

gaia 

Vähähiilisten rakennusmateriaalien hiilikädenjälki osana sääntelyä – haasteet ja mahdollisuudet

12.3.2021

Anna Laine, Satu Kilpinen,
Magda Horváth, Heli Sihvonen, Pentti Linnamaa, Tuomas Raivio
Gaia Consulting Oy

LOPPURAPORTTI

Sisällysluettelo

1	Selvityksen tausta ja tavoite	2
2	Selvityksen menetelmät ja asemoituminen	3
2.1	Menetelmät	3
2.2	Selvityksen asemoituminen	4
3	Hiilikädenjäljen määritelmät	5
3.1	Olemassa olevat hiilikädenjäljen laskentamenetelmät	5
3.2	MRL:n hiilikädenjälkimääritelmä	8
4	Puurakentamisen ilmastovaikutus metsän hiilitase huomioiden	13
4.1	Puurakentamisen ilmastovaikutukset tutkimusten ja haastattelujen perusteella 13	
4.2	Ilmastovaikutusten arviointiin ja tilinpitoon liittyvät ongelmat	16
4.3	Näkemyksiä keskeisiin kiistakysymyksiin	19
4.4	Tapaustutkimukset 1 ja 2	23
5	Hiilikädenjälki sääntelyssä	28
5.1	Tapaustutkimukset 3 ja 4	28
5.2	Hiilikädenjäljen haasteet ja mahdollisuudet osana rakentamisen sääntelyä	34
6	Pohdinta	44
6.1	Hiilikädenjälki on kehittyvä mittari	44
6.2	Ovatko nykyiset puutuotteiden elinkaarilaskennan linjaukset perusteltuja?	45
6.3	Puurakentamisen substituutiovaikutus	46
6.4	Metsähakkuut ja kansalliset päästötavoitteet	47
6.5	Hiilikädenjälki sääntelyssä	47
6.6	Miten hiilikädenjälkeä voidaan kehittää?	47
7	Yhteenveto	48
	Liite 1: Haastatellut henkilöt ja haastattelukysymykset	50
	Liite 2: Metsän hiilivarastot, -nielut ja hiilitase	53
	Liite 3: Kestävän metsänhoidon periaatteet	57
	Liite 4: Kirjallisuuskatsauksessa läpikäytyt lähteet	59

1 Selvityksen tausta ja tavoite

Ympäristöministeriö on uudistamassa maankäyttö- ja rakennuslakia (MRL) vuoden 2021 loppuun mennessä. Uudistuksen päätavoitteita ovat hiilineutraali yhteiskunta, luonnon monimuotoisuuden vahvistaminen, rakentamisen laadun parantaminen sekä digitalisaation edistäminen. MRL:n vähähiilisyyspykäliin ollaan kirjaamassa määritelmä rakennusten hiilikädenjäljelle (kohtaan 3§ Määritelmiä), ja hiilikädenjälki tulisi pakolliseksi raportoitavaksi tiedoksi osana ilmastaselvitystä kaikille uusille rakennuksille ja rakentamislupaa edellyttävän laajamittaisen korjauksen yhteydessä.

Tämän selvityksen taustalla on kaksi kysymystä, joihin liittyen ei tällä hetkellä ole selkeää yhteisymmärrystä metsä- ja ilmastotutkijoiden, valtionhallinnon edustajien, yritysten ja edunvalvontajärjestöjen ja kansainvälisesti sovittujen standardien välillä. Ensimmäinen kysymys koskee sitä, **pitäisikö puutuotteiden biogeeninen hiilivelka¹ huomioida rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen laskennassa**, ja miten sen huomiointi vaikuttaisi rakennusmateriaalien välisiin eroihin laskentatuloksissa. Toinen kysymys koskee **rakennusten todellista lisäistä hiilikädenjälkeä ja sitä, miten se pitäisi laskea**.

Edellä esitettyihin kysymyksiin kerättyjen vastausten pohjalta selvityksen tavoitteena on tuottaa tietopohjaa seuraaviin kysymyksiin:

- Mikä on puurakentamisen ilmastovaikutus siinä tapauksessa, että puutuotteiden käytössä huomioidaan koko elinkaari metsien hiilinieluista ja -varastoista alkaen? Onko vaikutus erilainen lyhyellä ja pitkällä aikavälillä?
- Mitkä ovat mahdollisuudet ja haasteet hiilikädenjäljen ottamisessa mukaan lainsäädäntöön Suomessa?
- Miten rakennusten hiilikädenjälki tulisi ideaalitalanteessa määritellä MRL:n uudistuksessa?

Vastauksia näihin kysymyksiin on tässä selvityksessä kartoitettu tieteellisten julkaisujen läpikäynnin, tutkija- ja asiantuntijahaastattelujen ja tapaustutkimusten laskennan avulla. Työn pohjalta tuskin pystytään päättämään sitovasti sitä, miten metsän hiilinielun muutoksen äärimmäisen monimutkaisia kysymyksiä oikeasti pitäisi käsitellä. Selvityksen tehtävä onkin enemmän avata keskustelua ja punnita sitä, ollaanko lainsäädäntöön ottamassa riittävän yksikäsitteisesti määriteltäviä tekijöitä ja näkökulmia, mitä niillä tavoiteltaisiin ja millaisia vaikutuksia lainsäädäntöön sisällyttämisellä olisi. Selvitys on toteutettu Rakennusteollisuus RT ry:n toimeksiannosta.

¹ Puun korjuun aiheuttama metsän hiilinielun ja -varaston väheneminen; ks. luku 2

2 Selvityksen menetelmät ja asemoituminen

2.1 Menetelmät

Selvityksessä käytettiin seuraavia menetelmiä:

Kirjallisuuskatsaus

Selvitystä varten käytiin läpi tieteellistä tutkimusta sekä aiheeseen liittyviä selvityksiä ja julkaisuja eri näkökulmista. Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli kerätä tieteelliseen tietoon perustuva synteesi aiheeseen liittyvästä keskustelusta Suomessa ja kansainvälisesti. Koska aihe ei ole ristiriidaton, synteessin tekemisessä käytettiin myös Gaian omaa asiantuntija-arviota, joka pohjautuu mm. metsäekologian, ilmastopolitiikan, metsäpolitiikan ja systeemianalyysin tuntemukseen. Kirjallisuuskatsauksessa läpikäyty materiaali on listattu liitteeseen 4.

Haastattelut

Selvitystä varten toteutettiin 12 kappaletta asiantuntija- ja tutkijahaastatteluja eri näkökulmista. Haastatellut henkilöt on mainittu Liitteessä 1.

Haastatteluissa käsiteltiin mm. puun käytön elinkaaren ilmastovaikutuksia metsien hiilinieluista ja -varastoista alkaen, puutuotteiden hiilivarastojen pysyvyyttä, hiilikädenjäljen koostumusta ja laskentaa, sekä haasteita ja mahdollisuuksia ottaa hiilikädenjälki osaksi lainsäädäntöä Suomessa.

Tapaustutkimukset

Kirjallisuuskatsauksen ja haastattelujen tuloksia tukemaan hankkeessa toteutettiin neljä tapaustutkimusta, joista tapaustutkimukset 1 ja 2 sisältävät biogeenisen hiilivaikutuksen laskentaa huomioiden puunkäytön vaikutukset metsien hiilivarastoihin ja -nieluihin, ja tapaustutkimukset 3 ja 4 hiilikädenjäljen laskentaa eri menetelmillä. Tapaustutkimusten tulokset ovat luvuissa 4.4. ja 5.1.

Biogeenisen hiilivelan käsite

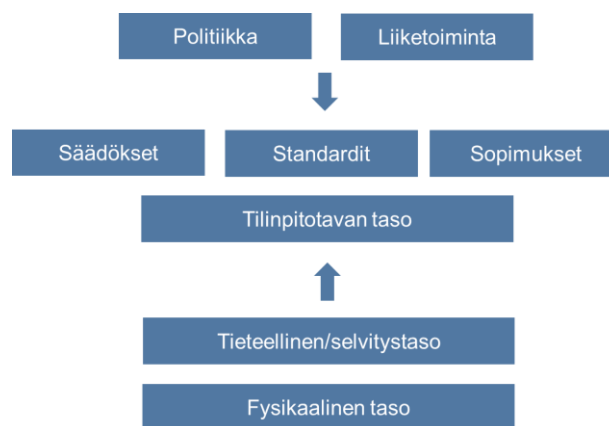
Biogeeninen hiili viittaa eloperäiseen hiileen so. biosysteemistä peräisin olevaan hiileen. Kun esimerkiksi biomassaa poltetaan, vapautuu biogeenista hiiltä. Mikäli hiili ei ole biogeenistä, se on yleensä fossiilista. Fossiilinen hiili vapautuu miljoonien vuosien mittaisesta kierrosta, kun taas biogeeninen hiili vapautuu yleensä korkeintaan muutaman sadan vuoden mittaisesta biogeenisestä kierrosta, jonka jälkeen se sitoutuu biomassaan takaisin.

Biogeeninen hiilivelka viittaa tässä raportissa puun käytön ja hakkuiden aiheuttamiin muutoksiin metsän hiilinieluissa ja -varastoissa. Biogeeninen hiilivelka ei ole vakiintunut käsite,

ja joissain yhteyksissä sitä voitaisiin nimittää myös biogeeniseksi hiilijalanjäljeksi². Käsittelemme työssä rakennuksen hiilijalanjälkeä, johon pyrimme kvantitatiivisesti liittämään hakkuilla aiheutetun metsän hiilitaseen muutoksen. Kutsumme seuraavassa **hiilijalanjäljeksi** vallitsevien standardien mukaan laskettua rakennuksen hiilijalanjälkeä, **biogeeniseksi hiilivelaksi** rakennukseen hankittujen puumateriaalien hakkuiden aiheuttamaa metsän hiilitaseen muutosta ja **kokonaishiilijalanjäljeksi** näiden summaa.

2.2 Selvityksen asemoituminen

Käsillä olevat kysymykset ovat hyvin monimutkaisia, ja selvitysasemat vaihtelevat. Kuvassa alla on jäsennetty hiilijalan- ja kädenjälkien ympärillä käytävää keskustelua.



Kuva 1 Metsien, puutuotteiden ja rakennusmateriaalien keskustelun jäsenitys.

- Tieteellinen taso ja selvitystaso pyrkivät selvittämään intressittömästi tarkasteltavaa fysikaalista ilmiötä ja sen vuorovaikutuksia³.
- Tilinpitotavan taso kuvaa pyrkimyksiä laatia yleiskäyttöisiä menetelmiä, joilla hiilenkiertoa pyritään kvantifioimaan eri tarkoituksiin.
- Tyypillisiä tilinpidon sovellusaloja ovat säädökset, standardit ja sopimukset, joilla ohjataan hiilivirtojen laskentatapoja.

Sekä säädökset, standardit ja sopimukset että myös tilinpidon tavat ovat kompromisseja, jotka eivät nojaudu pelkästään tieteelliseen tai selvitystason tietoon taustalla olevista fysikaalisista ilmiöistä. Kompromissien taustalla on usein paitsi datan saatavuus myös politiikan ja liiketoiminnan edunvalvonta, jonka tavoitteena on huomioida tieteellistä tasoa

² Esim. Gmunder et al. 2020. Biogenic Carbon Footprint Calculator for Harvested Wood Products https://c402277.ssl.cf1.rackcdn.com/publications/1363/files/original/Biogenic_Carbon_Footprint_Calculator_Methodological_Report_July2020_Quantis.pdf?1598281681 tai <https://www.worldwildlife.org/projects/biogenic-carbon-footprint-calculator-for-harvested-wood-products>

³ Osuva osoitus ongelmakentän tieteellisenkin tason haasteista ovat Maaseudun Tulevaisuudessa marraskuussa 2020 referoitu tutkimus siitä, miten avohakkuu ei muuta metsämaan hiilimääriä ja helmikuussa 2021 julkaistu juttu, jossa toiset tutkijat ovat päinvastaista mieltä. (<https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/artikkeli-1.1245636>, <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/artikkeli-1.1313240>)

kokonaisvaltaisemmin myös muut näkökulmat tilinpitotavasta päätettäessä. Kun tehdään johtopäätöksiä olemassa olevan kirjallisuuden ja muun materiaalin perusteella, tämä on huomioitava. Sääntely, standardit ja sopimukset sekä niissä käytetty tilinpidon tapa eivät siis välttämättä edusta suoraan ilmiön todellista tieteellistä luonnetta, joka myös itsessään voi olla ristiriitainen.

Lisäksi on huomattava, että tilinpitotavat ovat erilaisia laskentarajojen ja ajallisen ulottuvuuden suhteen. Yhdellä tilinpidon tavalla saadut tulokset, esimerkiksi Suomen kasvihuonekaasupäästöjen inventaario, eivät välttämättä sovellu hiilijalanjäljen arviointiin.

Käsillä oleva hanke pyrkii tuottamaan intressivapaan politiikka- ja edunvalvontaneutraalin selvityksen, jonka tavoitteena on kartoittaa näkökulmia sekä demonstroida säädöksiin ehdotetun ja standardeissa jo sovelletun sekä ehdotetun hiilijalan- ja kädenjälkien tilinpitotavan haasteita.

3 Hiilikädenjäljen määritelmät

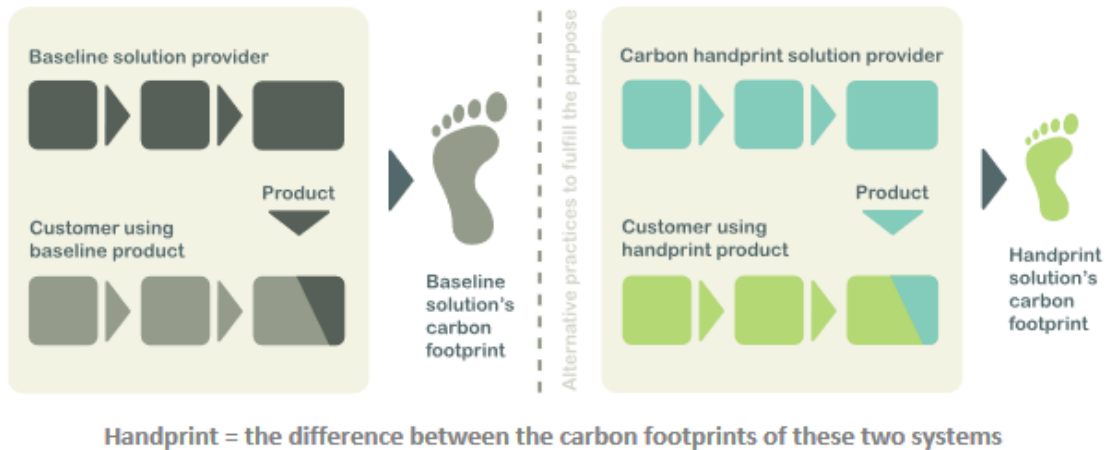
3.1 Olemassa olevat hiilikädenjäljen laskentamenetelmät

Yleisesti hiilikädenjäljellä tarkoitetaan tuotteen, toimintatavan tai muun ratkaisun avulla vältettyä hiilidioksidipäästöä vähäpäästöisen ratkaisun korvautessa suurempipäästöisen, eli vähäpäästöisemmän valinnan positiivista ilmastovaikutusta. Hiilikädenjäljen laskentaan ei ole olemassa yhtä vakiintunutta kansainvälistä standardia tai laskentamenetelmää kuin hiilijalanjäljen laskentaan. Keskeistä on, että hiilikädenjälkitulos tulee esittää erikseen, eikä sitä saa vähentää hiilijalanjäljestä. Nykyiset hiilikädenjäljen laskentamenetelmät vaihtelevat laskentatavoiltaan, eivätkä kaikki sovellu suoraan rakentamiseen. Seuraavassa on esitelty muutama kädenjäljen laskentamenetelmä.

3.1.1 VTT/LUT Carbon Handprint Guide

Yleensä lähdetään siitä, että hiilikädenjälki edellyttää vertaamista. VTT:n 2018 julkaisemassa Carbon Handprint Guide -raportissa⁴ hiilikädenjälki on määritelty kuvaamaan sitä kasvihuonekaasupäästövähennystä asiakkaan toiminnassa, joka tapahtuu asiakkaan vaihtamassa perusuran mukaisen ratkaisun kädenjälkiratkaisuun. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että perusuran mukaisen tuotteen hiilijalanjälkeä verrataan toisen tuotteen hiilijalanjälkeen, joka on oletettavasti pienempi. Näin saadaan paremman vaihtoehdon hiilikädenjälki lasketua hiilijalanjälkien erotuksena (ks. Kuva 2).

⁴ Pajula, T., Vatanen, S., Pihkola, H., Grönman, K., Kasurinen, H., & Soukka, R. (2018). Carbon Handprint Guide. VTT Technical Research Centre of Finland. Saatavana: https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/22508565/Carbon_Handprint_Guide.pdf



Kuva 2 Hiilikädenjäljen muodostuminen. Lähde: VTT.

Ko. raportissa hiilikädenjäljen laskentakohteiksi mainitaan ainoastaan tuotteet sekä erilaiset ratkaisut. Menetelmää ei ole suoraan tarkoitettu rakennusten hiilikädenjäljen arviointiin.

3.1.2 Mission Innovation – Avoided Emissions Framework

Mission Innovationin vuonna 2020 julkaisemassa Avoided Emissions Framework (AEF) -raportissa⁵ ei suoraan käytetä termiä kädenjälki, vaan käsitellään vältettyjä päästöjä. Laskentamenetelmä vältetyille päästöille on kuitenkin täysin vastaava kuin edellä esitelty menetelmä. AEF määrittelee laskennan käyttökohteiksi tuotteet / ratkaisut, systeemiratkaisut ja yritykset. Rakennukset eivät suoraan sovi näihin käyttökohteisiin, eikä menetelmä välttämättä täysin sovellu kokonaisten rakennusten hiilikädenjäljen arvioimiseksi mm. niiden pitkän elinkaaren vuoksi.

3.1.3 YM:n rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä

Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 2019 ensimmäisen version (luonnoksen) rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmästä⁶. Menetelmä sisältää hiilikädenjäljen laskennan. Menetelmä on tarkoitettu käytettäväksi uudisrakennusten ja laajamittaisten korjausten hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen arviointiin, ja se pääosin perustuu Euroopan komission Level(s)-menetelmään ja EN-standardeihin. Menetelmä on testivaiheessa, ja testauksen jälkeen menetelmä on tarkoitus päivittää.

Toisin kuin vertaamiseen perustuvissa menetelmissä, YM:n menetelmässä hiilikädenjäljeksi tulkitaan yksinkertaisesti sellaiset ilmastovaikutusten nettohyödyt, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta. Hyödyiksi on menetelmässä listattu rakennuksen hiilivarastot (eloperäinen

⁵ Stephens, A. & Thieme, V., (2020), The Avoided Emissions Framework (AEF), Mission Innovation. Saatavana: [https://www.misolutionframework.net/pdf/Net-Zero_Innovation_Module_2-The_Avoided_Emissions_Framework_\(AEF\)-v2.pdf](https://www.misolutionframework.net/pdf/Net-Zero_Innovation_Module_2-The_Avoided_Emissions_Framework_(AEF)-v2.pdf)

⁶ Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22, Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä. Saatavana: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3>

materiaali, kuten puu) ja hiilinielut (mm. sementin karbonatisoituminen), rakennuksen elinkaaren aikana tuotettu ylimääräinen uusiutuva energia sekä rakennustuotteiden uudelleenkäytön tai kierrätyksen myötä syntyvät hyödyt. Edellä mainitut on kuitenkin lueteltu menetelmässä esimerkkeinä, eikä hiilikädenjäljen määritelmää ole rajattu tiukasti niihin.

YM:n menetelmä on suunniteltu nimenomaan rakennusten hiilikädenjäljen arviointiin, ja se antaa tarkempia ohjeita siitä, mitä asioita nimenomaan rakennuksen hiilikädenjälkilaskennassa voidaan huomioida. Merkittävin ero edellä mainittuihin menetelmiin on, että YM:n ohjeessa hiilikädenjäljen määrittäminen ei perustu kädenjälkiratkaisun ja perusuran mukaisen ratkaisun hiilijalanjäljen erotuksen laskemiseen, vaan hiilikädenjälki lasketaan summaamalla rakennuksen ilmastohyötyjen osatekijät. Hiilikädenjälki arvioidaan rakennuksen koko elinkaaren ajalle, mutta ohjeena on EN-standardien mukaisesti käyttää laskentahetkellä käytössä olevaa tavanomaista tuotanto-, kierrätys- tai energiateknologiaa. Näin ollen menetelmä ei mahdollista eikä toisaalta oleta sen huomioimista, että rakennuksen elinkaaren aikana esimerkiksi materiaalien kierrätysteknologia ja -aste sekä energiantuotannon päästökertoimet muuttuvat.

