

Loppuraportti

Taimikonhoidon vaikutus kuusentaimikoiden hiilitaseeseen (TaimiCO2)

(Hankkeen kesto 1.1.2021-30.9.2024)

Jaana Luoranen, Hermann Aaltonen, Saija Huuskonen, Annalea Lohila, Jaakko Repola, Aino Smolander,
Karri Uotila, Boris Ťupek ja Päivi Väänänen

1.	Tavoitteet	3
2.	Hankkeen toteutus	3
3.	Tulokset	4
3.1.	Puuston kasvu	4
3.2.	Taimikon hiilivarastot.....	4
3.3.	Maan kaasuvuot.....	5
3.4.	Metsikkötason hiilivuot	5
4.	Johtopäätöksiä	5

1. Tavoitteet

Päätihakkuussa yhteyttävä ja hiiltä sitova puusto poistetaan. Tämän jälkeen alue uudistetaan ja uusi kasvava puusto alkaa sitoa hiiltä. Maahengityksessä sekä hakkuutähteiden hajotessa vapautuu ilmakehään hiiltä nopeasti, eikä uusi puusukupolvi ja muu pintakasvillisuus pysty heti sitomaan vastaavaa määrää hiiltä, joten uudistusala on hiilen lähde. Kuinka kauan se sitä on, riippuu uudistusalan ominaisuuksista ja puuston kasvusta.

Hankkeen perustamisvaiheessa ei ollut tiedossa yhtään empiiristä kivennäismailla tehtyä tutkimusta, jossa olisi seurattu Suomessa valtamenetelmänä olevan laikkumätästetyn ja istutetun kuusentaimikon hiilitasetta varhaisoidetuissa tai hoitamattomissa taimikoissa siten, että koko ekosysteemin hiilen sidonta ja vapautuminen huomioidaan. Myös maanalaisen biomassan muutoksista ja hiilivarastosta eri tavoin hoidetuissa taimikoissa oli niukasti tietoa saatavilla.

Taimikonhoidon vaikutukset hiilitaseeseen ovat monimutkaisia eikä hiilitasetta voida nykytiedon perusteella ennustaa luotettavasti, vaan se vaatii kokeellista tutkimusta. Hypoteesimme on, että varhaisoidettu taimikko sitoo hiiltä hetkellisesti heikommin kuin hoitamaton taimikko, mutta ero on vähäinen ja kaventuu nopeasti taimikonharvennuksen jälkeen.

TaimiCO₂ -hankkeen tavoitteena oli selvittää

- i) missä ikävaiheessa tuoreen kankaan laikkumätästetty kuusentaimikko muuttuu hiilen lähteestä nieluksi ja
- ii) miten varhaisperkaus vaikuttaa lyhyellä aikajänteellä taimikon hiilitaseeseen.

Tutkimushanke toteutettiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja Ilmatieteen laitoksen yhteistyönä.

2. Hankkeen toteutus

Luken toimesta perustettiin vuonna 2021 kolmelle tuoreenkankaan (MT) laikkumätästetylle ja kuuselle istutetulle uudistusosalalle Nastolaan, Karkkilaan ja Tammelaan koejärjestelyt, joissa selvitettiin kuusen taimikoiden hiilitaseita. Perustamisvaiheessa päätihakkuusta oli kulunut 5–6 vuotta ja istutuksesta 4–5 vuotta. Kesällä 2022 taimikoissa tehtiin varhaisperkaus puolella koeruuduista, toisen puolen jäädessä perkaamattomaksi kontrolliksi. Varhaisperkauksessa poistettiin kaikki istutuskuusia mahdollisesti haittaava lehtipuusto peratuilta koeruuduilta. Koetaimikoiden maaperän, puuston ja ruohokasvillisuuden biomassat ja hiilivarastot määritettiin vuosittain 2021–2023. Puuston biomassojen laskemiseksi hankkeessa laadittiin uudet, taimikoihin sopivat biomassamallit istutetun kuusen ja luontaisten rauduskoivun, haavan ja pihlajan taimien eri ositteille.

Vanhimmassa, lajittuneella hienojakoisella maalla sijaitsevasta taimikosta Nastolassa mitattiin metsikkötason hiilitasetta pyörrekovarianssimenetelmällä. Tässä taimikossa istutuksesta oli kulunut viisi vuotta. Koetaimikon keskellä sijaitseva mittaustorni laitteineen mittasi jatkuvatoimisesti metsikkötasolla vapautuvan ja sitoutuvan hiilen määrää, hiilidioksidivuota, taimikon yläpuolisessa ilmassa. Lisäksi maaperän kaasuvirtoja (CO₂, CH₄) mitattiin kannettavilla kammioilla ja kaasuanalysaattoreilla lumettoman kauden aikana (huhti-marraskuu) ja lämpötilaa sekä pintamaan kosteutta maahan asetetuilla, automaattisilla mittalaitteilla. Näiden tietojen avulla voitiin laskea vuotuiset CO₂- ja CH₄-päästöt maaperästä.

