

EKOSYSTEEMIPALVELUIDEN PAINOTTAMISEN KANNATTAVUUS METSÄSUUNNITTELUSSA

Heidi Pesonen

Opinnäytetyö

Metsätalouden koulutusohjelma
Metsätalousinsinööri (AMK)

2023

Metsätalouden koulutusohjelma
Metsätalousinsinööri (AMK)

Tekijä	Heidi Pesonen	Vuosi	2023
Ohjaaja	Kari Pasanen		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Ekosysteemipalveluiden kannattavuus metsäsuunnittelussa		
Sivumäärä	48 + 9		

Monitavoitteisen metsätalouden tulevaisuuden neuvontamenetelmät (MetNe) -hankkeessa pyritään selvittämään, kuinka metsänomistajalle tarjottua metsäneuvontaa saataisiin parannettua erilaisilla työkaluilla. Monitavoitteinen metsäsuunnittelu vaatii erilaista lähestymistapaa kuin tavallisessa metsäsuunnittelussa. Tavallisesti metsäsuunnittelu perustuu ekosysteemipalveluissa pelkästään puuntuottoon. Muiden ekosysteemipalveluiden vaikuttavuutta metsäsuunnitelmassa voidaan säätää sen mukaan, mitä metsästä tavoitellaan. Metsänomistajalle on tärkeää näyttää, kuinka eri tavoitepainotukset vaikuttavat suunnittelussa laadittuun kokonaisuuteen.

Opinnäytetyössä oli tarkoituksena vertailla monitavoitteisten ja perinteisten metsäsuunnitelmien kannattavuuksia. Metsäsuunnitelmien laatimisessa apuna käytettiin Monsu-ohjelmaa, jossa käsiteltiin kahta MetNe-hankkeeseen kuuluvaa metsätilaa. Vertailtavia metsäsuunnitelmia oli laadittu yhteensä neljä. Yksi niistä oli keskittynyt perinteiseen jaksolliseen kasvatukseen ja toinen perinteiseen jatkuvaan kasvatukseen. Niistä kolmas oli keskittynyt monitavoitteiseen jaksolliseen kasvatukseen ja neljäs monitavoitteiseen jatkuvaan kasvatukseen.

Monitavoitteisissa suunnitelmissa huomioitiin ekosysteemipalveluista hiilivarastoja ja pakurikäävän tuottoa. Näille suunnitelmille optimoitiin ensiarvoiseksi hiilitase, kolmen prosentin nettohyötyarvo ja toisarvoisena ainespuukertymät. Perinteisissä suunnitelmissa hiilivarastoja ja pakurikäävän tuottoa ei huomioitu. Lisäksi siinä optimoitiin hiilitase toisarvoiseksi ja ainespuukertymät ja kolmen prosentin nettohyötyarvo ensiarvoisiksi.

Kaikista tuottoisimmaksi Monsu-ohjelmalla laadituista metsäsuunnitelmista osoitettiin monitavoitteinen jatkuva kasvatuksen suunnitelma. Hiilikorvaukset on laskettu sillä periaatteella, että koko kertyneestä hiilivarastosta saataisiin korvauksia. Eniten hakkuutuloja tulisi perinteisestä jatkuva kasvatuksen suunnitelmasta. Lisäksi pakurikäävän kasvatusta vaikuttaa tulosten mukaan kannattavalta, mutta vähäisten tutkimustulosten vuoksi epävarmalta. Monsu-ohjelmalla tuotettuja metsäsuunnitelmia on kuitenkin nopea ja helppo laatia, mutta luonnontuotteiden ja hiilivarastojen laskemiseksi tarvittaisiin yksityiskohtaisempia ja uusimpiin tutkimustuloksiin perustuvia laskelmia.

Avainsanat ekosysteemipalvelut, hiilensidonta, jatkuva kasvatusta, jaksollinen kasvatusta, metsäsuunnittelu, pakurikäävä

Forestry
Forestry Engineer

Author	Heidi Pesonen	Year	2023
Supervisor	Kari Pasanen		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Title	Profitability of ecosystem services in forest planning		
Number of pages	48 + 9		

The aim of *MetNe* project, or Future Advisory Methods for Multi-purpose Forestry project, is to solve how forestry guidance methods provided for forest owners could be improved by using different tools. Multi-purpose forestry differs from traditional forestry that concentrates only on wood production. In multi-purpose forest planning the effect of various ecosystem services can be controlled based on what the aim of the forest use is. It is important for a forest owner to know how emphasizing different aims affect to the planned entity.

The aim of the thesis is to compare the profitability of multi-purpose forest planning and traditional forest planning. *Monsu* program was used to create the forest plans. Two forest holdings were managed by the *Monsu* program. All in all, there were four different forest plans to be compared. The first emphasized traditional forest planning with rotation forestry and the second traditional forest planning with continuous forestry. The third plan emphasized multi-purpose forest planning with rotation forestry and the fourth one multi-purpose planning with continuous cover forestry.

Carbon storage and the production of chaga mushroom were taken into account in the multi-purpose plans but not in the traditional forest planning. Carbon balance and three per cent net percent value were set as a priority and material wood accumulation was set as a non-priority in the multi-purpose plans. In the traditional forest plans, priority was set higher on material wood accumulation and to three per cent net percent value, but carbon balance was a non-priority.

The most profitable plan created with the help of the *Monsu* program turned out to be the multi-purpose forest planning with continuous forestry. Carbon compensation income was calculated with the intention to get compensation income from the entire carbon storage. According to this study, the traditional forest planning with continuous forestry would provide the most income from harvesting. Furthermore, the production of chaga mushroom appears to be profitable but unreliable without further research. Forest planning is easy and fast with the *Monsu* program, but more detailed and updated research is needed to improve the calculations of natural products and carbon storage.

Keywords carbon assimilation, continuous-cover silviculture, ecosystem services, forest planning, traditional forestry, chaga mushroom

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 METSÄSUUNNITTELU JA EKOSYSTEEMIPALVELUT	7
2.1 Metsäsuunnittelu	7
2.2 Jatkuva kasvatus	8
2.3 Jaksollinen kasvatus	9
2.4 Ekosysteemipalvelut	11
2.5 Hiilensidonta ja hiilikorvaukset	12
2.6 Pakurikäävän kasvatus	15
2.7 Monitavoitteinen metsäsuunnittelu	16
3 METSÄVARATIETOJEN INVENTOINTI	18
3.1 Metsätilojen esittely	18
3.2 Metsätietojen tarkastaminen maastossa	18
3.3 Ekosysteemipalvelut Muhoksen metsätilalla	23
4 METSÄNKASVATUKSEN SIMULOINTI	26
4.1 ForestKit ja Monsu laskentatyökaluina	26
4.2 Vaihtoehtojen simulointi	26
5 TULOKSET	30
5.1 Hakkuutulot	30
5.2 Pakurikäävästä ennustetut tuotot	32
5.3 Hiilikorvauksista saatavat tuotot	34
5.4 Vertailu	37
6 POHDINTA	40
6.1 Tulosten tarkastelu	40
6.2 Eettisyys ja luotettavuus	41
6.3 Jatkokehittämissuhteet	43
LÄHTEET	45
LIITTEET	48

1 JOHDANTO

Ekosysteemipalveluiden huomioiminen on vapaaehtoista metsäsuunnittelussa. Metsävarojen inventointi keskittyy vielä nykyään pääosin puustoon, eikä ekosysteemipalveluita huomioida kovinkaan. Suomessa kehitettyjä puuntuotantomalleja on käytetty ahkerasti. Yhä enemmän on tarvetta malleille, jotka laskisivat myös muita ekosysteemipalveluita. (Salo 2015, 326.) Monitavoitteisuuden korostaminen metsänomistajilla on vähentynyt viimeisen 20 vuoden aikana. Metsänomistajista kuitenkin suurin osa laskee itsensä monitavoitteiseksi, vaikka tuloja korostavien metsänomistajien osuus on noussut. (Karppinen 2021.)

Monitavoitteisia metsäsuunnitelmia on toteutettu opinnäytetyönä aiemminkin, mutta erityisesti hiilikorvauksiin niissä ei ole tarkemmin keskitytty. Ainakin yksi pro gradu tutkielma on tehty, jossa on tutkittu hiilikorvausmekanismin vaikutusta metsätalouden kannattavuuteen (Toivanen 2020). Lisäksi UUTU-hankkeessa tehdyssä tutkimuksessa on tarkasteltu Monsusta saatavia pakurilaskelmia kriittisesti (Kurttila, Miina, Tikkanen & Turtiainen 2019.).

Opinnäytetyön toimeksianto saatiin Lapin ammattikorkeakoululta MetNe-hankkeen kautta. Hankkeen tavoitteena on selvittää tapoja, kuinka metsäneuvontaa pystyttäisiin kehittämään ja parantamaan käyttämällä esimerkiksi virtuaalisia sovelluksia, mallinnusohjelmia ja simulaatioita. (Korhonen 2021.) Opinnäytetyössä käsiteltävä alue sisälsi kaksi erillistä metsätilaa, joissa molemmissa on sama yksityinen metsänomistaja. Molemmat tilat sijaitsevat Muhoksella.

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia neljä toteuttamiskelpoista metsäsuunnitelmaa ja huomioida kahdessa niistä erityisesti kahta ekosysteemipalvelua, jotka kiinnostavat metsänomistajaa. Kaksi metsäsuunnitelmaa keskittyivät vain puuntuottamiseen, niistä toisessa toimenpiteet toteutettiin jaksollisena kasvatuksena ja toisessa jatkuvana kasvatuksena. Toiset kaksi käsittelevät samoja kasvatustapoja, mutta niissä oli tavoitteena myös lisätä hiilinielun kasvattamista ja pakurikäävän tuottamista. Metsänomistaja näkee tuotetuista metsäsuunnitelmista, miten kannattavaa on panostaa haluttuja ekosysteemipalveluita. Tuotettuja metsä-

suunnitelmia ei siis ole pakko toteuttaa, mutta se auttaa metsänomistajaa pohtimaan, mitä metsällensä haluaa tehdä. Suunnitelmien täytyi olla taloudellisesti ja ekologisesti tasapainoisia.

Lopputulemana olisi tarkoitus kehittää ekosysteemipalveluja painottavaa metsäsuunnittelua eri painotuksilla. Monsusta saatavia tuloksia tarkastellaan myös kriittisesti, koska simuloinnit tuotettiin vain tiettyjen rajoitteiden kautta. Lähelle realistisia lukemia pyrittiin kuitenkin pääsemään asettamalla ohjelmaan ajankohtaisia hintoja ja kustannuksia.

2 METSÄSUUNNITTELU JA EKOSYSTEEMIPALVELUT

2.1 Metsäsuunnittelu

Metsäsuunnitelmaa laadittaessa tarvitaan metsävaratietoja, joita saadaan maastosta saatavista koe- ja puustomittauksista ja metsävaratunnusten laskemisesta (Lehmonen & Talkkari 2021, 9). Laskenta perustuu yksittäisten puiden puutunnusten mittaamiseen. Puutunnuksia ovat rinnankorkeusläpimitta, puun pituus, pohjapinta-ala, ikä ja tilavuus. (Lehmonen & Talkkari 2021, 11–12.) Tilavuuden määrittäminen on tukki- ja kuitupuuosuuden ja biomassan mittaamisen ohella todella hankalaa. Tällöin käytetään erilaisia yhtälöitä ja malleja niiden laskemiseen. (Lehmonen & Talkkari 2021, 20.)

Muita määriteltäviä tunnuksia ovat kasvupaikkatunnukset, joista ilmenevät kasvuympäristön maalaji, kasvupaikkaluokka, pääryhmä ja alaryhmä. Kasvupaikkaluokan määrittäminen auttaa kasvatettavan puulajin valinnassa, maalaji maanmuokautuvan määrittämisessä, pääryhmä kertoo maankäyttömuodon ja alaryhmä kuvastaa jakautuuko metsämaa kivennäis- tai turvemaihin. (Lehmonen & Talkkari 2021, 28–29.)

Suurilta alueilta otettava metsävaratietojen kerääminen tarkasti ei ole mahdollista. Koeala- ja puustomittauksessa käytetään otantaa, jossa valitaan koealalla sopiva mittauskohde, joka edustaa inventoitavaa metsätilaa. Koealoja otetaan metsäalueella satojen metrien välein. Erilaiset kasvupaikat ja kehitysluokat voivat vaikuttaa siihen, kuinka tiheästi koealoja otetaan. (Lehmonen & Talkkari 2021, 69–70.)

Maastoinventointien lisäksi metsävaratietoja saadaan paikkatietoaineistoista. Aineistoista saadaan visuaalista kuvaa maanpinnasta satelliittikuvina, maastokarttoina ja teemakarttoina. (Lehmonen & Talkkari 2021, 50–51.) Puun pituuksia ja puulajisuhteita voidaan arvioida myös laserkeilauksista saatujen visuaalisten tulosten avulla. Laserkeilausdata toimii näin tukena maastomittauksissa määritettyjen lukujen lisäksi. (Lehmonen & Talkkari 2021, 82.)

Metsäsuunnitelman tarkoituksena on tuoda esille metsikköpalstan puuston nykytila ja arvioida hakkuumääriä nyt ja tulevaisuudessa. Erilaiset metsänhoitotoimenpiteet huomioidaan ja niiden tarvetta arvioidaan. Metsäsuunnitelmasta hyötyy metsäsuunnitelman tilaaja. Metsäsuunnitelmaan vaikuttavat metsänomistajan toiveet, joiden mukaan metsäsuunnitelma laaditaan. Metsäsuunnitelma kattaa kymmenen vuoden metsänhoitosuunnitelmat. (Suvanto 2013.)

Monitavoitteisessa metsäsuunnitelmassa pyritään huomioimaan muutkin arvot kuin puustosta saatavat tulot. Monitavoitteisessa suunnitelmassa voidaan painottaa tarvetta lievempiä hakkuita, leveämpiä suojavyöhykkeitä, peitteistä metsää tai muita tapoja, jotka tukevat metsän monitavoitteisuutta. (Metsänhoitoyhdistykset 2023.) Kirjallisuutta hiilikorvauksista ei runsaasti ole, vaan tieto on hyvin paljon internettiin, sähköpostiviesteihin ja yleiseen yritysten väliseen keskusteluun painottunutta.

2.2 Jatkuva kasvatus

Jatkuvan kasvatuksen periaatteena on pitää metsä jatkuvasti peitteisenä puustoltaan (Laiho, Lähde & Pukkala 2011, 212). Puusto on kaikenkokoista ja eriikäistä. Metsässä kasvavat puut tuottavat uutta alikasvosta siementensä avulla. Koska metsä pyritään pitämään peitteisenä, on sille osoitettu metsänkäsittelyssä avohakkuita lievempiä toimenpiteitä. (Valkonen 2020, 10–12.)

Poimintahakkuussa on tarkoituksena poistaa isoimmat puut ja korjata samalla huonolaatuiset ja sairaat puut pois. Yläharvennus on käytännössä samanlainen kuin poimintahakkuu, mutta yläharvennus tähtää enemmänkin jaksolliseen kasvatukseen. Pienaukkohakkuissa voidaan poistaa puustoa alle 0,3 hehtaarin alueelta ilman uudistamisvelvoitetta. Tässä toimenpiteessä hakkuualue uudistuu reunametsän avulla. Vanha metsä voidaan myös uudistaa jatkuvassa kasvatuksena siemen- tai suojuspuuhakkuuna. (Valkonen 2020, 10–12.)

Metsässä kannattaa tarkastella puustorakennetta, kuinka paljon alikasvosta on, mikä on viljavuusluokka tai kuinka hyvin vesitalous on vaikuttanut metsään. Rahkasammalpinnot ovat taimettumiseltaan erinomaisia heti suon ojitusten jälkeen.

Epävarmimpina kasvupaikkoina voidaan pitää mäntyvaltaisia varputurvekankaista. Turvekankailla rahkasammalten sijasta on enemmänkin seinä-, kynsi- ja kerrossammalia, jotka ovat huonompia alustoja taimettumiselle. Ojitusten jälkeen rahkasammaleet ja puuston karike muodostavat raakahumuksen, joka kuivuuden vuoksi ei ole enää hyvä taimien tai siemenien kasvatusalusta. Turvekankaalla saattaa siis olla paljon taimia viime vuosikymmeniltä, mutta uusia kasvaa enää heikosti. Eriakenteista metsää kasvaa luonnostaan mustikka- ja ruohoturvekankailla. Niissä kasvaa yleensä paljon kuusialikasvosta ja hieskoivua, jolloin ne soveltuisivat niiltä osin jatkuvaan kasvatukseen. (Valkonen 2020, 62–63.)

Onnistuneella jatkuvalla kasvatuksella voitaisiin vähentää ojitettujen turvemaiden ympäristövaikutuksia. Avohakkuiden tiedetään nostavan vedenpintaa, josta aiheutuisi metaanin syntymistä ja humuksen huuhtoutumista. Liian matala vedenpinta aiheuttaa kuitenkin hiilidioksidipäästöjen muodostumista. Näin ollen liian matala tai liian korkea vedenpinta ei ole hyväksi. Jatkovapeitteisellä kasvatuksella voitaisiin välttää radikaalia vedenpinnan vaihtelua, jolloin parannettaisiin metsätalouden ympäristövaikutuksia. (Laiho ym. 2020.)

Jatkovaa kasvatusta turvemaidella olisi hyvä tutkia lisää ja pitkäaikaisesti. Rämämänniköiden kaistalehakuista ja turvemaiden poimintahakkuiden toimivuudesta on vähän tietoa. Hyvien kasvatusohjeiden saamiseksi tarvittaisiin realistisia, kokeellisia tuloksia ja inventoinneissa saatuja havainnointituloksia metsän uudistumisesta. (Routa & Huuskonen 2022, 32.)

2.3 Jaksollinen kasvatusta

Jaksollisessa kasvatuksessa kasvatetaan samankokoisia ja -ikäisiä puulajeja. Metsän kasvatuksella on erotettavissa olevat vaiheet. Yksijaksoisessa metsässä puustorakenne on selkeimmillään avohakkuu, taimikkovaihe, nuori kasvatusmetsä tai varttunut kasvatusmetsä. Näillä kaikilla on tietyt koko, ikä ja laatumääritelmänsä. Kaksijaksoisessa kasvatuksessa kasvatetaan esimerkiksi ylispuina koivuja ja sen alla alikasvuisena kuusia. Tosin tämä tapa voidaan määritellä myös jatkuvan kasvatuksen lähtötilanteeksi. Lisäksi siemenpuu- ja suojuspuuhakkuut

voidaan määritellä jatkuvan kasvatuksen ohella jaksollisenkin kasvatuksen toimenpiteiksi. (Äijälä, Koistinen, Sved, Vanhatalo & Väisänen 2014. 34–35.)