3.1.4 Muita hiilikädenjäljen määritelmiä

Rakennusten hiilikädenjäljelle ollaan parhaillaan laatimassa uutta pohjoismaista määritelmää hankkeessa ”Definition and methods for the carbon handprint of buildings”. Hankkeen tuloksia ei ole vielä julkaistu (tilanne helmikuu 2021), mutta hankkeeseen osallistuvan Tarja Häkkisen (SBE Research) luennolla ”Rakentamisen hiilikädenjälki ja rakennuksen ilmastohyötyjä”⁷ käsiteltiin aihetta alustavasti. Esityksessään Häkkinen määrittelee hiilikädenjäljen kuvaamaan sellaisia ilmastohyötyjä, jotka syntyvät rakennuksen elinkaaren aikana ja joita ei syntyisi ilman kyseistä rakennushanketta. Samaan tapaan kuin seuraavaksi käsiteltävässä MRL:n hiilikädenjäljen laskentaohjeessa Häkkinen listaa elinkaaren eri moduulien (A-D) aikana syntyviä kädenjälkivaikutuksia. Näihin luetaan 1) moduuleiden A-C aikana mahdollisesti rakennusmateriaaleihin sitoutuva ilmakehän hiilidioksidi (esim. karbonatisoituminen), 2) moduulin B aikana rakennuksessa tai tontilla tuotettu yli jäävä uusiutuva energia, 4) moduulin D aikana rakennusosien uudelleenkäytön tai kierrätyksen kautta vältetyt kasvihuonekaasupäästöt sekä 5) koko elinkaaren ajan rakennusmateriaaleihin varastoituneena oleva elopeäinen hiili. Tämä määritelmä on pitkälti linjassa MRL:n määritelmäluonnoksen ohjeen kanssa ja on erityisesti tarkoitettu rakennusten hiilikädenjäljen arviointiin. Seuraavassa luvussa esitellään MRL:n ehdotettu hiilikädenjäljen määritelmä.

⁷ Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön energiakysymysten neuvottelupäivät, 25.11.2020

3.2 MRL:n hiilikädenjälkimääritelmä

3.2.1 Määritelmä

Maankäyttö- ja rakennuslain uudistusprosessissa käsitelty määritelmä rakennusten hiilikädenjäljelle eroaa tyypillisestä hiilikädenjäljen kuvauksesta (joissa yleensä verrataan korkeampipäästöisen ja vähäpäästöisemmän ratkaisun hiilijalanjälkeä). Määritelmäehdotus on laatikossa 1.

Laatikko 1: Hiilikädenjäljen määritelmä MRL:n uudistuksen luonnoksessa

Hiilikädenjäljellä tarkoitetaan rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa syntyviä ilmastonmuutosta hidastavia tekijöitä, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta. Näihin sisältyisi pääasiassa sellaisia rakennusmateriaaleihin liittyviä ilmastohyötyjä, joiden arvioinnille on olemassa laskentasäännöt EN-standardeissa: rakennustuotteiden uudelleenkäytön tai kierrätyksen nettohyödyt (EN 15804 mukaan), kestävästi hoidetusta metsästä peräisin olevien puutuotteiden pitkäikäiset eloperäiset hiilivarastot (EN 16485 mukaan), sementtipohjaisten tuotteiden karbonatisoituminen rakennuksen käytön ja purkamisvaiheen aikana (EN 16757 mukaan). Näiden lisäksi voitaisiin hiilikädenjälkeen lukea myös rakennuksessa tuotettu ylijäävä uusiutuva energia. Laskennallinen hiilikädenjälki ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttien painona jaettuna rakennuksen pinta-alalla ja arviointiajan pituudella (kgCO₂e/m²/a). Määrittelemällä hiilikädenjälki ja sitomalla se esityksen mukaisella tavalla osaksi ilmastaselvitystä voidaan luoda yhteiset pelisäännöt, joiden avulla rakennusten kiertotaloudelle tai rakennuksiin varastoidulle ilmakehän hiilelle voidaan luoda kannusteita ja vaikuttaa ilmastoystävällisen rakentamisen, suunnittelun, rakennustuotteiden valmistuksen, kiinteistösijoittamisen, ja rahoittamisen markkinoiden kehittymiseen. Hiilikädenjälkeä olisi mahdollista hyödyntää myös vapaaehtoisissa julkisen rakentamisen hankintakriteereissä.

Viittaamme tässä työssä yo. määritelmään termeillä ”MRL:n hiilikädenjälkimääritelmä” tai ”MRL:n menetelmä”.

3.2.2 Arviointi

Alla taulukossa 1 on listattu yo. määritelmäehdotuksen lauseet ja arvioitu alustavasti kirjallisuuden, haastattelujen ja laatijoiden käsityksen mukaisesti määritelmän hyviä puolia ja tunnistettuja haasteita.

Taulukko 1 MRL:n hiilikädenjälkimääritelmän plussat ja miinukset

Määritelmän kohta	Hyvät puolet ja haasteet (asiantuntija-arvio)
Hiilikädenjäljellä tarkoitetaan rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa syntyviä ilmastonmuutosta hidastavia tekijöitä, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta.	+ Hiilikädenjäljen ”lisäisyys”, ts. se että huomioidaan vain ne ilmastonmuutosta hidastavat tekijät, jotka syntyvät rakennushankkeen tuloksena

Näihin sisältyisi pääasiassa sellaisia rakennusmateriaaleihin liittyviä ilmastohyötyjä, joiden arvioinnille on olemassa laskentasäännöt EN-standardeissa.

- Hiilikädenjäljen ”lisäisyyden” arviointi on haastavaa koska vertailutapausta ei ole määritelty: miten voidaan määritellä, mitä todellisuudessa olisi tapahtunut ilman rakennushanketta? Mikä olisi järkevä vertailuskenaario rakennushankkeen tapauksessa? Olisiko se rakennuksen toteuttamatta jättäminen vai jokin korkeapäästöisempi vaihtoehto, ja miten se määriteltäisiin?

- Joudutaan myös kysymään, olisiko korvaava materiaali kuitenkin käytetty jossain muualla, ja olisiko siten hiilivarausto tai muu kädenjälkivaikutus joka tapauksessa syntynyt muualla

- Suoraan rakennuksille määriteltyä hiilikädenjäljen aukontota laskentamenetelmää ei ole vielä olemassa.

- EN-standardien laskentasäännöt ja esimerkiksi puun hiilineutraalisuusoletus saattavat muuttua lähivuosina tieteellisen tiedon lisääntyessä aiheesta.

Rakennustuotteiden uudelleenkäytön tai kierrätyksen nettohyödyt (EN 15804 mukaan)

+ Kannustaa valitsemaan ja kehittämään uudelleenkäytettäviä ja kierrätettäviä rakennusmateriaaleja ja edistämään täten rakentamisen kiertotaloutta

+ Materiaalineutraalisuus: voi auttaa tasaamaan materiaalien välisiä eroja hiilikädenjälkitarkastelussa – teräs- ja betonirakenteet ovat yleensä paremmin uudelleenkäytettäviä ja kierrätettäviä kuin puurakenteet

+ EN 15804 moduuli D ottaa huomioon uudelleenkäytön ja kierrätyksen nettohyödyt, eli siinä huomioidaan ulos ja sisään tulevat materiaalivirrat B-C moduuleissa. Lisäksi mikäli uudelleenkäytön tai kierrätyksen toiminnallinen vastavuus korvattavaan kohteeseen ei ole täydellinen, käytetään perusteltua korjauskerrointa (*value-correction factor*)

- Todenmukainen laskenta on lähes mahdotonta. Miten voidaan todellisuudessa tietää, kuinka suuri osa rakennustuotteista käytetään uudelleen tai kierrätetään rakennuksen elinkaaren lopussa (n. 50 - 100 vuoden päästä) ja millä tavalla, ja miten voidaan tietää, minkä suuruisia päästöjä neitseellisestä tuotannosta uudelleenkäytöllä ja kierrätyksellä voidaan tulevaisuudessa välttää?

- Laskennassa käytetään vertailukohtana tämän päivän keskiarvoista neitseellistä tuotantoa. Nykypäivän arvot eivät missään tapauksessa kuvaa realistisesti tilannetta 50-100 vuoden kuluttua, sillä rakennusmateriaalien tuotannon ja energiantuotannon päästökertoimet tulevat alenemaan jo lähivuosikymmeninä merkittävästi (ks. esimerkiksi toimialakohtaiset vähähiilisyystiekartat).

Kestävästi hoidetusta metsästä peräisin olevien puutuotteiden pitkäikäiset eloperäiset hiilivarastot (EN 16485 mukaan)

+ EN 16485-standardissa on vaatimus rakennusten sisältämän puun hiilivaraston ja sen pysyvyyden (aika) ilmoittamisesta. Tämän pohjalta tehtäisiin arvio kädenjäljen suuruudesta hiilivaraston osalta.

+ Mikäli hiilivarasto määritellään "absoluuttisena" arvona, eli rakennuksessa olevien puutuotteiden hiilivaraston ja sen pysyvyyden kautta, on sen laskenta melko yksinkertaista ja selkeää, mutta:

- Todellisen lisäisen hiilivaraston kuvaamiseksi pitäisi tarkastella nettohiilivarastoa: olisi verrattava puutuotteiden hiilivarastoa siihen, mikä hiilivarasto olisi vertailutilanteessa (joko puu käytettäisiin muuhun tarkoitukseen tai se jätettäisiin metsään). Miten vertailutilanne määriteltäisiin?

- Hiilivarastot eivät ole lopullisia vaan väliaikaisia so. niillä siirretään hiilen vapautumista. Koska väliaikaisen varastoinnin vaikutus säteilypakotteeseen on paljon pienempi kuin väliaikainen varasto itse (ja vaikutus riippuu varastointiajasta), laskenta tällä tavoin antaa yltiöpositiivisen kuvan materiaaleista, joihin liittyy suuri varasto.

- Puutuotteiden EN-standardeissa puutuotteiden raaka-ainepuu on oletettu hiilineutraaliksi, jos se on peräisin kestävästi hoidetusta metsästä. *Tämä oletus pätee vain hyvin pitkällä aikavälillä. Lyhyemmällä aikavälillä (kuten Suomen hiilineutraalisuustavoite 2035) puutuotteiden raaka-aineet eivät ilmeisesti ole hiilineutraaleja.* Aihetta on tarkasteltu laajasti luvussa 4.

Sementtipohjaisten tuotteiden karbonatisoituminen rakennuksen käytön ja purkamisvaiheen aikana (EN 16757 mukaan)

+ Eri rakennusmateriaaleja kohdellaan tasapuolisesti.

+ EN 16757 -standardin liitteessä BB on suhteellisen tarkka ohjeistus karbonatisoitumisen laskentaan, jonka avulla ainakin teoreettinen karbonatisoitumisen määrä rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa on mahdollista laskea.

- Karbonatisoitumisen määrän laskenta on melko monimutkaista, sillä sidotun hiilidioksidin määrä vaihtelee esimerkiksi sääolosuhteiden vuoksi ja eri tuotteiden välillä. Lisäksi esimerkiksi rakennuksen sisä rakenteissa oleva lujuusluokaltaan alempi betoni usein karbonatisoituu enemmän kuin ulkorakenteissa oleva lujempi betoni. Tarkkaa tietoa karbonatisoitumisen määrästä eri alueilla ei vielä ole.

- Karbonatisoituminen on suhteellisen hidasta ja rakennuksen käyttövaiheessa pientä. Suurempi vaikutus saadaan, mikäli rakennuksen purkamisvaiheessa sementtipohjaiset tuotteet murskataan tiettyyn raekokoon. Miten voidaan varmistua hankkeen suunnitteluvaiheessa, että tämä murskaus todella tapahtuu hankkeen purkamisvaiheessa? Ja

pitäisikö tässä ottaa huomioon esimerkiksi sääolosuhteet ilmastonmuutoksen edetessä 50-100 v päästä?

- MARA-asetus kieltää tällä hetkellä betonimurskan levittämisen karbonatisoitumaan ilman että se peitetään maakeroksella, mikä vaikuttaa merkittävästi karbonatisoitumisnopeuteen ja -potentiaaliin.

Näiden lisäksi voitaisiin hiilikädenjälkeen lukea myös rakennuksessa tuotettu ylijäävä uusiutuva energia.

+ Ylijäämäenergian (sähkö ja lämpö) takaisinsyöttö verkkoon on selkeästi osa rakennuksen kädenjälkeä ja vertailutaso on selkeä – energiaa ei syntyisi ilman rakennusta ja sen tuottamaa energiaa.

+ Uusiutuvan ylijäämäenergian hiilikädenjälki voitaisiin laskea siten että verrataan (päästötöntä) omaa energiantuotantoa sen hetkiseen kansalliseen tai alueelliseen energiantuotannon keskimääräiseen päästökertoimeen.

- Sähkön- ja lämmöntuotannon päästökerroin alenee tulevaisuudessa merkittävästi, mikä tulee huomioida laskennassa (esimerkiksi Energiategollisuuden hiilitiekartan kertomien avulla). Vaikka näin laskettu hiilikädenjälki rakennuksen ensimmäisinä vuosina voisi olla merkittäväkin, se vähenee ajan myötä.

- Hyödyn realisoituminen edellyttää, että energian siirto- tai varastointimahdollisuuksia on aidosti olemassa.

- Energiasyötön kädenjälki on jopa tuntiriippuva, koska tuotantoyhdistelmä vaihtelee energian kysyntätilanteen mukaan. Laskennassa pitää käyttää jonkinlaista keskiarvo- tai kokonaistuotantoa esimerkiksi vuoden tasolla. Keskiarvotuotanto ei huomioi sitä, mikä olisi kyseisen tuotantoajan kohdan sähkön/lämmön tuotannon päästökerroin Suomessa, joka voi vaihdella runsaastikin vuoden mittaan ja esimerkiksi vuodenaikojen välillä.

Laskennallinen hiilikädenjälki ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttien painona jaettuna rakennuksen pinta-alalla ja arviointiajan pituudella (kgCO₂e/m²/a).

+ Yksikkö on vertailukelpoinen.

- Edellä esitetyn valossa tapa, jolla tulokseen päästään, on huomattavan epäselvä.

- Yksikkö/vuosi ei kuvaa kovin hyvin rakennuksen kokonaishiilikädenjälkeä ja sen ajoitusta. Ks. Kuva 8.

Määrittelemällä hiilikädenjälki ja sitomalla se esityksen mukaisella tavalla osaksi ilmastaselvitystä voidaan luoda yhteiset pelisäännöt, joiden avulla rakennusten kiertotaloudelle tai rakennuksiin varastoidulle ilmakehän hiilelle voidaan luoda kannusteita ja vaikuttaa ilmastoystävällisen rakentamisen,

+ Kiertotalouteen ja hiilivarastojen lisäämiseen kannustaminen ja ohjaaminen on myönteinen asia ilmastonmuutoksen kannalta

- Hiilikädenjäljelle ei ole yhtä vakiintunutta määrittelyä kuin hiilijalanjäljelle, ja se on aina vähintään osittain hypoteettinen. On myös epäselvää, saadaanko sitä koskaan samalla tavalla määritellyksi kuin hiilijalanjälkeä.

suunnittelun, rakennustuotteiden valmistuksen, kiinteistösijoittamisen, ja rahoittamisen markkinoiden kehittymiseen.

Hiilikädenjälkeä olisi mahdollista hyödyntää myös vapaaehtoisissa julkisen rakentamisen hankintakriteereissä.

- Hiilivarastoja tarkasteltaessa pitäisi huomioida myös muutokset metsän hiilivarastossa, ja sen ero lyhyellä ja pitkällä aikavälillä.

+ Ilmastomyönteisen toiminnan huomioiminen julkisen rakentamisen hankintakriteereissä on kannatettavaa. Kuitenkin:

+/- Hiilikädenjälkeä ei tule koskaan vähentää hiilijalanjäljestä, ja tämä on erityisen tärkeää hankintakriteereitä määriteltäessä.

- Koska hiilikädenjäljelle ei ole vakiintunutta kansainvälistä määritelmää tai laskentatapaa, sen huomiointi hankintakriteereissä voi olla kyseenalaista, ja asettaa eri vähähiilisiä rakennusmateriaaleja eri asemaan keskenään.

Ehdotettuun määritelmään sisältyy siis toistaiseksi merkittäviä haasteita.

Selvityksen luvussa 4 käsitellään ensimmäistä johdannossa esille nostettua kysymystä: miten puutuotteen raaka-aineena toimivan puun korjuu vaikuttaa metsän kykyyn sitoa hiiltä ja miltä puurakennuksen hiilijalanjälki näyttää kun tämä huomioidaan. Kuvaamme luvussa ensin tutkimusten ja haastattelujen kautta syntyneitä kuvia puurakentamisen ilmastovaikutuksista. Tämän jälkeen listataan yleisimmät tilinpitotapoihin ja standardeihin liittyvät haasteet ilmastovaikutusten arviointiin liittyen ja tarkastelemme niiden sovellettavuutta ja totuusarvoa elinkaariarvioinnissa. Luvun lopuksi esitetään kaksi case-esimerkkitapausta, jossa puukerrostalon hiilijalanjälkeen lisätään hakkuiden aiheuttama biogeeninen hiilivelka. Tapaustutkimusten tavoitteena on laskea arvio siitä, miten puurakenteisten kerrostalojen hiilijalanjälki muuttuisi, jos laskennassa huomioidaan puuntuotannon aiheuttama biogeeninen hiilivelka metsässä.

Selvityksen luvussa 5 demonstroidaan toista johdannon kysymystä so. menetelmien erilaisuutta ja niihin liittyviä ajallisia epävarmuuksia laskemalla vertailuperusteisella ja MRL:n menetelmällä hiilikädenjäljen puurakennukselle. Lisäksi tarkastellaan, miten rakennuksen elinkaaren ajankohta vaikuttaa hiilikädenjälkeen jälkimmäisessä menetelmässä. Laskelmissa huomioidaan edellä laskettu biogeeninen hiilivelka.

4 Puurakentamisen ilmastovaikutus metsän hiilitase huomioiden

4.1 Puurakentamisen ilmastovaikutukset tutkimusten ja haastattelujen perusteella

Tutkimuskentän lähtökohdat

Metsien ja puun käyttöön perustuva biotalous on monessa yhteydessä nähty ilmastoposiitivisena toimialana ja sen kasvua on pidetty tehokkaana ilmastonmuutoksen hillintäkeinona⁸. Metsä toimii kasvaessaan hiilinieluna ja hakkuiden jälkeen valmistettavilla puutuotteilla voidaan korvata muita hiilipäästöiltään suurempia materiaaleja. Hiilinielun ylläpidon kannalta keskeistä on kestävä metsätalous, jonka periaatteet on kuvattu liitteessä 3.

Myös rakentamista koskevissa viimeaikaisissa tutkimuksissa puun käyttö on nähty ilmastoposiitivisena ja sen pohjalta on annettu politiikkasuosituksia. Esimerkiksi Amiri et al. (2020)⁹ tutkivat asuinrakennusten sisältämien puumateriaalien hiilivarastoja ja tekivät arvion rakennusten hiilivarastojen kasvusta Euroopassa vuosina 2020-2040 erilaisilla puurakentamisen osuuksilla. Suuria epävarmuuksia sisältävien tulosten mukaan rakennuksiin varastoituneen hiilen määrä vuosittain voisi olla 1 – 55 Mt CO₂ ja vastata 1-47 % sementtiteollisuuden päästöistä Euroopassa. Lisäksi Amiri et al. (2020) esittävät laskelman, jossa verrataan rakennusten rakennusvaiheessa syntyneitä päästöjä ja niiden sisältämää hiilivarastoa. Rakennukset, joilla on suurempi hiilivarasto kuin päästöt, esitetään hiilinegatiivisina. Hiilinegatiivisten rakennusten rakentamista suositeltiin keinona hillitä ilmastonmuutosta.

Vares et al. (2017)¹⁰ tutkivat Suomen rakennuskannan hiilivarastoja ja vertailivat puurakentamisen substituutiovaikutusta ja puurakennusten hiilijalanjälkeä betonirakentamiseen verrattuna. Kun rakennusten hiilijalanjäljessä huomioitiin vain materiaalit ja rakentaminen (elinkaaren vaiheet A1-A5), erilaiset puukerrostalot tuottivat 40-44 % pienemmät päästöt kuin vertailussa käytetty betonikerrostalo. Jos rakennuksen käyttövaihe otetaan mukaan, puukerrostalon hiilijalanjälki oli 11-12 % pienempi kuin betonikerrostalon 50 vuoden tarkastelujaksolla (joka on normaalia rakennuksen elinkaarta lyhyempi tarkasteluajanjakso). Selvityksen mukaan koko rakennetun ympäristön hiilivarasto (83,7 milj. t CO₂) vastaa noin 2-2,5 vuoden Suomen metsien nettokasvua.

⁸ Kansallinen metsästrategia 2025. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161386/MMM_7_2019_Mets%c3%a4strategia.pdf?sequence=4&isAllowed=y

⁹ Amiri et al. 2020. Cities as carbon sinks – classification of wooden buildings. Environmental research Letters 15.

¹⁰ Vares et al. 2017. Rakentamisen hiilivarasto. VTT.

Eri rakennusmateriaaleja vertailevissa elinkaariarvioinneissa, kuten Viljakainen ja Lahtela (2019)¹¹ tai Bruce-Hyrkäs ja Tarkkala (2018)¹² puurakentaminen näyttäytyy ilmasto vaikutusten kannalta parhaana valintana. Esimerkiksi Viljakainen ja Lahtela (2019) tapaustutkimuksessa puurakenteisen kerrostalon elinkaarenaikaiset päästöt olivat suurimmillaan 13 % pienemmät kuin vastaavan betonikerrostalon 75 vuoden tarkastelujaksolla. Suurin osa elinkaaren aikaisista päästöistä (65-75 %) syntyi kuitenkin rakennusten käyttövaiheen aikana, mikä pienentää rakennusmateriaalien vaikutusta hiilijalanjälkeen. Materiaalien vertailussa suurimmat päästöt aiheutuvat betonin, teräksen ja kipsilevyjen käytöstä, kun taas puulla on verrattain pienet päästöt. Tutkimuksessa vertailtiin myös puurakenteiden hiilivarastoa (hiilikäden jälki) ja hiilijalanjälkeä ja todettiin, että kun hiilikäden jälki huomioidaan, erot elinkaarenaikaisissa päästöissä kasvavat merkittävästi puurakenteisten ja betonitalon välillä (jopa 41 %).

