



HIILILASKELMA METSÄSUUNNITELMASSA *- tulevaisuuden päätöstuki*

PILOTTIRAPORTTI



EUROOPAN UNIONI

Interreg
Botnia-Atlantica
Euroopan aluekehitysrahasto



Rikare skog

Diversifiering genom Inkludering och Specialisering

SISÄLLYS

JOHDANTO	1
TAUSTA	3
Puutuotteet, sidonta ja substituuutio	4
Metsäsuunnitelma päätöksenteon tukena	4
Kohderyhmä	5
Metsäsuunnitelma nyt ja tulevat, uudet vaatimukset	6
TAVOITE	6
MENETELMÄ	8
Ehdotus hiilibudjetin sisältävistä metsäsuunnitelmista	8
Hiilibudjetin laskemisessa tarvittavat mallit	9
TULOKSET	11
POHDINTA	18
JOHTOPÄÄTÖKSET	18
LÄHTEET	19
Liite 1. Mallit ja muuntokertoimet	21

JOHDANTO

Enemmän metsästä hanketta rahoittaa Botnia-Atlantica -ohjelma (Interreg) yhdessä Västerbottenin ja Västernorrlandin läänien, Pohjanmaan liiton sekä hankkeeseen osallistuvien yhteistyöorganisaatioiden kanssa. Hanke alkoi elokuussa 2018 ja kestää vuoden 2021 loppuun saakka. Hanketta toteuttavat yhteistyössä Ruotsin maataloustieteellinen yliopisto (SLU), Ruotsin metsäkeskus (Skogstyrelsen), Helsingin yliopiston Ruralia-instituutti sekä Suomen metsäkeskus. Tavoitteena on selvittää mahdollisuuksia kehittää uudenlaisia metsäpalveluita, joiden avulla voitaisiin mahdollisesti houkutella laajempia metsänomistajaryhmiä, ja siten edesauttaa metsäalalla aktiivisesti toimivia tai sinne pyrkiviä yrityksiä lisäämään kilpailukykyä ja kannattavuutta. Uuden tiedon avulla hanke tarkastelee metsäpalveluiden kehityksen haasteita ja mahdollisuuksia, mikä toisaalta vahvistaa metsäsektorin innovaatiokykyä. Hyvin kehittyneistä palvelumarkkinoista on hyötyä resurssitehokkaassa ja kestävässä metsien käytössä hankkeen toiminta-alueella: Västerbottenissa, Västernorrlandissa sekä Pohjanmaan maakunnissa.

Hanke on jaettu kolmeen osaan. Ensiksi tarkastellaan millaista uutta tietoa ja palvelukonsepteja tarvitaan, jotta metsänomistajien tarpeisiin voidaan vastata (WP1). Tämä saatu tieto muodostaa perustan toiselle osalle (WP2), jossa potentiaalisia uusia palvelukonsepteja tarkastellaan ja kehitetään erilaisten pilottien muodossa. Näistä saatuja tietoja ja kokemuksia jaetaan erilaisten koulutusten muodossa (WP3).

Tämä raportti esittelee tuloksia perustuen projektin toiseen osaan (WP2), jossa palvelukonsepteja on testattu pilottien muodossa. Koska painopiste on uusien tai nykyisten palvelukonseptien innovatiivisten mahdollisuuksien tutkimisessa, pilotti voidaan nähdä myös konkreettisenä ja käytännössä toteutettuna pilottitutkimuksena. Hankkeen pilottien päätavoite on saavuttaa syvempää ymmärrystä palvelumarkkinoista yleisesti sekä uusien palveluiden kehityspotentiaalista. Pilottien avulla hanke kehittää tietoa yksittäisistä palveluista, jotka yhdessä muodostavat laajempaa kuvaa ja

ymmärrystä. Lisäksi kokemuksista Ruotsista ja Suomesta saadaan vertailevaa analyysiä maiden välillä.

Tässä raportissa esitelty pilotti pyrkii vastaamaan havaittuun tarpeeseen parantaa yksityismetsänomistajien metsäsuunnitelmaa. Pilotin toteutuksesta on vastannut Torgny Lind. Hän on kirjoittanut raportin yhdessä projektityöryhmän kanssa Ruotsin maatalousyliopistossa (SLU) Uumajassa.

Lisää tietoa hankkeesta, sen muista piloteista ja tuloksista: www.slu.se/rikareskog

TAUSTA

Metsä on tärkeä luonnonvara Ruotsin ja Suomen lisäksi monessa muussakin maassa. Metsästä saatavia tuotteita ja materiaaleja käytetään eri tarkoituksiin, kuten rakentamiseen, bioenergiaan, paperiin ja pakkauksiin. Uusiutuvana luonnonvarana puulla tulee todennäköisesti olemaan tärkeä rooli myös tulevaisuudessa. Muita metsän tuottamia ekosysteemipalveluita ovat virkistys, marjat ja sienet sekä metsästys, jotka ovat tärkeitä metsänomistajille ja muille ihmisille.

Ruotsissa on tällä hetkellä noin 315 000 yksityistä metsänomistajaa, jotka omistavat puolet tuottavasta metsäalasta (n. 11 miljoonaa ha) ja vastaavat n. 60 prosentista puuntuotannosta. Metsänomistajat ovat erilaisia ja heillä on erilaisia tavoitteita metsälleen. Ajan myötä mielipiteet metsästä ja metsänhoidon tavoitteet muuttuvat. Tämä on jatkuva, joskin hidas, prosessi. Esimerkiksi metsää omistavien naisten osuus on noussut 34 prosentista 38 prosenttiin vuosien 1992 ja 2021 välillä. Toinen esimerkki ovat kiinteistöt, joiden omistajista vähintään yksi asuu samassa kunnassa, jossa metsäkiinteistö sijaitsee. Näiden kiinteistöjen osuus on ollut samalla tasolla 1990-luvulta lähtien. Vuonna 1992 metsäkiinteistöistä 70 prosenttia omisti henkilö, joka asui samassa kunnassa, ja vuonna 2021 68 prosenttia (Skogsstyrelsen, 2021a).

Tänä päivänä käydään laajaa keskustelua metsän roolista ilmastonmuutoksessa. Usein metsän rooliin liitetään kahta vastakkaista mielipidettä. Toisten mielestä parasta on panostaa kasvun lisäämiseen ja metsätuotteiden käyttöön uusiutumattomien ja fossiilisten energianlähteiden korvaajina. Toisten mielestä taas on parasta vähentää hakkuita merkittävästi, jotta metsät varastoivat niin paljon hiiltä kuin mahdollista. Metsän merkityksen ilmastolle voi laskea eri näkökulmista: laskemalla vain puiden ja maaperän hiilivarastot tai huomioimalla myös puutuotteet ja niiden korvaus- eli substituutiovaikutukset.