Uudistushakkuussa metsä voidaan jaksollisessa kasvatuksessa avohakata. Avohakkuun jälkeen metsä on uudistettava. (Äijälä ym. 2019, 63.) Kohde voidaan istuttaa puuntaimilla tai kylvöllä. Siemenpuuhakkuissa erillistä kylvöä tai istutusta ei tarvitse tehdä, sillä puut kylvävät siemenet itse. (Äijälä ym. 2019, 72–73.) Jotta taimet ja siemenet lähtisivät hyvin kasvamaan, on suositeltavaa tehdä maanmuokkauksia. Riippuen maalajista voidaan valita alalle sopiva maanmuokkausmenetelmä. Keskikarkeille maalajeille sopivia toimenpiteitä ovat äestys, laikutus, laikkumätästys ja kääntömätästys. Hienojakoisille maille sopisivat laikkumätästys, naveromätästys, ojitusmätästys ja säätöauraus. (Äijälä ym. 2019, 129–131.)

Taimikon varhaishoidossa voidaan kasvun parantamiseksi tehdä erilaisia toimenpiteitä. Jos taimikko ei ole kasvanut riittävän tiheäksi, voidaan suorittaa täydennysistutuksia. Liika heinä taas voidaan torjua mekaanisesti tai kemiallisesti. Taimikon varhaisperkauksessa taimikosta poistetaan taimien kasvua haittaavaa lehtipuustoa muun muassa raivaussahalla. Taimikon harvennuksessa taimikkoa harvennetaan, jotta paraslaatuinen puusto pääsee kasvamaan vapaammin. (Äijälä ym. 2019, 136–138.)

Nuorissa- ja varttuneissa kasvatusmetsässä voidaan toteuttaa kasvatushakkuita. Harvennustarpeeseen vaikuttaa se, kuinka paljon puustoa jää harvennuksen jälkeen ja kuinka voimakkaita hakkuita metsässä voidaan toteuttaa. Harvennuksen tarvetta voidaan arvioida, onko se taloudellisesti kannattavaa tai onko sillä millaisia vaikutuksia jatkossa. Esimerkiksi todella tiheäksi kasvaneen metsän liiallinen harvennus saattaa aiheuttaa lumi- ja tuulituhoja, kun taas liian lievät harvennukset voivat aiheuttaa enemmän korjuuvaurioita ja ovat muutenkin kannattamattomampia pienemmän puunpoistuman vuoksi. (Äijälä ym. 2019, 140.)

Jaksollisessa kasvatuksessa voidaan tehdä alaharvennus, jossa poistetaan valtapuita pienemmät, heikkolaatuiset, sairaat ja paksuoksaaiset puut. Yläharvennuksessa pienten puiden lisäksi poistetaan osaksi isompiakin puita. Tällä voidaan

säätää harvennuksesta saatavia hakkuutuloja paremmaksi verrattuna alaharvennukseen. (Äijälä ym. 2019, 146.)

Kivennäismaihin verrattuna turvemaat ovat ominaisuuksiensa vuoksi haasteellisempia puunkasvatukseen. Niissä yleistä on ravinteiden niukkuuden lisäksi märkyys, joka haittaa puiden kasvua (Äijälä ym. 2019, 19). Maanpinnalla puusto haihduttaa turvemailla haittaavaa vettä tehokkaasti. Kuitenkin, jos tehdään avohakkuu, vedenpinta voi nousta. Tällöin täytyy tehdä kunnostusojituksia, jotta uusi kasvava taimikko ei kärsisi liiallisesta vedestä. (Äijälä ym. 2019, 39.)

2.4 Ekosysteemipalvelut

Ekosysteemipalvelut tarkoittavat luonnon aineellisia ja aineettomia tuotteita. Näistä aineellisia ovat esimerkiksi marjat, puut ja eläimet. Aineettomiksi palveluiksi määritellään esimerkiksi järvimaisema ja ilman puhdistuminen. (Salo 2015, 17.) Aineettomia palveluita voidaan kutsua myös säätely- ja ylläpitopalveluiksi ja aineellisia palveluita tuotantopalveluiksi (Salo 2015, 20). Metsätalous vaikuttaa tuotantopalveluista muun muassa vesitalouteen. Pohjaveden määrään vaikuttavat puusto ja pintakasvillisuus. Mitä enemmän kasvillisuutta kasvaa, sen enemmän se haihduttaa vettä, jolloin pohjaveteen kertyvän veden määrä on pienempää. Metsään tehdyissä hakkuutoimenpiteissä, erityisesti uudistamisissa ja maanmuokkauksissa ravinnehuuhtoumat kasvavat. Se mitä puusto ei itseensä kerää, kulkeutuu pohjavesiin, järviin ja jokiin. (Salo 2015, 61–64.)

Säätelypalveluista tärkeimpiä on ravinteiden kierto. Metsäekosysteemit varastoi-
vat muun muassa hiiltä, typpeä ja fosforia. Turvemailla erityisesti hiiltä sisältävät yhdisteet ovat erityisen runsaita ja maaperä kattaa siitä suurimman osan verrattuna puustoon. Hiili kiertää ilmakehän ja kasvillisuuden välillä soluhengityksen, fotosynteesin ja karikkeiden hajoamisen välillä. Typensitojabakteerit keräävät ilmakehästä typpeä, jonka kasvillisuus saa myös käyttöönsä. Muut ravinteet voivat kiertää maaperän ja kasvillisuuden välillä. Esimerkiksi vesisade voi huuhdella osan kaliumista maaperään. (Salo 2015, 224–225.)

Metsien ravinnekierto on sangen sulkeutunut, eikä sinne ravinteita tule muualta kovinkaan runsaasti. Toisinaan laskeuman kautta tuleva typpi sitoutuu puustoon tai sitten ravinteita poistuu huuhtoutumisen tai puunkorjuiden myötä. Hiilen ja tyypen luonnollinen vapautuminen ilmakehään tapahtuisi metsäpalojen kautta. Tehokkaat metsäpalojen torjunnat ovat kuitenkin vähentäneet ravinteiden luonnollista vapautumista. Ravinteiden vapautuminen nykyisin tapahtuu enimmäkseen erilaisten metsätoimenpiteiden, kuten maanmuokkausten, uudistamishakkuiden, ojituksien ja lannoitusten vuoksi. (Salo 2015, 224–225.)

Kiintoaineista fosfori- ja typpiyhdisteet aiheuttavat vesistöissä rehevöitymistä. Vaikutus näkyy erityisesti metsien läheisyyksissä olevissa lammissa, järvissä. Ravinteiden kulkeutumista pyritään ojituksissa estämään esimerkiksi kaivokotkoilla, pintavalutuskentillä, kosteikoilla, laskeutusaltailla, pohjapadoilla ja putkipadoilla. (Salo 2015, 225–227.)

2.5 Hiilensidonta ja hiilikorvaukset

Puu sitoo yhteen kuutiometriin hiiltä 750 kiloa (Puuinfo Oy 2020). Metsän hiilitase kuvastaa hiilen vapautumista ja sitoutumista ilmakehästä. Hiilitaseessa arvioidaan erityisesti maaperän ja puuston hiilenkiertoa. Metsässä yksi kolmasosa hiilivarastoista lukeutuu puustoon ja kaksi kolmasosaa maaperään. Puuston sitoman hiilenmäärän laskeminen on helpompaa, kuin maaperän hiilenmäärän laskeminen. Vaikeuksia laskemiseen tuottaa myös se, että suoalueilla hiiltä sitoutuu maaperään enemmän kuin kivennäismaille. On kuitenkin selvää, että metsän kiertoajan pidentämisellä hiilivarastot kasvavat. Toisaalta, jos puustoa käsitellään paljon, pidetään nuorempana ja nopeakasvuisena, hiilensidonta pysyy suurempana. (Lumperoinen, Viitala, Mäkinen & Niemi 2020, 72–74.)

Hiilensidonnan rahallinen korvaus on sangen uusi liiketoimintamuoto metsäalalla. Ministeriö pyrkii edistämään tätä Hiilestä kiinni -hankkeessa, jonka tavoitteena on muodostaa hiilineutraali Suomi vuoteen 2035 mennessä. (Maa- ja metsätalousministeriö 2020.) Sittenmin on muodostettu liiketoimintamalleja, joissa hiilikorvaukset ovat yksi palvelumalli. Esimerkkinä on Hiilinieluntuottajat HNT Oy, joka

perustettiin vuonna 2019. Hiilinielurekisteri perustettiin taas Rakeistus osakeyhtiön alle, joka perustettiin jo vuonna 2012. (Fonecta 2023a; 2023b.) Hiilinielurekisterin liiketoiminta hiilinielukorvauksista alkoi virallisesti vasta vuonna 2021 (Rakeistus 2021).

Hiilikorvausten tarkoituksena on motivoida metsänomistajia edistämään suometsien hiilensidontaa siten, että kiertoaikaa saataisiin lisättyä ja lannoituksia tuettua. Lannoitus pyritään korvaamaan hiilikorvauksesta saaduilla tuilla. Kun metsä kasvaa lannoituksen avulla, kasvussa sitoutuneesta hiiliosuudesta maksetaan korvaus. Tämä vaatii myös sen, että päästöjä kompensoivat yritykset tai yksityiset ihmiset ostaisivat hiilikompensaatioita näiltä hiilinielunkorvaus -yrityksiltä. (Rakeistus 2023.)

Hiilinielurekisteri tarjoaa läpinäkyvästi hiilikorvauspalveluja sivustollaan. Jotta metsä olisi hiilinielukorvaus oikeutettu, on metsäpalstan oltava vähintään kymmenen hehtaarin kokoinen. Lisäksi tuhkalannoitus on tehty kymmenen vuoden sisään tai se tehdään sovittuna aikana. Kunnostusojitus ja tarvittavat harvennukset on tehty. Metsän täytyy olla myös metsätalousmaata ja kesätie, jolta lannoite kuljetetaan, ei saa olla 1,5 kilometriä kauempana lannoitettavasta kohteesta. (Rakeistus 2023.)

Hiilinieluntuottajat HNT Oy -yritys tarjoaa hiilikorvausten ohella myös ilmastopainotteisia metsäsuunnitelmia. Suunnitelmassa hiilensidonta maksimoidaan metsänhoidon rinnalla ja selkeytetään, mitä toimenpiteitä metsänomistajan kannattaisi tehdä, jotta hiilensidonta metsässä lisääntyisi. Hiilikorvausten saamiseksi laadittua metsäsuunnitelmaa on noudatettava. (Hiilinieluntuottajat HNT Oy 2023.)

Metsänhoitoyhdistys on aloittanut vuonna 2022 hankkeen Kiertoajan pidennyksen ja lannoituksen tuottaman lisäyksen kaupallistaminen. Tässä hankkeessa on tavoitteena kehittää kestävä liiketoimintamalli liittyen hiilikorvauksiin. Tehtävänä on selkeyttää tarkat säännöt, millaisia vaatimuksia hiilikorvausta saava metsä vaatii. Myös metsänhoitoyhdistys tarjoaa metsänomistajille korvausta hiilinielujen

kasvattamisesta. Erityisesti he korostavat lannoituksen lisäämistä. (Metsänhoitoyhdistykset 2023a; 2023b.) Metsänhoitoyhdistys maksaa metsänomistajalle lisäisestä hiilensidonnasta tonnin määrän hiilidioksidista 10 euroa. (Yrjölä 2023).

Hiilinielukurvausten hakuun vaikuttaa myös kaksoislaskennan riski. Suomen valtiolla on velvollisuus raportoida hiilinieluistaan ja päästöistään YK:lle ja EU:n komissiolle. Kun hiilikompensaatiota ostanut taho ja valtio raportoivat samasta kompensatioyksiköstä eli hiiltä sitovasta metsiköstä, nimitetään sitä kaksoislaskennaksi. (Green Carbon 2021.) Kaksoislaskennan välttäminen on yksi hyvien hiilikompensaatioiden minimikriteereistä (Ahonen, Kulovesi, Laine, Laininen, Mäntylä & Pakkala 2023, 21).

Hiilikaupan ohjeistukset pyritään pitämään yksiselitteisenä ja todenperäisenä hyvien hiilikompensaatiokriteerien avulla (Ahonen ym. 2023, 4). Minimikriteerit ovat kansainvälisiä ja vakiinnutettuja. Lisäisyyden kriteerillä pyritään välttämään sitä, ettei vapaaehtoisilla ilmastoteoilla tueta jo muutenkin ilmastoa hyödyntäviä toimia. (Ahonen ym. 2023, 21.) Esimerkiksi käytännössä lannoituksella saadaan metsämailla lisättyä hiilensidontaa, eikä pelkästään tueta sitä, että metsä sitoo hiiltä sellaisenaan. Hyvällä perusuralla taas pyritään esimerkiksi siihen, että nykyisiä lainsäädäntöjä kuitenkin noudatetaan, hiililaskennassa käytetään parhaita mahdollisia teknologisia välineitä ja pysytään kansainvälisissä ja kansallisissa ilmastotavoitteissa. (Ahonen ym. 2023, 33.)

Laskentamenetelmien täytyy olla hiilen laskennassa hyväksytyjä ja tunnustettuja kansainvälisesti ja kansallisesti. Käytännössä voidaan käyttää kansainvälisesti samoja laskukaavoja, joita kaikki noudattavat ja käyttävät. (Ahonen ym. 2023, 35–36.) Tuloksista täytyy myös tehdä seurantaraportti, jossa ilmenevät muun muassa hiilien määrät hiilidioksidiekvivalenttitonneina ja käytetyt parametrit, kuten päästökertoimien lukemat. Jotta ilmastonmuutoksen torjuntaan saataisiin pysyviä vaikutuksia, täytyy hiiltä saada pitkäaikaisesti varastoitumaan. Lisäksi pitäisi tiedostaa ihmistoiminnan ja luonnontuhoista aiheutuvat riskit, joiden skenaarioissa hiilivarastoista muodostuisikin päästölähde. (Ahonen ym. 2023, 44–46.)

Hiilensidontaan käytettävät menetelmät eivät saisi lisätä hiilenpäästöjä toisaalla. Tätä kutsutaan termillä hiilivuoto, jonka riski on erityisesti metsä- ja maankäyttösektoreilla. (Ahonen ym. 2023, 48.) Hiilensidontaa parantavat menetelmät eivät saa myöskään aiheuttaa haittoja ympäristölle, sosiaalisille arvoille, paikalliselle kulttuurille tai kestäväälle kehitykselle. (Ahonen ym. 2023, 57.)

Hiilikompensaation muita hyviä kriteerejä ovat aitous, todennus sekä sertifiointi, joilla tuloksien laatu, läpinäkyvyys ja vastuullisuus varmistetaan. Hiilenpoistojen tulee olla aitoja, jotta se edustaisi todellisia päästövähennyksiä. Lisäksi saatujen tulosten tulee olla todennettavissa ulkopuolisilla toimijoilla, jotta tuloksia voitaisiin pitää luotettavina. (Ahonen ym. 2023, 52.)

2.6 Pakurikäävän kasvatusta

Pakurikäpä (*Inonotus obliquus*) kasvaa koivuissa kasvannaisina. Se tarttuu puuhun itiöiden avulla ja kasvattaa sienirihmaston koivun pintaan. Pakurikäävän tunnistaa tummasta hiilenmustasta väristä, pahkamaisuudesta ja lohkeilevaisuudesta. (Suomen Lajitietokeskus 2023.)

Pakurikäpää voidaan viljellä itse. Kerätystä pakurista voi tehdä yrttijuomaa. Pakuria on käytetty monta sataa vuotta monissa boreaalisen vyöhykkeen maanosissa. Näistä maanosista Venäjä on ollut pakurin hyödyntämisen edelläkävijä. (Arktiset aromit 2023.) Pakurikäävän terveysvaikutuksia on testattu myös hiirikoikeilla, joissa on ollut vaikutusta diabeteksen hoitoon diabetesta sairastavilla hiirillä (Ao ym. 2008, 118). Tosin ihmisillä kokeita ei ole tehty (Arktiset Aromit 2023).

Pakurikäpää voidaan kasvattaa koivikoissa tai sekametsissä elävien koivujen rungoilla. Koivujen täytyy olla läpimitaltaan vähintään kymmenen senttimetrin paksuisia, jotta puu pysyy tehokkaana pakurikäävän kasvatuksen alustana. Pakurikäpä lisätään puihin kasvamaan pakuriympistä, joka sisältää sientä. Koivuun porataan reikä, jotta ympin saa siihen paikalleen. Hehtaarin alueelle ympätään 400–1000 kappaletta ymppejä. Pakurikäpää kasvatetaan puussa 10–20 vuotta, jonka jälkeen siitä saatava pakuri kerätään. (KÄÄPÄ Biotech Oy 2023.)

Infektoituneen koivun tunnistaa ympättyjen alueiden ligniinipitoisen nesteen valumisesta, rungon pullistumisesta ja repeilystä ja näkyvistä pakurikäpäkäs- vaimista (Cortina-Escribano ym. 2021, 4). Nykypäivänä kuivatusta pakurikäpäkäs- kilosta maksetaan 20–40 euroa kilolta riippuen sopimuksesta (Mankki 2023.) Pa- kurikäävän myynti on sellaisenaan verovapaata, sillä se luokitellaan kasvin osaksi (Tuloverolaki 1992/1535 § 4:89).

SieVi-hankkeessa tehdyssä tutkimuksessa 79 prosenttia pakuriympeistä oli läh- tenyt itämään. Kuitenkaan pakurikasvannaisten muodostumisesta ei ole tieteel- listä tutkimusta. Ajatellaan, että pakurista saisi useamman kuin yhden pakurisa- don, koska luonnollisesti kasvaneiden pakurien tiedetään uusiutuvan muutaman vuoden päästä keräämisen jälkeen. Näin ollen uskotaan, että istutettu ymppikin tuottaisi useamman sadon. (Helenius 2020, 46, 50–51.)