Vastaavasti Bruce-Hyrkäs ja Tarkkala (2018) vertailivat samankokoisten puu- ja betonikerrostalojen päärakenteiden hiilijalanjälkeä koko elinkaaren (100 v.) ajalta. Puurakenteisen kerrostalon päästöt elinkaaren aikana olivat 6 % pienemmät kuin betonirakenteisen. Kun hiilijalanjäljessä otettiin huomioon vain materiaaleihin liittyvät päästöt (vaiheet A1-A4, B4-B5 ja C3-C4), ero oli 18 %.

Ongelmana edellä mainituissa tutkimuksissa on kuitenkin se, että ne perustuvat elinkaariarvioihin, jotka eivät huomioi puun käytön vaikutusta metsien hiilinieluihin ja -varastoihin ja siten puun käytön nettoilmasto vaikutusta tai päästöjen ja varastojen ajallista ulottuvuutta. Toisaalta myös pitkäikäisten hiilivarastojen mahdolliset positiiviset ilmasto vaikutukset ovat ennen uutta EN standardia (2019)¹³ jääneet ulkopuolelle elinkaariarvioinnista.

Tutkimuksessa esiin nostettuja haasteita

Kun puun käytön ja puurakentamisen ilmasto vaikutuksista kysyttiin metsä- ja ilmasto tutkijoilta, saatiin toisenlaisia vastauksia. Puun käytön vaikutuksia koskevissa metsätieteellisissä tutkimuksissa ja tutkijoiden haastatteluissa nousi esiin huoli kasvavan puun käytön ja hakkuiden vaikutuksesta metsien hiilinieluihin ja -varastoihin ja sitä kautta puun käytön nettoilmasto vaikutukseen. Esimerkiksi Kalliokoski et al. (2020) arvioivat erilaisten hakkuuskenaa rioiden nettoilmasto vaikutusta 50 vuoden aikana Suomessa. Tulosten mukaan alhaiset hakkuutasot (50 tai 65 % vuotuisesta kasvusta, 65%=BAU), tuottivat parhaan viilennys vaikutuksen, kun taas hakkuiden kasvattaminen lämmittää ilmasto a. Tutkimuksessa huomioitiin muutokset metsäekosysteemissä, puutuotteiden prosessointi ja hiilivarastot, puun käytön korvaus vaikutus sekä metsän albedovaikutus ja aerosolit. Samankaltaisia tuloksia ovat saaneet myös Seppälä et al. (2019)¹⁴, Hurmekoski et al. (2020)¹⁵ ja Soimakallio et al. (2016)¹⁶.

¹¹ Viljakainen, M. ja Lahtela, T. 2019. Rakentamisen hiilijalanjälkivertailu, tapaustutkimus rakennuksen hiilijalan jäljen laskennasta. Loppuraportti.

¹² Bruce-Hyrkäs, T. ja Tarkkala, L. 2018. Puu- ja betonikerrostalojen elinkaari päästöjen vertailu. Bionova Ltd.

¹³ SFS-EN 15804:2012 + A2:2019

¹⁴ Seppälä et al. 2019. Effect of increased wood harvesting and utilization on required greenhouse gas displacement factors of wood-based products and fuels. Journal for Environmental Management.

¹⁵ Hurmekoski et al. 2020. Impact of structural changes in wood-using industries on net carbon emissions in Finland. Journal of Industrial Ecology.

¹⁶ Soimakallio et al. 2016. Climate Change Mitigation Challenge for Wood Utilization – The Case of Finland. Environmental Science & Technology.

Soimakallio et al. (2016) tutkivat erilaisten puun käytön skenaarioiden ilmastovaikutusta 100 vuoden aikana. Tulosten perusteella puun käytön lisäämisen hyödyt (substituutio) eivät riitä kattamaan hakkuiden aiheuttamaa hiilinielun menetystä metsässä. Samoin Seppälä et al. (2019) tutkivat hakkuumäärien kasvattamisen vaikutusta ja tarvittavan puun korvauskertoimen suuruutta. Tulosten mukaan hakkuumäärien kasvattaminen, mikäli puun korvausvaikutus pysyy nykyisellään, johtaa ilmaston kannalta tappioihin. Hurmekoski et al. (2020) tutkivat mahdollisuuksia kasvattaa puun käytön korvausvaikutuksia muuttamalla puutuotteiden tuotantojakaumaa. Suurimmat ilmastohyödyt puun käytöstä saataisiin, jos puun tuotannon välttämättömiä sivuvirtoja saataisiin ohjattua tekstiilien ja komposiittimateriaalien tuotantoon sellun ja energiakäytön sijaan.

Hakkuiden negatiivinen ilmastovaikutus johtuu siitä, että metsän hakkuissa välittömästi menetetään kasvavan puuston hiilinielu ja vaikutetaan maaperän hiilivarastojen kehittymiseen (ks. liite 2). Hitaasti kasvavassa boreaalisessa metsässä puutuotteiden raaka-aineiden hakkuusta metsään syntyvän hiilivaraston ja hiilinielun negatiivisen muutoksen, ”hiilivelan”, takaisinmaksu kestää vähintään vuosikymmeniä eikä sen tapahtuminen ole itsestään selvää. Puun käytön ilmastohyödyt riippuvat vahvasti tarkasteluajanteesta. Haastateltujen tutkijoiden mukaan suuruusluokkaisesti voidaan sanoa, että keskimäärin jokainen miljoona kuutiota puuta joka metsistä otetaan, pienentää noin 1.5 miljoonaa tonnia CO₂-nielua lyhyellä aikavälillä. Pitkällä aikavälillä on mahdollista, että hakkuiden aiheuttama hiilivelka voidaan maksaa takaisin uuteen metsään sitoutuvalla hiilidioksidilla ja tällöin puun käyttö voidaan katsoa hiilineutraaliksi. Se kuitenkin edellyttää, että metsien kasvu säilyy vähintään samalla tasolla, ja hakkuumäärien kasvaessa tarvitaan myös jatkuvasti parempaa kasvua hiilivelan kuittaamiseksi.

Puutuotteiden ja metsäenergian käytön kautta saavutettavien positiivisten ilmastovaikutusten suuruus muuttuu Ilmastopaneelin (2015) mukaan ajan myötä sitä mukaa kun metsä sitoo takaisin ilmakehän hiilidioksidia uuteen kasvustoon. Puutuotteiden ja -energian ilmastohyötyjä saadaan vasta kun koko tuoteketjun eri vaiheessa ilmakehään vapautuneiden kasvihuonekaasupäästöjen kumulatiivinen säteilypakotemäärä on pienempi kuin vaihtoehtoisten tuotteiden ja energioiden elinkaaristen päästöjen säteilypakotemäärä.¹⁷

Koska hakkuut aiheuttavat hitaasti korvautuvaa hiilivelkaa metsään ja puutuotteiden prosessoinnista aiheutuu päästöjä, puutuotteiden mahdollinen ilmastohyöty syntyy enimmäkseen oletettujen korvausvaikutusten kautta. Korvausvaikutuksella tarkoitetaan tilannetta, jossa puulla voidaan korvata fossiilisia tai muuten energiantensiivisiä materiaaleja tai polttoaineita. Korvausvaikutusten arviointiin liittyy kuitenkin paljon epävarmuuksia, varsinkin jos arvioitava aikaväli on pitkä. Korvausvaikutuksen suuruutta on kuvattu yleisesti tutkimuksessa ns. korvauskertoimella (*displacement factor*, DF), joka tarkoittaa fossiilisten kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiä suhteessa kulutettuun puubiomassaan (t C/t C). Seppälä et al. 2019¹⁸ arvioivat hakkuiden lisäämisen ja puutuotteiden käytön vaikutuksia ilmastoon ja

¹⁷ Ilmastopaneeli (2015): Metsien hyödyntämisen ilmastovaikutuksen ja hiilinielujen kehittyminen

¹⁸ Seppälä et al. 2019. Effect of increased wood harvesting and utilization on required greenhouse gas displacement factors of wood-based products and fuels. Journal for Environmental Management.

korvauskertoimiin. Tulosten mukaan, jotta puun käyttö voisi olla ilmastopositiivista, tulisi korvauskertoimien olla vähintään 2.0-2.4 seuraavan sadan vuoden aikana. Tämä kerroin on huomattavasti suurempi, kuin puutuotteille arvioitu nykyinen keskimääräinen kerroin, joka on alle 1.1. Tämä on huolestuttavaa biotalouden kestävyuden kannalta, sillä korvauskertoimia on vaikea nykyisen kaltaisella, lyhytikäisiin tuotteisiin painottuvalla tuoteportfoliolla kasvattaa ja korvausvaikutusten merkitys tulee tulevaisuudessa pikemmin vähenemään, kuin kasvaamaan, johtuen nopeasta energiatehokkuuden ja muiden materiaalien kehityksestä. Lisäksi korvausvaikutusten osalta on kritisoitu myös sitä, että useimmiten laskelmissa oletetaan, että korvautuminen tapahtuu riippumatta markkinaolosuhteista¹⁹. Korvausvaikutus on todellinen vain jos lisäys puutuotteiden käytössä aidosti johtaa muiden tuotteiden käytön vähenemiseen.

Haastatteluissa esiin nostettuja huomioita

Selvitystä varten haastatellut asiantuntijat olivat osittain eri mieltä puun käytön ja puurakentamisen vaikutuksista ilmastoon lyhyellä aikavälillä. Haastatellut olivat kuitenkin yhtä mieltä siitä, että pitkäikäiset puutuotteet ja puurakentaminen ovat ilmaston kannalta paras tapa käyttää puuta ja sen osuutta tulisi lisätä. Tällä hetkellä metsien käytön ongelmana ilmastönäkökulmasta on, että suuri osa hakatusta puusta menee lyhytikäiseen käyttöön (energia, kuitupohjaiset tuotteet), josta sen sisältämä hiili vapautuu nopeasti ilmakehään. Puurakentamisessa voidaan synnyttää pitkäikäisiä hiilivarastoja, jotka viivästyttävät päästöjä ja antavat lisää aikaa ilmastomuutoksen vastaisissa toimissa. Puurakentamisen haasteena on kuitenkin se, että myös sahateollisuuden käyttämästä tukkipuusta puolet päätyy sahatavaraksi ja puolet sivuvirroiksi. Kun puurakentamisen ilmastovaikutuksia arvioidaan, tulisi huomioida myös nämä, usein energiaksi menevät, sivuvirrat.

Joidenkin haastateltavien mukaan puurakentaminen ja sen lisääminen nopeuttaa, helpottaa ja parantaa Suomen hiilineutraalisuustavoitteeseen pääsemistä. Vaikka Suomessa toteutettaisiin puurakentamisen kaikkein kunnianhimoisimmat tavoitteet, se tarkoittaisi vain 0,7 miljoonan kuutiometrin sahatavaran käytön lisäystä²⁰, joka on hyvin pieni osa Suomen koko hakkuista (n. 72 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, ks. tarkemmin Kuva 11), eli tällä ei olisi ilmaston kannalta suurta merkitystä.

4.2 Ilmastovaikutusten arviointiin ja tilinpitoon liittyvät ongelmat

Puutuotteiden ja puurakentamisen elinkaariarviointia ohjaavat eurooppalaiset EN-standardit. Rakennusten hiilijalanjäljen kansallinen laskentamenetelmä perustuu EN-standardeihin (EN15643, EN 15978 ja EN 15804) ja niihin liittyviin tuotteiden ympäristöselosteisiin (EPD

¹⁹ Leturcq, P. 2020. GHG displacement factors of harvested wood products: the myth of substitution. Nature. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-77527-8>

²⁰ <https://puutuoteteollisuus.fi/ajankohtaista/asiantuntija-artikkelit/puurakentaminen-leikkaa-rakentamisen-hiili-piikkia>

Environmental Product Declarations). Hiilijalanjäljessä huomioidaan rakennusmateriaalien ja -osien valmistuksen, kuljetukset, rakentamisen työmaalla (ennen käyttöä), rakennuksen käytön (käytön aikana) ja käytöstä poiston (käytön jälkeen) vaikutukset. Standardeissa elinkaariarvion vaihe A1 kuvaa materiaalien hankintaa. Tähän vaiheeseen ei kuitenkaan huomioida puutuotteiden osalta hakkuiden vaikutusta metsän hiilenkiertoon. Standardien mukaan puutavara on hiilineutraalia, jos se on peräisin kestävästi hoidetuista metsistä. Neutraalius perustuu alueellisen tasapainon oletukseen, jonka mukaan yhtä hakattua metsikköä (ja sen vähentyneitä hiilivarastoja ja -nieluja) kohden on toisaalla metsä, jonka nielu ja varastot kasvavat vastaavasti. Lisäksi uusimmassa EN15804 standardissa (2019) ohjeistetaan, että puun biomassan sisältämä hiili raportoidaan erikseen ns. biogeenisena hiilenä ja lasketaan arvioitavaan tuotesysteemiin nieluna (-1 kg CO₂ekv./puun sisältämä CO₂ kg) silloin kun puu toimii hiilivarastona ja päästönä (+1 kg CO₂ekv./puun sisältämä CO₂ kg) siinä elinkaaren vaiheessa, kun hiilivarasto vapautuu arvioitavan elinkaaren aikana. Tällöin nettovaikutus koko elinkaaren ajalta on edelleen 0.

Elinkaariarvioinnin menetelmiä on olemassa paljon, ja yllä esitetyt EN-standardeihin perustuvat menetelmät ovat vain yksi tapa arvioida puurakennusten elinkaari päästöjä. Hoxha et al. (2020)²¹ ovat vertailleet suurta joukkoa erilaisia puurakennusten elinkaariarvioinnin menetelmiä, ja todenneet, että menetelmien väliset erot sovellettuna samaan case-tapaukseen ovat suuria.

Vaikka elinkaariarviointi onkin ollut hyödyllinen ja käytetty työkalu monien tuotteiden ja palveluiden ilmastovaikutuksien havainnollistajana, sen käyttöön sisältyy haasteita erityisesti maankäyttösektorin uusiutuvien raaka-aineiden ja niihin perustuvien tuotteiden osalta. Elinkaariarviointia tutkivassa kirjallisuudessa on esitetty kritiikkiä muun muassa vertailuun käytettävän ns. perusuran (baseline) puutteesta tai päästöjen ajallisen ulottuvuuden sivuuttamisesta. Lisäksi myös metsien alueellisen tasapainon oletukseen liittyy paljon epävarmuutta.

Soimakallion et al. 2015 tutkimuksessa²² selvitettiin erilaisten vertailuskenaarioiden (baseline) tarvetta ja käyttöä elinkaariarvioinneissa, jotka koskevat maankäyttösektorin tuotteita (esim. ruoka, puu, biopolttoaineet). Geologisten luonnonvarojen, kuten mineraalien ja muiden kaivannaisten, arvioinnissa implisiittisenä perusurana, jota vastaan arviointia tehdään, on tilanne, jossa näitä resursseja ei käytetä. Tällöin perusuran päästöt ovat tyypillisesti nolla. Vastaava ei-käyttöä -tilanne maankäyttösektorilla on biogeenisen hiilen suhteen kuitenkin dynaaminen ja yleensä päästöt ovat jotain muuta kuin nolla. Voidaksemme aidosti kuvata maankäytön ympäristövaikutuksia ilmastoon tai biodiversiteettiin tulisi tämä perusura ottaa huomioon elinkaariarvioinneissa. Johdonmukainen, eri materiaaleja tasa-arvoisesti kohteleva perusura olisi maankäytön kohdalla luonnollinen sukkessio (*natural regeneration*) eli tilanne, jossa tarkasteltava alue kehittyy ilman ihmisen puuttamista. Luonnolliseen

²¹ Hoxha, E., Passer, A., Saade, M. R. M., Trigaux, D., Shuttleworth, A., Pittau, F., ... Habert, G. (2020). Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods. *Buildings and Cities*, 1(1), 504–524. DOI: <http://doi.org/10.5334/bc.46>

²² Soimakallio et al. 2015. Attributional life cycle assessment: is a land-use baseline necessary?

suknessioon perustuvaa perusuran käyttöä on suositeltu myös mm. UNEP-SETAC Life Cycle Initiative ohjeistuksessa maankäytön elinkaariarviointiin.

Vaikka luonnollinen suknessio ja uusiutuvien luonnonvarojen käyttämättä jättäminen on monessa tapauksessa epärealistinen skenaario, on se vertailua ja ihmisen toiminnan vaikutusten osoittamista varten perusteltu valinta. Jos perusurana käytettäisiin jotain muuta, esim. BAU-skenaariota, tähän skenaarioon kuuluvan ihmistoiminnan vaikutukset jäisivät arvioinnin ulkopuolelle.

Suomessa metsien käyttö on hyvin säädeltyä ja metsävarat ja niiden kehitys tunnetaan tarkasti. Vuotuiset hakkuumäärät ovat pysyneet kasvua pienempinä ja näin ollen voidaan sanoa, että metsien käyttö on kestävä. Elinkaariarvioissa puun hiilineutraalisoletus ja biogeenisen hiilenkierron sivuuttaminen voi kuitenkin erityisesti lyhyellä (so. talousmetsien kiertonopeutta lyhyemmällä) tarkasteluvälillä johtaa siihen, että puutuotteet näyttäytyvät arvioinneissa liioitellun edullisilta ilmastonäkökulmasta. Riskinä on, että puutuotteita suosivalla elinkaariarvioinnilla voidaan perustella puun käyttöä ja hakkuuta lisäävää politiikkaa, jolloin oletus tasapainosta (tai neutraaliudesta) ei enää päde. Hakkuumäärien kasvattaminen metsässä johtaa muutokseen kohti uutta tasapainotilaa, eikä se välttämättä johda toivottuihin ilmastovaikutuksiin.²³

Vaikka puutuotteiden elinkaariarviointi (LCA) tai hiilijalanjäkilaskenta eivät tunnista vaikutusyhteyttä metsien hiilinieluihin ja -varastoihin, laskelmia käytetään poliittisten toimien ja monien käytännön toimijoiden, kuten yritysten, kuntien ja kaupunkien hankintapäätösten perusteena. Jotta puun käyttöä voitaisiin ohjata ilmaston kannalta oikeaan suuntaan, tulisi elinkaariarviointia puutuotteiden osalta kehittää.

Keskeiset tutkimuksissa esitetyt puutteet puutuotteiden elinkaariarvioissa ovat:

- a) Puutuoteketjun päästöjen, nielujen ja varastojen ajallisen ulottuvuuden sivuuttaminen. Ilmastomuutoksen ehkäisyn kannalta on oleellista tietää milloin päästöt tai nielujen/varastojen muutokset tapahtuvat, jotta voidaan arvioida vaikutuksia lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä. Päästöjä ja nieluja olisikin hyvä tarkastella elinkaari vaikutusten summan ohella esim. vuotuisena taseena.
- b) Puulle ei ole materiaalina määritelty samankaltaista vertailukohtaa tai ns. perusuraa (baseline) kuin muille materiaaleille, mikä asettaa eri materiaalit keskenään eriarvoiseen asemaan ja voi antaa puun ilmastohyödyistä liioitellun kuvan. Puunkäytön vertailukohtana pitäisi myös tarkastella sitä, että puu jätetään metsään kasvamaan.
- c) Elinkaariarviointi huomioi vain ns. teknosysteemin sisältämät vaikutukset, alkaen puun korjuusta, kuljetuksesta ja prosessoinnista, mutta vaikutukset metsäekosysteemin hiilenkiertoon rajataan tarkastelun ulkopuolelle (tai ne ovat sovitusti laskennallisesti nolla). Vaikka puun käyttö olisikin hiilineutraalia pitkällä aikavälillä, esimerkiksi 100 vuoden ajanjaksolla, nykyisten ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi tulisi vaikutuksia tarkastella myös lyhyemmällä aikahorisontilla.

²³ Leturcq, P. 2020. GHG displacement factors of harvested wood products: the myth of substitution

4.3 Näkemyksiä keskeisiin kiistakysymyksiin

Tässä luvussa on käsitelty keskeisiä epäselvyyksiä tai kiistakysymyksiä puun käytön todellisiin ilmastovaikutuksiin liittyen, ja vastattu kysymyksiin selvityksessä tehdyn kirjallisuuskatsauksen, haastattelujen ja asiantuntija-arvion pohjalta.

4.3.1 Onko kestävästi hoidetusta metsästä saatava puu hiilineutraali rakentamisen raaka-aine?

Kun huolehditaan siitä, että metsämaan pinta-ala ei pienene ja siitä, että metsä kasvaa takaisin hakkuun jälkeen, metsästä hakkuilla pois siirretty hiilimäärä sitoutuu metsään takaisin. Sitoutuminen tapahtuu aikajänteellä, joka riippuu metsän kasvunopeudesta. Verrattuna fossiilisen hiilen miljoonien vuosien kiertoon sitoutuminen tapahtuu silmänräpäyksessä, Suomessa tyypillisesti alle 100 vuodessa. Kestävän metsätalouden (ks. liite 3) tehtävä on huolehtia siitä, että kasvun edellytykset säilyvät.