3. Tulokset

3.1. Puuston kasvu

Kuusen taimet reagoivat perkauskäsittelyssä vapautuvaan kasvutilaan välittömästi. Reaktio näkyi peratuille ruuduille jääneiden kuusten suurempana tyviläpimittana heti perkausvuoden syksynä ja parempi kasvu jatkui seuraavana kasvukautena. Kuusen taimien pituuskasvu reagoi kasvutilan muutokseen ainakin aluksi läpimittaa vähemmän. Kuuset olivat kolmantena mittausvuonna keskimäärin 1,5–1,7 m pitkiä, eikä käsittelyjen välillä havaittu niiden pituudessa selkeää eroa.

Noin 60 % perkauskannoista säilyi elossa ja uutta lehtipuuvesakkoa syntyi nopeasti tiheyden ylittäessä jopa perkaamattoman puolen lehtipuuston yhteenlasketun tiheyden. Perkausvuoden syksyllä uudet vesat olivat pituudeltaan kuitenkin vain muutamia kymmeniä senttimetrejä. Vastaavasti perkaamattomalla puolella pisimmät rauduskoivut olivat jo 2–4 m, ja muut lehtipuut olivat 1–2 metrisiä. Kolmantena mittausvuonna perkaamattoman puolen pisimmät koivut olivat jo yli 6 metrisiä ja kaikki puulajit huomioiden luontaisen puuston keskimääräinen pituus oli 2–2,5 metriä.

3.2. Taimikon hiilivarastot

Valtaosa taimikoiden hiilivarastosta on maaperässä. Humuskerros ja kivennäismaan ylin 30 cm sisälsi kahdessa taimikossa hiiltä hieman yli 100 000 kg hehtaarilla ja Tammelan kivisimmällä kohteella 90 000 kg hiiltä hehtaarilla.

Varhaisperkaus lisäsi istutuskuusten biomassaa jo perkausvuonna käsittelyn vaikutuksen kiihtyessä entisestään seuraavana kasvukautena. Alle kymmenvuotiaissa tuoreenkankaan kuusen taimikoissa valtaosa puustoon sitoutuneesta biomassasta oli lehtipuustossa. Kun se poistettiin varhaisperkauksessa, elävään puustoon sitoutunut biomassa aleni peratussa osassa taimikkoa merkittävästi.

Puustoon sitoutuneen hiilen määrä alkutilanteen 4–5-vuotiaissa taimikoissa oli 4100–7500 kg/ha. Siitä sen määrä kaksinkertaistui Karkkilan ja Tammelan ja kolminkertaistui Nastolan perkaamattomissa osissa taimikoita seuraavien kahden vuoden aikana ollen 4500–8300 kg/ha kolmantena mittausvuotena. Varhaisperkauksen jälkeen elävään puustoon sitoutunutta hiiltä oli lähinnä vain istutuskuusissa (900–1900 kg/ha) ja vesoneissa kannoissa (480–680 kg/ha), joten elävään puustoon sitoutuneen hiilen määrä pieneni perkauskäsittelyn jälkeen. Kaadetun puuston biomassa oli noin 1000–2200 kg/ha peratulla puolella ollen noin kaksinkertainen Nastolan kohteella verrattuna muihin koealueisiin. Perkaamattomalla puolella istutuskuusten hiilen määrä oli kolmantena mittausvuonna 500–1500 kg/ha.

Kasvavan puuston lisäksi myös pintakasvillisuus sitoo hiiltä. Taimikoissa pintakasvillisuus muodostuu pääosin ruohovartisista kasveista, joiden maanpäälliset osat ovat yksivuotisia: ne kasvavat yhden kasvukauden aikana ja kuihtuvat syksyllä. Tällöin ruohovartisen kasvillisuuden vuosittainen hiilensidonta on sen biomassan suuruinen. Tutkimuksen alussa ruohovartisten kasvien biomassa oli suurimmillaan (2100–3000 kg/ha) ja sen määrä väheni voimakkaasti erityisesti perkaamattomilla aloilla. Kolmantena mittausvuonna ruohovartisen kasvillisuuden hiilen määrä oli perkaamattomilla koealoilla 390–450 ja peratuilla 480–540 kg/ha. Vähentymiseen on vaikuttanut puuston latvuspeiton lisääntyminen perkaamattomilla aloilla, perkauksessa syntyneen hakkuutähteen varjostus peratuilla aloilla sekä kuiva alkukesä 2023. Ruohovartisten kasvien biomassa ei kuitenkaan ole pitkäikäinen hiilen varasto, vaan kesän aikana kasvanut biomassa kuolee syksyllä ja hajoaa seuraavien parin vuoden aikana.