Pakurin viljelyn kannattavuutta tarkastellessa tulee esille paljon epävarmuusteki- jöitä. Pakuriymppien ja istutuspalveluiden hinnat ovat vakiintuneimpia. Pakurin kasvunopeutta ei tosin tunneta. Ei myöskään tiedetä tarkasti paljonko maaperä tai puulaji eli hies- tai rauduskoivu vaikuttavat kasvun laatuun. Sijainnillakin on todettu olevan merkitystä; kasvatetaanko pakuria Etelä- vai Pohjois-Suomessa. (Hiltunen 2022.)

2.7 Monitavoitteinen metsäsuunnittelu

Perinteisessä metsäsuunnittelussa keskitytään käytännössä yksitavoitteisuuteen eli kaikille metsän kohteille valitaan vain yksi ja sama tavoite maksimaalisella hyödyllä. Monitavoitteisessa metsäsuunnittelussa tavoitteita on enemmän, jolloin voidaan punnita eri metsän käsittelyvaihtoehtoja muiden tavoitteiden kustannuk- sella. Yksitavoitteisissa suunnitelmissa yleistä on valita pelkästään puuntuotanto. Puuntuotannon prioriteettia saatetaan joutua monitavoitteisessa suunnittelussa vähentämään tai sitten jos hakkuutuloja halutaan lisää, voidaan muita tavoitteita karsia pois. Kaikkea hyvää ei siis voi saada samaan aikaan. Asioiden priorisointi on lopulta metsänomistajan päätettävissä. (Salo 2015, 326–327.)

Käytännössä monitavoitteinen metsäsuunnitteluprosessi etenee samalla tavalla kuin perinteinenkin. Metsävaratietojen keruun lisäksi monitavoitteisuudessa voidaan käyttää erilaisia mallinnuksia. Erilaisten optimointien kautta voidaan korostaa tai vähentää eri aspekteja. (Salo 2015, 326–327.)

Malleilla pystytään näyttämään metsänomistajalle, miten erilaiset optimoinnit vaikuttavat metsäalueen käsittelytapoihin. Esimerkiksi Monsulla monitavoiteoptimointi pystytään tekemään. (Salo 2015, 326–327.) Metsäomistajien tavoitteiden mukaan voidaan vaihtoehtojen simuloinnissa sallia jatkuva kasvatus jatkuvan kasvatuksen rinnalle tai simuloida pelkästään jatkuvan tai jaksollisen kasvatuksen vaihtoehtoja (Pukkala 2021).

Monsu ehdottaa ennen optimointeja erilaisia käsittelyvaihtoehtoja, jotka eivät ole mihinkään vaatimukseen sidoksissa muuten kuin hyviin metsänhoidon suosituksiin. Metsänomistajan tavoitteiden selvittämisen jälkeen voidaan siirtyä optimointiin, jossa voi muuttaa eri tavoitteiden painotuksia. Optimointi lopulta valitsee valitun aspektin mukaisen käsittelyvaihtoehdon. (Pukkala 2021.) Esimerkiksi mustikan maksimoimiseksi käsittelyistä jäävät avohakkuut pois. Puolukan maksimoinnissa sovellus taas ehdottaa enemmän siemenpuu- ja avohakkuuta. (Salo 2015, 326–327.)

3 METSÄVARATIETOJEN INVENTOINTI

3.1 Metsätilojen esittely

Opinnäytetyössä tarkasteltavat kaksi metsätilaa sijoittuvat Muhokselle. Pinta-alaa niistä muodostuu yhteensä 232,5 hehtaaria. Metsätilat kuuluvat MetNe-hankkeessa käytettyihin testitiloihin. Toinen metsätiloista (liite 1) on suurimmaksi osaksi mäntyvaltaista turvemaata ja sen läpi menee moottorikelkkareitti. Metsätilalla kulkee penkkatie ja on myös hyvin kunnostusojitettu (kuvio 1). Kunnostusojituksia on myös toisella metsätilalla (liite 2). Siellä ei tosin ole pelkkää mäntyvaltaista metsää, vaan puusto on monipuolisempaa. Liitteessä 1 olevan metsätilan lannoitukset on toteutettu vuonna 2020. Pakurikääpä on ympätty kuviolle 61. Liitteessä 2 olevan metsätilan lannoitukset on toteutettu vuonna 2012 lukuun ottamatta kuviota 89, joka on lannoitettu vuonna 2020.

Kuvioilla 37 ja 43 on kitumaata, joita on tiheästi kunnostusojitettu. Puuston kasvu ei ole kuitenkaan parantunut kunnostuksista huolimatta. Näihin kuvioihin voidaan suunnitella ennallistamista, mutta sitä asiaa ei tässä opinnäytetyössä pohdita sen enempää. Nämä kuviot kuitenkin käytiin maastossa tarkastamassa.

3.2 Metsätietojen tarkastaminen maastossa

Metsävaratietoja on päivitetty Muhoksen tilalta kesältä 2022. Osa tiedoista oli laserkeilattua dataa vuodelta 2018. Laserkeilattu data ei sellaisenaan riittänyt metsäsuunnitelmaan ilman maastotarkastusta. ForestKit-ohjelmassa näkyvistä latvumalleista pystyi jo ennakkoon arvioimaan, millaista puustoa ja millaisia toimenpiteitä alueelle voisi tehdä.



Kuvio 1. Kunnostusojituksia

Maastokäynneillä käytettiin yleisimpiä metsänmittausvälineitä mittaamaan puuston pituus, läpimitta ja pohjapinta-ala. Välineinä käytettiin talmeteria, relaskoopia ja kädenpituista keppiä, jolla saatiin mitattua puun pituus askelmitalla. Metsässä kulkua helpottivat lumikengät ja suojasäätä johtanut pakkaskeli. Puuston laatua pyrittiin arvioimaan ja tarvittaessa tarkentamaan olemassa oleville metsätiedoille. Metsäkäynnillä ei pystytty kuitenkaan tarkastelemaan kenttäkerrosta, sillä lumi peitti metsänpohjan (kuvio 2). Maalaji täytyi siis arvioida puuston, satelliittikuvien, maastokartan ja olemassa olevien tietojen perusteella. Lumi myös vaikeutti puuston pituuden mittausta, joten mittaaminen perustui myös silmämääräisiin arvioihin.



Kuvio 2. Metsämaisema kuviolla 26

Maastossa karttasovelluksena käytettiin Etapio Offline-sovellusta tietojen tarkastamiseen ja keruuseen. Osa tiedoista laadittiin myös paperiselle lomakkeelle, jos kuviotietoihin oli tarkennettavaa ja ne vaativat parempaa maastotarkastusta. Tarkempaa tiedon keruuta vaativat erityisesti sekametsät, jotka olivat eri-ikäisrakenteisia. Kuvioilla 12, 15 ja 64 kasvoi selkeästi hyvälaatuista kuusialikasvosta (kuvio 3). Taimettumisherkkyyttä ei kuitenkaan pystytty tarkemmin varmistamaan lumen vuoksi. Kuvioille 53 oli kaukokartoitus määrittänyt sen kuusikoksi. Maastotarkastusta tehdessä kuvio paljastui männiköksi. Näin oksasta mäntyä ei muualla kasvanut, joten tämä kuvio oli poikkeus.



Kuvio 3. Kuvion 15 hyvälaatuista alikasvosta

Monet taimikoista oli taimikonhoidon jälkeen jätetty tavallista tiheämmäksi. Metsänhoidon suosituksissa nämä taimikot vaatisivat uutta taimikonhoitoa. Alueella on kuitenkin hyvin suuri riski hirvituhoihin (kuvio 4). Maastotarkastusta tehdessä tuhoja oli niin taimien latvoissa kuin nuorten puiden rungoillakin. Hirvien jälkiä oli miltei jokaisella kuviolla. Tiheämpänä kasvatettu männikkö on alttiimpi tuuli- ja lumituhoille (Äijälä 2019, 55).



Kuvio 4. Hirven tuhoja

Metsätilalla valtapuuna kasvoi pääosin mäntyä. Siellä täällä kasvoi sekapuuna myös koivua. Monsussa simuloitavaan pakurikäppäpotentiaali -laskelmaan sopivia kuvioita ei löytynyt kovinkaan. Siis sellaisia kuvioita, joissa koivua kasvaisi merkittävästi. Ainoat pakurin simulointiin soveltuvat kuviot olivat maastotarkastuksissa numerot 12 ja 15. Muita kuvioita, jo maastotarkastettuja, valikoitiin lopulta simulointivaiheessa. Kuvioilta 35 löytyi luontaisesti kasvavaa pakurikäppää (kuvio 5).



Kuvio 5. Luontaisesti kasvava pakurikäppä

Pakurikäppää oli ympätty kuviolle 61 vuonna 2020 (kuvio 6). Tämä käytiin myös varmistamassa maastokäynnillä. Pakurikäppää ympättyjä hieskoivuja löytyi yhteensä 54 kappaletta. Todennäköisesti niitä oli enemmänkin, mutta jatkolaskelmat lasketaan löydettyjen yksilöiden perusteella.



Kuvio 6. Ligniinin valumia

Ympätyistä koivuista kahdessa oli pakurikäävän kasvannainen, useammassa piirteitä ligniinipitoisen nesteen valumisesta ja osassa pientä paisumista (kuvio 7). Pakurikäppä oli siis infektoinut koivuja, mutta kasvannaisia ei vielä selkeästi ollut nähtävillä. On kuitenkin hyvä odottaa vielä useampi vuosi, sillä ympätyksestä on vasta kolme vuotta.



Kuvio 7. Pakurikäppä kasvannainen

Maastotarkastukset kestivät neljä päivää aikavälillä 20.1.2023 – 23.1.2023. Maastotarkastuksissa käytiin kuviot 1–65. Kuvioista 66–100 maastotarkastukset oli jo tehty kesällä 2022. Kaiken kaikkiaan kuvioita oli yhteensä sata.

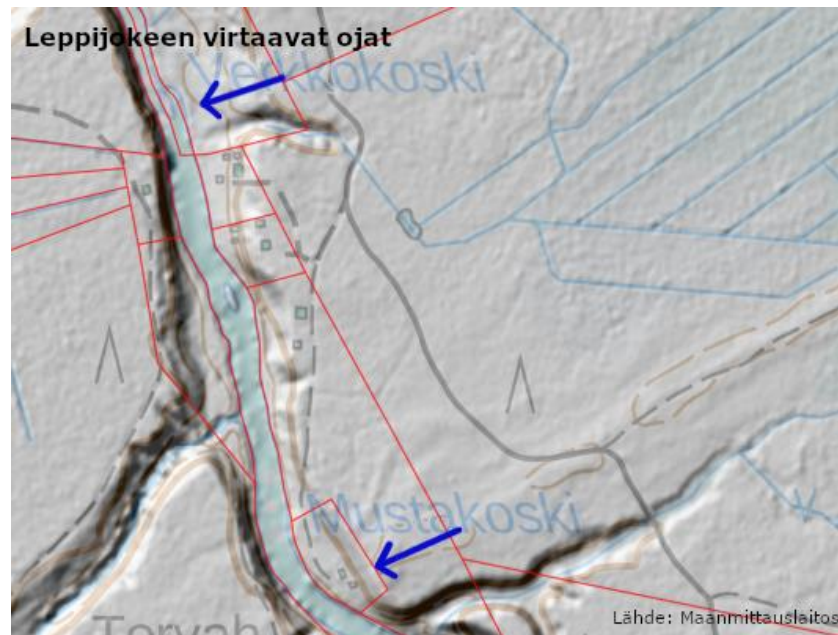
3.3 Ekosysteemipalvelut Muhoksen metsätilalla

Muhoksen tilalla ekosysteemipalveluista keskitytään eniten pakurikäävän kasvatukseen ja hiilensidontaan. Kuviolla 61 kasvavat koivut ovat ihanteellisia pakurikäävän kasvatukseen. Koivuja ei ole niin paljon, että niiden poistaminen lopulta vaikuttaisi merkittävästi kuvion pohjapinta-alaan ja puutavaran tuottamiseen. Jotta tuottopotentiaaleja voitaisiin simuloida laajemminkin Monsulla, otettiin las-kuihin mukaan myös ymppeämättömiä kuvioita. Tilan kuvioille 12, 15, 76, 79, 85 ja 93 pakurikäävän ymppeäys voisi olla myös mahdollista.

Koska osa metsäalueista on lannoitettu, hiilensitomisen paranevat puiden kasvun kiihtyessä. Kuvioille 26, 27, 31, 36, 40, 41, 49, 50, 55, 60, 61 ja 89 on tehty tuhkalannoitus vuonna 2020. Puiden kasvua on pyritty parantamaan kunnostusojituksilla, jotka tehtiin noin kahdeksan vuotta sitten.

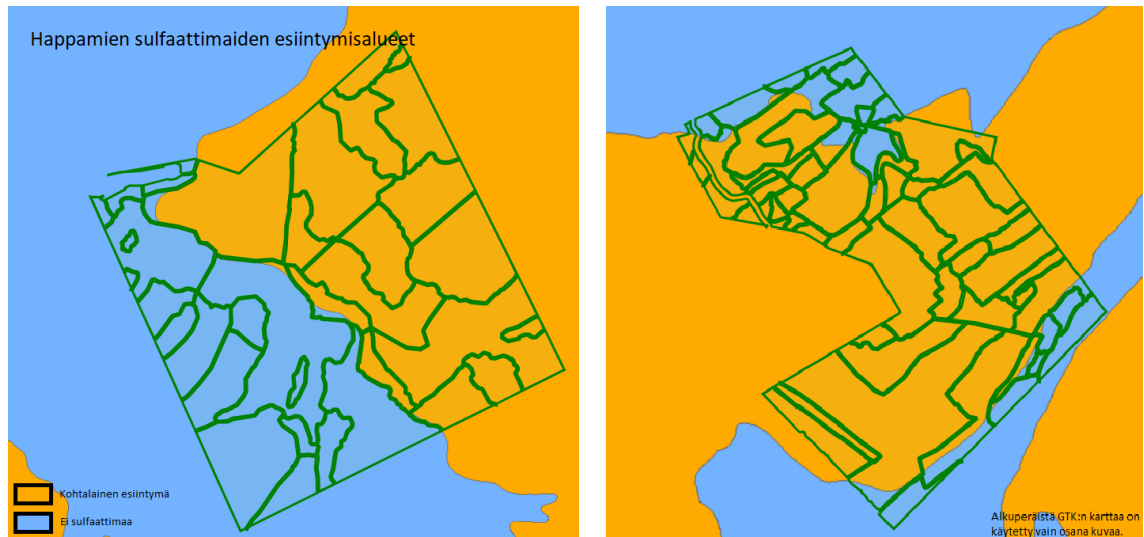
Hakkuut, kunnostusojitukset ja maanmuokkaus lisäävät vesistöjen kuormitusta kaikista merkittävimmin. Olisi siis hyvä välttää suuria metsänhoitotoimenpiteitä ja

korvata ne kevyimmillä toimenpiteillä. (Härkönen 2020.) Toisaalta vasta tehtyjen kunnostusojitusten jälkeen orgaanisen humuksen huuhtoutumisen on havaittu vähenevän. Sen on arvioitu johtuvan veden ohjautumisesta kivennäismaahan ja orgaanisen aineen hajoamisen tehostumisesta (Salo 2015, 227). Tilalta valuvat vedet kulkevat ojitusten kautta Leppijokeen. Leppijoki laskee pohjoisempana kulkevaan Muhosjokeen. Maanpintamalli näyttää kuinka ison uoman kautta vesi kulkee kohti Leppijokea (kuvio 8).



Kuvio 8. Leppijokeen virtaavat ojat (Maanmittauslaitos 2023)

Molempien tilojen alueet kuuluvat osaksi happamien sulfaattimaiden piiriin (kuvio 9 ja 10). Mahdolliset kunnostusojitukset lisäävät riskiä maan happamoitumiseen. Valumavedetkin voivat happamoitua syvien ojien seurauksena. (Valtioneuvosto 2018, 22.) Siksi kunnostusojituksissa kannattaa olla erityisen varovainen, jotta ei turhaan happamoitaisi maata ja vesistöjä. GTK:n laitokselta ilmoitettujen teemakarttojen mukaan alueella ei ole kuitenkaan tehty mittauksia sulfaattimaista, joten ei ole varmaa onko alueella kyseistä riskiä ollenkaan. Kartat esittävät sulfaattimaiden todennäköisyyksiä. (GTK 2023.)



Kuvio 9. Sulfaattimaiden esiintymisalueet (GTK 2023)

Edellä mainittujen tuotanto- ja säätelypalveluiden lisäksi metsätilalla on monipuolinen eläimistö. Tämän pystyi todentamaan useista lumeen painuneista eläinten jäljistä. Maastotarkastuksissa löytyikin useampi metsästystorni, joita metsästäjät voivat käyttää hyödykseen.

Metsätalouden ylläpito edistää muun muassa hirvieläinten viihtyvyyttä alueella. Erityisesti tasaikäisistä nuorista taimikoista hirvi saa talvisin ravintoa. Syödesään männyntaimien latvoja puut voivat kuitenkin vahingoittua niin, että siitä ei enää kasva hyvänlaatuista puuta. Toisinaan jos hirvi syö vain sivuoksia, taimi voi siitä selviytyä hyvinkin. Hirvituhoalueilla on siis hyvä kasvattaa suosituksia tiheämpiä taimikoita ja välttää jo tuhottujen taimien poistamista, sillä hirvet syövät mielellään jo tuhottuja taimia. (Salo 2015, 247–250.) Näin metsätilalla on tehtykin ja mäntytaimikot kasvavat suosituksia tiheämpinä. Maastotöiden aikana tilalla näkyi myös jalanjälkiä karpästä, jäniksistä, ketuista, oravista, metsäkanalinnuista ja ahmasta. Puusta lensi myös isokokoinen pöllö.

4 METSÄNKASVATUKSEN SIMULOINTI

4.1 ForestKit ja Monsu laskentatyökaluina

Korkeakoulu tarjosi ForestKitin käyttöön maastotietojen tarkastelemiseksi ja muokkaamiseksi. Monitavoitteista metsäsuunnittelua voidaan sitten toteuttaa Monsu-ohjelmalla. Monsu tukee XML-tiedostoja, joita pystyy tuottamaan ForestKitin avulla. XML-tiedosto sisältää metsätilan metsikkötiedot. Tietojen oikeana pitävyyttä pystytään helposti vertailemaan näiden kahden eri sovelluksen kesken. Tällä pystytään varmistamaan, että kuviotiedot kohdistuvat oikein. Hinnat pystytään Monsussa laatimaan ajantasaisiksi. Tosin tulevaisuuden simuloinnit voivat olla hieman epärealistisia, sillä ei tiedetä esimerkiksi paljonko mäntytukki maksaisi kymmenen vuoden päästä. Se ei tosin ole olennaista, kun verrataan esimerkiksi puuston, hiilinielun ja pakurin kasvatuksen tuottoarvoja keskenään. Olennaisinta on siis verrata näiden välisiä suhteita.