Hiilineutraaliuden määrittämiseen liittyviä keskeisiä tekijöitä ovat alueellisen tasapainon oletus, tarkasteltava aikaväli ja metsän hiilenkiertonopeus sekä metsien käytön vertailukohta.

Elinkaariarvioissa puun hiilineutraalius perustuu kestävään metsätalouteen ja siihen liittyvään alueellisen tasapainon oletukseen. Tällä tarkoitetaan tilannetta, jossa metsien pinta-ala, käyttö (esim. hakkuumäärät ja tavat) ja ympäristöolosuhteet pysyvät samana ja näin ollen metsien tila ja niiden sisältämät hiilivarastot pysyvät alueellisesti samana pitkällä aikavälillä.

Tiettyä hakkuuta ei luonnollisestikaan kompensoi jokin tietty lisäkasvu jossain, vaan tasapainon oletus lähtee siitä, että kasvu kokonaisuutena tietyllä alueella on jotain perusratkaisua nopeampaa. Alueellisen tasapainotilan toteutumiseen liittyvät siis oleellisesti hakkuumäärät. Tasapainotila säilyy vain, jos toimenpiteet ja olosuhteet metsässä pysyvät samana. Käytännössä tämä ei yleensä pidä paikkaansa, vaan sekä ihmisen vaikutus, että ympäristöolosuhteet muuttuvat jatkuvasti. Suomessa merkittävät panostukset metsänhoitoon 1970-luvulla puuntuotannon lisäämiseksi (erit. soiden ojitukset) ovat kasvattaneet talousmetsien puuvarannoja huomattavasti. Lisäksi myös ympäristötekijät, kuten ilmastonmuutoksen vaikutukset tai ihmisen päästöjen aiheuttama typpilaskeuma, ovat lisänneet kasvua. Tämän vuoksi hakkuumääriä on voitu jatkuvasti kasvattaa kuitenkin pysyen vuotuisten kasvumäärien alapuolella. On kuitenkin huomattava, että metsiin mahtuisi puuta huomattavasti enemmän kuin talousmetsissä tyypillisesti on. Hakkuumäärien kasvattaminen ja sen edellyttämä metsän kasvun jatkuva kiihdyttäminen tulevaisuudessa on kuitenkin epävarmaa. Esimerkiksi hakkuutasojen nostaminen Kansallisen metsästrategian 2025 tavoittelemalle tasolle (yli 80 milj. m³/vuosi) edellyttäisi jatkossa voimakkaita, kasvua edistävien toimenpiteiden käyttöönottoa

(mm. lannoitukset), ilmastonmuutoksen myönteisiä vaikutuksia ja metsätuhojen säilymistä alhaisella tasolla²⁴.

Toinen keskeinen seikka liittyy päästöjen ajoittumiseen ja metsien käytön vertailukohtaan. Puun hiilineutraalisoletus (riippumatta puun käyttötavasta) toteutuu talousmetsän kiertoajalla tilanteessa, jossa oletuksena on samankaltaisena jatkuva talousmetsäkäyttö, eikä vertailua muihin käyttötapoihin tehdä. Jos vertailutilanteeksi asetetaan metsän kehitys ilman hakkuutoimia, niin tällöin puubiomassan käytön hiilivaikutukseksi tulee talousmetsän ja luonnontilaisen kaltaisen metsän hiilivaraston erotus (ks. liite 2). Koska hakkuuttomissa, luonnontilaisen kaltaisissa metsissä on yleensä huomattavasti enemmän puustoa, kuin talousmetsissä, on myös niiden hiilivarasto suurempi. Metsien uusiutumissykliä (talousmetsien kiertoaika) lyhyemmillä tarkasteluajoilla – joita ilmastonmuutoksen polttavimpien kysymysten yhteydessä juuri tarkastellaan – hakkuut synnyttävät hiilivelkaa so. pienentävät metsän hiilivarastoa²⁴. Oleellinen kysymys tällöin on puunkäytön nettopäästövaikutus eli se, varastoidaanko puutuotteissa hiiltä riittävän kauan (ks. 4.3.2 ja liite 2) tai korvataanko puunkäytöllä jotain päästöiltään sellaista, jonka korvaaminen vähentää toisaalla päästöjä enemmän kuin metsässä syntyy hiilivelkaa (ks. 4.1 korvausvaikutukset).

Metsä, jossa luontaisten häiriöiden todennäköisyys on pieni, on itsessään hyvä hiilivarasto (ks. 4.3.3). Tämän vuoksi Suomessa puutuotteiden varastointiajan pitäisi olla varsin pitkä, ja puutuotteiden tuottamisessa syntyvän lyhytaikaisen varaston (sahauksen sivuvirrat) mahdollisimman pieni. Hyviä keinoja sivuvirtojen pienentämiseen ovat esimerkiksi komposiittimateriaalit, joita jo valmistetaan jossain määrin.

Voidaan siis todeta, että kestävästikin hoidetun metsän hiilineutraalisuusoletus riippuu tarkasteluajavälistä, kestävä kasvun oletuksista ja vertailutilanteesta sekä tavasta, jolla puutuotteita käytetään. Erityisesti niillä aikaväleillä, joita kiireellisessä ilmastonmuutoksen torjunnassa käsitellään, hiilineutraalisuusoletus vaatisi tarkempia selvittelyjä.

4.3.2 Saavutetaanko puurakenteiden hiilivarastoinnilla ilmastohyötyjä?

Suurimmat ilmastohyödyt puunkäytöllä saavutetaan puupohjaisilla pitkäikäisillä tuotteilla. Tällöin rakentamiseen käytettyjen tuotteiden hiilisisältö pystytään pitämään puurakennuksen käyttöiän verran varastoituna rakennukseen ja voidaan korvata elinkaari vaikutuksiltaan suuripäästöisiä tuotteita kuten betonia ja terästä. Sahatavaraksi valmistetut puutuotteet varastoivat sisältämänsä hiilen useimmiten vuosikymmeniksi eteenpäin, mikä parantaa niiden asemaa ilmastovaikutusten näkökulmasta esimerkiksi nykyisiin kemiallisen metsäteollisuuden tuotteisiin nähden.²⁵

Pelkkä puutuotteiden tuotanto ei ratkaise hiilivarastokysymystä, vaan tuote on myös käytettävä pitkäikäisesti. Esimerkiksi puurakennuselementit päätyvät selkeästi rakennuskäyttöön,

²⁴ Seppälä, J. ja Kanninen, M. 2019. Metsien hakkuiden kasvattaminen ei ole ilmastoteko. <https://labour.fi/t&y/metsien-hakkuiden-kasvattaminen-ei-ole-ilmastoteko/>

²⁵ Ilmastopaneeli (2017). Tutkijoiden pääviestit metsien käytön ilmastovaikutuksista

mutta toisaalta osa puutavarasta käytetään työmailla rakennusvaiheessa esimerkiksi telineissä ja muottilautana, jolloin puutuotteet päätyvät hyvin lyhytaikaiseen käyttöön. Suomessa ei ole kattavaa tilastointia siitä (ks. liite 2, kuva 11.), mikä osuus rakennustyömailla käytetystä puusta päätyy lopulta itse rakennukseen pitkäaikaiseen varastoon.

Väliaikaisista hiilivarastoista ja hiilidioksidin vapauttamisesta vasta myöhemmin arvioidaan olevan hyötyä ilmastonmuutoksen hillinnässä. Päästöjen lykkäämistä sinänsä pidetään hyödyllisenä, koska arvioidaan että ajan kuluessa päästöttömät teknologiat kehittyvät ja päästöpainheet pienenevät. Päästöjen pidättämisestä voidaan osoittaa olevan myös laskennallista hyötyä: Hiilidioksidin arvioidaan poistuvan ilmakehästä valtameriin ja biosfääriin nopeudella, jossa nyt päästetyn CO₂-yksikön puoliintumisaika on noin 48 vuotta. Jos tarkasteluajakaikteen teeksi valitaan 100 vuotta, yhden hiilidioksiditonin päästämisen lykkääminen 48 vuotta vastaa vältetyn säteilypakotteen tasolla yhden nyt päästetyn hiilidioksiditonin säteilypakotetta 100 vuoden ajalta²⁶. Vastaavasti lyhytikäisten puutuotteiden voidaan arvioida nopeuttavan hiilen pääsyä ilmakehään ja aiheuttavan käänteisiä vaikutuksia.

Toisaalta myös keskipitkän aikavälin varastointia pidetään perusteltuna. Esimerkiksi Cherubini ym. (2012)²⁷ ovat arvioineet, että esimerkiksi jo 10 vuoden hiilen varastoituminen tuotteeseen pienentää vastaavan hiilidioksidipäästön ilmastovaikutuksia 100 vuoden aikajännteellä (verrattuna lyhytaikaiseen puutuotteeseen), koska 10 vuoden aikana uusi kasvu on ehtinyt paikata metsään synnytettyä hiilivelkaa. Jos hiilivarastoa pystytään pitämään 40 vuotta esimerkiksi rakennuksessa, ilmastovaikutukset pienenevät 30 % 100 vuoden aikajännteellä.

VTT on tutkinut rakentamisen hiilivarastoa vuonna 2017 julkaistussa selvityksessä²⁸. Selvityksen mukaan Suomen rakennuskannan hiilivaranto on 22 838 100 tonnia C (hiiltä) josta 31 % on erillisissä pientaloissa ja 16 % infrarakenteissa. Hiilidioksidina rakennuskannan hiilivaranto on (vuonna 2016) noin 54 803 000 tonnia CO₂. Puukerrostalojen hiilisisältö, lasketuna CO₂:na on 140-298 kg CO₂ / br-m². Luku on Suomen metsien hiilivaraston kasvuun (n. 34 milj CO₂e tonnia vuodessa) verrattuna melko pieni; koko rakennetun ympäristön hiilivarasto (83,7 milj t CO₂) vastaa noin 2-2,5 vuoden metsien nettokasvua. Selvitys ei huomioi ketjun alkupäätä metsän hiilinielusta ja -varastosta lähtien ja sitä kautta netto-hiilivarastoa, vaan selvityksessä on laskettu pelkkää rakennusmateriaalin hiilisisältöä.

Pitkäikäisen puutuotteen tuottaminen on hiilivarastonäkökulmasta tehotonta. Haastatellut tutkijat arvioivat, että nykyisenkaltaisella rakentamisella on vaikea saada ilmastonmuutosta hillitseviä vaikutuksia aikaiseksi lyhyellä aikavälillä, sillä hakatun puun massasta vain noin 15-25 % voidaan saada lopulliseksi puutuotteeksi, ja osa tästäkin menee lyhytaikaisiin tuotteisiin, joiden sisältämä hiili päätyy nopeasti takaisin ilmakehään. Haastateltujen tutkijoiden mukaan puutuotteisiin sitoutuvan hiilen määrää eli puutuotteiden hiilivarastoa arvioitaessa

²⁶Esim. Brandao M. and Levasseur A. 2010. Assessing Temporary Storage in Life Cycle Assessment and Carbon Footprinting. Outcomes of an expert workshop.

²⁷ Cherubini, F., Bright, R.M., Strømman, A.H. 2012. Site-specific global warming potentials of biogenic CO₂ for bioenergy: contributions from carbon fluxes and albedo dynamics. *Env. Res. Lett* 7:1-11.

²⁸ VTT (2017). Rakentamisen hiilivarasto <https://cris.vtt.fi/en/publications/rakentamisen-hiilivarasto>

tulisi katsoa myös vaikutukset metsän ja metsämaan hiilinieluun ja -varastoon, ja tarkastella hiilivaraston netto- ja kokonaisvaikutusta.

Puurakennuksissa hiilivarastojen varastoinnin aikajänne on sellainen, että siitä on ilmastonmuutoksen kiireellisen hillinnän kannalta ainakin jotain hyötyä. Hiilivaraston aikaansaaminen ja kasvattaminen tuottaa kuitenkin paljon lyhytaikaisia varastoja sekä lyhyellä tähtäyksellä hiilivelkaa metsiin. Osa haastatelluista tutkijoista katsookin, että hiilivarastonäkökulmasta paras vaihtoehto olisi puun käyttämättä jättäminen, sillä jopa kuolleen puun hajoaminen vapauttaa hitaammin hiiltä kuin nykyinen tuotanto. Jos tuoteportfoliota saadaan painotettua pitkäikäisiin tuotteisiin, paranevat tuotteiden hiilitase ja nettohyödyt, mutta epäselvää on, että parantaako se tasetta riittävästi ilmaston kannalta.

Suomen kasvihuonekaasuinventaariossa vuonna 2018 puutuotteiden (*Harvested Wood Products*, HWP) aiheuttama päästöjen nettopoistuma ilmakehästä on 4 Mt CO₂. Määrä on ollut aiemman notkahduksen jälkeen nousujohteinen 2010-luvulla: vuoden 2010 inventaariossa puutuotteiden hiilivaraston lisäys oli vain 2,2 Mt CO₂, eli hiilivaraston määrä on siitä lähes tuplaantunut. Toisaalta vuosien 1997-2000 huipputasoon (n. 6,6 Mt CO₂) on vielä matkaa. Puutuotteet kokonaisuudessaan ovat toimineet Suomessa hiilinieluna vuotta 2009 lukuun ottamatta, eli niiden ilmastovaikutus on ollut pääosin positiivinen. Mekaanisen puunjalostuksen tuotteet kuten rakennusmateriaalit ovat toimineet joka vuosi välillä 1990-2018 hiilinieluna eli lisänneet hiilivarastoa kasvihuonekaasuinventaarion mukaan²⁹

4.3.3 Säilyykö hiilivarasto metsässä?

Joskus puutuotteiden valmistamisen ja käytön perusteluna käytetään sitä, että metsissä hiilivarastolla on riski vapautua esimerkiksi metsätuhojen tai -palojen seurauksena nopeasti ja yllättäen. Tämä voi olla perusteltua maissa, joissa erilaisten metsätuhojen laajuus ja frekvenssi ovat suuret. Suomessa luontaisten häiriöiden, kuten metsäpalojen, hyönteis- tai myrskytuhojen esiintyvyys ja laajuus ovat suhteellisen pieniä verrattuna esimerkiksi Pohjois-Amerikkaan. Suomen metsät ja maisema ovat pienipiirteisiä, vesistöjen ja soiden pirstomia kuviota, joissa luontainen vaihtelu ja kosteus yleensä ehkäisee laajojen paloalueiden muodostumista. Suuri osa Suomen metsistä kuuluisikin luontaisesti pienialaisesti uudistuvien metsien häiriöregiimiin³⁰, jossa häiriöt harvoin ovat laaja-alaisia tai koko puuston tuhoavia. Lisäksi Suomessa tiheän tieverkoston ja tehokkaan metsäpalontorjunnan ansiosta metsäpalot eivät yleensä pääse leviämään laajalle alueelle. Suomen metsät voivat siis toimia suhteellisen kestävinä hiilivarastoina, mutta on huomattava, että ilmastonmuutoksen vaikutukset voivat kuitenkin tulevaisuudessa lisätä tuhoriskiä.

Toinen hiilivarastojen pysyvyyteen liittyvä väite on se, että jos ihminen ei hyödyntäisi puuta ja se jätettäisiin metsään, se kuitenkin kuollessaan ja lahotessaan vapauttaa sitoutuneen hiilen ilmakehään. Tämä pitää paikkaansa, mutta usein unohdetaan, että metsässä luontaisesti hajoava kuollut puu muodostaa verrattain pitkäkestoisia hiilivarastoja. Kuolleen

²⁹ Tilastokeskus: Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2018.

³⁰ Kneeshaw et al. 2011. Forest Ecosystem Structure and Disturbance Dynamics across the Circumboreal Forest. The SAGE handbook of biogeography.

puuaineksen hajoamisnopeus riippuu pääasiassa aineksen koosta ja ympäristöolosuhteista (kosteus, lämpötila). Suurikokoisten runkojen ja kantojen hajoaminen metsässä voi kestää vuosikymmenistä satoihin vuosiin. Pohjoisessa hajoaminen on hitaampaa kuin etelässä. Bo-reaalisisessa ekosysteemissä hitaasti hajoava lahopuu muodostaakin pitkäikäisiä hiilivarastoja. Talousmetsissä lahopuuta on vähemmän ja se on keskimäärin pienikokoisempaa kuin luonnonmetsissä. Pieniläpimittainen hakkuutähde hajoaa nopeasti, yleensä muutamissa vuosissa. Koska suurin osa hakatusta puuraaka-aineesta menee lyhytikäiseen käyttöön, metsään jätetty puu luultavasti hajoaa hitaammin ja on täten pitkäikäisempi hiilivarasto, kuin useimmat puutuotteet.

4.3.4 Miten maankäyttösektorin päästölaskenta liittyy asiaan?

Suomessa puun käytön ja hakkuiden vaikutuksia metsien hiilinieluihin ja -varastoihin laske-taan kansallisella tasolla osana maankäyttösektoria (LULUCF). Maankäyttösektoria koskeva asetus (EU) 2018/841 määrittelee laskentasäännöt sille, miten maankäytön, maankäytön muutoksen ja metsänhoidon nielut ja päästöt otetaan huomioon EU:n ilmastotavoitteissa kaudella 2021-2030. Usein argumenttina puutuotteiden biogeenisen hiilenkierron sivuutta-miselle käytetään sitä, että päästöt on jo huomioitu maankäyttösektorin kansallisessa las-kennassa.

Tällainen kansallisen tason laskenta ei ole relevantti tuotetason hiilijalanjälki- ja -kädenjälki-laskennassa. Tuotetason laskennan perusteluissa ei voida käyttää argumenttina sitä, että päästöt on jo laskettu kansallisella tasolla, sillä laskennan tasot ovat erilaiset. Tuotteiden, rakennusten tai organisaatioiden hiilijalanjälki- tai elinkaarilaskennat esimerkiksi Green-house Gas Protocolin tai YM:n rakennuksia koskevan laskentamenetelmän mukaisesti ovat lähtökohtaisesti laajempia yhden tuotteen tai organisaation osalta kuin vain sen suorat pääs-töt, eli niissä huomioidaan koko arvoketju (ns. hiilijalanjälkilaskennan Scopet 1, 2 ja 3). Kan-sallisen tason laskenta puolestaan laskee yhteen vain suorat päästöt eli Scope 1 päästöt.

Kansallinen taso ja yksittäisen hiilijalanjäljen taso eivät siis ole yhteismitallisia - eikä niiden kuulukaan olla. Yksittäisen tuotteen tai rakennuksen hiilijalanjäljessä tai elinkaarilasken-nassa voidaan huomioida myös maankäyttösektorilla tapahtuvia päästöjä, vaikka ne laske-taan kansallisessa inventaariossa. Hiilijalanjälkilaskennan ja elinkaariarvioinnin standar-deissa huomioidaan myös biogeeniset päästöt ja maankäytön muutoksen päästöt, vaikka nämä lasketaan myös maankäyttösektorilla.

4.4 Tapaustutkimukset 1 ja 2

Tapaustutkimusten 1 ja 2 tavoitteena oli laskea arvio siitä, miten puurakenteisten kerrosta-lojen hiilijalanjälki muuttuisi, jos laskennassa huomioidaan puuntuotantoon liittyvän biogee-ninen hiilivaikutus. Biogeenisellä hiilivaikutuksella tarkoitetaan tässä hakkuiden vaikutuksia metsän hiilivarastoihin ja -nieluihin, jotka tyypillisesti on jätetty elinkaariarvioiden ulkopuolelle. Seuraavassa tätä vaikutusta kutsutaan biogeeniseksi hiilivelaksi. Lähtökohdaksi laskennalle

otettiin Viljakaisen ja Lahtelan v. 2019 laatima tapaustutkimus³¹ eri tyyppisten rakennusten hiilijalanjäljen laskennasta. Tutkimuksessa selvitettiin ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyuden arviointimenetelmän (YM 2019:22) käytettävyyttä sekä sitä, miten materiaali- ja runkovalinnat vaikuttavat rakentamisen hiilijalanjälkeen. Vertailtavana kohteena oli tyyppilinen viisikerroksinen asuinkerrostalo, jonka rakennusmateriaaleina käytettiin joko betoni-, puuranka-, massiivipuu- (CLT) tai hybridirakenteita. Kerrostalojen lämmitetty pinta-ala oli 1994 m².

Viljakaisen ja Lahtelan tapaustutkimus valittiin lähtökohdaksi laskennalle sen sisältämän tarkan materiaalmäärien luetteloinnin vuoksi. Sen esittämät erot puurakenteisten ja betonirunkoisen rakennuksen rakennusmateriaalien (moduulit A1-A3) hiilijalanjälkien välillä ovat osoittaneet jonkin verran pienemmiksi joissakin muissa selvityksissä (esim. Talja³² ja Bionova³³, joissa betoni- ja puutalon rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen ero on noin 30 %). Jos puurakenteisen ja betonirakenteisen vaihtoehdon rakennusmateriaalien välinen hiilijalanjälki on pienempi kuin Viljakaisen ja Lahtelan tapaustutkimuksessa, nyt osoitettu biogeenisen hiilivelan vaikutus rakennusmateriaalien keskinäiseen järjestykseen näkyy jo aiemmin rakennuksen käyttövaiheen aikana.