Suurimmat hiilivarastot ovat elävän puuston biomassassa ja maaperän orgaanisissa hiilivarastoissa. Suurin vuosittainen hiilivarastonmuutos tapahtuu elävän puuston biomassassa. Elävän puuston biomassassa olevan hiilimäärän lisääntymisen seurauksena keskimääräinen hiilensidonta metsissä on ollut nettotasolla 23–39 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. vuosina 1990–2017. Hakatuiksi puutuotteiksi määritellään kaikki se puubiomassa, joka hakkuussa syntyy. Puutuotteiden päästöistä raportoitaessa puutuotteista käytetään kansainvälisesti nimitystä Harvest Wood Products (HWP). HWP-hiilivarasto perustuu kolmen tuotekategorian muutoksiin; sahattu puutavara, puupohjaiset paneelit ja paperituotteet sekä energiapuu, jonka katsotaan hajoavan välittömästi. Puutuotteet

auttavat hillitsemään ilmastonmuutosta (1) muodostamalla puupohjaisen hiilen varaston ja (2) korvaamalla ympäristölle haitallisia materiaaleja ja energianlähteitä, kuten fossiilisia polttoaineita.

Puutuotteet, sidonta ja substituuutio

Puutuotteet (HWP) ovat hiilivarasto, joka seuraa hiilen kehitystä elävässä biomassassa (IPCC 2006). Hakkuiden lisääntyminen lisää HWP:tä, mutta vähentää samalla hiilidioksidin nettosidontaa elävän biomassan varastoon. HWP:n vuosittainen nettosidonta oli Ruotsissa 6–7 Mt CO₂-ekv. (Naturvårdsverket, 2020). Vertailuna voidaan todeta, että Ruotsin autoliikenteen kasvihuonekaasupäästöt olivat vuonna 2019 noin 10 Mt CO₂-ekv. (Naturvårdsverket 2021). Varastonmuutos johtuu uusiin tuotteisiin varastoituneen hiilen ja käytöstä poistettujen tuotteiden hiilivaraston välisestä mallinnetusta eroista.

HWP:n päästöt perustuvat varastonmuutoksiin kolmessa tuotekategoriassa; sahattu puutavara, puupohjaiset paneelit ja paperituotteet. Varastointi lasketaan niin, että puoliintumisaika on riippumaton muuttuja, ja sovellettavat puoliintumisajat ovat 35 vuotta sahatavaralle, 25 vuotta puupohjaisille paneeleille ja 2 vuotta paperille. Sovellettavat muuntokertoimet ovat 0,62 t biomassaa kuutiometriä kohti puupohjaisille paneeleille, 0,42 t biomassaa kuutiometriä kohti sahatavaralle ja 0,9 t biomassaa paperitonnia kohti. Jokaisen kategorian hiilipitoisuudeksi on määritetty 0,5 kilogrammaa hiiltä puiden biomassakilogrammaa kohti.

Metsätuotteilla substituominen eli korvaaminen tarkoittaa sitä, että hiilidioksidin nettopäästöt ovat paljon alhaisemmat kuin silloin, jos aktiivista metsänhoitoa ei harjoitettaisi, vaan yhteiskunnan kulutustarpeet täytettäisiin muilla tavoilla (enemmän fossiilisia energianlähteitä, enemmän terästä, enemmän betonia jne.) (Bergh et al. 2020 Lundmark et al. 2014). Tämä vaikuttaa suuresti laskelmiin puun käytön hyödyistä ilmastolle. Vaikutuksen kokoluokka on herättänyt keskustelua, ja arvioitu substituuatiovaikutus vaihtelee merkittävästi oletuksesta riippuen. Substituutiovaikutuksen keskiarvo, joka perustuu 21 rakennusalan tutkimukseen, on 2,1 kg hiiltä hiilikiloa kohti käytettäessä puumateriaaleja (Rummukainen 2021).

Metsäsuunnitelma päätöksenteon tukena

Yksittäisen metsänomistajan tekemät metsänhoitoon liittyvät päätökset vaikuttavat hiilen varastointiin omassa metsässä, puutuotteissa sekä substituuatiomahdollisuuksiin. Tällä hetkellä metsäkiinteistöjen metsäsuunnitelmat eivät ole pakollisia, jos omistajalla ei ole FSC- tai PEFC-sertifikaattia (FSC 2021, PEFC 2021). Vaikka laki ei vaadi

metsäsuunnitelmaa, monet metsänomistajat käyttävät ajantasaista suunnitelmaa tärkeänä työkaluna metsänhoitoon liittyvistä toimenpiteistä päättäessään. Ruotsin Metsäkeskuksen tilastojen (Skogsstyrelsen 2021a) mukaan noin 70 prosentilla metsänomistajista on alle 10 vuotta vanha metsäsuunnitelma. Metsäsuunnitelma koostuu pääasiassa kolmesta osasta; metsän kuviotiedoista ja koko kiinteistön tiedoista, toimenpide-ehdotuksista sekä kartoista. Tämän päivän metsäsuunnitelmissa metsää ja kuvioita kuvataan tietyillä muuttujilla, kuten hehtaarikohtainen tilavuus, puulajikoostumus, ikä, maalaji, kasvupaikka jne. Lisäksi esitetään yhteenveto kiinteistön puustosta inventointihetkellä sekä kymmenen vuoden kuluttua olettaen, että kasvu on odotettua ja toimenpide-ehdotuksia noudatetaan. Metsäsuunnitelmissa ei tällä hetkellä ole tietoja varastoidusta hiilestä, metsän vuosittaisesta hiilensidonnasta eikä hakkuisiin ja hakkuukertymiin liittyvästä hiilestä.

Metsäsuunnitelma on erinomainen pohja, jolle päätökset ja toimenpiteet perustuvat. Kun metsäsuunnitelmaan sisällytetään useampia näkökulmia, päätöksille ja toimintamahdollisuuksille on laajempi tietopohja. Tänä päivänä metsäsuunnitelmiin ei sisälly hiilimääriin ja hiilensidontaan liittyviä tietoja tai selvityksiä. Nämä tiedot toimisivat erilaisten kiinteistöön liittyvien päätösten tukena aina hoidosta hakkuisiin, eli kiinteistön hiilipoistumiin ja siihen, mitä tälle hiilelle sen jälkeen tapahtuu.

Kohderyhmä

Tämän pilotin tärkeimmät kohderyhmät ovat yksittäiset metsänomistajat päätöksentekijöinä ja puunostajat, jotka tarjoavat metsäsuunnittelupalvelua. Myös puuta jalostavat yritykset ovat yksi kohderyhmä. Jotta pilotin toteuttaminen olisi mahdollista, sen on myös toimittava pohjana ohjelmistoyhtiöille, jotka kehittävät metsäsuunnitelmaan liittyviä ohjelmistoja. Yksittäiselle metsänomistajalle hiilibudjetin laskeminen tarjoaa lisää tietoa päätösten tueksi ja antaa omistajalle syvemmän ymmärryksen metsäkiinteistöstään ja siihen liittyvistä valinnoista, kuten erilaisten palveluiden kehittämisestä ja ostamisesta. Puunostajille tai muille metsäalalla työskenteleville henkilöille (kuten metsäsuunnittelijat, korjuupäälliköt, metsänhoitajat, ympäristövaikutusten arvioijat jne.) tämä antaa mahdollisuuden kehittää sekä olemassa olevaa metsäsuunnittelupalvelua että oheispalveluita, joita uudet tiedot ja päätöksentekoperusteet, kuten hiilibudjetti, tuovat mukanaan. Puuta jalostaville yrityksille ja organisaatioille tämä avaa mahdollisuuden mukautetummille ja kohdennetummille puunjalostusta ja hiilen varastointia koskeville palveluille, jotka liittyvät metsänomistajan strategiaan päätöksiin ja kiinteistön hallintaan.