Jotta Monsu simuloisi suunnitelman halutulla tavalla, sille pitää antaa ohjeita. Esimerkiksi voidaan lisätä maksimi- ja minimikertymät kohteittain, jotta toimenpide olisi taloudellisesti kannattava tai ettei se antaisi vähentää puuston määrää liikaa. Simulointia voidaan myös toteuttaa joko jatkuvan tai jaksollisen kasvatuksen mukaisesti. Tässä täytyy kuitenkin huomioida se, millainen on kuviokohde ja sopiiko kyseinen metsänhoitotapa sille.

Monsusta voi tulostaa koko suunnitelman tai suunnitelman osia. Koko suunnitelmasta voidaan nähdä esimerkiksi hakkuutuloja, toimenpidekustannuksia, kuviotietoja, luonnontuotepotentiaaleja tai hiilivarastoja. Koosteesta voidaan nähdä myös hiilivarastojen kehitys ja hiilitase. Habitaatti-indekseillä Monsu kertoo metsätilasta riistaindeksit, biodiversiteetin ja lahopuuindeksit.

4.2 Vaihtoehtojen simulointi

Päivitetyt puustotiedot lisättiin maastotöiden jälkeen ForestKit-ohjelmaan, jossa myös tarvittavat kuviorajaukset päivitettiin. ForestKit-ohjelmasta saatava kuviotietoja sisältävä XML-tiedosto siirrettiin Monsu-sovellukseen. Kun Monsu tunnisti kuviotiedot eri kohteille, kaikki nykyiset metsätiedot löytyivät yhdestä ikkunasta.

Tarvittaessa niitä pystyttiin ennen simulointia muuttamaankin. Vuonna 2020 lannoitettuihin kuvioihin muutettiin ravinteisuusluokkaa yhtä pykälää paremmaksi, jotta simulaatio simuloisi lannoituksesta parantavan kasvun. Esimerkiksi kuivahko kangasmaa muutettiin tuoreeksi kankaaksi tai kuiva kangas kuivahkoksi kangasmaaksi.

Monsussa myös kustannukset pystyttiin säätämään ajankohtaisiksi. Kanto- ja tienvarsihintoina käytettiin Maaseudun Tulevaisuudesta saatuja puun hinta -tietoja. Tiedot perustuvat vuoden 2023 viikolle 4 (taulukko 1).

Taulukko 1. Puutavaroiden hinnat viikolla 4 (Maaseudun Tulevaisuus 2023)

Puun hinnat/ Viikko 4 / 2023		
Puutavara	Pystyhinta	Hankintahinta
Mäntytukki	69,5	68,3
Kuusitukki	70	69,3
Koivutukki	42,6	-
Mäntykuitu	25,9	43,4
Kuusikuitu	25,4	43,1
Koivukuitu	25,2	43,7

Simulointiparametreista säädettiin jatkuva kasvatus 30 vuodeksi kymmenen vuoden kausissa, joissa metsätoimenpiteinä olivat yläharvennukset, tasaharvennukset ja taimikonhoidot. Jaksollisessa kasvatuksessa simulointi tapahtui myös 30 vuodeksi kymmenen vuoden kausissa. Niissä metsätoimenpiteitä olivat taimikonhoidot, alaharvennukset, tasaharvennukset, siemenpuuhakkuut ja avohakkuut. Pääpainotus oli jaksollisessa kasvatuksessa alaharvennuksiin.

Monsussa simuloitiin lopulta neljä erilaista metsäsuunnitelmaa. Kahdessa ensimmäisessä simuloitiin optimoiden vain puuntuotantoa. Toinen toteutui jaksollisen ja toinen jatkuvan kasvatuksen mukaisesti. Niiden optimoinnissa painotettiin 3 prosentin nykyarvoa ja ainespuumäärää. Hiilitase pidettiin minimissään. Kahdessa muussa, joissa prioriteettina oli monitavoitteisuus, painotus oli 3 prosentin nykyarvossa ja hiilitaseessa, kun taas ainespuumäärä pidettiin minimissään.

Jotta Monsu simuloisi pakurikäävän tuottoa metsäkuviolla, lisättiin kuviolle tekstikoodi 129 (kuvio 10). Sovellus ei kuitenkaan simuloi pakurikäävän tuottoa sellaiselle kuviolle, josta hieskoivun poistuma olisi alle 2 kuutiometriä. Minimimitta-vaatimuksena simuloimiselle on myös 16 senttimetrin paksuiset ja 16 metrin pituiset hieskoivut. Nämä vaatimukset täyttyivät 7 eri kuviolla. Kuvion 61 hieskoivujen koko ja määrä eivät täyttäneet simulointivaatimuksia, jolloin kuvion tuotto jouduttiin laskemaan erikseen. Pakurikäävän kilohinta asetettiin simuloinnissa ja erillisissä laskelmissa 30 euroon.

Monsu

Alue	10	Lämpösusma	1120	Kehitysvaihe	7
Omistaja		Maaluokka	1	Turve, cm	69
Tila	10	Alayhmä	2	Korjuukelpoisuus	4
Kuvio	15	Ravinteisuus	3	<input checked="" type="radio"/> Heikko (nopea) <input type="radio"/> Keski- tai heikko <input type="radio"/> Hyvä (hidas)	
Pinta-ala (ha)	3.88	Maalaji	7		
Vuosi	2023	Ojitus tilanne	3		
Kuukausi	2	Kivisyys	1		

	PuLa	PPA	RuLu	Pitu	Ikä	Dmin	D	Dmax	Alku	Laatu
Mänty	1	10.7	0	18.5	83.0	0.0	23.1	0.0	1	2
Kuusi	2	0.00	1200	1.3	20.0	0.0	0.0	0.0	1	2
Kuusi	2	4.4	0	15.6	71.0	0.0	19.7	0.0	1	2
Hieskoivu	4	5.6	0	16.7	52.0	0.0	16.8	0.0	1	2

Tekstikoodit: 129 0 0 0 0

Jatkuva kasvatus Ei käsitellä

Edellinen Piirrä Etsi Seuraava Lasko Lue ? Tallenna Poista Lopeta

Kuvio 10. Monsun kuviotiedot-valikko (Pukkala 2021)

Kuviolle 61 oli 54 kappaletta pakurikäävällä ympäröityjä hieskoivuja noin kolmen hehtaarin alueella. Monsu ei simuloinut kuviolle pakurikäävän arvoa runkoluvun ollessa liian pieni. Laskelmat täytyi koostaa erikseen laskukaavalla.

Yhden koivun oletetaan tuottavan kolme satoa, joista saadaan yhteensä 4,5 kiloa. Yhdestä sadosta saadaan siis 1,5 kiloa. (Helenius 2020, 21.) Pakurikäävän itämisen todennäköisyyden lukuna käytetään 79 prosenttia (Helenius 2020, 10). Näiden avulla saatiin laadittua seuraavanlainen kaava, jossa 54 on ympäröityjen koivujen määrä, 0,79 on itämisen todennäköisyyden kerroin ja 4,5 kilogrammaa on koivuista saadun kolmen sadon yhteismäärä eli $54 \times 0,79 \times 4,5 \text{ kg} = 191,97 \text{ kg}$. Tällöin yhdestä sadosta saadaan kuviolle 61 jopa 63,99 kiloa pakuria. Jos

pakurista maksettava kilohinta olisi 20 euroa, yhdelle sadolle tulisi hintaa 1279,80 euroa. Toisaalta 30 euron kilohinnalla sadosta saisi 1919,70 euroa.

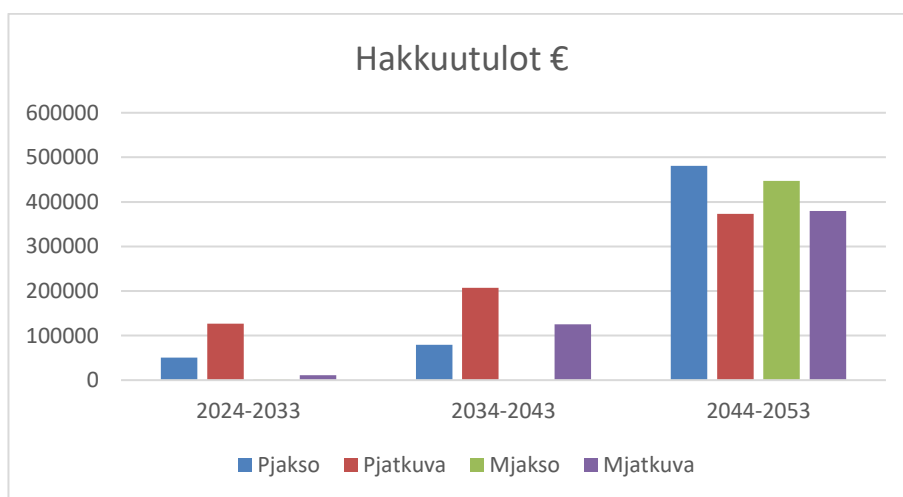
5 TULOKSET

5.1 Hakkuutulot

Jotta metsäsuunnitelmien vertailu olisi selkeämpää, käytetään taulukoissa seuraavia lyhenteitä. Monitavoitteista jaksollista metsäsuunnitelmaa nimitetään taulukoissa lyhenteellä Mjakso ja monitavoitteista jatkuvan kasvatuksen metsäsuunnitelmaa nimitetään lyhenteellä Mjatkuva. Perinteistä metsäsuunnitelmaa nimitetään lyhenteellä Pjakso ja perinteistä jatkuvan kasvatuksen metsäsuunnitelmaa nimitetään lyhenteellä Pjatkuva.

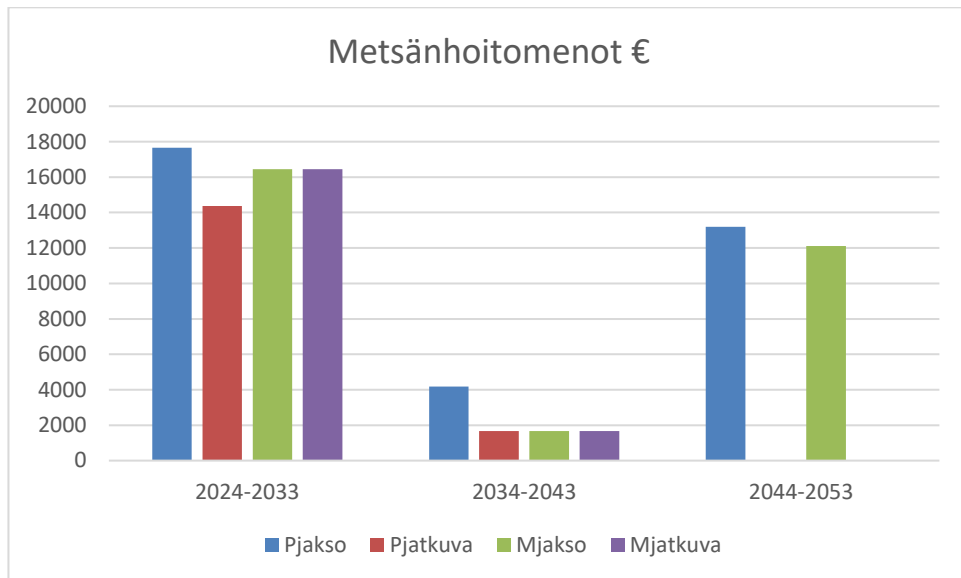
Hakkuutulojen määrään vaikutti erityisesti se, mikä kasvatustapa oli valittuna. Kun vertaa monitavoitteisia metsäsuunnitelmia, jaksollisessa kasvatuksessa hakkuutuloja saa eniten vasta 20 vuoden päästä, kun taas jatkuvassa kasvatuksessa tuloja tulee joka kymmenelle vuosijaksolle (liite 3). Hakkuiden ajankohtiin vaikuttavat erityisesti hakkuutavat. Jatkuvassa kasvatuksessa yläharvennuksia toteutetaan useina vuosina ilman päätehakkuuta. Jaksollisesta kasvatuksesta hakkuut ovat alaharvennuksia ja uudistushakkuuta (liite 5).

Perinteisissä metsäsuunnitelmissa jatkuvasta kasvatuksesta saisi enemmän hakkuutuloja verrattuna jaksolliseen (kuvio 11). Uudistushakkuissa jaksollisessa tuloja saa viimeisenä 30-vuotiskautena eniten, mutta jatkuvassa kasvatuksessa hakkuut tuottavat kokonaisuudessaan eniten tuloja.



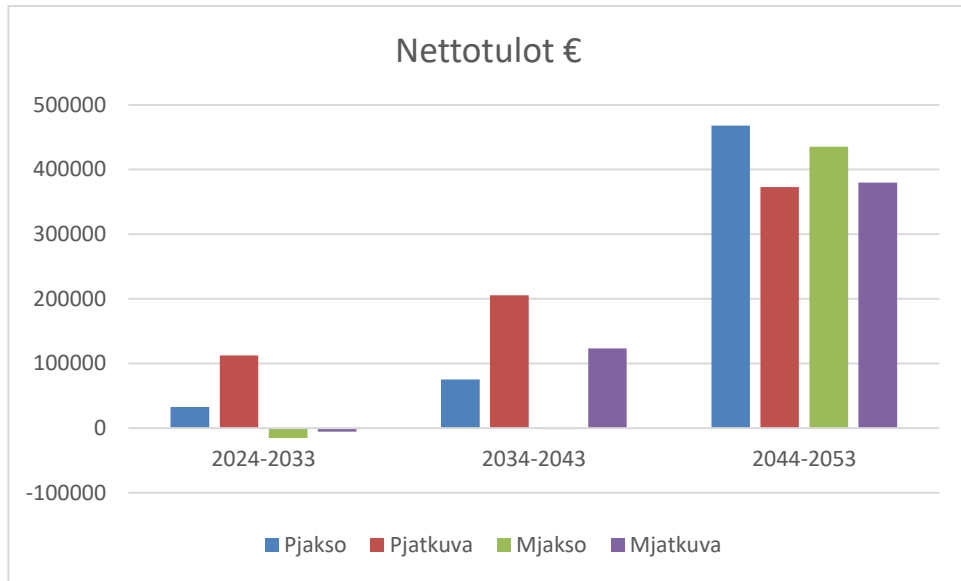
Kuvio 11. Metsätilan hakkuutulot 30 vuoden ajalta

Metsänhoitomenojen suurimpiin osuuksiin kuuluu taimikonhoito, jota kaikissa suunnitelmissa simuloitiin ensimmäisellä kymmenyskaudella (kuvio 12). Muita metsähoitotoimenpiteitä on viimeisellä 30-vuotiskaudella, jossa jaksollisissa suunnitelmissa simuloitiin uudistusalan raivauksia ja maanpinnan käsittelyitä.



Kuvio 12. Metsätilan metsänhoitomenot 30 vuoden ajalta

Metsänhoitomenojen vähennyksen jälkeen ei nettotuloissa ole hirvittävän isoa eroa (kuvio 13). Monitavoitteisissa suunnitelmissa joudutaan ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella sijoittamaan rahaa enemmän kuin siitä saa, jolloin nettotulot menevät miinukselle. Nettotuloja saisi 30 vuoden päästä kaikista eniten perinteisessä jaksollisessa kasvatuksessa.

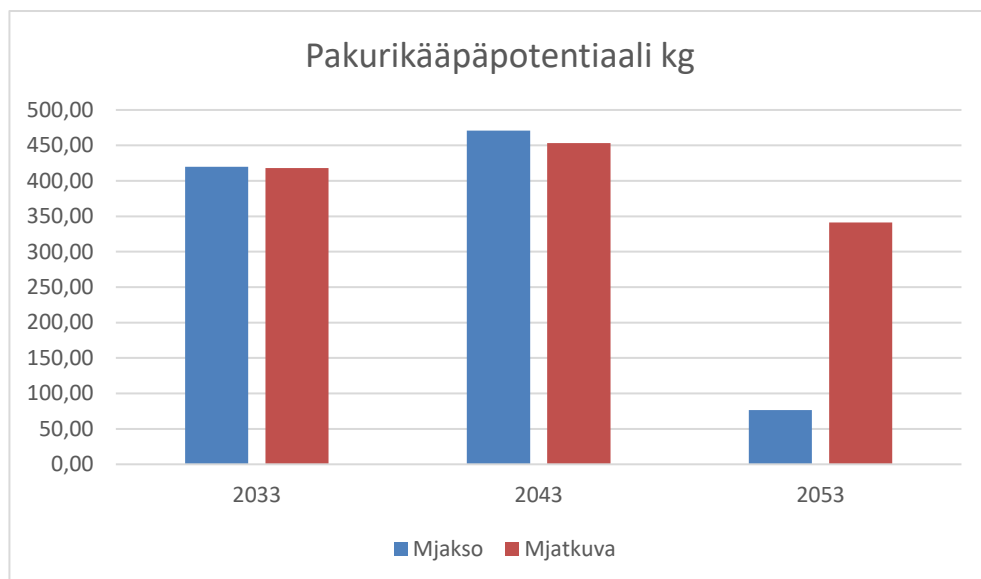


Kuvio 13. Metsätilan nettotulot 30 vuoden ajalta

5.2 Pakurikäävistä ennustetut tuotot

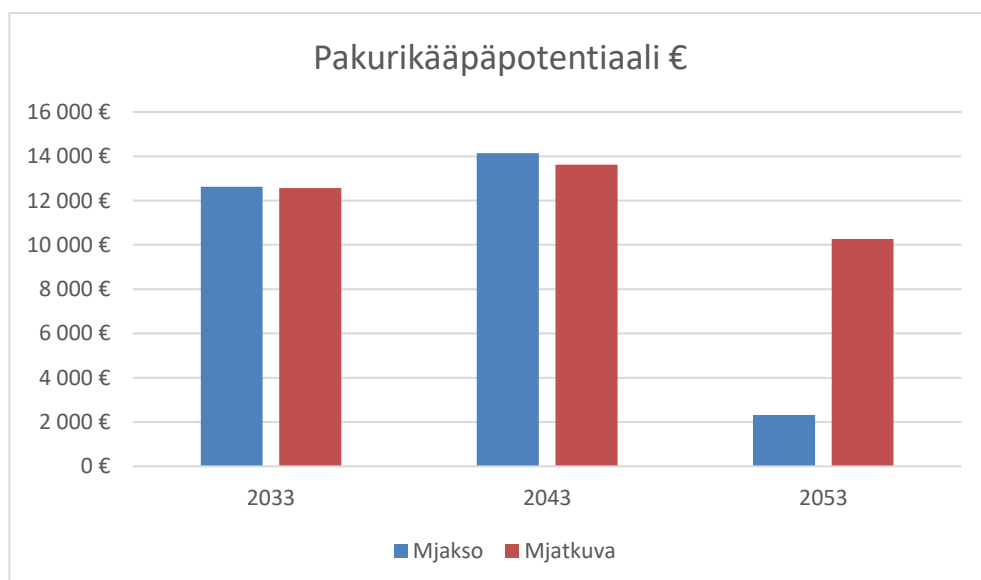
Pakurikäävän kasvatus simuloitiin kuvioille 12, 15, 76, 79, 85 ja 93. Oheiset taulukot (kuvio 15 ja 16) kuvastavat niiden tuottopotentiaaleja, joihin on lisätty jo ympäätyn kuvion tuottopotentiaalit. Taulukoissa olevat luvut ovat siis määriä, jotka kuvaavat kuvitteellista pakurikäävän kasvatusta. Todellisuudessa pakurikäöpää kasvatetaan nykyisin vain kuviolla 61. Pakurikäävän kilohintana käytettiin laskelmissa 30 euroa.