4.4.1 Laskentaskenaario

Rakennusten biogeenisen hiilivelan arvioimiseksi muodostettiin ns. normaalimetsään perustuva laskentaskenaario. Normaalimetsällä tarkoitetaan tässä talousmetsää, jossa on tasainen metsikkökuvioiden ikäjakauma. Normaalimetsällä voidaan tuottaa haluttu puumäärä tietyssä ajassa. Aluksi arvioitiin betoni-, puuranka- ja CLT-kerrostaloon käytettävän puumäärän tuottamiseen tarvittava metsäpinta-ala. Tarvittava pinta-ala riippuu tuotantoajasta, ja ajaksi valittiin rakennusten käyttöikä eli tässä tapauksessa 75 vuotta. Teoriassa näin valitulla pinta-alalla voidaan ylläpitää kestävästi ko. rakennuksen olemassaolo.

Laskennasta tehtiin kaksi eri versiota. Tapaus 1:ssä rakennukseen tarvittava puu tuotetaan keskimääräisessä, tasaikäiskasvatuksella hoidetussa, eteläsuomalaisessa tuoreen kankaan kuusikossa ja tapaus 2:ssa pohjoissuomalaisessa tuoreen kankaan kuusikossa.

Jotta puunkäytön biogeeninen hiilivaikutus pystytään osoittamaan, tarvitaan vastaava vertailuskenaario, kuin muillakin materiaaleilla elinkaariarvioinneissa implisiittisesti on. Tässä käytetty vertailuskenaario on käyttämättä jättäminen, eli tilanne, jossa normaalisti esim. fossiilisten raaka-aineiden tapauksessa, ilmastovaikutuksia ei synny. Puulle tämä on metsän luonnollinen sukkessio, eli tilanne, jossa puuta ei korjata metsästä.

³¹ Viljakainen, M. & Lahtela, T. 2019. Rakentamisen hiilijalanjälkivertailu, tapaustutkimus rakennuksen hiilijalanjäljen laskennasta, loppuraportti. <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/RAKENTAMISEN-HIILIJALANJALANJ%C3%84LKIVERTAILUN-LOPPURAPORTTI.pdf>

³² Talja, A. (2020). Rakennusten hiilijalanjälkivertailu. Savonia ammattikorkeakoulu, opinnäytetyö. <https://core.ac.uk/download/pdf/323463236.pdf>

³³ Bionova (2018). Puu- ja betonikerrostalojen elinkaari päästöjen vertailu. Kuninkaantammen A-Kruunu ja Helene.

Normaalimetsän metsäkuviot muodostettiin talousmetsien kasvua simuloivan MOTTI-ohjelman³⁴ perusteella ja kuviotiedot vietiin metsän hiilitaseita laskevaan Monsu-ohjelmaan³⁵. Monsun avulla simuloitiin normaalimetsän kehitystä ilman hakkuita ja laskettiin puuston ja maaperän hiilitase kumuloituvasti vuosille 2020, 2035, 2050 ja 2065.

Matemaattisesti biogeeninen hiilivelka olisi siis talousmetsän ja luonnollisen sukkession hiilitaseen välinen erotus. Koska normaalimetsän puuston ja maaperän hiilitase tasapainotilassa eli olosuhteiden ja hoitotoimenpiteiden pysyessä samana on 0, vain vertailukohtaan hiilitase joudutaan laskemaan.

Näin lasketusta maaperän ja puuston hiilitaseesta allokoitiin kerrostalolle kuuluva osuus talousmetsästä syntyvien tukki- ja kuitupuuosuuksien ja käytetyn pitkäkestoisen sahatavaran osuuden mukaan. Osuudet perustuvat tavanomaisesta tasaikäiskasvatuksesta syntyviin puuvirtoihin ja nykyiseen puun käyttöön. Hiilitaseessa huomioitiin myös talousmetsäkäytöstä aiemmin syntyneiden puutuotteiden hajoaminen, mutta sen osuus taseesta on pieni.

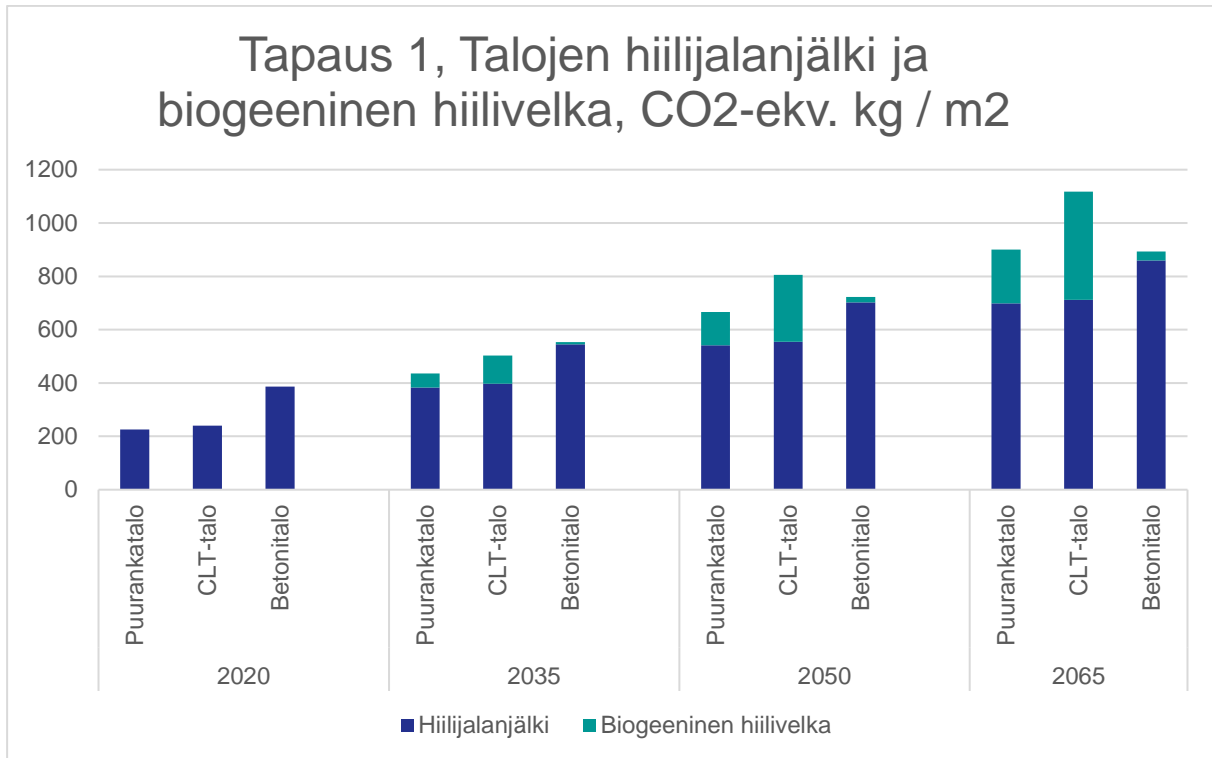
4.4.2 Tulokset

Kuvissa 2 ja 3 on esitetty vertailtavien talojen kumulatiivinen hiilijalanjälki ja biogeeninen hiilivelka 15 vuoden välein, yhteensä 45 vuoden tarkasteluajalta. Vuonna 2020 hiilijalanjäljen osalta tuloksissa näkyvät vain päästöt ennen rakennuksen käyttöönottoa ja vuosina 2035, 2050 ja 2065 myös käytön aikaiset päästöt, josta energiankäytön hiilijalanjälki³⁶ muodostaa merkittävimmän osan. Biogeeninen hiilivelka kasvaa ajan myötä. Kasvu kuvastaa talousmetsän kehitystä tilanteessa, jossa hakkuita ei tehdä. Hakkuiden lopettamisen jälkeen metsän puuston ja maaperän hiilivarasto alkaa kasvaa hakeutuen kohti uutta tasapainotilaa. Simulointiajanjaksolla tätä tasapainotilaa ei todennäköisesti vielä ole saavutettu, vaan varastot jatkaisivat kasvua vielä tämän jälkeenkin.

³⁴ <http://www.metla.fi/metinfo/motti/>

³⁵ <http://www.monsu.net/>

³⁶ Rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta annetun asetuksen mukaan

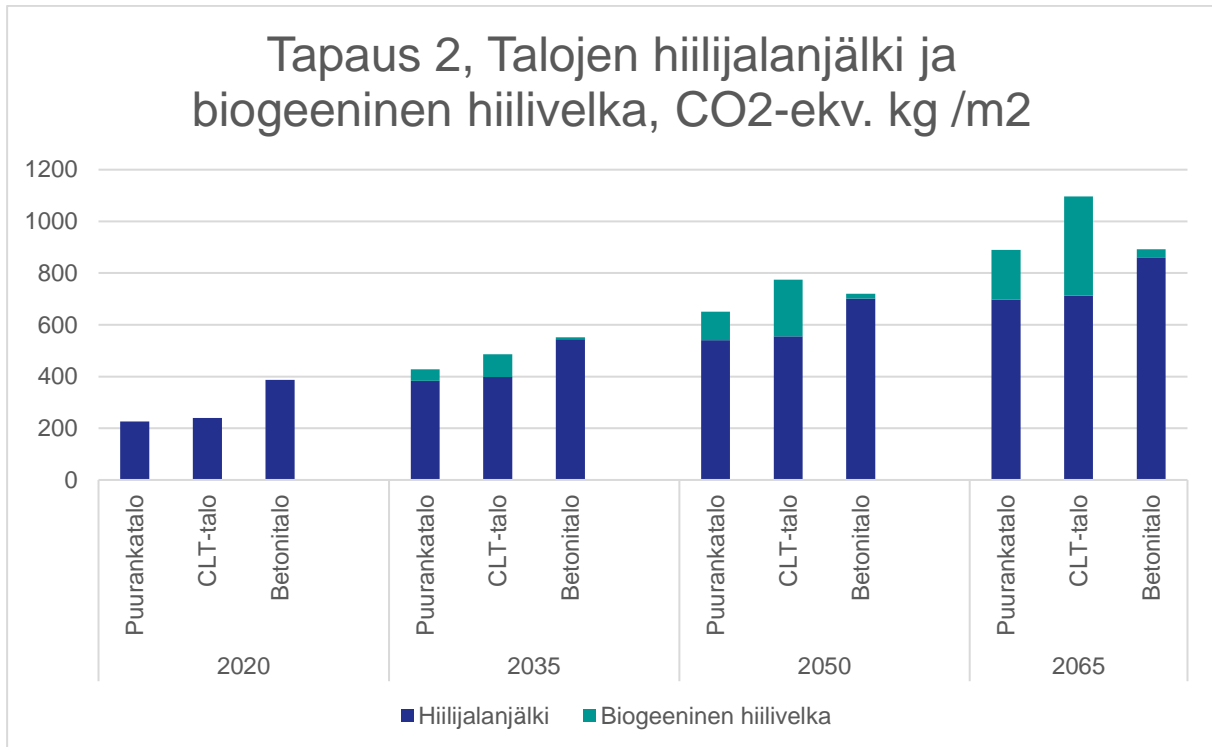


Kuva 3 Talojen hiilijalanjälki (sininen palkki) ja biogeeninen hiilivelka (turkoosi palkki), kun puu on tuotettu etelä-suomalaisessa kuusikossa. Hiilijalanjäljen lähde: Viljakainen & Lahtela 2019.

Biogeeniseen hiilivelan suuruuteen vaikuttaa suoraan taloihin käytetyn puun määrä. Puurankataloon verrattuna CLT-taloon menee noin kaksinkertainen määrä puuta, kun taas betonitaloon vain alle viidesosa puurankatalossa tarvittavasta puumäärästä.

Tässä esimerkissä yhden puurakennuksen osuudeksi metsän hiilitaseesta laskettiin vain tuotetusta tukkipuusta saatavien pitkäkestoisten tuotteiden osuus. Tämä pohjautuu elinkaarivertailun peruseriaatteeseen, jossa päästöt allokoidaan kunkin tuotantoalan ja raaka-aineen käyttäjän osuuden mukaan. Voisi kuitenkin myös olla perusteltua, että puurakentamisen osuuteen laskettaisiin mukaan koko tukkipuu sivuvirtoineen, jolloin biogeeninen hiilivelka kasvaisi noin 50 %.

Biogeenisen hiilivelan lisääminen hiilijalanjälkeen muuttaa erilaisten kerrostalojen asemaa vertailussa. Vaikka betonitalon päästöt rakennusvaiheessa ovat suuremmat kuin enemmän puurakenteita sisältävien talojen, pidemmällä aikavälillä CLT-talon hiilijalanjälki muodostuu suurimmaksi. Tulokset ovat hyvin samankaltaiset tapaus 2:n osalta (Kuva 4). Pieni ero biogeenisen hiilivelan suuruudessa johtuu siitä, että Pohjois-Suomessa metsän kasvu on hitaampaa ja tukkipuun osuus saatavasta ainespuusta pienempi.



Kuva 4 Talojen hiilijalanjälki (sininen palkki) ja biogeeninen hiilivelka (turkoosi palkki), kun puu on tuotettu pohjoissuomalaisessa kuusikossa. Hiilijalanjälki: Viljakainen & Lahtela 2019.

4.4.3 Johtopäätökset ja tulosten tulkinta

Laskennan tulokset osoittavat, että biogeenisen hiilivelan osuus on merkittävä lisäys puurakennusten hiilijalanjälkeen ja että metsien hiilitaseen huomioiminen puutuotteiden ja puurakentamisen elinkaariarvioissa tässä esitetyllä tavalla muuttaa puun käytön edullisuutta ilmastonäkökulmasta.

Toisaalta on huomioitava, että tuloksiin vaikuttavat suuresti valitut oletukset mm. puuntuotannon ajasta, valitusta vertailuskenaariosta ja metsän hiilitaseen allokoinnista yhdelle rakennukselle. Jos esimerkiksi rakennukseen tarvittava puumäärä haluttaisiin tuottaa paljon nopeammin, tarvittaisiin tuotantoon laajempi pinta-ala ja biogeeninen hiilivelka kasvaisi. Tässä tapauksessa valittu tuotantoaika (rakennuksen käyttöikä, on puurakentamiselle edullinen ja perusteltu sillä, että näin voitaisiin tuottaa kestävästi ja jatkuvasti samanlainen palvelu/ rakennus yhteiskuntaan. Todellisuudessa puuntuotannon määrä ja nopeus määräytyy markkinoilla, eikä suoraa yhteyttä yksittäiseen rakennushankkeeseen voida osoittaa.

Tässä skenaariossa tarkasteltiin hiilitaseen ja hiilijalanjäljen kehittymistä rakentamista seuraavien 45 vuoden aikana. Jos tarkastelua jatkettaisiin pidemmälle rakennusten elinkaaren loppuun, rakennusten väliset erot todennäköisesti kasvaisivat entisestään biogeenisen hiilivelan kasvun myötä.

Laskentaan valittu vertailuskenaario, hakkuiden pois jättäminen, on tietoisesti se, jota ei yleensä edes ajatella, kun pohditaan mahdollisia talousmetsien käytön vaihtoehtoja. Tämä on ymmärrettävää silloin, kun tarkastelua tehdään vain nykyisten metsätaloutta ohjaavien lainalaisuuksien valossa. Jos kuitenkin halutaan tehdä objektiivista ilmastovaikutusten arviointia, on tämä vaihtoehto otettava huomioon. Tätä baselinea on suositeltu myös

elinkaariarvioita tutkivassa kirjallisuudessa^{37,38}. IPCC:n arvion³⁹ mukaan metsät ovat yksi taoudellisimmista ja tehokkaimmista keinoista sitoa ja varastoida hiilidioksidia ja tämä pitää paikkansa erityisesti suomalaisissa hitaasti kasvavissa, hiiltä maaperään kerryttävässä ja suhteellisen stabiilissa, vähäisten luontaisten häiriöiden vallitsemassa ekosysteemissä. Tulevaisuudessa hiilen hinta tulee nousemaan, ja jos hiilivarastojen kerryttämisestä metsään on mahdollista saada korvaus, hakkuiden lykkääminen on metsänomistajalle todellinen vaihtoehto.

Muita relevantteja vertailuvaihtoehtoja voisivat olla myös erilaisten metsänhoitomenetelmien vaikutukset hiilivelkaan.

5 Hiilikädenjälki sääntelyssä

5.1 Tapaustutkimukset 3 ja 4

5.1.1 Tarkasteltavat tapaukset

Tapaustutkimuksissa 3 ja 4 vertaillaan rankarakenteiselle puutalolle ja CLT-talolle laskettuja hiilikädenjälkiä kahdella eri kädenjälkimenetelmällä laskettuna. Tapaustutkimuksessa 3 käytetään menetelmänä VTT:n Carbon Handprint Guide:n laskentamenetelmää (joka on vastaava kuin Mission Innovationin Avoided Emissions Framework:ssa) ja tapaustutkimuksessa 4 käytetään MRL:n hiilikädenjälkimääritelmää (käytössä ollut luonnos 2/2021) sekä puuttuvien ohjeistusten kohdalla YM:n Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmää (YM 2019:22).

5.1.2 Laskennan kuvaus

Lähtökohtana laskennalle oli tapaustutkimusten 1 ja 2 tapaan Viljakaisen & Lahtelan (2019) tapaustutkimus erityyppisten rakennusten hiilijalanjäljen laskennasta. Laskennassa tarkastellaan yhtäältä menetelmien toimintaa ja käytettävyyttä sekä toisaalta eri menetelmillä saatavia tuloksia ja niiden vaihtelua sekä myös sitä, miten tarkasteluajankohta vaikuttaa tuloksiin.

VTT:n vertailuun perustuva menetelmä

VTT:n laskentamenetelmässä (tapaustutkimus 3) perusuran mukaisen rakennuksen hiilijalanjäljestä vähennetään puurakennuksen hiilijalanjälki, jolloin saadaan puurakennuksen hiilikädenjälki. Perusurana käytettiin tilannetta, jossa rakennetaan betonikerrostalo, ja puutalon rakentamiseen tarvittava puumäärä jätetään kasvamaan metsään. Perusuran mukaisen tilanteen hiilensidonta kasvamaan jätetyistä puista saatiin tapaustutkimuksien 1 ja 2 tuloksista. Vertailtavat hiilijalanjäljet saatiin Viljakaisen & Lahtelan raportista.

³⁷ Soimakallio et al. 2015. Attributional life cycle assessment: is a land-use baseline necessary?

³⁸ Helin et al. 2012. Approaches for inclusion of forest carbon cycle in life cycle assessment – a review

³⁹ <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policy-makers/>

MRL:n menetelmä

MRL:n hiilikädenjälkimääritelmä on jaettu taulukossa 2 neljään osa-alueeseen. MRL:n menetelmän mukaisesti näiden neljän osa-alueen summa kuvaa rakennuksen kokonaishiilikädenjälkeä.

Taulukko 2 MRL:n menetelmän laskentaohjeen neljä osa-aluetta.

	Osa-alueen sisältö	Laskentaohje
OSA A	Rakennustuotteiden uudelleenkäytön tai kierrätyksen nettohyödyt (EN 15804)	Standardin (EN 15804) mukaisesti moduulille D (elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset) lasketaan rakennuksen purkamisvaiheessa syntyvien materiaalien kierrätyksestä materiaalina tai hyötykäytöstä energiana ja rakenteiden uudelleenkäytöstä syntyvät päästösäästöt.
OSA B	Kestävästi hoidetusta metsästä peräisin olevien puutuotteiden pitkäikäiset eloperäiset hiilivarastot (EN 16485)	Standardin (EN 16485) mukaisesti kestävästi hoidetusta metsästä peräisin olevan puutuotteen pitkäikäisen hiilivaraston laskenta perustuu suoraan puun biomassan hiilisisältöön. EN-standardit siis olettavat, että koska metsät on hoidettu kestävästi, hiilivelkaa ei synny.
OSA C	Sementtipohjaisten tuotteiden karbonatisoituminen rakennuksen käytön ja purkamisvaiheen aikana (EN 16757)	Standardin (EN 16757) mukaisesti lasketaan betonin ja muiden sementtipohjaisten tuotteiden ilmakehästä sitoma hiilidioksidi rakennuksen käytön ja purkuvaiheen aikana.
OSA D	Rakennuksessa tuotettu ylijäävä uusiutuva energia	Laskentaan ei ole osoitettu mitään standardia. Oletuksena on, että ylijäävä uusiutuvilla energiamuodoilla tuotettu energia voidaan syöttää verkkoon korvaamaan fossiilisilla polttoaineilla tuotettua energiaa. ⁴⁰

Tapaustutkimuksessa 4 laskennan osaan A (*Rakennustuotteiden uudelleenkäytön tai kierrätyksen nettohyödyt*) kuuluivat puretusta rakennuksesta tulleen a) puun käyttö energiana korvaten muuta energiantuotantoa, b) metallin kierrätys materiaalina, c) metallirakenteiden uudelleenkäyttö sekä d) betonin kierrätys.

⁴⁰ Tässä on hyvä erotella sähkö ja lämpö. Lämmön osalta syöttäminen kaukolämpöverkkoon edellyttää erillistä sopimista, eikä ole vielä yleistä.

Laskennan osaan B (*Kestävästi hoidetusta metsästä peräisin olevien puutuotteiden pitkäikäiset eloperäiset hiilivarastot*) kuuluivat Viljakaisen & Lahtelan (2019)⁴¹ raportissa lasketut biogeenisen hiilen varastot puutuotteissa, joita työssä nimitetään hiilikädenjäljeksi.