Metsäsuunnitelma nyt ja tulevat, uudet vaatimukset

EU on tehnyt uuden metsästrategian vuodelle 2030 (Europeiska kommissionen 2021a). Siinä sanotaan muun muassa, että metsäsuunnitelmien kattaman metsäalan osuuden tulee kasvaa yksityisten metsien osalta. EU:n taksonomia-asetuksessa (EU 2020, Europeiska kommissionen 2021b) on metsäsuunnitelmiin liittyviä ehdotuksia. Kappaleessa, joka koskee sitä, millä ehdoilla taloudellisen toiminnan katsotaan vaikuttavan olennaisesti ilmastonmuutoksen rajoittamiseen tai siihen sopeutumiseen, metsäsuunnitelma on hyvin tärkeä työkalu.

Jotta metsänhoito luokiteltaisiin EU:n taksonomian mukaisesti vihreäksi, kiinteistöllä tulisi olla metsäsuunnitelma, joka pitää päivittää kymmenen vuoden välein. Lisäksi on ehdotettu, että kiinteistöllä tulisi olla ilmastohyötyanalyysi, jotta metsänhoito voidaan luokitella vihreäksi. Jos metsänomistaja haluaa sopeuttaa metsänhoitonsa taksonomiaan, hänen on tehtävä metsäkiinteistöstään niin kutsuttu ilmastohyötyanalyysi, joka todistaa, että tämänhetkinen metsänhoito sitoo hiiltä. Analyysin tulee sisältää kaikki hiilivarastot, joihin toiminta vaikuttaa, esimerkiksi maan yläpuolella oleva biomassa, maanalainen biomassa, kuollut puuaines, karike ja humus. Alle 13 hehtaaria omistavien metsänomistajien ei tarvitse tehdä tätä analyysiä.

TAVOITE

Pilotin yleisenä tavoitteena on tutkia edellytyksiä ja mahdollisuuksia hiilensidonnan ja hiilen varastoinnin sisällyttämiseen metsäsuunnitelmaan. Sisällyttäminen voidaan tehdä eri tavoin: kaikilla hiilivarastoilla tai osalla niistä sekä eri tarkkuusasteilla. Suunnitelman ja sisällön testaamiseksi eräälle kiinteistölle on tehty laskelmia olemassa olevan suunnitelman perusteella. Tämän pilotin päätarkoitus on kuvata, kuinka hiilimäärät, hiilensidonta ja päästöt voitaisiin ottaa osaksi metsäsuunnitelmia perinteisesti kerätyn metsätiedon ja muiden puutuotteita ja substituutiovaikutuksia koskevien tietojen avulla.

Yhtenä tavoitteena on, että metsäsuunnitelmaa voitaisiin käyttää selvittämään metsäkiinteistön merkitystä ilmastolle selkeällä tavalla. Puutuotteiden ostajat ja tuottajat voivat siten esittää koko ketjun puusta tuotteeksi. Usein puunostajat tarjoavat metsäsuunnitelmapalvelua metsänomistajille, ja hiililaskelmien sisällyttäminen suunnitelmiin kehittäisi palvelua ja antaisi päätöksenteon tueksi tietoa, joka mahdollistaisi muunlaisia palveluita. Päätöksenteon tukena se avaisi mahdollisuuksia lisätä päätöksentekoon ja neuvontaan muitakin konkreettisia ilmastonäkökulmia metsänomistajan kiinnostuksen ja motiivien mukaan – mutta myös yleisyhteiskunnallisia tavoitteita, kuten ilmastoneutraaliuden.

Jotta tämä olisi mahdollista, pilotti keskittyy tutkimaan, miten pienempien kiinteistöjen hiilen varastointiin, hiilensidontaan ja päästöihin liittyviä metsänhoidon ilmastovaikutuksia voidaan kuvata ja miten niistä voidaan kertoa. Tämä toteutetaan selvittämällä, miten hiilimäärät, hiilensidonta, päästöt ja substituutiovaikutukset voidaan laskea ja esittää.

MENETELMÄ

Hiilibudjetin sisältävää metsäsuunnitelmaa on laadittu vaiheittain. Aluksi keskusteltiin Martinson AB:n edustajien kanssa konseptista, sen toteutuksesta ja mahdollisista hyödyistä heidän toiminnalleen ja palveluilleen. Tämän keskustelun, ympäristöanalyysin, kirjallisuuden sekä pilotin tavoitteen pohjalta luotiin ehdotus eri vaihtoehdoista sille, miten hiilibudjetti voitaisiin ottaa mukaan nykyisiin perinteisiin metsäsuunnitelmiin. Laskelmia tehtiin yksittäisille yksityisille kiinteistöille, mutta tässä raportissa esitellään vain pienempään, Ruotsin maatalousyliopiston (SLU) omistamaan kiinteistöön perustuvia tuloksia. Tässä käytetyt laskelmat perustuvat Ruotsissa käytettyihin malleihin. Suomessa vastaavia laskemia on tehty käyttäen eri malleja.

Ehdotus hiilibudjetin sisältävistä metsäsuunnitelmista

Taulukossa 1 esitetään neljä vaihtoehtoista tapaa esittää hiilimääriä metsäsuunnitelmassa. Vaihtoehdot 1–4 merkitsevät asteittain nousevaa tarkkuustasoa ja sitä, että useampia hiilivarastoja otetaan mukaan laskelmiin. Kaikissa vaihtoehdoissa laskelmat perustuvat siihen, että hiilimäärä lasketaan ensin kuviotasolla ja lasketaan sitten yhteen kiinteistötasolla. Tuloksissa esitetään ainoastaan kiinteistötason lukuja. Kuviotasolla hiilivarastot, hiilensidonta ja hiilen poistuma voidaan esittää samalla tavalla kuin muut metsän muuttajat, kuten puusto, kasvu ja hakkuukertymä. Hiili raportoidaan alkutilanteessa ja metsäsuunnitelman suunnittelukauden lopussa (yleensä 10 vuotta) olettaen, että ehdotetut toimenpiteet toteutetaan. Kun hiilimäärät esitetään sekä 0 vuoden että 10 vuoden kohdalta, voidaan tehdä laskelma hiilensidonnasta. Kaikissa vaihtoehdoissa hiilibudjetti pitää pystyä päivittämään metsäsuunnitelman päivittämisen yhteydessä. Hiilibudjetin sisällyttäminen metsäsuunnitelmaan edellyttää, että hiililaskelmista ei aiheudu isoja lisäkustannuksia vaan ne perustuvat olemassa olevaan aineistoon. Näin ollen olemassa olevia metsäsuunnitelmatietoja tulisi voida käyttää ilman uusia maastomittauksia. Tällöin olemassa olevia metsäsuunnitelmia voitaisiin päivittää ja ne voisivat sisältää hiililaskelmia.

Vaihtoehdossa 1 laskelmat rajoittuvat maanpinnan yläpuolella olevassa puustossa olevaan hiileen eikä siinä oteta huomioon puutuotteiden käyttöä tai hakkuuta. Vaihtoehdossa 2 esitetään, kuinka puutuotteet varastoivat hiiltä hakkuun jälkeen. Tämä tarkoittaa sitä, että hakkuun jälkeen kaikki hiili ei välittömästi vapaudu ilmakehään vaan tietty osa varastoituu puutuotteisiin. Vaihtoehdossa 3 esitetään myös kannoissa, juurissa ja maaperässä oleva hiilimäärä. Vaihtoehdossa 4 mukaan otetaan myös substituutio- eli korvausvaikutukset ja toimenpiteisiin liittyvät päästöt.