Ennusteen mukaan erityisesti vuonna 2043 pakurikääpien tuottopotentiaali olisi huipussaan (kuvio 14). Vuonna 2053 jaksollisessa kasvatuksessa tehdään niin paljon uudistushakkuita, että pakurikäävän tuotto menee minimiin. Pakurikääville olennaisia kasvualustoja eli koivuja ei silloin ole saatavilla.



Kuvio 14. Monitavoitteisten metsäsuunnitelmien pakurikäpöpotentiaalit kiloina

Kuvion 61 pakurikäpöpotentiaali on lisätty Monsun laskelmista saataviin tuloksiin. Pakurikäpöpotentiaali olisi 61 kuviolla yhdellä kymmenyskaudella pyöristettynä 64 kiloa, jos tuotto-odotukset toteutuisivat lasketulla tavalla. Euroissa se tekisi jokaiselle kymmenyskaudelle 1920 euron lisää tuottoa 30 euron kilohinnalla. Esimerkiksi vuonna 2053 oleva monitavoitteisen jaksollisen kasvatuksen pakurikäpöpotentiaali sisältää 1920 euron ja 400 euron osuudet yhteensä (kuvio 15). Monsun laskema pakurikäpöpotentiaali on siis 400 euroa ja 1920 euron osuus on laskettu manuaalisesti.



Kuvio 15. Monitavoitteisten metsäsuunnitelmien pakurikäpöpotentiaalit euroina

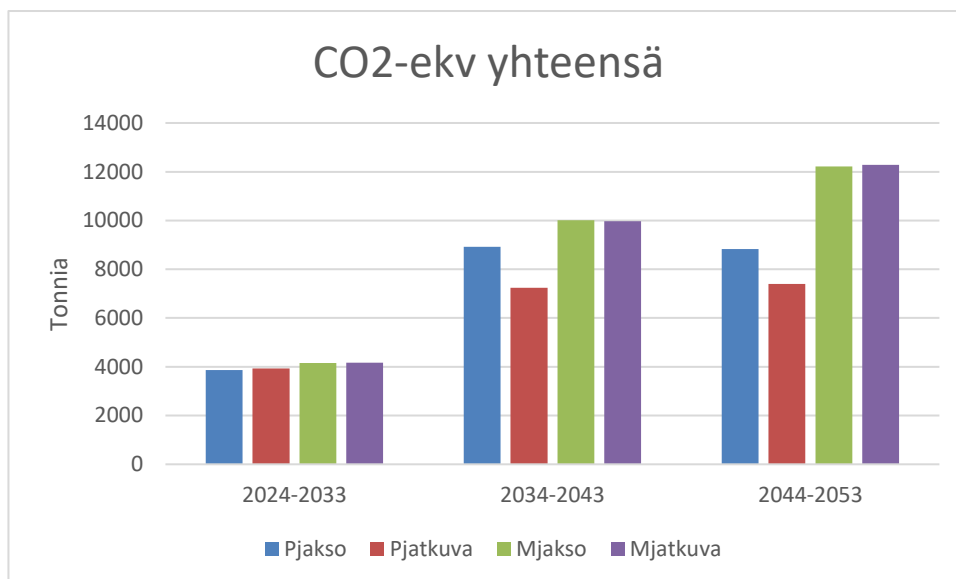
Pakurikäävän viljelemisestä koituvia kustannuksia Monsu ei simuloi. Monsu laskee metsästä olevien koivujen osuuksista pakurikääpien tuottopotentiaalin sen mukaan, miten paljon koivuja on sillä hetkellä saatavilla. Karkeasti voidaan kuitenkin laskea kuvion 61 kustannukset. Yhden puun ymppäämiseen on arviolta mennyt yhteensä kuluja noin 5 euroa, johon sisältyi ympit ja ymppääskustannukset polttoainekuluineen. 5 euron kuluista 3 euroa käsittää ymppien hinnan. Yhdessä koivussa on siis kolme ymppiä ja yhden ympin hinta on 1 euroa.

Kun ympättyjä koivuja on 54 kappaletta, kerrotaan se yhden puun kustannusarviolla. Tällöin saadaan tulokseksi, että ymppääskustannuksia on kertynyt 270 euroa. Yhden sadon keräämiseen menisi korjuukustannuksiin karkeasti 108 euroa polttoainekuluja, kun ymppääskustannuksista vähennetään ymppien hinta. Kolmen sadon keräämisestä koituisi yhteensä 324 euroa kuluja. Koska pakurikäävän myynti on verotonta tuloa, ensimmäisestä sadosta voittoa tulisi kaavalla: $1920 \text{ €} - 270 \text{ €} - 108 \text{ €} = 1542 \text{ €}$. Kertauksena 54 koivurungosta tulisi voittoa 1542 euroa.

5.3 Hiilikorvauksista saatavat tuotot

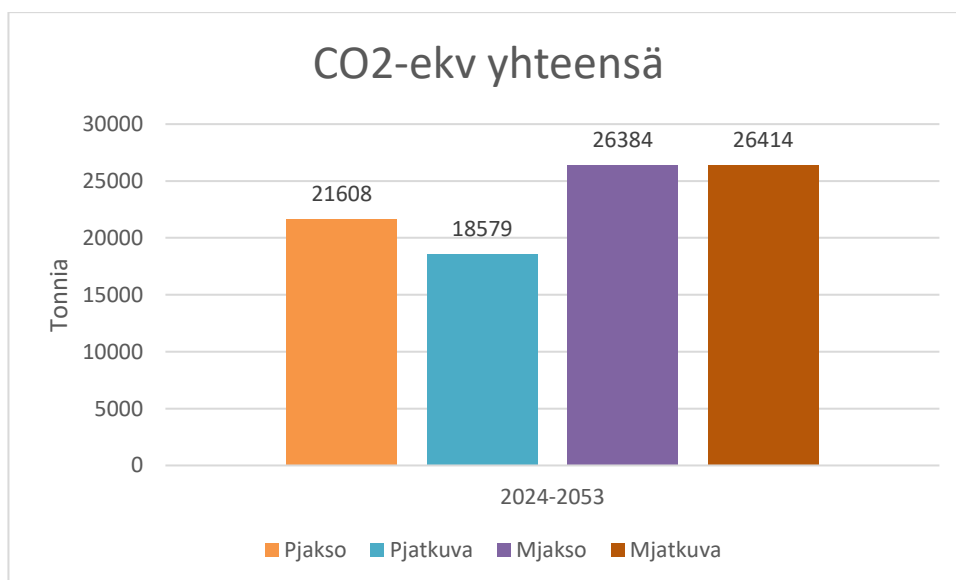
Kaikkien kuvioiden yhteenlaskettu hiiliekvivalenttimäärä koostuu niiden puustosta, maaperästä ja tuotteista. Kaikissa simuloinneissa maaperä oli suurin päästölähde, joka vähensi reilusti niiden yhteistä hiiliekvivalenttimäärää. Näissä laskelmissa ei ole valikoitu tiettyjä kuvioita, vaan niissä on laskettu kaikkien kuvioiden hiiliekvivalenttimäärät.

Hiilitaseen priorisoiminen ei vaikuta vielä ensimmäisellä kymmenyskaudella hiiliekvivalentin määrään (kuvio 16). Toisella kymmenyskaudella monitavoitteisissa suunnitelmissa hiilivarastot kasvavat selkeästi perinteiseen verrattuna. Jo 30 vuoden aikana eroa hiiliekvivalenteissa on jopa 4000 tonnia monitavoitteisen ja perinteisen välillä. Hiilivarastojen määrä lisääntyy jokaisessa metsäsuunnitelmassa (liite 4). Tosin perinteiset kasvatustavat kerryttävät hiilivarastoja hitaammin, kuin monitavoitteiset kasvatustavat.



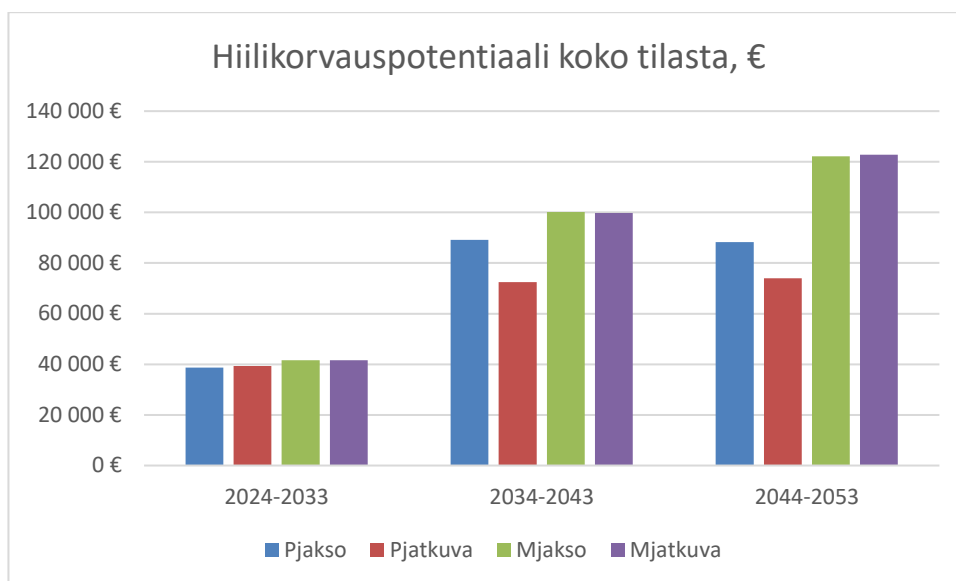
Kuvio 16. CO2-ekvivalenttikertymät eri kausilla

Hiilikvivalenttimäärät on laskettu Monsusta saatavien tulosteiden mukaisesti (liite 6, 7, 8 ja 9). Suurimmat ekvivalenttimäärät olivat kertyneet selkeästi monitavoitteisista metsäsuunnitelmista. Monitavoitteisissa jatkuvan- ja jaksollisen kasvatuksen välillä ei ole kuitenkaan kovin merkittävää eroa (kuvio 17).



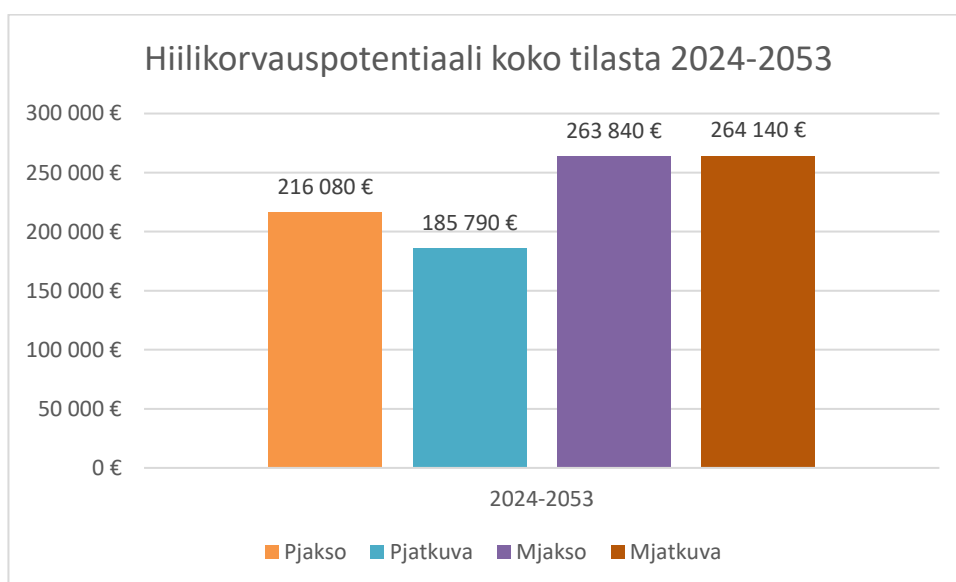
Kuvio 17. CO2-ekvivalenttikertymät yhteensä koko 30 vuoden kaudelta

Hiilikorvausten laskemisessa voidaan käyttää Metsänhoitoyhdistyksen tarjoamaa korvausta metsänomistajille eli 10 euroa yhdestä CO2-ekvivalenttitonnista. Seuraavat taulukot on laskettu oheisen korvausmäärän mukaisesti (kuvio 18). Käytännössä hiilikvivalentti on kerrottu kymmenellä.



Kuvio 18. CO₂-ekvivalentin arvo euroissa eri kausilla

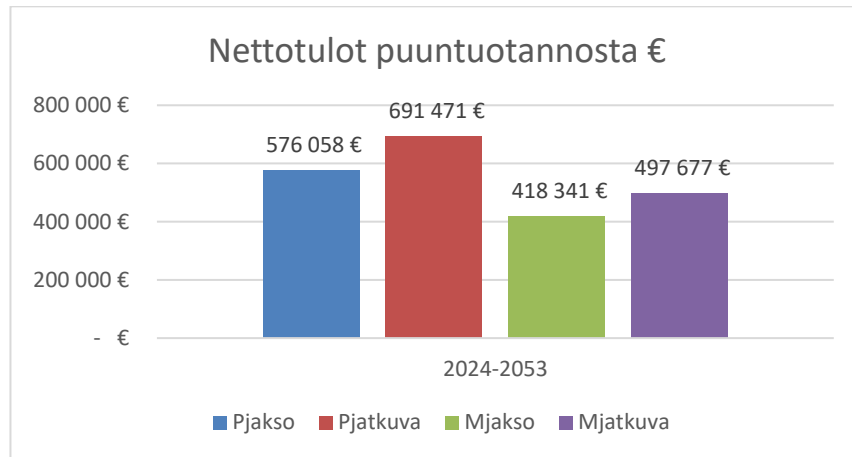
Hiilikorvauksia kertyisi rahallisesti jopa neljännesmiljoona monitavoitteisessa metsäsuunnitelmassa. Eroa perinteisen ja monitavoitteisen jaksollisissa kasvatuksissa olisi 47 760 euroa ja jatkuvissa kasvatuksissa 78 350 euroa. Jaksollisessa ja jatkuvan kasvatuksen hiilikorvauspotentiaaleissa ei ole erityisen isoa eroa (kuvio 19).



Kuvio 19. 30 vuoden CO₂-ekvivalenttiarvot euroissa

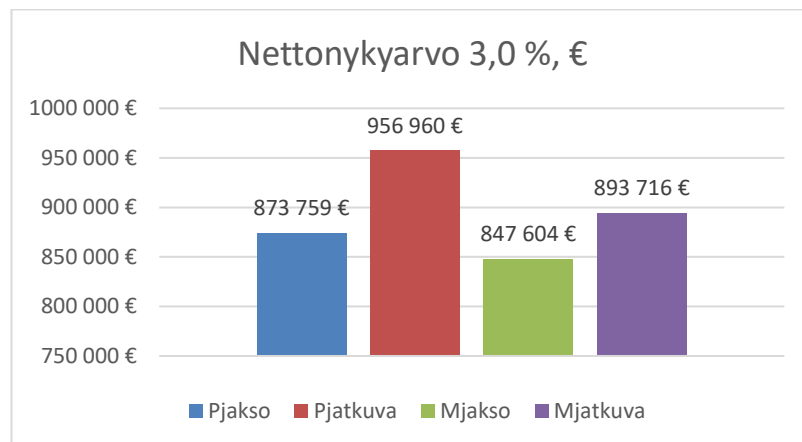
5.4 Vertailu

Kiertoajan pidennys vähentäisi selkeästi puustosta saatavia tuloja 30 vuoden aikaväliltä. Kannattavimmaksi pelkällä puuntuotannolla tulisi perinteinen jatkuva kasvatus. Perinteisessä jatkuvassa kasvatuksessa nettotuloja kertyi 193 794 euroa enemmän kuin monitavoitteisessa jaksollisessa kasvatuksessa (kuvio 20).



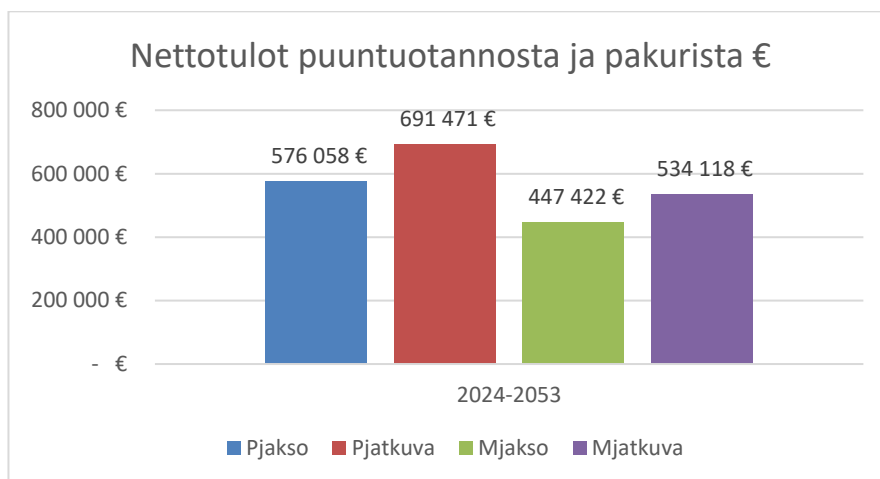
Kuvio 20. 30 vuoden nettotulot puuntuotannosta eri metsäsuunnitelmissa

Simuloinnit ovat kaikki optimoitu 3 prosentin nettonykyarvolla. Nettonykyarvossa siis otetaan huomioon nettotulojen lisäksi 30 vuoden suunnitelmakauden jälkeisen ajan metsän tuottoarvo ikuisuuteen. Jatkuvan kasvatuksen menetelmällä tehdyt suunnitelmat olivat nykyarvoltaan reilusti korkeampia (kuvio 21).