MRL:n menetelmän osiin C ja D ei laskettu päästösäästöjä, sillä tutkimuksen kohteena olivat puurakenteiset talot, joissa ilmakehän kanssa kosketuksissa olevien sementtipohjaisten tuotteiden määrä on marginaalinen sekä vaikeasti arvioitavissa. Osan D ei myöskään laskettu syntyvää hiilikädenjälkeä, sillä uusiutuvan energian tuottaminen rakennuksessa ei ole valmistusmateriaalista kiinni, joten eroa betoni- ja puutalojen välille tuskin syntyy.

MRL:n uudistuksessa ja samalla rakennusten vähähiilisyuden arviointimenetelmän uudistuksessa on lausuntokierroksella saatujen kommenttien perusteella muokattu hiilikädenjäljen laskentaa hiilivarastojen osalta siten, että hiilivarastoiksi huomioidaan vain ne rakennuksen osat, jotka ovat käytössä vähintään 100 vuotta. Tällöin esimerkiksi vaihdettavat lyhytikäisemmät osat (kuten keittiönkaapit tai laminaattilattiat) jäävät pois hiilivaraston laskelmasta, mutta esimerkiksi rakennuksen runko voidaan laskea mukaan. Tätä raporttia kirjoittaessa uusi versio laskentamenetelmästä ei ollut vielä saatavilla, joten laskenta on tehty aiemman version mukaan.

Ajankohdan vaikutus

MRL:n menetelmässä ei oteta kantaa siihen, minkä vuoden teknologialla osan A kierrätyksen päästöhyödyt tulee laskea. YM:n ohjeistuksessa ei myöskään ole yksiselitteistä ohjetta siihen, pitäisikö energiana käytettävän kierrätyspolttoaineen korvata purkuhetken teknologialla tuotettua keskimääräistä energiaa vai vastaavaa polttoainetta.

Perustapauksena tarkasteltiin tilannetta, jossa rakennus puretaan vuonna 2100. Tieto vuoden 2100 keskivertoenergiantuotannon päästöistä saatiin YM:n ohjeistuksesta. Laskentaoletuksena oli, että teräsrangat ja palkit saadaan uudelleenkäyttöön sellaisenaan ja metallin kierrätyksen oletettiin saavuttavan 95 % kierrätysaste. Betonin kierrätysasteen oletettiin olevan 100 % vuonna 2100.

Tämän lisäksi tarkasteltiin herkkyystarkasteluna tarkasteluajankohdan vaikutuksen tutkimiseksi muuten samaa tilannetta, mutta rakennus oletettiin purettavaksi vuonna 2020.

Poltolla korvattavan energian päästökertoimena käytettiin vuoden 2020 keskivertoenergiantuotannon päästöjä YM:n ohjeistuksesta.⁴² Materiaalin kierrätykseen meni kaikki rakennuksesta purettu metalli, eikä metallirakenteita uudelleenkäytetty sellaisenaan. Metallin kierrätysasteena käytettiin samaa kuin perustapauksessa (95 %). Betonin kierrätysasteena käytettiin YM:n raportissa annettua vuoden 2020 lukua 70 %.

⁴¹ Viljakainen, M. & Lahtela, T. 2019. Rakentamisen hiilijalanjälkivertailu, tapaustutkimus rakennuksen hiilijalanjäljen laskennasta, loppuraportti.

⁴² Ohjeistus on osittain ristiriitainen: YM:n arviointimenetelmän mukaan puuta hyödynnettäessä energiana saa hyödyntää vuoden 2020 energiatuotannon energiamuotojen päästökertoimia. Energiahyödyntäminen tapahtuu kuitenkin todellisuudessa tulevaisuudessa, jolle arviointimenetelmä antaa tulevaisuuden energiamuotojen päästökertoimet. Niiden mukaan puun energiahyödyntäminen ei tuota hyötyä, koska se ei enää tuolloin korvaa fossiilipohjaista energiaa.

Taulukossa 3 on kuvattu yhteenvetona tapaustutkimusten 3 ja 4 lähtökohtia ja niiden eroja.

Taulukko 3 Tapaustutkimusten 3 ja 4 yhteenveto.

	TAPAUSTUTKIMUS 3	TAPAUSTUTKIMUS 4
KOHDE	CLT-rakenteinen talo ja rankarakenteinen talo Viljakaisen & Lahtelan (2019) mukaan	
LASKENTA-MENETELMÄ	VTT Carbon Handprint Guide ja Mission Innovation AEF	MRL:n luonnosteksti ja YM:n laskentaohje
LÄHTÖTIEDOT	Viljakainen & Lahtela (2019)	Viljakainen & Lahtela (2019)
PERUSURA	Betonikerrostalo ja puurakennukseen tarvittava puumäärä jää kasvamaan metsään.	Ei perusuraan vertailua.

5.1.3 Tulokset

Tapaustutkimus 3

Taulukossa 3 on esitetty laskennan tulokset tapaustutkimukselle 3. Tulokset on ilmoitettu sekä tCO_{2e} -yksikössä että MRL:n menetelmän mukaisessa yksikössä vertailun vuoksi. Jälkimmäisessä luvussa on otettu huomioon rakennuksen oletusarvoinen 75 vuoden käyttöikä.

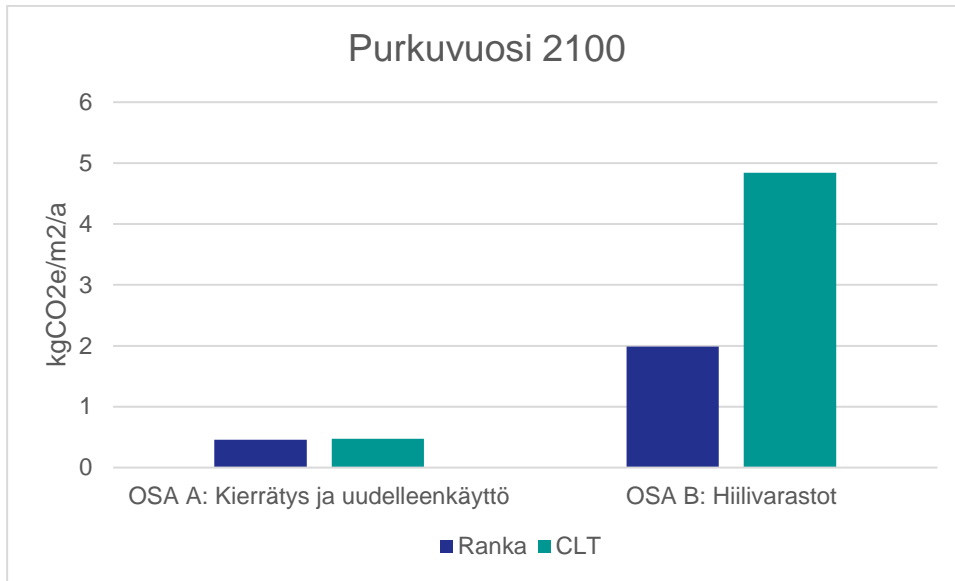
Taulukko 4 Tapaustutkimuksen 3 hiilikädenjälkitulokset.

	<i>Hiilikädenjälki, tCO_{2e}</i>	<i>Hiilikädenjälki, kgCO_{2e}/m²/a</i>
Rankarakenteinen puutalo	-14	-1,59
CLT-talo	-446	-6,27

Puiden kasvamaan jättämisen positiivinen vaikutus on selvästi suurempi kuin puurakennusten rakentamisen hiilikädenjäljet. Kun biogeeninen hiilen sidonta huomioidaan, hiilikädenjälkikonaisuus on siis sekä rankarakenteisella puutalolla että CLT-talolla negatiivinen eli hiilidioksidipäästöjä syntyy enemmän kuin niitä säästyy puurakentamisen ansiosta. Tapaustutkimuksen 3 tapauksessa hiilikädenjäljen laskenta siis osoittaa, että betonikerrostalo on positiivisilta ilmastovaikutuksiltaan sekä ranka- että CLT-rakenteista puukerrostaloa parempi, kun puurakennusten puutuotteisiin tarvittava puu jätetään metsään kasvamaan.

Tapaustutkimus 4

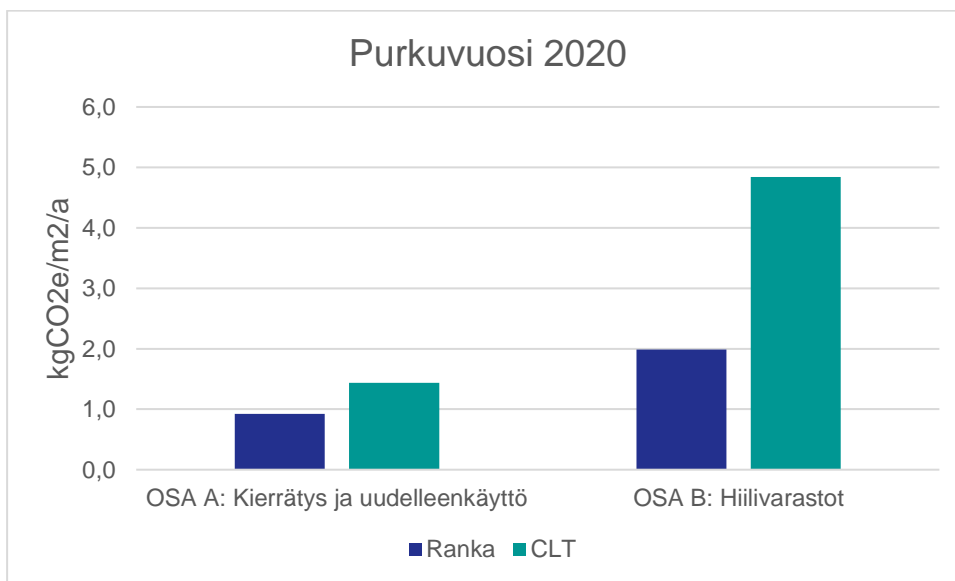
Kuvassa 7 on esitetty tapaustutkimuksen 4 hiilikädenjäljen osien A (*Kierrätys ja uudelleenkäyttö*) ja B (*Hiilivarastot*) hiilikädenjäljet. Koska Suomen energian keskimääräinen päästökerroin 2100 on pieni, kierrätysvaikutus jää vaatimattomaksi. Hiilivarastovaikutus on hiukan suurempi.



Kuva 5 Tapaustutkimuksen 4 tulokset osista A ja B. (osat C ja D jätettiin tarkastelusta pois)

Herkkyystarkastelu

Kun tapaustutkimuksessa 4 purkuvuodeksi oletetaan 2020, saadaan kuvan 7 mukaiset tulokset.

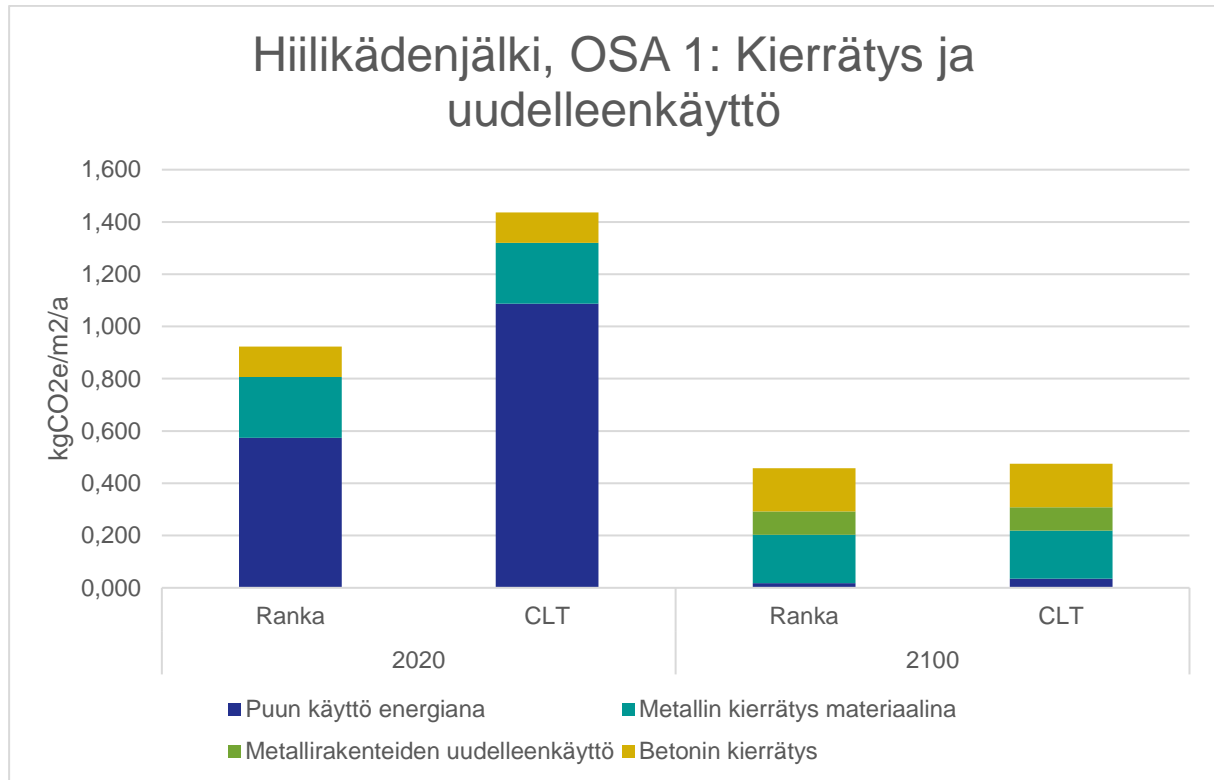


Kuva 6 Herkkyystarkastelu tapaustutkimuksen osista A ja B kun purkuvuosi on 2020.

Osassa A on merkittävä ero, mutta osan B tulos pysyy luonnollisesti samana.

Kuvassa 8 on eritelty osan A kierrätys- ja uudelleenkäyttötoimien vaikutukset kokonaisuutteen tapauksessa, jossa talo puretaan vuonna 2020 ja tapauksessa, jossa purku tapahtuu vuonna 2100. Mikäli purku tapahtuu vuonna 2020 on jätepuun energiakäytöllä selvästi suurin positiivinen vaikutus. Tämä johtuu siitä, että vuonna 2020 jätepuulla korvattava energiantuotanto on paljon päästöintensivisempää kuin energiantuotannon vuonna 2100 oletetaan olevan. CLT-talon rakentamiseen käytetty suurempi puumäärä näkyy tuloksessa suurempana hiilikädenjälkenä; myös ero eri purkuvuosien kohdalla on merkittävä. Metallin kierrätys

materiaalina tuo molempina purkuvuosina suunnilleen samansuuruisen hyödyn, ja betonin kierrätyksestä saava hyöty kasvaa kierrätysasteen kasvun suhteessa.



Kuva 7 Hiilikädenjäljen osa 1 MRL:n menetelmän mukaisesti.

5.1.4 Johtopäätökset ja tulosten tulkinta

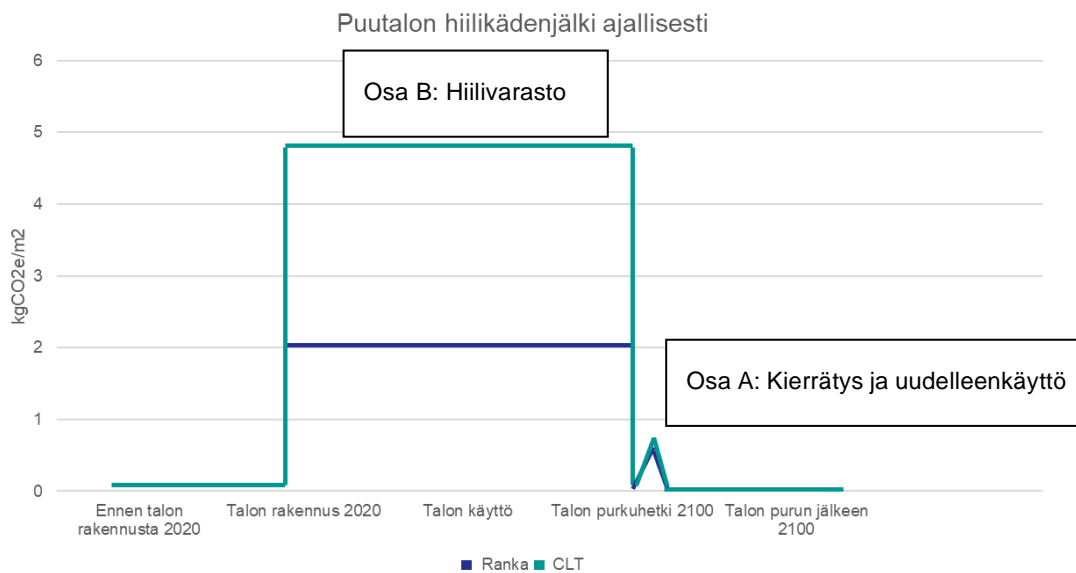
Taulukossa 5 on esitetty tapaustutkimusten 3 ja 4 tulokset samoissa yksiköissä. Tulokset eroavat toisistaan paljon: vertailevalla menetelmällä hiilikädenjälki on negatiivinen ja ei-vertailevalla menetelmällä positiivinen. Vertailun vuoksi voidaan todeta, että Viljakaisen & Lahdelan raportoiman betonikerrostalon hiilijalanjälki on 16,11 kgCO₂e/m²/a ja puurakenteisen kerrostalon 13,96 – 14,15 kgCO₂e/m²/a.

Case 4:ssä osien A ja B tulokset on tässä summattu esimerkin vuoksi. Todellisuudessa summaaminen on huonosti määritelty operaatio, sillä ilmastohyödyt eivät tapahdu ajallisesti samaan aikaan. Hiilivarasto syntyy rakentamisvuonna, mutta purkuhyödyt realisoituvat purkuvuonna, jolloin myös hiilivarasto vapautuu.

Taulukko 5 Tapaustutkimusten 3 ja 4 tulosten vertailu.

Hiilikädenjälki (kgCO ₂ e/m ² /a)	Tapaustutkimus 3: VTT:n menetelmä	Tapaustutkimus 4: MRL:n menetelmä	
		2020	2100
<i>Purkuvuosi</i>			
Rankarakenteinen puutalo	-1,59	2,9	2,44
CLT-talo	-6,27	6,28	5,31

Kuvassa 9 on esitetty osien A ja B ajallinen vaikutus hiilikädenjälkeen. Kun puut kaadetaan talon rakentamista varten, metsän hiilinielu pienenee ja pieni osuus puihin sitoutuneesta hiilestä siirtyy rakennukseen hiilivarastoksi. Enemmän puuta sisältävällä CLT-rakenteisella rakennuksella on suurempi hiilivarasto kuin rankarakenteisella puurakennuksella. Hiilivarasto vapautuu sillä hetkellä, kun rakennus puretaan ja siinä oleva puuaines poltetaan. Polttamalla tätä rakennusjätepuuta saadaan osion 1 kierrätyksen tuoma hiilikädenjälkihyöty. Nämä kaksi hiilikädenjälkeä kasvattavaa tekijää eivät kuitenkaan ole missään tilanteessa voimassa yhtä aikaa. Hiilikädenjäljen esittäminen yksikössä kgCO₂/m²/a ei siis kuvaa todellista tilannetta oikein. Lisäksi MRL:n menetelmässä käytetään jakajalle termiä arviointiaika, joka ei välttämättä kuvaa koko rakennuksen elinkaarta, eli lopullisissa tuloksissa voi olla suuriakin eroja riippuen tämän arviointiajan määritelmästä.



Kuva 8 Puutalon hiilikädenjälki ajallisesti.