Taulukko 1. Vaihtoehtoja hiilen raportoimiseksi monipuolisessa metsäsuunnitelmassa

Selvitys hiilivarastosta	Vaihtoehto			
	1	2	3	4
a) a) Maanpinnan yläpuolisessa puustossa oleva hiili kantoja ja juuria lukuun ottamatta (alkutilanteessa ja suunnitelmakauden lopussa)	x	x	x	x
b) Suunnitelmakaudella toimenpide-ehdotusten mukaisesti hakatuissa puissa oleva hiili	x	x	x	x
c) Toimenpide-ehdotusten mukaisesti tehtyihin hakkuisiin perustuva selvitys puutuotteista		x	x	x
d) Kannoissa ja juurissa oleva hiili (vuonna 0 ja suunnitelmakauden lopussa)			x	x
e) Maaperässä oleva hiili (vuonna 0 ja suunnitelmakauden lopussa)			x	x
f) Substituutiovaikutukset (vuosina 0–10 tehtäviin hakkuisiin perustuen)				x
g) Toimenpiteisiin, kuten hakkuisiin ja puun kuljetuksiin, liittyvät päästöt				x

Hiilibudjetin laskemisessa tarvittavat mallit

Jotta hiilen määrä voidaan laskea, tarvitaan malleja, joilla määrä arvioidaan tavallisten metsän muuttujien perusteella, ks. taulukko 2. Laskenta voidaan tehdä käyttämällä biomassaan ja puun hiilimäärään liittyviä malleja tai muuntokertoimia. Maaperän osalta on olemassa malleja lähtötilanteen hiilimäärän ja hiilensidonnan arvioimiseksi. Puutuotteiden osalta tarvitaan tietoja/muuntokertoimia siitä, miten tuotteita jalostetaan edelleen. Muunnettaessa biomassaa hiileksi käytetään kerrointa 0,5 kg C per kg kuiva-ainebiomassa (olettaen, että kuivabiomassasta keskimäärin puolet on hiiltä). Muuntokertoimet ja lisätietoja on Liitteessä 1.

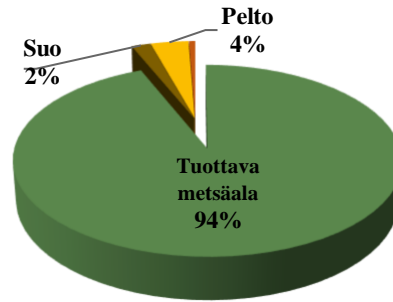
Taulukko 2. Hiilimäärien laskemisessa tarvittavia malleja

Hiilivarasto	Tarvittavat mallit/data	Viittaukset
a) a) Maanpinnan yläpuolisessa puustossa oleva hiili kantoja ja juuria lukuun ottamatta	– Biomassamalli, jolla arvioidaan puiden maanpinnan yläpuolella olevaa biomassaa kantoja lukuun ottamatta – Muuntokerroin	– (Marklund, 1988; Petersson, 1999) – Muuntokerroin, Liite 1.
b) Hakatuissa puissa oleva hiili	– Biomassamallit – Muuntokerroin	– (Marklund, 1988; Petersson, 1999) – Muuntokerroin, Liite 1.
c) Puutuotteet	– Hakkuutilavuuksien jakautuminen tukkipuuhun ja kuitupuuhun mallin tai hakkuukoneen seurantadatan/ kirjanpidon mukaan – Puun biomassamalli – Tiedot puutavaralajien puoliintumisajasta	– (Ollas, 1980) – (Marklund, 1988; Petersson, 1999) – Muuntokerroin, Liite 1. – Naturvårdsverket (2020)
d) d) Kannoissa ja juurissa oleva hiili	– Biomassamallit jakeelle kannot ja juuret tai – Muuntokerroin	– (Marklund, 1988; Petersson, 1999), – Muuntokerroin, Liite 1.
e) Maaperässä oleva hiili	– Hiilen varastoinnin malli metsämaassa	– Maahiilimallit, ks. Liite 1
f) Substituutio- vaikutukset	– Tiedot vaikutuksesta hiilitonnia kohti	– Muuntokerroin Lundmarkin ym. mukaan (2014)
g) Toimenpiteiden aiheuttamat päästöt	– Tiedot koneiden päästöistä	– Muuntokerroin Björhedenin mukaan (2019)

TULOKSET

Tämä tulosten esittely perustuu Ruotsin maatalousyliopiston (SLU) omistaman, Innertavlessa Uumajassa sijaitsevan kiinteistön laskelmiin. Tiedot pohjautuvat SLU:n opiskelijoiden vuonna 2017 tekemään metsäsuunnitelmaan. Kaaviossa 1 on tietoja kiinteistöstä. Se on standardisoitu yhteenveto metsäsuunnitelman tämänhetkisistä tiedoista suunnitelmatyökalu pcSKOGissa (pcSKOG 2021). Puiden ja maaperän hiilimääräarvot perustuvat Heureka PlanVis -ohjelmalla tehtyihin laskelmiin (Wikström et al. 2011). Heureka-ohjelmisto käyttää Liitteessä 1 kuvattuja malleja sekä puiden että maaperän hiilen suhteen. Puutuotteiden ja substituutiovaikutusten osalta laskelmat on tehty ohjelmiston ulkopuolella Liitteen 1 mukaisilla muuntokertoimilla.

Pinta-alat	ha	Osuus, %
Tuottava metsäala	30,5	94
Suo	0,6	2
Kallio	0,0	0
Pelto	1,2	4
Tie ja voimalinja	0,2	1
Muut	0,0	0
Maapinta-ala yhteensä	32,5	
Vesistöä	0,0	



Puusto, m³	Puulaji	m³	%	ha
5840	Mänty	2424	42	13
	Kuusi	3140	54	16
	Lehtip.	181	3	1
	Koivu	95	2	0
Keskiarvo per ha, m³/ha	Yhteensä	5840	100	30
192				

Kiinteistön boniteetti, m³/ha

5,0

Kasvu, m³/vuosi

164

Hakkuuehdotus

Toimenpide	m³
Uudistushakkuu	1067
Harvennus	522
Yhteensä suunnittelujaksolla	1589

Kaavio 1. Yhteenvedo metsän tilanteesta lähtötilanteessa 2017, kasvusta ja hakkuuehdotuksesta metsäsuunnitelman sääntömääräisen yhteenvedon mukaisesti esitettyinä.

Mikäli hiilimäärät esitetään vaihtoehdon 1 mukaan, jolloin huomioidaan vain kasvavan puuston ja hakattujen puiden hiili, luvut voidaan esittää kaavion 2 mukaisesti. Ehdotetuilla toimenpiteillä nettosidonta on 10 vuoden ajanjaksolla noin 10 tonnia hiiltä hieman kasvaneen puuston myötä. Hiilensidonta on noin 44,5 tonnia hiiltä vuodessa, mikä tarkoittaa 10 vuoden ajanjaksolla 445 hiilitonnin kokonaissidontaa. Samalla ajanjaksolla hakkuita tehdään 435 hiilitonnin edestä. Hiilensidonta ilmoitetaan negatiivisena arvona. Monissa yhteyksissä päästöt ja sidonta ilmoitetaan yksikössä kg CO₂. Yksi kilogramma hiiltä vastaa 3,67 kg CO₂.