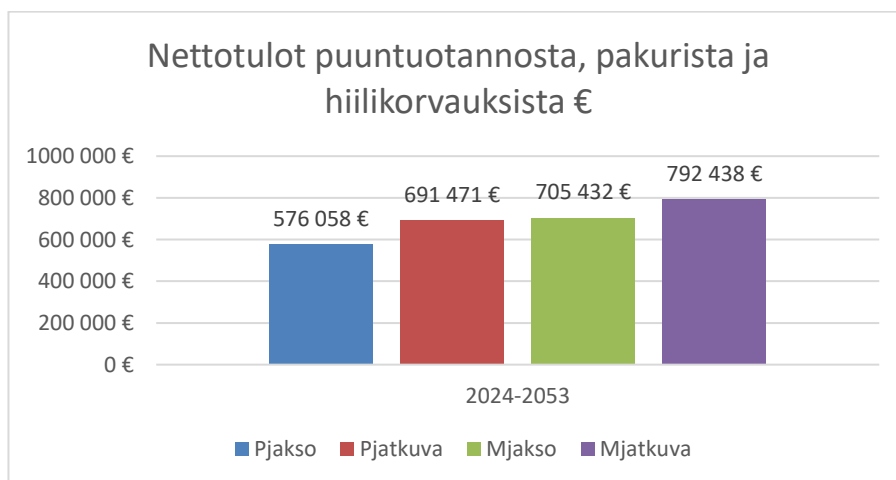
Kuvio 21. Vuoden 2023 nettonykyarvo 3 prosentin painolla

Pakurikäävän kasvatus potentiaalisilla kuvioilla lisäisi kokonaisnettotulo määrää jaksollisessa noin 5 prosenttia ja jatkuvassa noin 6 prosenttia. Pelkästään paku-rikäävän kasvattaminen ei yksistään parantaisi tuloja paljoakaan. Perinteiseen jaksolliseen ja perinteiseen jatkuvaan kasvatukseen ei ole lisätty pakurilaskelmia (kuvio 22).



Kuvio 22. 30 vuoden nettotulot puuntuotannossa ja pakurista eri metsäsuunnitelmissa

Kun hakkuu- ja pakurituloihin lisättäisiin hiilikorvaukset, kaikista kannattavimmaksi nousisi monitavoitteinen jatkuva kasvatus. Eroa perinteiseen jatkuvaan kasvatukseen olisi yli 100 000 euroa. Perinteisen- ja monitavoitteisen jaksollisen kasvatuksen välillä olisi eroa noin 129 000 euroa (kuvio 23).



Kuvio 23. 30 vuoden nettotulot puuntuotannosta, pakurista ja hiilikorvauksista eri metsäsuunnitelmissa

Kaiken kaikkiaan hiilikorvauksista saatava rahallinen korvaus olisi kohtuullisen iso. Näin ollen kannattamattomiksi muuttuisi perinteinen jaksollinen kasvatus ja kannattavimmiksi monitavoitteinen jatkuva kasvatus. Tässä kuitenkin täytyy huomioida se, että laskelmat ovat koostettu kokonaisten hiilitaselaskelmien mukaan eikä siinä ole käytetty pelkästään lannoituksesta saatua lisäystä. Jotta näin isoihin tuloihin päästäisiin, pitäisi kaikesta hiilestä, mitä metsä sitoisi, saada korvaukset.

6 POHDINTA

6.1 Tulosten tarkastelu

Monitavoiteoptimoinneilla tuotetuista metsäsuunnitelmista kaikkein kannattavimmaksi osoittautuisi monitavoitteinen jatkuvan kasvatuksen metsäsuunnitelma. Kannattavin se olisi siksi, kun hakkuutuloihin lisätään hiilikorvaukset ja pakurikäävän tuotto. Ilman hiilikorvaustuloja monitavoitteinen jatkuvan kasvatuksen suunnitelma jäisi kannattamattommaksi.

Ilman monitavoitteisuutta parhaiten tuloja muodostuisi perinteisessä jatkuvassa kasvatuksessa hakkuutulojen ansiosta. Hakkuutuloja tulisi toiseksi parhaiten perinteisessä jatkuvassa kasvatuksessa. Perinteinen jatkuva olisi siis 20 prosenttia kannattavampi kuin perinteinen jaksollinen. Eroa rahallisesti niillä olisi noin 115 400 euroa. Nettonykyarvollaakin oli näillä kahdella eroa. Jatkuva olisi noin 9,5 prosenttia nettonykyarvoltaan parempi kuin jaksollinen. Rahallisesti eroa olisi siis 83 200 euroa.

Myös monitavoitteisissa suunnitelmissa jatkuva kasvatus osoittautui tuloiltaan paremmaksi kuin jaksollinen. Jatkuva kasvatus olisi siis 12,3 prosenttia kannattavampi kuin jaksollinen ja eroa rahallisesti näillä olisi noin 87 000 euroa. Tässä siis vertailtiin puuntuotannon lisäksi kaikkien tulonlähteiden yhteismäärää eli pakurikäävän ja hiilen osuutta. Kun huomioidaan vain hakkuutuloja, tuloja tulisi myös eniten jatkuvassa kasvatuksessa. Hakkuutuloja kertyisi noin 19 prosenttia eli 79 300 euroa enemmän kuin jaksollisessa kasvatuksessa. Nettonykyarvoiltaan jatkuva kasvatus olisi 5,4 prosenttia parempi kuin jaksollinen ja eroa näillä rahallisesti olisi noin 46 100 euroa.

Hiiliekvivalenttien tuloksien osalta monitavoitteisissa suunnitelmissa arvot olivat aika tasaväkisiä. Koko 30 vuodelle jatkuvassa kasvatuksessa hiiliekvivalentti oli 26 414 ja jaksollisessa 26 384. Jatkuva kasvatus olisi vain 0,01 prosenttia parempi. Tulevaisuudessa jaksollisessa kasvatuksessa olevat hiilinielut kuitenkin

30 vuoden jälkeen romahtavat, koska tuloksissa ei ole esitetty avohakkuiden jälkeisiä hiilivarastoja tai niiden kehitystä. Silloin jatkuva kasvatus olisi selkeästi tässäkin todennäköisimmin parempi vaihtoehto.

Kaiken kaikkiaan hiiliekvivalentit oli laskettu koko hiilivarastosta. Tapa, jossa koko hiilivaraston kokonaisvaraston kasvattamisesta saataisiin hiilikorvauksia, ei ole käytössä. Nykyiset hiilenkorvauspalvelut pohjautuvat lisäyksellisyyteen eli esimerkiksi paljonko lannoitus tai muut lisäykselliset toimenpiteet kerryttäisivät hiilivarastoa. Kun ohjeet tarkentuvat ja tavat vakiintuvat, on hiilimarkkinoilla potentiaalia tulevaisuudessa.

Pakurikäävän kasvatus ei ole riskitöntä. Siihen liittyy paljon epävarmuustekijöitä, eikä kaikkea vielä tiedetäkään. Jos pakurikäävän kasvatusta lisäisi metsätalalla, nettotuloja tulisi useampi tuhat euroa lisää. Suhteessa kuluihin ja ennustettuihin tuottoihin pakurikäävän kasvatus olisi kannattavaa. Kannattavuus oli laskettu varsinkin jo ympätylle kuviolla. Kuvion 61 koivuissa olikin paljon merkkejä pakurin infektiosta. Ympit olivat olleet koivuissa vasta kolme vuotta ja pakurikasvaimen kasvamiseen voi mennä jopa 10–20 vuotta. Voi olla, että vuonna 2033 ei satoa vielä tulekaan, vaikka laskelmissa se on niin esitettykin. Voi olla myös, että sato tulee aikaisemmin kuin on ennustettu.

6.2 Eettisyys ja luotettavuus

Opinnäytetyössä laadittiin metsänomistajalle metsäsuunnitelmia, joita hän voi halutessaan hyödyntää tuleviin toimenpiteisiinsä. Suunnitelmat palvelevat siis metsänomistajan tavoitteita. Suunnitelmat toteutettiin oikeiden metsänmittausten ja kaukokartoitusaineistojen pohjalta. Suunnitelmissa huomioitiin luontoarvoja ja suosittiin hyvien metsien suositusten mukaista metsänhoitoa. Monsu oli ohjelmoitu simuloimaan niiden mukaisesti. Opinnäytetyössä korostuu tällöin ekologisuus, taloudellisuus ja sosiaalinen kestävyys.

Metsäsuunnitelmassa esiintyvät tiedot ja osoitteet ovat henkilökohtaisia tietoja, eikä niitä julkisesti esitetä. Opinnäytetyön suorittamisen jälkeen metsäsuunnitelmista jää metsänomistajalle omat kopiot. Palstasta jaettavat tiedot myös selvitettiin metsänomistajan kanssa, jotta hän tietää, mitä opinnäytetyössä esitetään.

Pakurikäpien määrät perustuvat vain simulaatiossa saatuihin tuloksiin ja vähäisiin pakurikäävän tutkimuksesta saataviin tutkimustuloksiin. Pakurikäävän kasvatuksella ei ole vielä saatu tarkkaa tutkimusta, millaisissa elinympäristöissä pakurikäpä itäisi kaikista parhaiten ja olisiko opinnäytetyössä olevat metsätilat sen kasvatukselle ihanteellisia.

Hiilikorvauksista ei ole olemassa varmaa korvaustapaa, jota kaikki hiilikorvauspalveluita tarjoavat yritykset noudattaisivat. Tässä opinnäytetyössä päätin simuloida hiilikorvausten määrää kaikille metsätilan kuvioille. Osa yrityksistä tarjoaa hiilisopimusta vain lähiaikoina lannoitetuista kuvioista, kun taas jotkut tarjoavat hiilikorvausta vain, jos sitä ei ole hetkeen lannoitettu. Osalla yrityksistä on myös minimihehtaarivaatimuksia tai metsätilalla ei saisi tehdä metsänhoitotoimenpiteitä sopimuksen aikana. Sopimusajatkin vaihtelevat ja niidenkin pituuden voi sopia erikseen.

Epätarkkuutta laskelmiin tekee myös se, että simulaatiossa oletettiin Muhoksen alueelta tehtävän koivutukkeja, jotka kuitenkin todennäköisemmin menisivät kuituksi. Monsu laski tukkien kokoisille koivuille hinnan, mikä vaikutti lopulta kokonaistulokseen yliarvion. Toisaalta ei ole varmaa, kuinka tulevaisuudessa koivutukin ostovoima kehittyisi tulevaisuudessa Muhoksen alueella.

Tulevaisuudessa hiilinielujen kasvu voisi perustua sellaiseen metsäsuunnitelman laskentaan, jossa jatkuvan kasvatuksen hakkuita ei rajoitettaisi. Hiilivarastot olisivat pysyvämpiäkin jatkuvassa kasvatuksessa. Metsäsuunnitelma kannattaisi tehdä siis yhdessä hiilikorvauspalveluita tarjoavan yrityksen kanssa. Hiilikorvauspalveluita olisi potentiaalisinta toteuttaa turvemailla, joissa muutenkin hakataan harvemmin.

6.3 Jatkokehittämisehdotukset

Monsulla tehtävät pakurikäävän määrien simuloinnit olivat rajoitettuja. Jotta ohjelma simuloisi pakurikäävän tuottoa, oli hieskoivujen oltava keskiläpimitaltaan vähintään 16 senttimetriä ja pituudeltaan 16 metriä. Nykyinen suositus pakurikäävän kasvatukselle on simulaation minimivaatimuksia matalampi. Lisäksi sovellus ei antanut simuloida hehtaariltaan 20 runkoluvun koivikoille pakurikäävän tuottoa. Simulointi olisi ollut mielenkiintoista, sillä tälle pienelle hieskoivumetsikölle oli oikeastikin ympätty pakurikääpä. Pelkästään pakurikäävän hintatietoja pystyi muokkaamaan Monsusta löytyvästä tekstitiedostosta. Jatkossa Monsussa olisi siis hyvä olla sellainen ominaisuus, jossa pystyisi säätämään useampia lukuja tai päivittämään ainakin suositukset ajankohtaisiksi.

Hiilikvivalentin määrän laskemista Monsu voisi loppusuunnitelmassa esittää kuvio kerrallaan. Nykyiseltään Monsu esittää loppusuunnitelmassa kaikkien kuvioiden yhteisen ekvivalenttimäärän. Hiilikorvausten laskemisessa olisi olennaista, että jokaisesta kuvioista tämä voitaisiin laskea erikseen. Se helpottaisi hiilikorvausten laskentaa varsinkin silloin, jos kaikilta kuvioilta ei hiilikorvauksia voida perustelluin syin maksaa. Sitä voidaan miettiä esimerkiksi silloin, jos metsän hiilensitominen ei myöskään täytä hyvien hiilikompensaatioiden kriteereitä kaikilta kuvioiltaan.

Lisäksi Monsusta saisi olla kattava käyttöohjepaketti. Pelkkä ohjelman sisäinen opastustekstipaketti ei mielestäni riitä. Ohjelman käytön opetteluun meni suuri osa opinnäytetyön tekemisen ajasta. Toisaalta ohjelman käyttöön sai todella helposti apua niin ohjelman kehittäjältä Timo Pukkalalta kuin opinnäytetyön ohjaajaltani Kari Pasaselta. Erinäköisiin kysymyksiin saatiin vastaukset hyvinkin nopeasti, mikä auttoi paljon opinnäytetyön etenemisessä.

Hyviä puolia Monsussa oli se, että se simuloi toimenpiteet hyvinkin nopeasti. Lisäksi se antoi paljon erilaisia vaihtoehtoja kuviokohtaisesti. Vaikka osaan simulaatio simuloi epäloogisiakin ratkaisuja, pystyi aina ainakin yhden simuloidun toimenpide-ehdotuksen toteuttamaan. Epäloogisia toimenpiteitä oli esimerkiksi avohakkuiden simulointi siemenpuuhakkuiden jälkeen. Toisena epäloogisuutena

oli ylispuiden poistaminen, jossa jäi huomattavan vähän kasvatettavaa alikasvosta. Kolmantena taas varttuneessa kasvatusmetsässä saatettiin käyttää nuoren metsän harvennus-termiä, vaikka ohjelma tarkoitti tavallista harvennusta.

Hiilinielukurvausten muodostamisesta ei ole vielä luotu yleisiä ohjeita, joita hiilipalveluita tarjoavat yritykset noudattaisivat. Kun tarkemmat ohjeet ja simulaatiot kehittyvät jatkossa, voidaan laatia yhä tarkempia laskelmia hiilensidontaan liittyen. Laskentasimulaatioiden kehittyessä olisi hyvä tehdä uusia vastaavia opinnäytetöitä, joissa vertailtaisiin hiilikorvausten kannattavuuksia. Tämä opinnäytetyö pohjautui vain Monsusta saataviin simulaatiotuloksiin. Tulevat laskelmat opinnäytetöissä voisivat pohjautua siis muihinkin simulaatio-ohjelmiin. Aiheen tutkiminen on tärkeää, sillä se on niin uusi aihealue alalla.

LÄHTEET

- Ahonen, H.-M., Kulovesi, K., Laine, A., Laininen, J., Mäntylä, I. & Pakkala, A. Opas vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden hyviin käytäntöihin. Viitattu 26.4.2023 https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164604/VN_2023_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Ao, Z.-H., Dou, W.-F., Lu, Z.-M., Sun, J.-E., Zhang, X.-M., Xu, H.-X. & Xu, Z.-H. 2008. Antihyperglycemic and antilipidperoxidative effects of dry matter of culture broth of *Inonotus obliquus* in submerged culture on normal and alloxan-diabetes mice. *Journal of Ethnopharmacology*. Viitattu 10.1.2023 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378874108001086?via%3Dihub>.
- Arktiset aromit 2023. Pakurikääpä. Viitattu 10.1.2023 <https://www.arktisetaromit.fi/fi/erikoisluonnontuotteet/pakurikaapa/>.
- Cortina-Escribano, M., Haveri-Heikkilä, J., Hellström, J., Kurttila, M., Linnakoski, R., Marnila, P., Mattila, P., Miina, J., Peltola, R., Pihlava, J.-M., Sarjala, T., Silvan, N., Vanhanen, H. & Veteli, P. 2021. Inoculation success of *Inonotus obliquus* in living birch (*Betula* spp.). Viitattu 9.3.2023 https://jukuriluke.fi/bitstream/handle/10024/547395/Inoculation_success_of_Inonotus_obliquus_in_living_birch.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Fonecta 2023a. Taloustiedot. Hiilinieluntuottajat HNT Oy. Viitattu 10.1.2023 <https://www.finder.fi/Metsäpalvelut/Hiilinieluntuottajat+HNT+Oy/Kaavi/yhteystiedot/3301693>.
- Fonecta 2023b. Taloustiedot. Rakeistus Oy. Viitattu 10.1.2023 <https://www.finder.fi/Kierrätys/Rakeistus+Oy/Oulu/yhteystiedot/2700824>.
- Green Carbon 2021. Kaksoislaskenta: itseään suurempi ongelma. Viitattu 24.2.2023 <https://greencarbon.fi/kaksoislaskenta-itseaan-suurempi-ongelma/>.
- GTK 2023. Happamat sulfaattimaat. Viitattu 4.2.2023 <https://gtkdata.gtk.fi/hasu/index.html>.
- Helenius, A. 2020. Pakuri – Kasvata ja tienaa. Latvia: Livonia Print.
- Hiilinieluntuottajat HNT Oy 2023. Ilmastopainotteinen metsäsuunnitelma™. Viitattu 10.1.2023 <https://hiilinieluntuottajat.fi/ilmastopainotteinen-metsasuunnitelma/>.
- Hiltunen, K. 2022. Pakurin viljelyn kannattavuudesta. Viitattu 19.4.2023 <https://www.propakuri.fi/ajankohtaista/pakurin-viljelyn-kannattavuudesta/>.
- Härkönen, L. 2020. Monimuotoisella metsällä kohti monimuotoisempia vesiä. Viitattu 16.1.2023 <https://tapio.fi/artikkelit/monimuotoisella-metsalla-kohti-monimuotoisempia-vesia/>.