5.2 Hiilikädenjäljen haasteet ja mahdollisuudet osana rakentamisen sääntelyä

5.2.1 Ydinhaasteet

Perimmäisenä haasteena hiilikädenjäljen ottamisessa mukaan lainsäädäntöön on se, että **hiilikädenjälki on vakiintumaton käsite, jonka määritelmästä ja laskentatavasta ei ole yksimielisyyttä**. Tavanomaiset hiilikädenjälkilaskentamenetelmät, jotka perustuvat hiilijalanjälkien vertailuun (kuten VTT:n Carbon Handprint -metodologia), eivät sovellu sellaiseen rakentamiseen, eikä rakentamiseen ole vielä kehitetty vakiintunutta omaa hiilikädenjälkilaskentamenetelmää. Toisin kuin hiilijalanjäljen laskenta, hiilikädenjälkilaskenta ja sen määrittely on edelleen vakiintumattomassa nopeasti kehittyvässä tietotilanteessa, ja nyt tehtävä määritelmä voi vanhentua jo muutamassa vuodessa. Myös tässä työssä lasketut

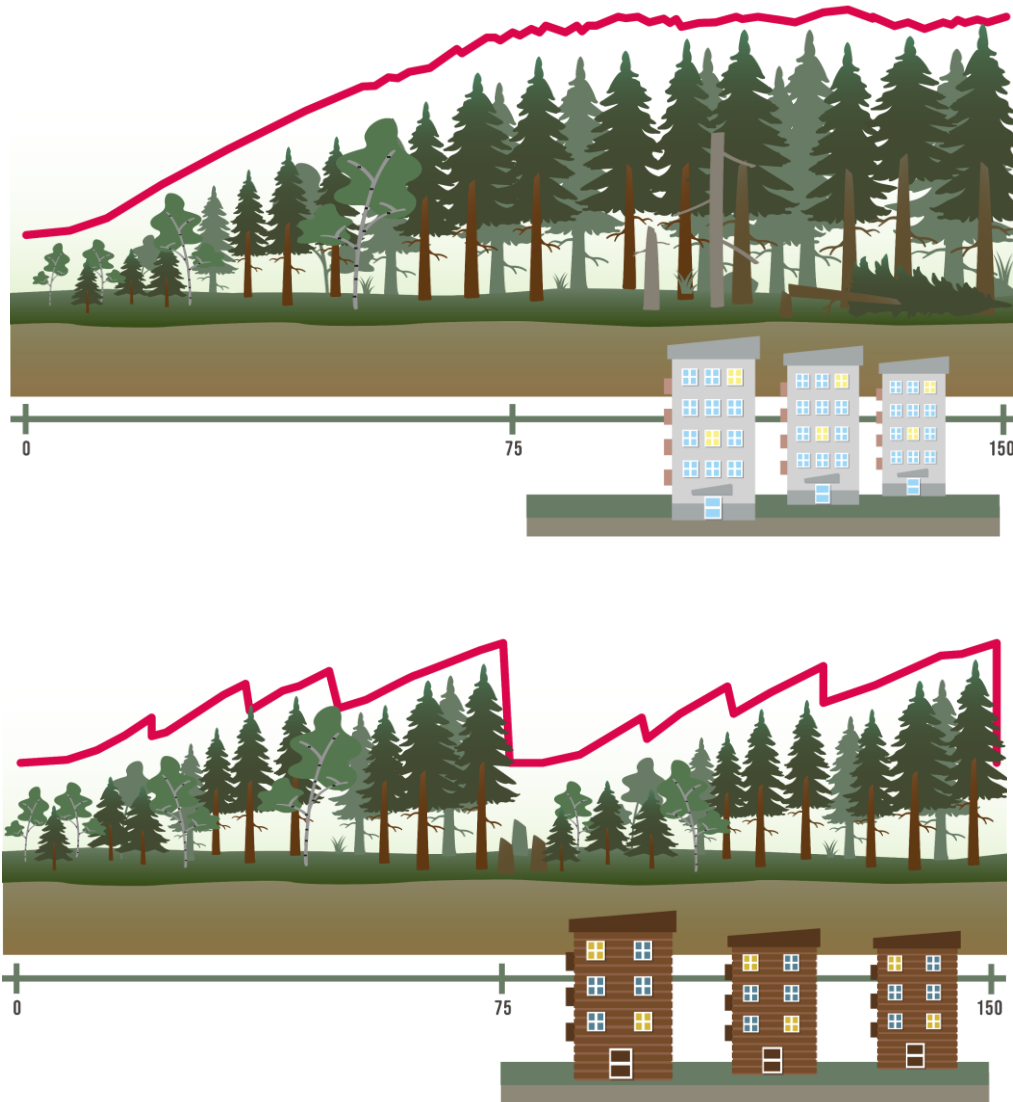
hiilikädenjälkiesimerkit osoittavat, että sekä menetelmä että tarkasteluajankohta vaikuttavat saataviin tuloksiin merkittävästi.

Toisena keskeisenä haasteena on, että hiilikädenjäljen laskenta MRL:n luonnostekstin ja siinä viitattujen standardien mukaisesti **ei ota huomioon muutosta metsien hiilitaseessa ja metsien hiilivarastossa**, kun puu poistetaan metsästä ja käytetään puurakennukseen. Pitkällä aikavälillä (n. 100 vuotta) kestävä metsänhoidon kautta tuotettu puutuote voi olla hiilineutraali, mutta *lyhyellä aikavälillä, jota nyt selkeästi käsitellään*, biogeeninen hiilivelka pitäisi huomioida. Sen jättäminen tuotetason tarkastelusta pois ei anna todenmukaista kuvaa rakennuksen ilmastovaikutuksista nyt puheena olevalla tarkasteluajanteella. Kuvassa 9 on havainnollistettu asiaa.

Tämän työn luvun 4 laskentaesimerkit liittävät tuotetason hiilijalanjälkeen biogeenisen komponentit tietävästi ensimmäistä kertaa ainakin suomalaisessa kirjallisuudessa. Tulokset osoittavat, että puurakentamisella synnytetty metsän hiilivelka ei riitä korvaamaan betonirakentamisen päästöä rakennuksen elinkaaren aikana. Toisin sanoen hiilivelan synnyttämisen vuoksi puurakentamisen negatiiviset ilmastovaikutukset elinkaaren aikana kasvavat betonirakentamisen päästöjä suuremmiksi.

Lyhyen aikavälin tuotetason tarkastelu on merkittävä tekijä myös mikäli hiilikädenjäljen mukaan ottamisella lainsäädäntöön halutaan vaikuttaa esimerkiksi Suomen hiilineutraalisuustavoitteen 2035 toteutumiseen. Tämä haaste on huomioitu myös SYKE:n laatimassa MRL:n kokonaisuudistuksen vaikutusarvioinnissa, jonka mukaan hiilikädenjäljen määrittelemiseen sisältyy ”merkittäviä epävarmuuksia esimerkiksi sen suhteen, tulisiko eloperäisen hiilen varastointi laskea rakentamisesta koituvaksi ylimääräiseksi hyödyksi, mikäli samaan aikaan metsän hiilivarasto pienenee hakkuiden seurauksena”⁴³.

⁴³ SYKE (2021). Maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistuksen ilmastovaikutusten arviointi. https://mrluudistus.fi/wp-content/uploads/2021/01/MRL_ilmastovaikutusten_arviointi_raportti_taitettu_150121.pdf



Kuva 9 Havainnollistus betonikerrostalon (yllä) ja puukerrostalon (alla) valmistuksen vaikutuksesta hiilivelan kertymiseen.

Kuva 9 kuvaa hiilinielujen ja -varastojen kertymistä raportin oletuksien perusteella alueellisella tasolla havainnollistaen muodostuvaa hiilivelkaa (ks. 4.4.1 ja liite 2). Kuva 9 on karkea yksinkertaistus, mutta se osoittaa kuitenkin, että metsillä joissa puu jätetään kaatamatta olisi potentiaalia toimia suurempana hiilivarastona kuin tilanteessa, jossa kerrostalojen raaka-aineena hyödynnetään puuta jaksollisen ja tasa-ikäisen metsänhoidon menetelmillä.

5.2.2 Vaikutukset rakentamiseen ja eri vähähiilisten rakennusmateriaalien käyttöön

MRL:n kokonaisuudistuksen ehdotuksen mukaisesti rakennuslupaa haettaessa viimeistään rakentamisen olennaisten teknisten vaatimusten mukaisuutta arvioitaessa olisi laadittava ilmastaselvitys, jossa raportoidaan rakennuksen elinkaariset ilmastovaikutukset (hiilijalanjälki + hiilikädenjälki) ympäristöministeriön arviointimenetelmällä laskettuna. Ilmastaselvitys tulisi pääsääntöisesti laatia kaikille uusille rakennuksille. Myös laajamittaisen

korjausrakentamisen yhteydessä tulisi pääsääntöisesti laatia ilmastaselvitys, jos rakennuksen energiatehokkuutta tulee parantaa korjaustyön yhteydessä. Poikkeuksen tästä muodostavat erillispientalojen korjaukset.

Oletetaan seuraavassa, että kädenjälki ja sen laskentatapa saataisiin määriteltyä pitävästi ja tasapuolisesti.

Hiilikädenjälki informaatio-ohjaajana

Mikäli hiilikädenjälki otetaan mukaan lakiin vain pakollisena lisäinformaationa ilmastaselvitykseen, se toisi pääasiallisesti esille rakennuksen positiivisia ilmastovaikutuksia, kuten energiantuotantomahdollisuuksia tai kiertotalouteen liittyviä hyötyjä. Rakennusalan yritykset voisivat käyttää tätä lisätietoa hiilikädenjäljestä esimerkiksi markkinoinnissaan ja viestinnässään ja saada näin positiivista huomiota ja markkina-argumentaatiota, ja tätä kautta mahdollisesti lisätä kädenjälkivaikutuksiltaan positiivisten rakennustuotteiden ja itse rakennusten kysyntää. Hiilikädenjälki ilmastaselvityksessä olisi tällöin osaltaan luomassa ilmastoystävällisen markkinan syntyä.

On tosin vaikea nähdä, että rakennusten tyyppisiä investointeja markkinoitaisiin ”hyvällä kiertettävyydellä” tai ”purkuvaiheen tehokkaalla karbonatisoitumisella”. Rakennuksen pitkäaikainen hiilivarasto on kenties selkein markkinoinnissa hyödynnettävä informaatio, mutta edellä esitetyn tutkimuksen valossa kestävästi hoidetuista metsistä saatujen puutuotteiden hiilivarastoja ei kuitenkaan tulisi voida esittää ilman biogeenisen hiilivelan huomioimista. Kylliksi ei voida painottaa yhteisesti hyväksytyyn tasapuolisen laskentamenetelmän ja itse ilmoittamistavan tärkeyttä. Tällä hetkellä kuitenkin hiilikädenjäljen heikko määrittely ja vapaa soveltaminen mahdollistavat kädenjäljen suorastaan vääristelevän käytön esimerkiksi markkinoinnissa.

Positiivisten vaikutusten ilmoittaminen voi kannustaa alan toimijoita kehittämään uudenlaisia pitkäaikaista hiilivarastoa ja hiilikädenjälkeä edistäviä ratkaisuja rakennusteollisuudessa, myös muiden materiaalien kehittämisessä. Esimerkkinä muista hiilivarastosta ja hiilikädenjälkeä edistävästä materiaaleista voisivat olla erilaiset hiilensidontaratkaisut betoniin, tai esimerkiksi hiilen varastointi muovituotteisiin. Hiilikädenjäljen ilmoittamisella voi olla myös positiivista brändi- ja viestintähyötyä tuotteille, joilla on suuri hiilikädenjälki. Hiilikädenjäljen ilmoittaminen voi auttaa kuluttajia valitsemaan tuotteita, joilla on suurempi positiivinen vaikutus ilmastonmuutokseen.

Mitä tapahtuisi, jos hiilikädenjäljelle asetettaisiin raja-arvo?

MRL:n nykyisessä uudistuksessa hiilikädenjäljelle ei olla asettamassa raja-arvoja, kuten hiilijalanjäljelle. Mikäli hiilikädenjäljelle kuitenkin tulevaisuudessa asetettaisiin sitova raja-arvo, esimerkiksi siten että rakennusluvan saaminen riippuisi hiilikädenjäljen suuruudesta, joutuisi rakennusala etsimään keinoja raja-arvotason saavuttamiseksi. Tällä saattaisi olla vaikutuksia rakennusmateriaalien päästöjen kannalta keskeisten rakennusmateriaalien⁴⁴ ja puun valintoihin rakennusta suunniteltaessa seuraavasti:

⁴⁴ Ks. Esim. RT:n hiilitiekarttatyö <https://www.rakennusteollisuus.fi/tiekartta>

- Uudelleenkäytön ja kierrätyksen nettohyödyt (EN 15804) ohjaisivat käyttämään ratkaisuja, joiden kierrätyskyky on suuri. Kysyntä kohdistuisi todennäköisesti lähinnä teräkseen tai sulattamatta tai muokkaamatta uudelleenkäytettäviin teräsrakenteisiin sekä betoniin; molempien materiaalien kierrätysaste on jo nyt luokkaa 80-100%. Puusta sen sijaan 90% poltetaan kierrättämisen tai uudelleenkäytön sijaan. Mikäli polttaminen lasketaan kierrätykseen, myös puuta suosittaisiin. Keskimääräisten energiantuotannon päästökerrointen pudotessa energian korvaamisen substituutiovaikutus pienenee.
- Mikäli kestävästi hoidettujen metsien puutuotteiden hiilineutraalisuusoletusta (EN 16485) ei oikaista, niistä peräisin olevien pitkäikäisten eloperäisten hiilivarastojen huomioiminen hiilikädenjälkenä kannustaa puun käyttämiseen rakennusmateriaalina.
- Karbonatisoituminen rakennuksen käytön aikana ja purun jälkeen (EN 16757) ohjaavat todennäköisesti voimakkaammin karbonatisoituvien betonilaatujen kehittelyyn. Ei ole selvää, miten tämä vaikuttaisi betonin hiilijalanjälkeen.
- Rakennuksen ylijäämäenergiantuoton huomioiminen ohjaa erilaisiin rakennuksen energiantuottoratkaisujen yleistymiseen ja talotekniseen tuotekehitykseen. Ratkaisusta saatu hyöty edellyttää viime kädessä, että energian siirto esimerkiksi sähköverkossa on aidosti mahdollista. Mahdollisen tuotannon mittakaava on suhteellisen vaatimaton: jos esim. jokainen Suomen kerrostalo varustettaisiin 14 kW aurinkovoimalalla ja jokainen rivitalo 2.8 kW voimalalla, pystyttäisiin vuodessa tuottamaan 4.4 % Suomen asumisen sähkökäytöstä⁴⁵. Lisäksi aurinkokennojen tuotanto aiheuttaa merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjä tuotantomaisissa.
- MRL:n hiilikädenjälkimenetelmässä on mahdollista huomioida myös muita eloperäisiä hiilivarastoja kuin puun hiilivarasto ja myös teknisiä hiilivarastoja rakennuksissa, kuten CO₂-injektoidut rakennuselementit tai hiilen varastointi muovituotteisiin. Nämä uudentyyppiset hiilivarastot ja niiden huomiointi laskennassa voivat tasoittaa eri vähähiilisten rakennusmateriaalien välisiä eroja hiilikädenjäljen suuruutta arvioitaessa. Näiden uudentyyppisten rakennusmateriaalien kehittymiseen hiilikädenjälkilaskennan mukaan ottaminen ilmastoselostukseen voisi olla hyvä kannustin.

Edellisistä osatekijöistä ennustettavin vaikutus on uusiutuvan energian keruun tehostuminen rakennuksissa. Erityisesti mikäli puun biogeeninen hiilijalanjälki huomioidaan, jää kokonaisuutena epäselväksi, millaisia vaikutuksia vaatimuksella olisi pääarakennusmateriaaleihin ja keskeisimpiin rakentamisen päästölähteisiin.

Mitä jos hiilikädenjälki olisi julkisen rakentamisen hankintakriteeri?

Julkisissa hankinnoissa voidaan hankittavalle rakennusurakalle esittää erilaisia hankintakriteerejä, jotka tarjoajien tulee täyttää joko kynnusehtomaisesti tai niin, että kriteerejä vertaillaan jollain tavalla valittaessa kokonaisedullisinta tarjousta. Silloin korkeamman

⁴⁵ https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiili_seminaaries/raportit_lopulliset/rt-raportti-2_vahahiilisyyden-mahdollisuudet_final.pdf

hiilikädenjäljen laskennallisesti saava hanke voisi voittaa alhaisemman hiilikädenjäljen hankkeen, mikäli ne muuten olisivat tasavertaisia kilpailutuksessa.

Hankintalain tavoitteena on tehostaa julkisten varojen käyttöä, edistää laadukkaiden innovatiivisten ja kestävien hankintojen tekemistä sekä turvata yritysten ja muiden yhteisöjen tasapuoliset mahdollisuudet tarjota tavaroita, palveluja ja rakennusurakoita julkisten hankintojen tarjouskilpailuissa.

Tarkastellaan tilannetta, jossa mahdollisimman suuri hiilikädenjälki olisi yhtenä tarjousten arviointikriteerinä.

- Mikäli rakennuksen materiaali ja uusiutuvan energian ratkaisut on tarjouspyynnössä kiinnitetty, ei tarjoajalle käytännössä jää juurikaan liikkumavaraa kriteerin suhteen. Käytännössä tarjoaja voi vain valita tiettyjen materiaalien ja taloteknisten laitteiden sisältä sellaiset, joiden hiilikädenjälki on suurin.
- Mikäli materiaalit ovat vapaat, urakkatyypit rajautuvat, sillä suunnittelu on tilattava osana hanketta. Jaetut urakat ja kokonaishintaiset urakat muuttuvat mahdottomiksi, ja työ voidaan tarjota vain KVR-urakkana, projektinjohtourakkana tai allianssimallina. Erityisesti allianssimallit ovat toistaiseksi vähän käytetty muoto, KVR-urakoissa tilaaja ei voi vaikuttaa juurikaan lopputulokseen eikä urakkamuodossa voida käyttää kaupallisia kannustimia, ja projektinjohtourakoissa myös tilaaja joutuu usein kantamaan riskiä. Rakennusmateriaalien hiilikädenjälkivaikutusten ollessa epäselviä ainoa todellinen vaikutus lienee rakennuksen energiantuotannon merkittävä kasvu, jolla kuitenkin on edellä kuvattuja haasteita. Todennäköisesti myös maankäytön suunnittelujärjestelmässä tarvittaisiin ainakin asemakaavatasolla muutoksia, koska rakennusten rakenne- ja ulkonäkökriteereitä ei voitaisi antaa.

Erityisesti julkisilla tahoilla tulisi olla voimakkaasti agendalla kansallisista päästötavoitteista huolehtiminen. Julkisia hankintakriteereitä asetettaessa tulisikin erityisesti huomioida rakennustuotteiden koko elinkaari, esimerkiksi puurakentamisen tapauksessa myös metsän hiilivarastossa tapahtuvat muutokset. Mikäli näin ei toimita, hankkeen kokonaisilmastovaikutuksesta ei saada todenmukaista kuvaa.

Yhteenvetona voidaan todeta, että hiilikädenjäljen – vaikka selkeästi määritellyn ja tasapuolisenkin määritelmänkin mukaisen – lisääminen rakentamisen sääntelyyn pakollisena elementtinä tai esimerkiksi julkisten hankintojen kriteerinä tuskin tuottaisi merkittäviä vaikutuksia rakennusmateriaalien käyttöön, mutta esimerkiksi tarjouskilpailuissa se monimutkaistaisi sekä hankintaa että tarjoamista sekä rajaisi erilaisia urakkamuotoja pois.

5.2.3 Vaikutukset Suomen hiilineutraalisuustavoitteeseen 2035

Hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamiseksi Suomen päästöjen ja nielujen tulee olla tasapainossa vuonna 2035. Tavoitteen saavuttaminen vaatii toimia sekä päästöjen vähentämisessä että nettonielun kasvattamisessa. Keskeisintä hiilineutraalisuustavoitteen toteuttamisessa on päästöjen vähentäminen. Päästöjä on vähennettävä kaikilla sektoreilla, esimerkiksi toimialakohtaisten vähähiilisyiden tiekarttojen viitoittamalla polulla. Päästövähennyksiä tulee tehdä vuoden 2018 tasosta noin 35 Mt CO₂e vuoteen 2035 mennessä, ja vastaavasti

maankäyttösektorin nettonieluja tarvitaan vähintään 21,4 Mt CO₂e vuonna 2035⁴⁶. Tämä tarkoittaa nettonielun merkittävää kasvattamista nykytasosta (Suomen nettonielu on ollut vuosina 2015-2018 välillä 9,8 – 18,9 Mt CO₂ vuosittain), eli nettonielua tulisi kasvattaa nykytasosta vähintään n. 3 Mt CO₂e vuoteen 2035 mennessä. Mikäli puun käyttöä huomattavasti lisätään nykyisestä, voi metsien hiilinielu ja -varasto pienentyä tällä aikajänteellä sen verran, että entistä enemmän päästövähennyksiä tulee tehdä muilla sektoreilla, joissa päästövähennysten tekeminen on kalliimpaa. Nettonielun vähenemisen myötä tarvittavien lisäpäästövähennysten kustannukset voivat nousta hyvin korkeiksi ja on riski että hiilineutraalisuustavoite jää saavuttamatta.

Rakennusten eloperäiset hiilivarastot lasketaan mukaan kasvihuonekaasuinventaarioon LU-LUCF-sektorilla, ja tätä kautta rakennusten hiilikädenjäljen suuruudella on myös vaikutusta Suomen hiilineutraalisuustavoitteen toteutumiseen. Inventaario ottaa huomioon myös muutokset metsien hiilinieluissa ja -varastoissa, joten balanssin löytyminen rakennusten ja metsien hiilivarastojen välillä on tärkeää hiilineutraalisuustavoitteen toteutumisessa. Vaikka lisähakkuiden seurauksena saadaan jonkin verran lisättyä puutuotteiden hiilivarastoa, se ei muuta isoa kuvaa, jos runkopuusta päätyy nykyiseen tapaan noin 60 prosenttia selluteollisuuteen ja jolloin puutuotteiden hiilinielu on alle 10 prosenttia vuotuisen hakuun hiilimäärästä⁴⁷.

5.2.4 Hyvän sääntelyn kriteerit

Klassisen määritelmän mukaan sääntely on julkisen vallan pysyvää ja keskitettyä kontrollia yhteiskunnallisesti tärkeinä pidettyihin toimintoihin. Viisas sääntely on sääntelyä, joka on aidosti tarpeellista ja jonka hyödyt ylittävät selkeästi sen haitat. Lähtökohtaisesti on selvää, että säädösten tulee perustua tutkittuun tietoon ja olla mm. kilpailunrajoittamissyistä teknologianeutraaleja. Tässä raportissa on kuvattu sekä hiilikädenjäljen käsitteen haasteellisuutta että sitä, että puutuotteiden metsätason hiilivaikutusten sivuuttaminen johtaa virheellisiin laskelmiin. Tietoa ja mielipiteitä asiasta on kuitenkin moniin suuntiin, eikä asiasta ole kunnollista konsensusta.