**Hiilivarasto pystymetsässä,
tonnia hiiltä**

1 592

Tonnia hiiltä/ hehtaari

52

Hiilivarasto puulajeittain

Puulaji	C, tonnia	%
Mänty	661	42
Kuusi	856	54
Muut	49	3
Koivu	26	2
Yhteensä	1593	100

Sidonta, Tonnia hiiltä/vuosi

44,5

**Toimenpide-ehdotuksen mukainen
hakkuu**

	tonnia hiiltä
Toimenpide	
Uudistushakkuu	291
Harvennus	143
Yhteensä	434
CO ₂ -ekv.	1590

Negatiivinen arvo: varastointia
Positiivinen arvo: päästöjä
Tonni hiiltä on 3,67 t CO ₂

Puusto ja hiilivarasto

Vuosi	tonnia hiiltä
0	1 592
10	1 603
	-11
CO ₂ -ekv.	-39

Kaavio 2. Hiilimäärien esittäminen vaihtoehdon 1 mukaan.

Kaaviossa 3 hiilimäärät on esitetty niin, että puutuotteiden varastoima hiili on otettu huomioon. Tässä esimerkissä oletetaan, että lähtötilanteessa ei ole puutuotevarastoa, eli aiemmin varastoituja puutuotteita, jotka hajoaisivat 10 vuoden ajanjakson aikana. Tällä on yksinkertaistettu asiaa. Sahatavaraksi päätyvän tukkipuun puoliintumisaika on 35 vuotta, eli puolet hiilestä on jäljellä sahatavarassa 35 vuoden kuluttua. Tukkipuun sahaustuloksen oletetaan olevan 50 %. Kuitupuun puoliintumisaika on 2 vuotta.

Tonnia hiiltä hakatussa puussa

Vuosi	Päätehakk.	Harvennus	Yhteensä
1-5	221	60	281
6-10	76	79	154
Alla	296	139	435

Vuosi	Tilavuus, k-m ³		Puutuotteet 10. vuonna, tonnia hiiltä		
	Tukkip.	Kuitupuu	Sahatavara	Paperi	Yht.
1-5	302	521	-25	-7	-32
6-10	287	219	-27	-23	-50
Totalt	589	741	-53	-30	-82

Siirtymä alemmasta läpimittaluokasta vuosina 0-10, tonnia hiiltä

-445

Hiilitasapaino metsässä ja tuotteissa vuosina 0-10

Hiilivarasto	Tonnia hiiltä
Puiden hiili	-9
Puutuotteet	-82
Yhteensä	-92
CO ₂ -ekv.	-336

Negatiivinen arvo: varastointia
Positiivinen arvo: päästöjä
Tonni hiiltä on 3,67 t CO₂

Kaavio 3. Hiilimäärän esittäminen vaihtoehdon 2 mukaisesti.

Kun hiilimäärät esitetään niin, että kantojen, juurten ja maaperän hiili otetaan huomioon, hiilimäärä on merkittävästi isompi, koska maaperän hiilivarasto on iso. Syy maaperän hiilimäärän suurelle kasvulle ajanjaksolla on se, että suuri osa hiilestä kaadettujen puiden kannoissa ja juurissa esitetään maaperän hiilenä. Elävien puiden kannoissa ja juurissa olevan hiilen määrä pienenee hiukan ajanjakson aikana. Ajan mittaan osa kannoista ja juurista sitoutuu maaperään kivennäismaan hiilenä, kun taas osasta aiheutuu hajotessaan päästöjä. Maakartoituksen mukaan (Stendahl 2017) ruotsalaisissa metsissä on noin 75 tonnia hiiltä hehtaaria kohti. Kivennäismaat varastoivat hiiltä keskimäärin noin 0,150 tonnia hehtaaria kohti.

Ajankohta	Kannot ja juuret, tonnia hiiltä	Maaperän hiili, tonnia hiiltä
Vuosi 0	497	1685
Vuosi 10	480	1877
Muutos	17	-192

Varastoituminen puihin v. 0–10 -445

Hiilen vapautuminen hakkuissa 435

Yhteenvedo, vuodet 0–10

Hiilivarasto	Tonnia hiiltä
Puiden hiili	-9
Puutuotteet	-82
Maaperä	-172
Yhteensä	-264
CO ₂ -ekv.	-1357

Negatiivinen arvo: varastointia

Positiivinen arvo: päästöjä

Tonni hiiltä on 3,67 t CO₂

Maaperän hiili koostuu kannoissa, juurissa ja kivennäismaassa olevasta hiilestä

Kaavio 4. Hiilimäärän esittäminen vaihtoehdon 3 mukaisesti.

Kun hiilibudjettiin sisällytetään substituutiovaikutukset, lasketaan myös koneiden päästöt, lähinnä hakkuukoneiden ja kuormastraktoreiden, mutta myös teollisuuskuljetusten päästöt. Tässä laskelmassa on oletettu, että substituutiovaikutus on 470 kg CO₂ hakattua puukuutiometriä kohti, joka vastaa 128 kilogrammaa hiiltä kuutiometriä kohti (Lundmark et al. 2014). Hakkuun päästöiksi on oletettu 12,4 kg CO₂/k-m³ korjuu- ja kuljetustöissä, eli n. 3,4 kg C/k-m³.

Yhteenveto vuosilta 0–10

Hiilivarasto	Tonnia hiiltä
Puiden hiili	-9
Puutuotteet	-82
Maaperä	-175
Substituutio	-204
Koneiden päästöt	4
Tonnia hiiltä	-466
CO ₂ -ekv.	-1708

Keskimääräinen substituutiovaikutus on n. 470 kg CO₂ hakattua kuutiometriä kohti.
Hakkuun päästöt, 3,38 kg C/m³

Kaavio 5. Hiilimäärän esittäminen vaihtoehdon 4 mukaisesti.

Hiilibudjetin laskeminen eri vaihtoehtojen mukaan johtaa aivan eri tuloksiin. Hiilibudjetit antavat metsäkiinteistölle -11, -84, -256 ja -458 hiilitonnin varastointiarvon eri vaihtoehdoissa riippuen siitä, mitä laskelmaan sisältyy. Tässä oletetaan, että ehdotetut hakkuut toteutetaan 10 vuoden ajanjaksolla. Jos kiinteistöllä ei 10 vuoden ajanjaksolla toteuteta hakkuuta, tulokseksi tulee -679 tonnia hiiltä, jos sekä puut että maaperä lasketaan mukaan, ja -475 tonnia hiiltä, jos vain puut lasketaan mukaan. Näitä laskelmia on yksinkertaistettu siten, että kuolleessa puuaineksessa olevaa hiiltä ei ole laskettu mukaan. Yleensä metsäsuunnitelmissa ei ole inventointitietoja kuolleesta puuaineksesta, luonnollisen poistuman kautta syntynyttä kuollutta puuainesta eikä kuolleen puuaineksen hyödyntämistä eli sitä, jos metsänomistaja korjaa kuolleita tai kuolevia puita. Lisäksi laskelmaa on yksinkertaistettu siten, että puutuotteiden laskenta alkaa nollasta, eli aiempaa puutuotevarastoa ei huomioida. Tämä johtaa CO₂-päästöjen aliarviointiin, sillä kiinteistön vanhojen puutuotteiden hajoamista ei huomioida.