Karppinen, H. 2021. MO2020 – Metsänomistusrakenteen ja metsänomistuksen tavoitteiden muutos. Viitattu 17.4.2023 https://mmm.fi/documents/1410837/66046196/MO2020+HKarppinen_+Metsäneuvosto+16.3.2021.pdf/488c45ef-61b1-3250-7764-c40575922ff9/MO2020+HKarppinen_+Metsäneuvosto+16.3.2021.pdf?t=1616145396695.

Korhonen, M. 2021. Metsäneuvontaa kehitetään palvelemaan metsänomistajien tarpeita aiempaa paremmin. Viitattu 26.4.2023 <https://www.lapinamk.fi/news/Metsaneuvontaa-kehitetaan-palvelemaan-metsanomistajien-tarpeita-aiempaa-paremmiin/29272/ac617eaa-4b69-4fbb-a6da-2b44de452a2e>.

Kurttila, M., Miina, J., Tikkanen, J. & Turtiainen, M. 2019. Luonnontuotteet metsäsuunnitteluun. Viitattu 17.4.2023 <https://metsatieteenaikakauskirja.fi/article/10162>.

KÄÄPÄ Biotech Oy 2023. Korkeaa tuottoa ilman luopumista perinteisestä puuntuotannosta. Viitattu 10.1.2023 <https://www.kaapaforest.fi/korkeaa-tuottoa-ilman-luopumista-perinteisesta-puuntuotannosta>.

Laiho, O., Lähde, E. & Pukkala, T. 2011. Metsän jatkuva kasvat. Porvoo: Bookwell.

Laiho, R., Nieminen, M., Penttilä, T., Saarinen, M., Sarkkola, S & Valkonen, S. 2020. Jatkovapeitteisen metsänkasvatuksen mahdollisuudet ojitetuilla turveilla. Viitattu 23.3.2023 <https://www.metsatieteenaikakauskirja.fi/article/10372>.

Lehmonen, H. & Talkkari, A. 2021. Metsävaratieto – hankinta ja hyödyntäminen. Viro: Print Best OÜ.

Lumperoinen, M., Viitala, R., Mäkinen, A. & Niemi, M. 2020. Metsäsuunnittelun laskennan periaatteet – arvoja yhteensovittamassa. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Maa- ja metsätalousministeriö 2020. Maankäyttösektorin Hiilestä kiinni -ilmasto-toimenpiteiden kokonaisuus. Viitattu 10.1.2023 <https://mmm.fi/maankayttosektorin-ilmastosuunnitelma>.

Maanmittauslaitos 2023. Karttapaikka. Viitattu 4.2.2023 <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>.

Maaseudun Tulevaisuus 2023. Metsäpalvelut / Puun hinta. Viitattu 3.2.2023 <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsapalvelu/puun-hinta>.

Mankki, J. 2023. Suomen Pakuri Oy. Asiakaspalvelijan haastattelu 9.3.2023.

Metsänhoitoyhdistykset 2023. Metsäsuunnitelma. Viitattu 17.1.2023 <https://www.mhy.fi/metsanomistaminen/metsasuunnitelma#monitavoitteinen-metsasuunnitelma>.

Metsänhoitoyhdistykset 2023a. Hiilestä kiinni -hanke. Viitattu 10.1.2023 <https://www.mhy.fi/oulu-kiiminki/hiilesta-kiinni-hanke>.

Metsänhoitoyhdistykset 2023b. Hiilipalvelut. Viitattu 10.1.2023
<https://www.mhy.fi/oulu-kiiminki/metsanhoito/hiilipalvelut>.

Pukkala, T. 2021. Monsu 8.99 beta.

Puuinfo Oy 2020. Puun käytön ympäristövaikutukset. Viitattu 24.2.2023
<https://puuinfo.fi/puutieto/ymparistovaikutukset/puuhun-sitoutuu-hiilta/>.

Rakeistus Oy 2021. Viitattu 10.1.2023 <https://www.instagram.com/hiilinielurekisteri/>.

Rakeistus Oy 2023. Kompensoi hiilijalanjälkesi vastuullisesti. Viitattu 10.1.2023
<https://hiilinielurekisteri.fi>.

Routa, J. & Huuskonen, S. (toim.). 2022. Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 132 s.

Salo, K. (toim.). 2015. Metsä – Monikäyttö ja ekosysteemipalvelut. Luonnonvarakeskus (Luke). Helsinki: Juvenes Print.

Suomen Lajitietokeskus 2023. Pakurikäpää – Inonotus obliquus. Viitattu 10.1.2023 <https://laji.fi/taxon/MX.206058?showTree=true>.

Suvanto, M. 2013. Metsäsuunnitelma. Viitattu 9.1.2023 <https://www.youtube.com/watch?v=Q3G0Wjxm3RY>.

Toivanen, S. 2020. Metsänkasvatus, hiilensidonta ja hiilikorvausmekanismin vaikutus metsänhoidon kannattavuuteen. Oulun yliopisto. Taloustieteen maisterikoulutus. Pro gradu tutkielma.

Tuloverolaki 30.12.1992/1535. Viitattu 2.5.2023 <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1992/19921535>

Valkonen, S. 2020. Metsän jatkuvasta kasvatuksesta. Tallinna: Printon Trüki-koda.

Valtionneuvosto 2018. Happamien sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen vähentämisen suuntaviivat vuoteen 2020. Viitattu 4.2.2023 https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160524/MMM_TR_1_2018_Happamat_sulfaattimaat.pdf.

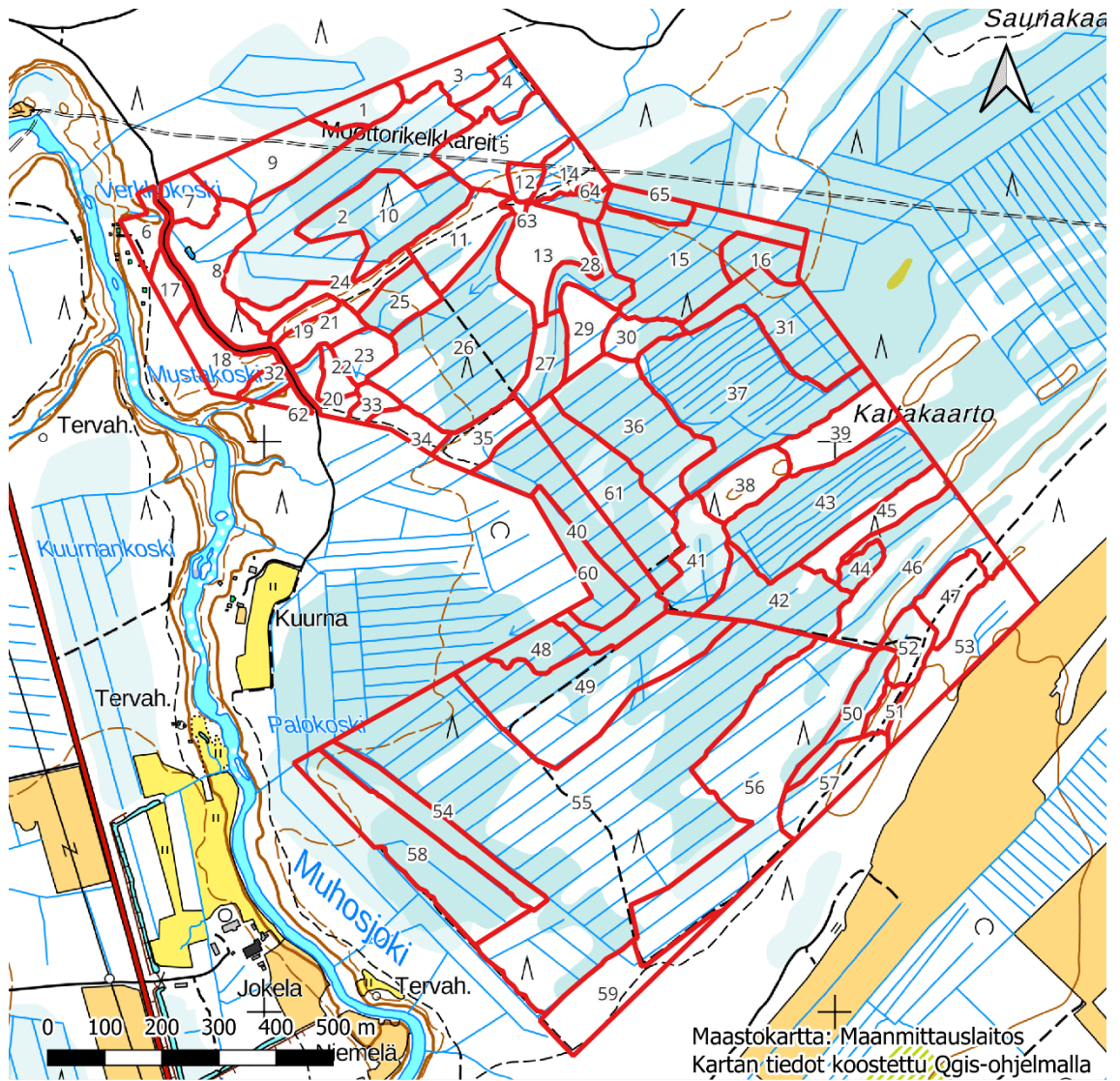
Yrjölä, H. 2023. Metsänhoitoyhdistys. MHYP:n Hiilestä kiinni -hankkeen projektipäällikön haastattelu 24.2.2023.

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) 2019. Metsänhoidon suositukset. Tapion julkaisuja. Viitattu 21.4.2023 https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon_suositukses_Tapio_2019.pdf.

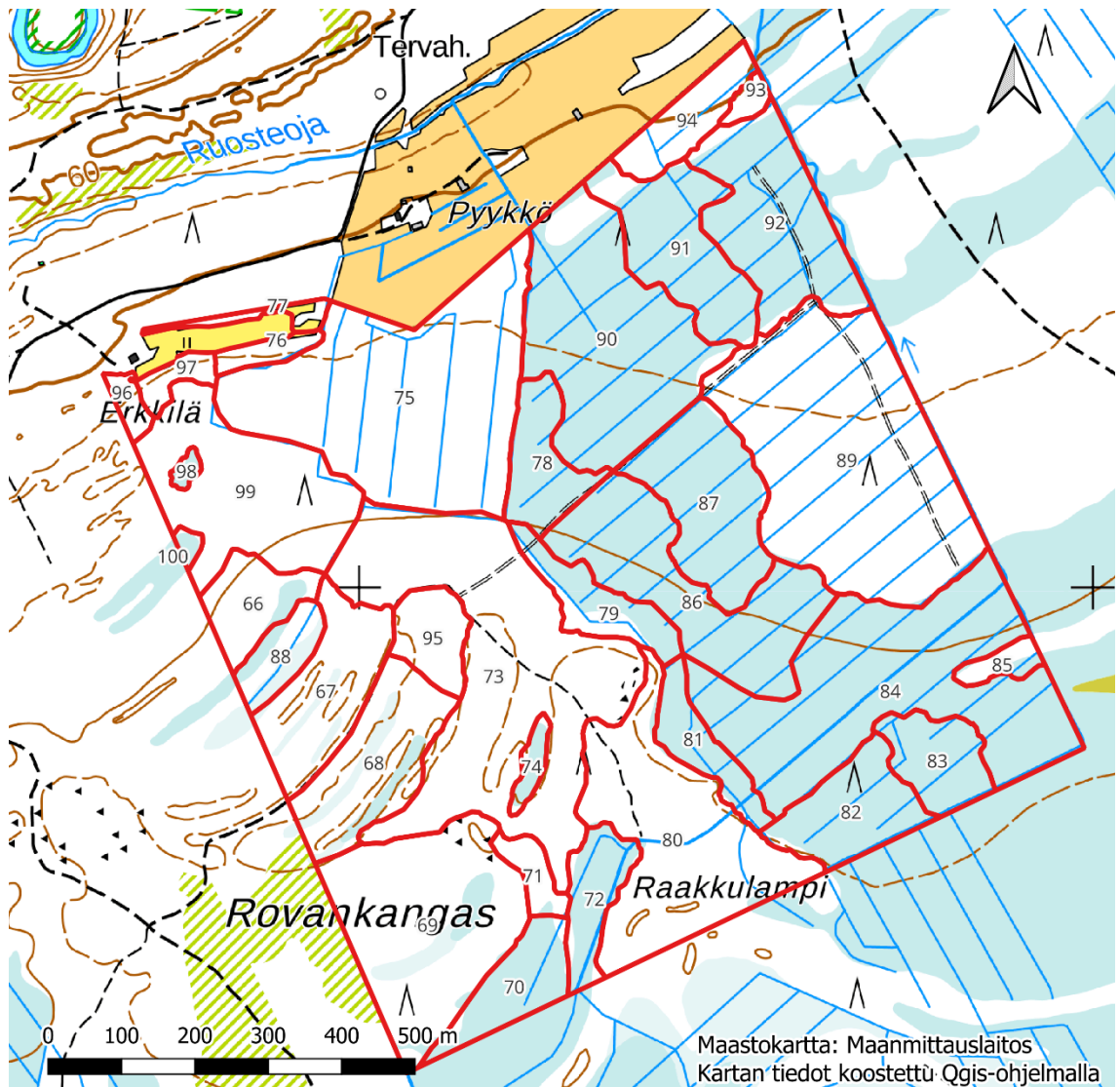
LIITTEET

- Liite 1. QGIS-ohjelmalla tuotettu tuloste läntisestä metsätilasta
- Liite 2. QGIS-ohjelmalla tuotettu tuloste itäisestä metsätilasta
- Liite 3. Eri metsäsuunnitelmien hakkuukertymät
- Liite 4. Eri metsäsuunnitelmien hiilivarastot
- Liite 5. Eri metsäsuunnitelmien hakkuupinta-alat
- Liite 6. Perinteisen jaksollisen kasvatuksen suunnitelman hiiliosuudet
- Liite 7. Perinteisen jatkuvan kasvatuksen suunnitelman hiiliosuudet
- Liite 8. Monitavoitteisen jaksollisen kasvatuksen suunnitelman hiiliosuudet
- Liite 9. Monitavoitteisen jatkuvan kasvatuksen suunnitelman hiiliosuudet

Liite 1. QGIS-ohjelmalla tuotettu tuloste läntisestä metsätilasta

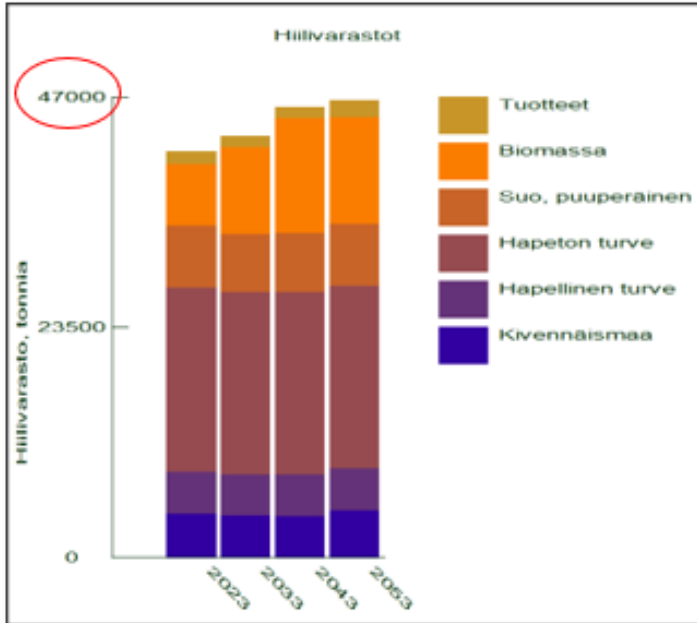


Liite 2. QGIS-ohjelmalla tuotettu tuloste itäisestä metsätilasta

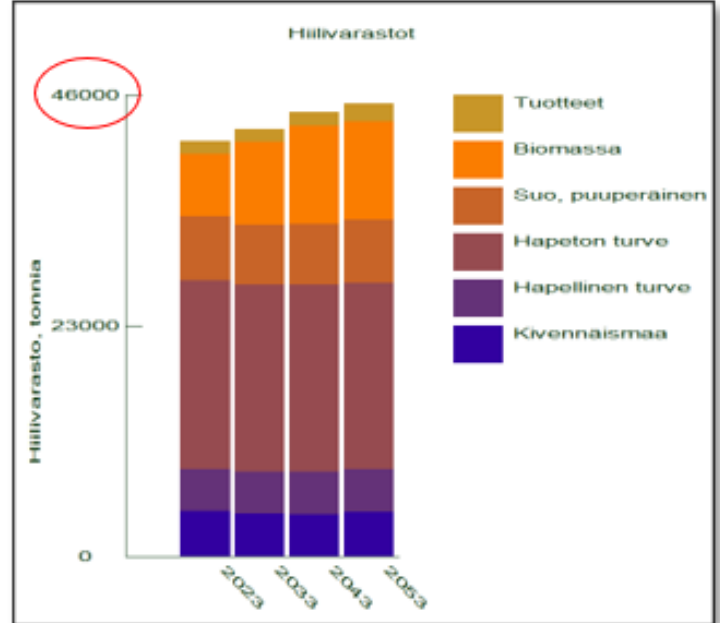


Liite 4. Eri metsäsuunnitelmien hiilivarastot (Pukkala 2021)

