724	319244,91
2032	319746,63	-505,442	319241,19
2033	319746,63	-509,240	319237,39
2034	319746,63	-514,267	319232,36
2035	319746,63	-520,577	319226,05
2036	319746,63	-528,224	319218,41
2037	2581,97	-537,263	2044,71
2038	2581,97	-547,749	2034,22
2039	2581,97	-559,738	2022,23
2040	2581,97	-573,282	2008,69
2041	2581,97	-588,438	1993,53
2042	2581,97	-605,258	1976,71
2043	2581,97	-623,797	1958,17
2044	2581,97	-644,108	1937,86
2045	2581,97	-666,244	1915,73
2046		-690,258	-690,26
2047		-716,199	-716,20
2048		-744,121	-744,12
2049		-774,073	-774,07
2050		-602,044	-602,04