Taulukossa 3 on yhteenveto neljän ehdotetun vaihtoehdon vahvuuksista ja heikkouksista. Mikäli puutuotteet sisällytetään laskelmaan, yksittäisten puunostajien puuraaka-aineen käyttöä voidaan metsäsuunnitelmien päivittämisen yhteydessä käyttää oikaisemaan

laskelmia siitä, kuinka puutuotteita tulevaisuudessa varastoidaan. Tällöin tulee sekä päivittää tukkipuiksi ja kuitupuiksi menevän puun osuus että oikaista hakkuumäärät.

Taulukko 3. Yhteenveto ehdotettujen vaihtoehtojen vahvuuksista ja heikkouksista.

Vaihtoehto	Vahvuudet	Heikkoudet
1	+ Helppo ottaa käyttöön + Helppo ymmärtää	– Aliarvioi metsänomistajan toimenpiteisiin liittyvän hiilen varastoinnin
2	+ Huomioi tuotteiden hiilen varastoinnin vaikutukset + Voidaan mukauttaa sen mukaan, miten ostaja käsittelee puutuotteita	– Vaatii enemmän lähtötietoja ja olettamuksia puutuotteista
3	+ Huomioi puiden kannoissa ja juurissa sekä maaperässä olevan suuren hiilivaraston	– Maaperän, kantojen ja juurien hiilivaraston arviointi epävarmaa – Vaatii enemmän tietoja ja laskelmia – Epävarma yhteys toimenpiteiden ja maaperän hiilen välillä
4	+ Huomioi substituutiovaikutukset. + Huomioi toimenpiteisiin liittyvät päästöt	– Substituutiovaikutukset kiistanalaisia ja ajan myötä muuttuvia Koneiden päästöt vaativat syöttötietoja

POHDINTA

Yhteiskunnassa käydään intensiivistä keskustelua metsästä, sen roolista ilmastonmuutoksessa ja siitä, kuinka metsää voidaan parhaiten hyödyntää tässä yhteydessä. Pitäisikö metsää pääasiassa käyttää hiilen varastointiin vai pitäisikö sitä käyttää enemmän hiiltä varastoiviin ja fossiilisia raaka-aineita korvaaviin tuotteisiin? Kuten yllä oleva laskelmaesimerkki osoittaa, tulokset vaihtelevat hyvin paljon sen mukaan, mitä hiilibudjetissa huomioidaan. Mikäli siinä huomioidaan puutuotteet ja substituutiovaikutus, kiinteistön tulokset ovat aivan erilaiset kuin silloin, kun huomioidaan vain maanpinnan yläpuolinen puusto ja hakkuut. Yksittäiselle metsänomistajalle tärkein tietolähde omaan metsäänsä liittyen on tavallisesti metsäsuunnitelma. Ruotsin metsäkeskuksen (Skogstyrelsen) tilastojen mukaan n. 70 prosentilla kaikista metsäkiinteistöistä on ajantasainen suunnitelma, eli alle 10 vuotta vanha suunnitelma. Tähän asti metsänomistajien kiinnostus lisätä hiililaskelmia metsäsuunnitelmaan ei ole ollut kovin suurta. Se ei kuitenkaan tarkoita sitä, että asia olisi niin myös tulevaisuudessa, kun tulee uusia metsänomistajia, yhteiskunta alkaa vaatia hiililaskelmia ja metsän rooli ilmastotyössä alkaa kiinnostaa ihmisiä enenevässä määrin. Pilotti osoittaa, että hiililaskelmien sisällyttäminen metsäsuunnitelmaan antaa tukea päätöksentekoon, suunnitteluun, metsänhoitoon ja puun myyntiin. Tämä voi olla merkityksellistä niin yksittäisille metsänomistajille kuin metsäpalveluyrityksille ja puuta ostaville organisaatioillekin. Metsän omistamisen viitekehyksessä hiilen valokeilaan nostamisella on potentiaalia luoda uusia ilmastoon ja ympäristöön liittyviä kannustimia ja tavoitteita, mikä voi avata mahdollisuuksia uusien metsänomistajaryhmien aktiivisuuden lisääntymiselle. Puutuotteiden (HWP) laskelmat antavat myös palvelu- ja puunmyynnille lisäarvoa, joka laajentaa päätöksentekoa hakkuupäätösten ulkopuolelle.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Hiilibudjetin sisällyttäminen olemassa oleviin metsäsuunnitelmiin on mahdollista aineistolla, joka on kerätty perussuunnitelmaa varten, kun laskelmat tehdään maanpinnan yläpuolisesta puustosta. Puutuotteiden osalta voidaan käyttää yksinkertaisia muuntokertoimia, mutta laskelmat pitää pystyä mukauttamaan sen mukaan, miten ostaja käyttää puuta. Mikäli suunnitelmaan halutaan mukaan laskelmat hiilivaraston muutoksesta, tarvitaan enemmän ja monimutkaisempia laskelmia sekä uusien muuntokertoimien luomista. Metsäsuunnitelman hiilibudjetin päätöksenteolle antama lisätuki lienee hyödyksi metsänomistajille, puunostajille ja muille palveluyrityksille. Tämä kuitenkin vaatii viestinnällistä panostusta koulutusmateriaalin ja helppotajuisen dokumentaation muodossa sekä kyseisen ominaisuuden lisäämistä ohjelmistoihin, jotta

metsänomistajat sekä metsäalan työntekijät ja yrittäjät saivat tästä tuesta täyden hyödyn.

LÄHTEET

Bergh, J., Egnell, G. Lundmark, T. (2020). Skogsskötselserien, kapitel 21, Skogens kolbalans och klimatet, Skogsstyrelsen, oktober 2020

Björheden (2019). Det svenska skogsbrukets klimatpåverkan <https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2019/det-svenska-skogsbrukets-klimatpaverkan/> [2021-11-11]

Biometria (2018) Virkesförbrukningsstatistik 2018. <https://www.biometria.se/virkesforbrukningsstatistik/> [2021-11-15]

EU (2020). Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2020/852 av den 18 juni 2020 om inrättande av en ram för att underlätta hållbara investeringar och om ändring av förordning (EU) 2019/2088 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0852&from=SV> [2021-11-11]

Europeiska Kommissionen (2021a). Meddelande från kommissionen till Europaparlamentet, Rådet, Europeiska Ekonomiska och sociala kommittén samt regionkommittén Ny EU-skogsstrategi för 2030 {SWD(2021) 651 final} - {SWD(2021) 652 final} Bryssel den 16.7.2021 COM(2021) 572 final. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:0d918e07-e610-11eb-a1a5-01aa75ed71a1.0008.02/DOC_1&format=PDF [2021-11-11]

Europeiska kommissionen (2021b). Komplettering av Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2020/852. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d84ec73c-c773-11eb-a925-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_2&format=PDF [2021-11-11]

FSC (2021). Svensk skogsbruksstandard enligt FSC - endast SLIMF - för markägare med mindre än 1 000 ha produktiv skogsmark V2-1 050510. <https://se.fsc.org/se-se> [2021-10-10].

IPCC (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 12.1 CHAPTER 12 HARVESTED WOOD PRODUCTS Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.