Taimikoiden kokonaishiilivarastot vaihtelivat 93 000–110 000 kg/ha välillä perkaamattomissa taimikoissa. Peratuilla koealoilla hiilivarasto oli 2360–5290 kg/ha pienempi 1,5 kasvukauden kuluttua

varhaisperkauksesta. Pyörrekovarianssilla hiilitasetta mittaavalla Nastolan kohteella istutuskuusten hiilivarasto oli keskimääräinen ja pienin se oli Tammelan kivisimmällä kohteella. Luontaiseen puustoon sitoutunutta hiiltä oli Tammelan kohteella vähiten sekä peratulla, että perkaamattomalla puolella. Muilla kohteilla peratulla osalla taimikkoa hiiltä oli suurin piirtein yhtä paljon, mutta perkaamattomalla puolella Nastolan kohteella selvästi eniten. Nastolan kohteella ero peratun ja perkaamattoman puolen kokonaispuuston hiilivarastoissa oli selvästi suurin, yli kaksi- tai kolmekertaa isompi kuin muissa taimikoissa. Pyörrekovarianssikohteella päätehakkuusta oli kulunut myös eniten aikaa, joten luontaisella puustolla on ollut eniten aikaa kasvaa hakkuun jälkeen.

3.3. Maan kaasuvuot

Maahengityksellä tarkoitetaan maaperän orgaanisen aineen hajotuksesta (heterotrofinen maahengitys) sekä kasvillisuuden juuriston toiminnasta (autotrofinen maahengitys) syntyvää hiilidioksidia (CO_2), joka vapautuu maasta ilmakehään. Maahengitys muuttui kasvukauden aikana niin, että suurimmat vuot havaittiin maan lämpötilan ollessa suurimmillaan heinä-elokuussa. Varhaisperkauksen seurauksena maahengitys pieneni kaikilla kohteilla välittömästi käsittelyn jälkeen. Tämä viittaa siihen, että perkauksen seurauksena suuri osa peratun puuston juuristosta kuoli. Tällöin vähenee juurten hengityksen lisäksi myös juurten erittämien, helposti hajoavien hiilihydraattien määrä maassa. Heterotrofisen hengityksen taso oli kaikilla kohteilla korkealla tasolla, noin 75 % kokonaishengityksestä, joka johtuu todennäköisesti suuresta määrästä edellisen puusukupolven hakkuista jäljelle jäänyttä, nyt hajoavaa kariketta maaperässä.

Metaanivuohon vaikuttaa pääasiassa maaperän kosteus. Koska varhaisperkaus ei vaikuttanut paljoakaan maan kosteuteen, ei sillä ollut vaikutusta maaperän metaanivuohon (CH_4), vaan sekä perkaamaton että perattu alue säilyivät heikkoina metaanin nieluina.

3.4. Metsikkötason hiilivuot

Pyörrekovarianssimenetelmällä mitatut metsikkötason hiilivuomittaukset osoittavat, että taimikko sitoi hiiltä kasvukausien aikana (eli toimi hiilinieluna), ja että hiiltä vapautui kasvukauden ulkopuolella (on hiilen lähde). Kumulatiivisen kehityksen perusteella ja vuoden yli tarkasteltuna kuusentaimikoiden molemmat käsittelyt ovat edelleen hiilen lähteitä yhdeksän kasvukautta hakkuusta. Varhaisperkaus vähensi hiilen sitoutumista biomassaan ja lisäsi hiilen vapautumista ilmakehään etenkin kasvukaudella perkaamattomaan käsittelyyn verrattuna. Edes perkaamattoman alueen vuosittainen nettopäästö ei osoittanut vielä vähenemisen merkkejä. Peratulla puolella kumulatiivinen hiilitase oli ensimmäisenä mittausvuonna 900 kg/ha, toisena 2900 kg/ha ja kolmantena 4100 kg/ha suurempi kuin perkaamattomalla puolella, joten peratusta taimikosta vapautui perkaamatonta enemmän hiiltä ilmakehään. Vuoden 2024 mittauksissa hiilitaseiden ero käsittelyiden välillä ei enää suurentunut.