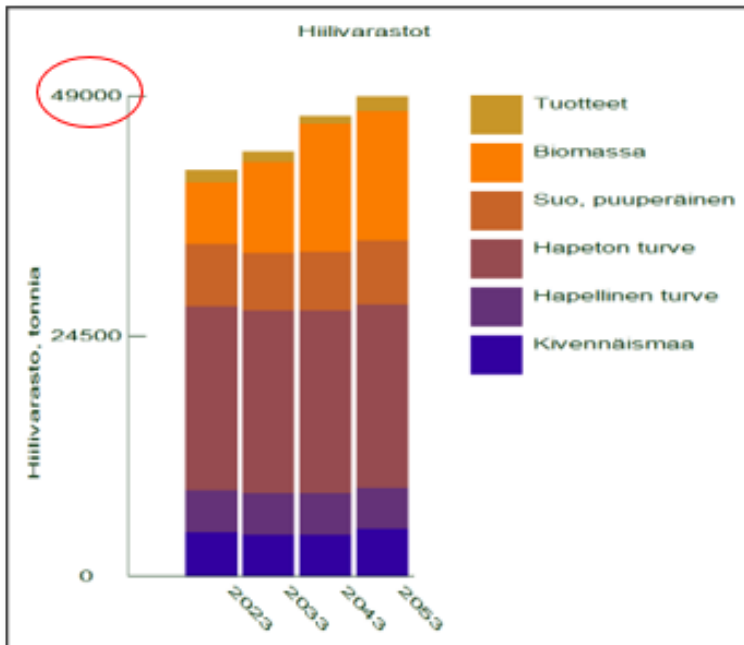
Perinteinen jaksollinen kasvatus



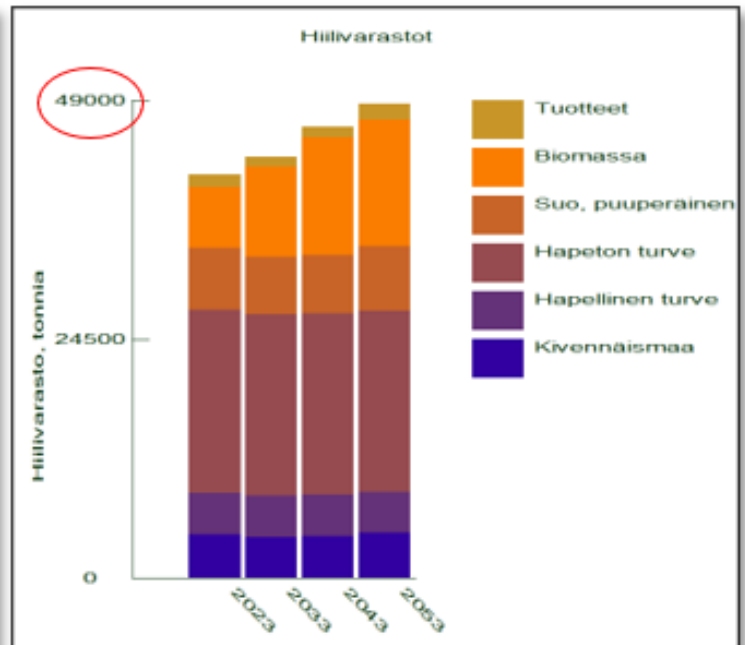
Perinteinen jatkuva kasvatus



Monitavoitteinen jaksollinen kasvatus

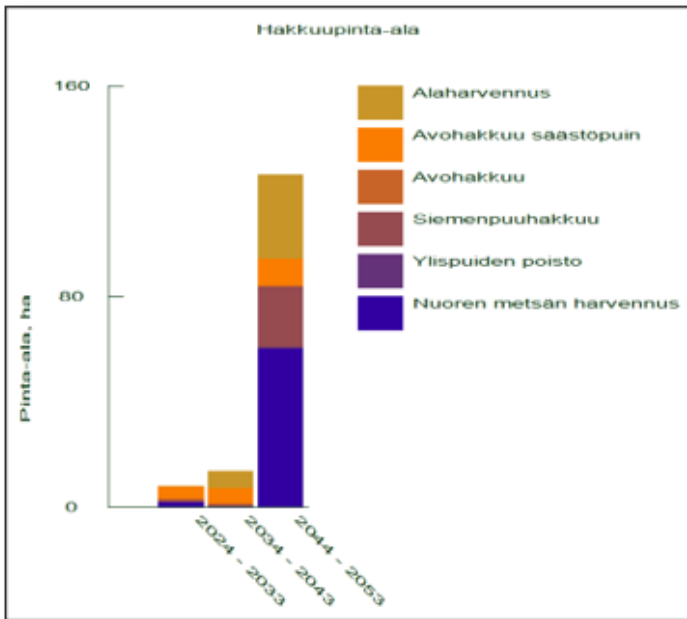


Monitavoitteinen jatkuva kasvatus

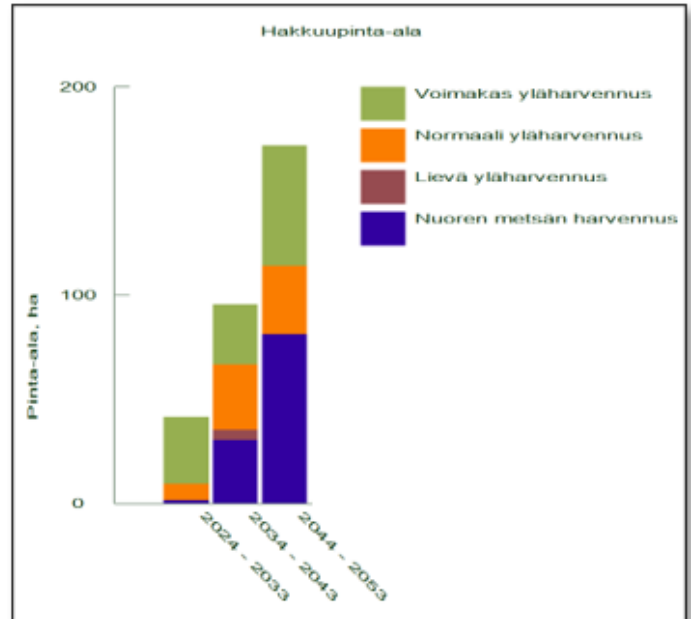


Liite 5. Eri metsäsuunnitelmien hakkuupinta-alat (Pukkala 2021)

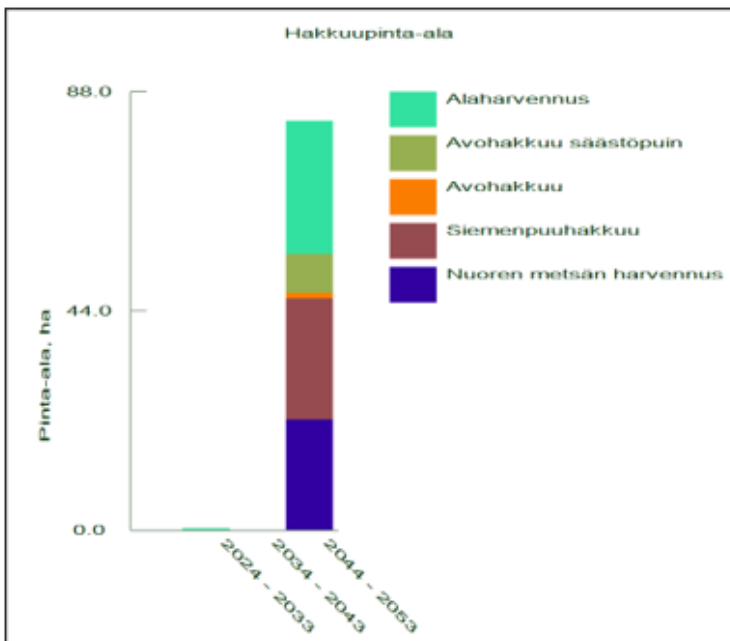
Perinteinen jaksollinen kasvatus



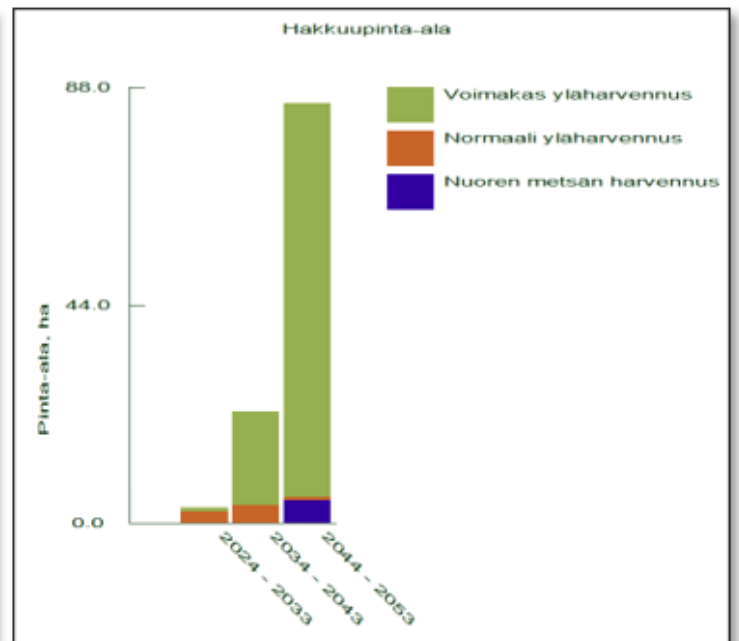
Perinteinen jatkuva kasvatus



Monitavoitteinen jaksollinen kasvatus



Monitavoitteinen jatkuva kasvatus



Liite 6. Perinteisen jaksollisen kasvatuksen suunnitelman hiiliosuudet
(Pukkala 2021)

Tunnus	2024-2033	2034-2043	2044-2053	2024-2053
Biomassan hiilitase, tn	2540	3005	-971	4574
Kuolleet puut, tn	152	218	277	647
Hakkuutähteet, tn	327	257	1762	2346
Oksa+lehtikarikkeen hiili, t	900	1169	1279	3348
Juurikarikkeen hiili, tn	1844	2430	2639	6913
Turpeen kasvu, tn	15	15	15	45
Turpeen hajoaminen, tn	-509	-509	-509	-1528
Muun org. aineen hajoaminen,	-4402	-4564	-5470	-14436
Maan hiilitase, tn	-1673	-984	-8	-2665
Puutavara, tn	275	444	2981	3699
Puunkorjuu, tn	-6	-9	-66	-81
Kaukokuljetus, tn	-3	-4	-27	-34
Valmistus, tn	-18	-28	-163	-209
Korvausvaikutukset, tn	261	419	2652	3333
Uusiokäytön korvausv, tn	158	161	374	693
Vanhat tuotteet hajoaminen,	-216	-171	-140	-526
Uudet tuotteet hajoaminen, t	-190	-343	-2180	-2713
Tuotteiden hiilitase, tn	262	468	3431	4161
Kokonaistase ilman metaania,	1129	2488	2452	6070
Soiden metaanitase, tn	-11	-8	-7	-26
CO2-ekv, puusto, tn	9315	11017	-3559	16773
CO2-ekv, maa, tn	-6412	-3816	-193	-10420
CO2-ekv, tuotteet, tn	960	1716	12579	15256
CO2-ekv, yhteensä, tn	3863	8918	8827	21608
Tunnus	2023	2033	2043	2053
Puuston hiili, tn	6262	8802	11807	10836
- Mänty, tn	4749	6804	9066	7780
- Kuusi, tn	581	824	1269	1601
- Muut puulajit, tn	931	1174	1471	1456
Maan hiili, tn	33975	33115	33138	34145
- Kivennäsmat, tn	4564	4310	4296	4885
- Hapellinen turve, tn	4209	4191	4211	4231
- Hapeton turve, tn	18842	18666	18646	18626
- Suo, puuperäinen, tn	6361	5949	5986	6403
Tuotteiden hiili, tn	1165	1036	969	1646
Hiilivarasto yht., tn	41401	42953	45914	46627

Liite 7. Perinteisen jatkuvan kasvatuksen suunnitelman hiiliosuudet
(Pukkala 2021)

Tunnus	2024-2033	2034-2043	2044-2053	2024-2053
Biomassan hiilitase, tn	2001	1537	-12	3526
Kuolleet puut, tn	146	182	203	531
Hakkuutähteet, tn	442	795	1439	2676
Oksa+lehtikarikkeen hiili, t	876	1055	1142	3073
Juurikarikkeen hiili, tn	1788	2146	2253	6187
Turpeen kasvu, tn	15	15	15	45
Turpeen hajoaminen, tn	-509	-509	-509	-1528
Muun org. aineen hajoaminen,	-4424	-4624	-5070	-14119
Maan hiilitase, tn	-1667	-940	-527	-3135
Puutavara, tn	695	1305	2362	4362
Puunkorjuu, tn	-15	-30	-54	-99
Kaukokuljetus, tn	-6	-12	-22	-40
Valmistus, tn	-31	-65	-122	-218
Korvausvaikutukset, tn	678	1157	2066	3901
Uusiokäytön korvausv, tn	181	248	369	798
Vanhat tuotteet hajoaminen,	-216	-171	-140	-526
Uudet tuotteet hajoaminen, t	-474	-1002	-1864	-3340
Tuotteiden hiilitase, tn	812	1431	2594	4838
Kokonaistase ilman metaania,	1146	2028	2055	5229
Soiden metaanitase, tn	-11	-8	-5	-24
CO2-ekv, puusto, tn	7338	5635	-43	12930
CO2-ekv, maa, tn	-6383	-3637	-2069	-12089
CO2-ekv, tuotteet, tn	2978	5247	9513	17738
CO2-ekv, yhteensä, tn	3933	7245	7401	18579
Tunnus	2023	2033	2043	2053
Puuston hiili, tn	6262	8263	9800	9788
- Mänty, tn	4749	6162	6906	6168
- Kuusi, tn	581	880	1306	1662
- Muut puulajit, tn	931	1221	1587	1959
Maan hiili, tn	33975	33121	33189	33673
- Kivennäsmaat, tn	4564	4309	4294	4509
- Hapellinen turve, tn	4209	4191	4211	4231
- Hapeton turve, tn	18842	18666	18646	18626
- Suo, puuperäinen, tn	6361	5955	6038	6307
Tuotteiden hiili, tn	1165	1172	1311	1678
Hiilivarasto yht., tn	41401	42556	44299	45139

Liite 8. Monitavoitteisen jaksollisen kasvatuksen suunnitelman hiiliosuudet
(Pukkala 2021)

Tunnus	2024-2033	2034-2043	2044-2053	2024-2053
Biomassan hiilitase, tn	3010	3797	80	6887
Kuolleet puut, tn	156	239	336	731
Hakkuutähteet, tn	156	2	1400	1558
Oksa+lehtikarrikkeen hiili, t	920	1252	1470	3642
Juurikarrikkeen hiili, tn	1884	2581	3007	7472
Turpeen kasvu, tn	15	15	15	45
Turpeen hajoaminen, tn	-509	-509	-509	-1528
Muun org. aineen hajoaminen,	-4353	-4533	-5551	-14437
Maan hiilitase, tn	-1730	-954	168	-2516
Puutavara, tn	7	0	2450	2458
Puunkorjuu, tn	0	0	-53	-53
Kaukokuljetus, tn	0	0	-23	-23
Valmistus, tn	0	0	-134	-134
Korvausvaikutukset, tn	7	0	2375	2382
Uusiokäytön korvausv, tn	134	108	289	532
Vanhat tuotteet hajoaminen,	-216	-171	-140	-526
Uudet tuotteet hajoaminen, t	-5	-1	-1648	-1653
Tuotteiden hiilitase, tn	-73	-64	3118	2982
Kokonaistase ilman metaania,	1207	2780	3366	7353
Soiden metaanitase, tn	-11	-7	-5	-23
CO2-ekv, puusto, tn	11037	13922	294	25253
CO2-ekv, maa, tn	-6612	-3678	489	-9801
CO2-ekv, tuotteet, tn	-267	-234	11434	10933
CO2-ekv, yhteensä, tn	4157	10010	12216	26384
Tunnus	2023	2033	2043	2053
Puuston hiili, tn	6262	9272	13069	13149
- Mänty, tn	4749	7042	9752	9380
- Kuusi, tn	581	969	1576	1951
- Muut puulajit, tn	931	1260	1741	1818
Maan hiili, tn	33975	33057	33109	34290
- Kivennäsmaat, tn	4564	4296	4301	4865
- Hapellinen turve, tn	4209	4191	4211	4231
- Hapeton turve, tn	18842	18666	18646	18626
- Suo, puuperäinen, tn	6361	5904	5951	6568
Tuotteiden hiili, tn	1165	951	779	1456
Hiilivarasto yht., tn	41401	43280	46957	48895

Liite 9. Monitavoitteisen jatkuvan kasvatuksen suunnitelman hiiliosuudet
(Pukkala 2021)

Tunnus	2024-2033	2034-2043	2044-2053	2024-2053
Biomassan hiilitase, tn	2937	2841	949	6727
Kuolleet puut, tn	155	225	299	680
Hakkuutähteet, tn	182	335	1171	1688
Oksa+lehtikarrikkeen hiili, t	917	1208	1424	3550
Juurikarrikkeen hiili, tn	1878	2482	2893	7253
Turpeen kasvu, tn	15	15	15	45
Turpeen hajoaminen, tn	-509	-509	-509	-1528
Muun org. aineen hajoaminen,	-4360	-4618	-5394	-14371
Maan hiilitase, tn	-1722	-862	-100	-2684
Puutavara, tn	53	591	1903	2546
Puunkorjuu, tn	-1	-13	-41	-55
Kaukokuljetus, tn	0	-6	-18	-24
Valmistus, tn	-3	-28	-103	-134
Korvausvaikutukset, tn	56	630	1950	2636
Uusiokäytön korvausv, tn	138	154	272	563
Vanhat tuotteet hajoaminen,	-216	-171	-140	-526
Uudet tuotteet hajoaminen, t	-33	-367	-1292	-1692
Tuotteiden hiilitase, tn	-7	790	2531	3315
Kokonaistase ilman metaania,	1208	2770	3380	7358
Soiden metaanitase, tn	-11	-7	-5	-23
CO2-ekv, puusto, tn	10769	10418	3481	24667
CO2-ekv, maa, tn	-6581	-3340	-484	-10406
CO2-ekv, tuotteet, tn	-25	2898	9281	12153
CO2-ekv, yhteensä, tn	4162	9975	12277	26414
Tunnus	2023	2033	2043	2053
Puuston hiili, tn	6262	9198	12040	12989
- Mänty, tn	4749	6989	8811	9171
- Kuusi, tn	581	957	1499	1771
- Muut puulajit, tn	931	1253	1730	2047
Maan hiili, tn	33975	33066	33210	34120
- Kivennäsmaat, tn	4564	4301	4380	4676
- Hapellinen turve, tn	4209	4191	4211	4231
- Hapeton turve, tn	18842	18666	18646	18626
- Suo, puuperäinen, tn	6361	5908	5973	6588
Tuotteiden hiili, tn	1165	969	1023	1504
Hiilivarasto yht., tn	41401	43233	46273	48613