Lundmark, T., Bergh, J., Hofer, P., Lundström, A., Nordin, A., Poudel, B.C., Sathre, R., Taverna, R. & Werner, F. (2014) Potential Roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation. *Forests* 5: 557–578.

LRF konsult (2019). Skogsbarometern 2019. <https://skogsforum.se/download/file.php?id=73163> [2021-11-16]

Marklund, L.-G. (1988). "Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige." Institutionen för skogstaxering, SLU. Rapport 45.

Naturvårdsverket (2020). National Inventory Report Sweden 2020. Greenhouse Gas Emission Inventories 1990-2018. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol.

- Naturvårdsverket (2021). Inrikes transporter, utsläpp av växthusgaser. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-inrikes-transporter/> [2021-11-11]
- Ollas, R. (1980). Nya utbytesfunktioner för träd och bestånd. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Ekonomi, nr 5 1908.
- pcSKOG (2021). Hemsida pcSKOG. <https://www.pcskog.se/> [2021-11-11]
- PEFC (2021). PEFC SWE 002 Svenska PEFC:s skogsstandard. 2017 – 2022. <https://pefc.se/> [2021-10-11].
- Petersson, H. (1999). "Biomassafunktioner för trädfraktioner av tall, gran och björk i Sverige." *Arbetsrapport 59 1999*.
- Petersson, H. & Ståhl, G. (2006). "Functions for below-ground biomass of *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula* and *Betula pubescens* in Sweden." *Scandinavian Journal of Forest Research* **21**(S7): 84-93.
- Rummukainen, M. (2021) Skogens klimatnyttor – en balansakt i prioritering (utökad utgåva). CEC Rapport Nr 6. Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet. ISBN 978-91-984349-6-5
- Stendahl, J. (2017). Tema: Skogsmarkens kolförråd. I: Skogsdata 2017. Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen. s. 14–23. SLU, inst. för skogshushållning. Umeå.
- Skogsstyrelsen (2021a). Areal skogsbruksplan efter ägarklass. Skogsstyrelsens statistikdatabas.
- Skogsstyrelsen (2021b). Sveriges officiella statistik statistiska meddelanden JO1405 SM 2001 ISSN 1654-4021 Serie JO – Jordbruk, skogsbruk och fiske. Utkom den 7 oktober 2021. Uppdaterad 2021-10-13.
- Wikström, P., L. Edenius, Elfving, B., Eriksson, L.O., Lämås, T., Sonesson, J., Öhman, K., Wallerman, J., Waller, C., Klintebäck, F. (2011). The Heureka forestry decision support system: An overview. *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences*. 3(2): 87-94.

Liite 1. Mallit ja muuntokertoimet

Malleja yksittäisten puiden puujakeen biomassan laskemiseksi ovat kehittäneet Marklund (1988), Petersson (1999) ja Petersson & Ståhl (2006). Nämä funktiot perustuvat aineistoon yksittäisistä puista. Jos niitä halutaan soveltaa puustotasolla, pitää joko luoda yksittäiset puut puustodatasta tai käyttää jakeille muuntokertoimia pystyssä olevien puiden kuutiosisällön perusteella kuten taulukossa 1.1. Nämä muuntokertoimet on luotu Riksskogstaxeringenin koealadatan (2015–2019) ja biomassamallien avulla.

Taulukko 1.1 Muuntokerroin 1 metsäkuutiometrille runkopuuta (runko kannosta latvaan kuori mukaan lukien) Ruotsissa, kuivapaino kg ja (kg CO₂-ekvivalenteja).

Puulaji	Runkopuuta	Oksia ja neulasia	Kantoja	Yhteensä
Mänty	395 (724)	103 (189)	165 (303)	663 (1216)
Kuusi	391 (717)	197 (361)	194 (356)	781 (1432)
Lehtip.	497 (911)	136 (249)	208 (381)	841 (1542)
Kaikki	415 (761)	151 (277)	187 (343)	752 (1379)

Kuivapaino muunnetaan hiileksi laskukaavalla 0,5 kilogrammaa hiiltä biomassan kuivapainokilogrammaa kohti.

Muunnettaessa 1 kg hiiltä CO₂-ekvivalenteiksi hiilimäärä kerrotaan osamäärällä (44/12).

Puutuotteet (HWP)

Kansainvälisessä raportoinnissa (Naturvårdsverket 2020) Ruotsi käyttää tuotteille seuraavia puoliintumisaikoja: sahapuu 35 vuotta, puupaneelit 25 vuotta ja paperi 2 vuotta. Laskettaessa vuosittaista hiilivarastoa voidaan käyttää yhtälöä 1 (IPCC 2006)

$$c(i + 1) = e^{-k} \cdot c(i) + \left[\left(\frac{1 - e^{-k}}{k} \right) \right] \cdot kertymä(i) \quad (1)$$

missä

c = hiilivarasto

k=ln(2)/HL

HL = puoliintumisaika

kertymä = kertymä vuonna i

Hiilivaraston kehitys riippuu hakkuun suuruudesta, jakaantumisesta puulajeihin ja sahaustuloksesta. Sahaustulos ajanjaksolla 2014–18 oli n. 49 % (Biometria 2021), mikä tarkoittaa, että 49 prosentista hakkuissa syntyneestä sahapuusta tulee pitkäikäisiä tuotteita ja loppuosasta lyhytikäisiä tuotteita, kuten haketta selluteollisuuteen ja energiantuotantoon.

Jakaantuminen tukkipuuhun ja kuitupuuhun

Kuviodataan perustuvissa hakkuissa puun jakaantuminen tukkipuuhun ja kuitupuuhun voidaan laskea Ollasin funktioilla (Ollas 1980) seuraavasti

$$g_{3m} = 1 - \frac{0,86}{dgv-y}$$

$$g_{fall} = 1 - \frac{0,31}{dgv-y} \quad \text{missä}$$

g_{3m} = käyttöpuun osuus, kun kuitupuu apteerataan 3 m pituuksiin

g_{fall} = käyttöpuun osuus, kun kuitupuu apteerataan laskeviin pituuksiin

dgv = pohjapinta-alalla punnittu keskiläpimitta kuoren alta, cm

y = kuitupuun pienin latvaläpimitta kuoren alta, cm

Tukkipuun osuus lasketaan kaavalla runkokuutiot kuoren alta (käyttöpuun osuus) kertaa tukkipuun osuus.