Mittausten alusta saakka, reilun kolmen vuoden aikana, hiiltä on vapautunut ilmakehään varhaisperkaamattomasta taimikosta yhteensä noin 3 000 kg/ha, ja peratusta hieman yli 7 000 kg/ha.

4. Johtopäätöksiä

Hankkeessa tuotettu tieto perkauksen vaikutuksesta hiilensidontaan ja nuorten puiden kasvuun vaikuttaa käytännön metsänhoitoon ja metsänomistajien päätöksiin. Hankkeen tuloksilla voi olla vuositasolla vaikutusta yli sadantuhannen taimikkohehtaarin käsittelyyn Suomessa, joiden kehitystä ja hiilensidontaa taimikonhoito ohjaa vahvasti seuraavat 15–25 vuotta (ensiharvennukseen asti). Varhaisperkauksessa hiilensidontaa edistävien toimenpiteiden vaikutuksen alaisena voi olla pitkällä aikavälillä pitkälti toista miljoonaa hehtaaria taimikkoa ja nuorta kasvatusmetsää.

Metsien hiilensidonta ei nykyisin juuri vaikuta metsänomistajan taloudellisiin perusteisiin toteutettuun päätöksentekoon. Yhteiskunnallisesti metsien hiilensidonnasta edistämällä on kuitenkin suuri ekologinen ja taloudellinen merkitys. TaimiCO₂-hankkeen tuloksien perusteella voidaan arvioida hiilensidontaa tehostavien taimikonhoitokäytäntöjen hiilensidontapotentiaalia. Tietoa voidaan myös hyödyntää metsänomistajien hiilensidontaa edistävien taloudellisten kannusteiden tai hiilensidonnasta kaupallistamiseen tähtäävien järjestelmien hiililaskelmien perusteina. Tulokset voivat vaikuttaa myös suoraan ympäristötietoisien metsänomistajien ja metsätalouden toimijoiden päätöksentekoon ja toimintaan. Hanke käsitteli myös perkauksen vaikutuksia istutuskuusten tuotokseen. Ainespuun tuotos vaikuttaa hyvin suoraviivaisesti metsänomistajan talouteen ja siihen pohjautuvaan päätöksentekoon, ja tulokset siltä osin ohjaavat metsänomistajia taloudellisesti järkevään metsien hoitoon. Nykyinen hanke seurasi metsikön kehitystä toisaalta vain pienen murto-osan siitä ajasta, jonka taimikonhoito tulee vaikuttamaan metsikön hiilensidontaan, eikä pitkän ajan vaikutuksia voida tulosten perusteella vielä luotettavasti arvioida.

Aiemmat Repolan biomassamallit kuusella ja rauduskoivulle eivät soveltuneet tai niiden ennusteet olivat hyvin epäluotettavia puun eri osien biomassojen laskentaan nuorissa taimikoissa. Pihlajalle ja haavalle biomassamalleja ei ollut ennen tätä hanketta. Nyt laaditut mallit ovat käyttökelpoisia sellaisenaan kuusen istutustaimikoissa, jossa on tiheäkin lehtipuusekoitus. Hankkeessa kerätty biomassaa-aineistoa tullaan jatkossa käyttämään nykyisten isompien puiden biomassamallien uudistamisessa. Nämä mallit tullaan ottamaan myöhemmin käyttöön eri laskentajärjestelmissä (esim. Motti, Mela), jolloin metsien hiilivarastojen määrän ennustaminen eri käyttötilanteissa (KHK-inventaario, skenaariolaskelmat, VMI) tarkentuu.

Tarkennettu tieto taimikoiden hiilensidonnasta ja taimikonhoidon vaikutuksesta siihen voi myös aiheuttaa tarvetta päivittää metsänhoidon suosituksia taimikonhoidon toteutuksesta, jotta voidaan ylläpitää mahdollisimman korkeaa hiilensidontaa jo taimikkovaiheesta alkaen. Tutkimushankkeen aikana kerätyn 1,5 kasvukautta perkauskäsittelystä kattavan mittausaineiston perusteella ei vielä voida kuitenkaan suosituksia antaa, vaan tarvitaan lisää mitattua tutkimustietoa pidemmän aikavälin kehityksestä taimikkovaiheessa ennen lopullisten suositusten antamista.

Lisätietoja hankkeesta ja sen tuloksista löytyy <https://www.luke.fi/fi/projektit/taimico2-01/ajankohtaista>