$$t = 0,86 - \frac{0,6x}{dgv} + 0,0009 * dgv - 0,01x \quad \text{missä}$$

t = tukkipuun osuus

x = tukkipuun pienin latvaläpimitta

dgv = pohjapinta-alalla punnittu keskiläpimitta

Karikkeessa ja maaperässä oleva hiili

Laskelmissa olennaista on, että maaperän hiilimäärä perustuu biomassan määrään ja hajoamiseen kannoissa, juurissa ja karikkeessa. Karikkeen laskemisessa lähtökohtana on seisova biomassa, hakkuun jälkeen paikalle jäänyt biomassa sekä itsestään kuolleiden puiden osat. Itsestään kuolleiden puiden osalta karikkeeseen lasketaan oksat, neulaset, kannot ja juuret, kun taas runko-osa latva mukaan lukien lasketaan kuolleeseen puuainekseen. Kantojen ja juurten biomassa lasketaan biomassamalleilla (Petersson & Ståhl 2006). Jotta tämä toimisi metsäkuviodataan, pitää joko luoda yksittäiset puut puustodatasta tai luoda juurille ja neulasille muuntokertoimet. Ne on mahdollista luoda Riksskogstaxeringenin datan pohjalta samalla tavalla kuin taulukossa 1.1. Yksi hankaluus on kuolleen puuaineksen käsittely, koska sitä tulee lisää ja sitä hajoaa ajan myötä ja laskelmissa tarvitaan sekä lähtötilanteen määrä että suunnittelujaksolla syntyvän kuolleen puuaineksen määrä. Metsäsuunnitelmissa ei tavallisesti ole tietoja kuolleesta puuaineksesta. Sen kartoittaminen on myös aikaa vievää. Tämäkin voitaisiin hoitaa oletusarvoilla ja muuntokertoimilla. Syntyvän kuolleen puuaineksen määrän lisäksi tarvitaan tiedot metsänomistajan kuolleen puuaineksen hyödyntämistäasteesta, eli kuinka suuren osan syntyneestä kuolleesta puuaineksesta metsänomistaja korjaa pois metsästä.

Heureka-järjestelmässä käytetään useita malleja maaperän hiilimäärän kehityksen laskemiseen. Kuvaus eräästä mallista on luettavissa Heurekan Wiki-sivustolla (<https://www.heurekaslu.se/wiki/Q-model>)

Maaperän hiilisisältö lasketaan vaiheittain kuudessa vaiheessa. Katso lisätietoja vaiheista 1–6 alta.

Vaihe 1. Laske olemassa olevan hiilivaraston koko ja hajoamisparametrit

Perustuu laskelmiin Markkinventerengin tietokannasta 1993–2002

Terveen maaperän osalta (jos latitudi on >59.5) $C_{ss}=4.25 + 0.410*TEMP$, muutoin $C_{ss}=15.7 - 0.582*longitudi$. Terveen-kostean maaperän osalta $C_{ss}=5.90 + 0.789*TEMP$ missä

$$C_{ss} = \text{Kg C per m}^2$$

$$TEMP = 43,5-0,639*latitudi-0,00474*altitudi$$

Vaihe 2: Laske olemassa olevan hiilivaraston jäljellä oleva määrä ajanjakson lopussa

Perustuu laskelmiin Markkinventerengin tietokannasta 1993–2002

$$C_0(t) = C_{ss} (1 + \alpha_0 t)^{1-z}$$

$$\text{JOS (LAT >59.5) } \alpha_0 = 0.135 + 0.00699*TEMP$$

$$\text{JOS (LAT <=59.5) } \alpha_0 = -0.0176 + 0.0137*Longitudi$$

Terveen maaperän osalta

$$\alpha_0 = 0.558 - 0.00735*Latitudi$$

$$z = 1.19$$

Vaihe 3: Kunkin puulajin osalta, laske jäljellä oleva hiilimäärä neulaskarikkeessa hajoamisen jälkeen ajanjakson lopussa

$$G_n(t) = \frac{1}{(1 + \alpha_n t)^z}$$

Vaihe 4: Kunkin puulajin osalta, laske jäljellä oleva hiilimäärä oksista, rungoista ja paksuista juurista (>2 mm) koostuvassa karikkeessa hajoamisen jälkeen ajanjakson lopussa.

$$G_w(t, t_{\max}) = \frac{2}{\alpha_w(1-z)t_{\max}} \left[(1 + \alpha_w t)^{1-z} - [1 + \alpha_w(t-t')]^{1-z} \left(1 - \frac{t'}{t_{\max}} \right) \right] +$$

$$+ \frac{2}{\alpha_w^2(1-z)(2-z)t_{\max}^2} \left\{ [1 + \alpha_w(t-t')]^{2-z} - [1 + \alpha_w t]^{2-z} \right\} + \left(1 - \frac{t'}{t_{\max}} \right)^2$$

Vaihe 5: Kunkin puulajin osalta, laske jäljellä oleva hiilimäärä hienojuurikarikkeessa hajoamisen jälkeen ajanjakson lopussa

$$G_f(t) = \frac{1}{(1 + \alpha_f t)^z}$$

Vaihe 6: Päivitä hiilivarasto vaiheiden 1–5 ja karikkeen lisääntymistietojen pohjalta.

Se osa hiilivarastosta tiettyyn aikaan (t), joka on lähtöisin tietyistä karikkeista ja joka on varissut maahan toiseen aikaan (t_L), voidaan laskea kertomalla karikkeen määrä sillä osuudella, joka on jäljellä karikkeen hajottua kuluneena aikana ($t-t_L$):

$$C_n(t) = G_n(t-t_L)lit_C L_n(t_L) \quad \text{neulaset}$$

$$C_b(t) = G_b(t-t_L)lit_C (L_b(t_L) + L_m(t_L)) \quad \text{oksat ja keskikokoiset juuret}$$

$$C_s(t) = G_s(t-t_L)lit_C L_s(t_L) \quad \text{rungot}$$

$$C_c(t) = G_c(t-t_L)lit_C L_c(t_L) \quad \text{paksut juuret ja kannot}$$

$$C_m(t) = G_m(t-t_L)lit_C L_m(t_L) \quad \text{keskikokoiset juuret}$$

$$C_f(t) = G_f(t-t_L)lit_C L_f(t_L) \quad \text{hienojuuret}$$

Koko varasto lasketaan laskemalla yhteen kaikki kariketypit ja olemassa olevan hiili- tai typpivaraston jäljellä oleva osuus.

$$C(t) = C_0(t) + C_n(t) + C_b(t) + C_s(t) + C_c(t) + C_m(t) + C_f(t)$$

Lähteet maaperämallinnuksessa

Alriksson, A. and H. M. Eriksson (1998). "Variations in mineral nutrient and C distribution in the soil and vegetation compartments of five temperate tree species in NE Sweden." *Forest Ecology and Management* 108(3): 261-273.

Bosatta, E. and G. I. Ågren (1996). "Theoretical analyses of carbon and nutrient dynamics in soil profiles." *Soil Biology and Biochemistry* 28(10): 1523-1531.

Johansson, M-B., Berg, B. & Meentemeyer, V. (1995). Litter mass-loss rates in late stages of decomposition in a climatic transect of pine forests. Long-term decomposition in a Scots pine forest. IX. *Canadian journal of botany : Revue canadienne de botanique*, Vol.73(10), p.1509-1521, **ISSN:** 0008-4026; **DOI:** 10.1139/b95-163

Palviainen, M., Finér, L., Kurka, A.-M., Mannerkoski, H., Piirainen, S., & Starr, M. (2004). Decomposition and nutrient release from logging residues after clear-cutting of mixed boreal forest. *Plant and Soil*, 263(1/2), 53–67. <http://www.jstor.org/stable/42951551>

Ågren, G. I. and R. Hyvönen (2003). "Changes in carbon stores in Swedish forest soils due to increased biomass harvest and increased temperatures analysed with a semi-empirical model." *Forest Ecology and Management* 174(1): 25-37.

Ågren, G.I., Hyvönen, R. & Nilsson, T. (2007). Are Swedish forest soils sinks or sources for CO₂—model analyses based on forest inventory data. *Biogeochemistry* 82, 217–227. <https://doi.org/10.1007/s10533-006-9064-0>