Lainsäädännön teknologianeutraalisuuden varmistamisen vuoksi olisi hyvä huomioida kaikkien materiaalien tuotantoketjun alkupään päästöt samoin periaattein, ja päästöt olisi hyvä arvioida sekä lyhyellä (esim. 15 vuoden välein) että pitkällä aikavälillä (yli 100 vuotta). Tässä työssä on esitetty evidenssiä siitä, että hiilikädenjäljen mukaan ottaminen kriteereihin tässä muodossa voi vaikuttaa eri materiaalien keskinäiseen kilpailukykyyn. Mikäli käytettäisiin tällä hetkellä tiedossa olevan MRL:n luonnostekstin määritelmää hiilikädenjäljen laskennalle, betoni- ja teräsrakentaminen näyttäytyisivät hiilikädenjäljen osalta puurakentamista negatiivisemmassa valossa, vaikka ne pohjautuisivat vähähiilisempiin vaihtoehtoihin eli niiden materiaalien päästöjä olisi vähennetty ja niiden hiilijalanjälki olisi pieni.

⁴⁶ Ilmastopaneeli (2019). Suomen Emissions Gap. Esitys Markku Ollikainen 4.10.2019.

⁴⁷ Jyri Seppälä, Markku Kanninen (2019). Metsien hakkuiden kasvattaminen ei ole ilmastoteko. <https://labor.fi/t&y/metsien-hakkuiden-kasvattaminen-ei-ole-ilmastoteko/>

Tämä kysymys kytkeytyy myös rakentamisen hiilijalanjäljen päästölaskentaan, jolle asetetaan MRL:n uudistuksessa sitovat raja-arvot. Mikäli puurakentamisen hiilijalanjäljessä ei oteta huomioon biogeenistä hiilijalanjälkeä metsien hiilivarasto- ja -nieluvaikutuksesta, ei myöskään hiilijalanjälki anna todenmukaista kuvaa kokonaisuudesta ja eri rakennusmateriaalien välisistä eroista.

Viime vuosikymmeninä on hahmoteltu monessa yhteydessä hyvän lainsäädännön kriteerejä. Lainsäädännön kriteereitä on monenlaisia, ja kriteeristöjä on useita. Esimerkiksi EU:n komission ohjeet lakien laatukriteereistä ovat seuraavat:

- Säädöksen suhteellisuus (suhteellisuusperiaate: toimenpiteen vaikutukset eivät saa ylittää sitä, mikä on tarpeen asetetun tavoitteen saavuttamiseksi)
- Sääntelyn läheisyys (kohteet osallistuneet laadintaan)
- Yhtenäisyys muuhun sääntelyyn nähden
- Oikeusvarmuus eli oikeusvaikutusten selvyys ja ennakoitavuus
- Ajanmukaisuus: laadittu ajoissa, sisältö ajanmukainen
- Sääntely antaa yleisille eduille korkeatasoisen suojan
- Sääntelyn toteutettavuus valvonnan, noudattamisen kannalta.⁴⁸

Kun verrataan MRL:n hiilikädenjälkiehdotusta näihin, voidaan todeta ainakin seuraavaa:

- Ainakin pakottavaksi laaditun hiilikädenjälkisääntelyn suhteellisuus jää monella tavalla epäselväksi: mitä tavoitellaan, mitkä ovat vaikutukset ja missä suhteessa sääntelyn vaikutukset olisivat?
- Nyt ehdotetun hiilikädenjälkisääntelyn oikeusvaikutukset eivät missään tapauksessa ole selviä tai ennakoitavia. Koko hiilikädenjäljen määritelmä on epäselvä, eri menetelmillä saadaan erilaisia tuloksia, ja laskennan ajankohta vaikuttaa tuloksiin.
- Myös sääntelyn toteutettavuus ja valvonta saattavat olla kyseenalaisia.
- Näyttää myös siltä, että puutuotteiden alkuperän pitkän aikavälin hiilineutraalisuusoletuksen soveltaminen lyhyellä aikavälillä voi vaikuttaa Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamiseen ja suorastaan vaarantaa ne. Kansainvälisten velvoitteiden toteuttaminen lienee Suomen keskeinen yleinen etu, joten sääntely tässä muodossaan ei anna yleiselle edulle suojaa.

Suomalaisen lakien laatukriteeristön ohjeistus asetusehdotusten ja päätösehdotusten osalta voidaan tiivistää seuraavasti:

- Onko ehdotuksen mukainen asetus tai päätös tarpeellinen, saavutetaanko sillä halutut tavoitteet ja onko se paras keino tavoitteiden saavuttamiseksi?

⁴⁸ Jyrki Tala (2005). Lakien laadinta ja vaikutukset. Edita Publishing Oy

- Onko ehdotuksen mukainen asetus tai päätös oikeudellisesti moitteeton sekä lakiteknisesti ja kielellisesti viimeistelty?⁴⁹

Yleisesti on varmasti tarpeellista säädellä rakentamisen hiilipäästöjä. Tässä tapauksessa kuitenkin hiilikädenjäljen lakiin sisällyttämisen tavoitteet ovat epäselvät eikä ole selvää, onko hiilikädenjäljen sisällyttäminen sääntelyyn paras keino. Jos oikeudellisen moitteettomuuden osalta edellytyksenä pidetään kiistatonta ja selkeää laskentatapaa, kriteeri ei täyty.

5.2.5 Kenelle hiilinielut ja -varastot kuuluvat sekä miten hyödyt ja vastuut jakaantuvat?

Biogeeniset hiilinielut ja -varastot nähdään kustannustehokkaana keinona hillitä ilmastonmuutosta kansainvälisesti, kansallisesti ja paikallisesti. LULUCF-laskenta huomioi päästöt koko valtion tasolla, mutta kenelle nämä hiilivarastot ja -nielut kuuluvat? Kenellä on oikeus niiden hyödyntämiseen ja onko nykyinen potentiaali muodostunut luonnollisesti vai valtion ja maanomistajien panostuksien myötä?

Yksityiset metsänomistajat omistavat metsämaasta 60 %, valtio 26 %, yhtiöt 9 % ja muut yhteisöt 6 %⁵⁰. Metsämaan puuvarannot ovat kasvaneet n. miljardilla kuutiolla 1970 luvulta lähtien. 63% kasvun lisäyksestä johtuu panostuksista metsänhoitoon ja puuntuotantoon ja 37% selittyy ympäristön muutoksella⁵¹. Keskeisiä panostuksia ovat olleet esimerkiksi soiden ojittaminen ja kuivaamisella sekä vajaatuotteisten metsien uudistaminen. Valtion metsä- ja tukipolitiikka, esimerkiksi kestävän metsätalouden rahoitusjärjestelmä (KEMERA), sekä yksityisten metsänomistajien taloudelliset panostukset selittävät siis merkittävän osan tästä kiihtyneestä kasvusta.

Kestävän metsätalouden tulee olla pitkäjänteistä sekä ylisukupolvista toimintaa, jonka tavoitteena on tasapainoilla eri näkökulmien välillä ja turvata ekologinen, sosiaalinen ja taloudellinen kestävyys. Metsien keskutilavuus on kasvanut viimeisen sadan vuoden aikana 70 m³/ha nykyiseen n. 108 m³/ha, mutta emme ole lähelläkään Suomen metsien potentiaalia, joka voi olla jopa 600 m³/ha⁵².

Biogeenisten hiilinielujen ja -varastojen merkitys on kasvanut, sillä muilla sektoreilla ei olla onnistuttu vähentämään tarpeeksi päästöjä, joten biogeeniset hiilinielut ja -varastot nähdään yleisesti kustannustehokkaana toimenpiteenä hiilineutraalisuutta tavoitellessa. Metsien nykyinen potentiaali toimia hiilinieluna ja -varastona on kuitenkin pitkäjänteisten ja mittavien investointien ansiota, joita ovat tehneet niin valtio kuin yksityiset maanomistajat ja toimijat. Maanomistusoikeuksien turvaaminen ja pitkäjänteinen sekä johdonmukainen päätöksenteko on erityisen tärkeää maankäyttösektorilla, jossa investointien arvo on paikkaan sidottua sekä mahdollisesti ylisukupolvista. Hiilinielujen ja -varastojen roolin lisääntyessä osana ilmastopolitiikkaa tulisi tämä monimutkaisuus kokonaisuudessaan huomioida, jotta voitaisiin taata

⁴⁹ Jyrki Tala (2005). Lakien laadinta ja vaikutukset. Edita Publishing Oy

⁵⁰ Luonnonvarakeskus (stat.luke.fi), valtakunnan metsien inventointi VMI: Metsämaan omistus

⁵¹ Jyri Seppälä, Markku Kanninen (2019). Metsien hakkuiden kasvattaminen ei ole ilmastoteko. T&Y talous ja yhteiskunta 1 | 2019

⁵² Pukkala (2017), Suomen metsissä on vähän puuta. Arvometsä.

päätöksenteon johdon- ja oikeudenmukaisuus, huomioiden metsänomistajuuteen ja hiilineluihin liittyvät vastuut ja oikeudet.

5.2.6 Ehdotuksia hiilikädenjäljen määrittelyn parantamiseksi

Lähtökohtaisesti tässä raportissa on osoitettu monta syytä, miksi hiilikädenjälkeä ei tulisi ottaa sääntelyyn mukaan. Kun laskentamenetelmät ovat vakiintuneet ja tässäkin raportissa sivutut metsätieteelliset näkökulmat huomioitu, jonkinasteista informaatiolähtöistä ohjaustapaa voitaisiin harkita.

Hiilijalanjäljen mukaan ottamisessa lainsäädäntöön nähdään kuitenkin myös mahdollisuuksia. Haastattelujen mukaan hiilikädenjäljen eli positiivisten ilmastovaikutusten mukaan ottaminen lainsäädäntöön voi luoda positiivisempaa kuvaa rakennusmateriaaleista ja rakennusten elinkaaresta, eli sillä voi olla positiivista psykologista vaikutusta alalla ja kuluttajissa. Mikäli ilmastotoimia ja rakennuksia katsotaan pelkästään hiilijalanjäljen ja päästöjen kautta, voi vaikutelma olla liiankin negatiivinen, sillä ilmastotoimien pitäisi olla lähtökohtaisesti positiivinen asia. Hiilikädenjäljessä on määritelty useita todellisia ilmastohyötyjä – esimerkiksi teräksen kierrätysshyöty on todellinen, laskettavissa ja todennettavissa. Toinen selkeä hyöty on rakennuksessa tuotettu ylimääräinen uusiutuva energia.

Suomen hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamisen kannalta on tärkeää etsiä ilmastoratkaisuja ja positiivisia ilmastovaikutuksia usealta eri sektorilta. Tästä näkökulmasta myös rakennusten positiivisten ilmastovaikutusten esiintuominen on perusteltua, ja lisää ymmärrystä ja tietopohjaa eri ratkaisujen positiivisista vaikutuksista. Positiivisten ilmastovaikutusten arvioinnissa kaikkien materiaalien ja ilmastoratkaisujen positiiviset vaikutukset tulisi arvioida samoin perustein, koko elinkaari ja myös maankäyttösektorin ilmastovaikutukset huomioiden. Täten hiilikädenjäljestä saataisiin vertailukelpoinen eri materiaalien välillä, myös lyhyellä aikavälillä kuten Suomen hiilineutraalisuustavoitteen toteutumisen arvioinnissa.

Lähtökohtaisesti hiilikädenjäljen laskentaan kehitetyt menetelmät perustuvat hiilijalanjälkien vertailuun, eli positiivisten ilmastohyötyjen määrittämiseen vertailun kautta. MRL:n kokonaisuudistuksen yhteydessä esitetty määritelmä hiilikädenjäljelle ja YM:n esittämä laskentamenetelmä perustuvat siihen, ettei hiilikädenjälkeä määritellä vertailun kautta, vaan itsenäisenä lukuna. Tämä on ongelmallista, jos halutaan tarkastella oikeasti sitä, mikä kädenjälki ja hiilivarasto on juuri kyseisen rakennuksen ansiota. Silloin pitäisi käytännössä vertailla tilannetta siihen, ettei kyseistä rakennusta olisi. Puurakentamisen osalta voidaan pohtia, tulisiko silloin vertailla tilannetta siihen, että puu jätetään kasvamaan metsään, vai siihen, että puu päättyy lyhytaikaisempaan käyttöön. Joka tapauksessa hiilikädenjälkeä tulisi vertailla johonkin, ettei päädytä tilanteeseen, että hiilikädenjälki yliarvioidaan, ja että kädenjälki tapahtuisi joka tapauksessa.

Jos päädytään tässä käsiteltyyn menetelmämuotoon, itse laskentamenetelmän määrittelyyn tarvittaisiin tarkemmat tiedot siitä, miten menetelmässä käsiteltävä aikajänne huomioidaan:

- Lasketaanko päästösäästöt eli positiiviset ilmastovaikutukset ennustetuilla tulevaisuuden teknologioilla ja potentiaaleilla esimerkiksi energiankäytön tai kierrätyksen ja uudelleenkäytön osalta, vai nykYTEknologioilla ja nykyisillä kierrätysasteilla? Tulevaisuuden teknologiat eivät ole tarkasti tiedossa, mutta ovat arvioitavissa esimerkiksi

toimialakohtaisten hiilitiekarttojen perusteella. Nykyteknologiat ja nykyiset päästöker-
toimet esimerkiksi energiantuotannossa ovat korkeammat, eivätkä ne tule säilymään
ennallaan. Mikäli arvioinnissa käytetään nykyteknologioita, ne yliarvioivat tulevaisuu-
den päästösäästöpotentiaalin. Esimerkiksi energiateollisuuden päästökertoimien tie-
detään muuttuvan merkittävästi lähivuosisikymmeninä⁵³, ja osa muutoksista on jo kir-
jattu lakiinkin.

- Ehdotamme jonkinlaista tulevaisuuden päästökehityksen huomiointia kädenjäljen laskentaan, jotta tulevaisuuden positiivisia ilmastovaikutuksia ei yliarvioitaisi. Tulevai-
suuden kehitykseen kuvaamiseen tarvittaisiin vähintään skenaariot, joita kaikki nou-
dattavat laskennassa yhtenäisellä tavalla.
- Oma kysymyksensä on, miten varmistutaan siitä, että tulevaisuudessa luvatuksi tullut
hyöty realisoituu: onko tuotetulle ylijäämäenergialle siirto- tai varastointikapasiteettia,
murskataanko betoni, kierrätetäänkö materiaalit luvatusi? Käytännössä voimme vain
arvalla.

Kuten laskelmissa edellä todettiin, hiilikädenjäljen summaaminen tai jakaminen eri vuosille
on ongelmallista, koska hyödyt tapahtuvat eri ajanhetkinä. Laskentaan tulisi pohtia parempi
yksikkö, jolla tulos ilmoitetaan, tai vaihtoehtoisesti hiilikädenjälki olisi hyvä ilmoittaa eri aika-
väleillä. Vuosittainen luku kuvaa huonosti kokonaiskädenjälkeä, sillä kädenjälki ei ole ole-
massa tasaisesti koko tarkastelujakson (rakennuksen elinkaaren) aikana. Tärkeää olisi aina
tuloksia raportoitaessa ilmoittaa mikä arviointiaika on kyseessä, jotta tulokset olisivat keske-
näin vertailukelpoisia. MRL:n luonnokseen ollaan lisäämässä 100 vuoden aikajaksoa hiili-
kädenjäljelle erityisesti hiilivarastojen osalta, joten tätä ajallista ulottuvuutta ollaan huomioi-
massa ainakin osittain.

6 Pohdinta

6.1 Hiilikädenjälki on kehittyvä mittari

Hiilikädenjälki sinänsä on moninaisesti määritelty käsite. Yleensä sillä tarkoitetaan toiminnan
ilmastopositiivista vaikutusta, joka voi olla esimerkiksi muiden toimijoiden hiilijalanjäljen pie-
nentämistä mutta myös hiilivarastojen luomista. Väliaikaisella hiilen varastoinnilla arvioidaan
olevan merkitystä ilmastonmuutoksen kiireellisessä hillinnässä – pitkällä tähtäyksellä niillä ei
ole vaikutusta ilmakehän hiilidioksidipitoisuuksiin.

Hiilikädenjälki on myös mittarina uusi ja kehittyvä. Viimeaikaisia kädenjälkilaskennan kehi-
tyssuuntia ovat lähestymistavat, joissa kädenjälki määritellään perusratkaisun ja uuden rat-
kaisun hiilijalanjälkien erotuksena tai esimerkiksi erona hiilivaraston koossa. Oleellista tässä
on, että kädenjälki syntyy tällöin vertauksena toiseen tapaan toimia. Toinen suuntaus

⁵³ Esimerkiksi Energiateollisuuden mukaan päästöt vähenevät jo nopeammin kuin tiekartassa oli arvoitu vuosi
sitten: [https://www.epressi.com/tiedotteet/energia/energiateollisuuden-leskela-hallituksen-ilmasto-ja-energia-
strategiaan-pitaa-kirjata-esitys-menettelysta-vahahiilisyystiekarttojen-jatkuvaksi-paivittamiseksi.html](https://www.epressi.com/tiedotteet/energia/energiateollisuuden-leskela-hallituksen-ilmasto-ja-energia-strategiaan-pitaa-kirjata-esitys-menettelysta-vahahiilisyystiekarttojen-jatkuvaksi-paivittamiseksi.html)

hiilikädenjäljen määrittelyssä on vertausriippumaton lähestymistapa, jossa kädenjäljeksi ymmärretään tehtyihin valintoihin absoluuttisesti liittyvät ilmastohyödyt.

Ympäristöministeriö (ja MRL:n ehdotuksessa viitattu ympäristöministeriön asetuksena annettava hiilijalanjäljen arviointimenetelmä) lähtee siitä, että rakennuksen hiilikädenjälki viittaa sellaisiin ilmastohyötyihin, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta. Näin vältetään suora vertailu (määrittelemättömään) perusratkaisuun, mutta joudutaan määrittelemään ilmastohyödyt epäsuorasti sisällyttämällä laskentaan esimerkiksi uudelleenkäytön ja kierrätyksen kautta purkuvaiheessa vältetyt päästöt, rakennuksen tuottama uusiutuva energia sekä rakennusmateriaaleihin sitoutunut eloperäinen hiili ja rakennuksen käyttö- ja purkuvaiheissa sitoutuva hiilidioksidi. Käytännössä näin laskettaessa rakennus tulee verratuksi itseensä siinä tapauksessa, jossa nämä ilmastohyödyt eivät realisoituisi, tai siihen, että rakennusta ei rakennettaisi.

Lähestymistavan hyöty on vapautuminen referenssitapauksen määrittelystä, mutta samalla syntyy uusia haasteita. Näin määritellyn hiilikädenjäljen hyödyt realisoituvat osittain vasta tulevaisuudessa ja ovat epävarmoja. Kierrätysvaiheen hyödyn realisoituminen edellyttää sitä että kierrätys todella tapahtuu, ja ylimääräisen uusiutuvan energian hyödyntäminen edellyttää esimerkiksi energiansiirtoratkaisuja, joilla siirto todella tapahtuu. Myös hiilivaraston käsitteleminen summaamalla varastoitu määrä hiilipäästöjen välttämisen vaikutusten kanssa on ongelmallista. Varastoinnin osalta kyse on vain vapautumisen siirtämisestä, eikä suinkaan päästön välttämisestä, eli nämä eivät ole täysin yhteismitallisia suureita.

Luvussa 5 on sovellettu kahta erilaista hiilikädenjälkimenetelmää samojen kerrostalojen hiilikädenjäljen laskentaan. Tulokset osoittavat, että kun puurakentamisen biogeeninen hiilivelka (kuten se tässä työssä on määritelty) huomioidaan, vertaavalla menetelmällä lasketut ranka- ja CLT-rakenteisten puukerrostalojen hiilikädenjäljet kääntyvät negatiivisiksi eli niitä ei ole. Tapaustutkimusten 1 ja 2 hiilijalanjäljistä voidaan arvioida, että mikäli biogeenistä hiilivelkaa ei huomioida, puutaloille muodostuu positiivinen hiilikädenjälki. MRL:n menetelmällä laskemalla hiilikädenjäljet muodostuvat positiivisiksi, mutta niiden suuruus riippuu merkittävästi oletetusta purkuajankohdasta. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että mitä myöhemmin talo puretaan, sitä pienemmän keskimääräisen päästökertoimen energiantuotantoa puun poltossa tuotettu energia korvaa.

Menetelmien välinen tulostavaihtelu demonstroi hiilikädenjälkilaskennan yleistä ongelmaa eli käsitteen ja menetelmien vakiintumattomuutta. Ajankohdan vaikutus puolestaan demonstroi selkeästi MRL:n ehdotukseen liittyviä epävarmuuksia ja haasteita. Se, että biogeenisen hiilivelan huomioiminen muuttaa vertaavan menetelmän tuloksen, kertoo siitä, että biogeenisen hiilivelan merkitys tarkastelussa on iso.

6.2 Ovatko nykyiset puutuotteiden elinkaarilaskennan linjaukset perusteltuja?

Kirjallisuudessa ja metsäntutkijapiireissä puun käytön hiilineutraalisuusoletus on kohdannut enenevää kritiikkiä. Pääsyitä kritiikkiin ovat tarkasteluajankänteen vaikutus asiaan sekä se, että Suomen metsät ovat biomassan hehtaaritilavuuden mielessä kaukana suurimmasta mahdollisesta hiilivarastosta. Pitkällä aikajänteellä, voidaan sanoa, että puun käyttö on

hiilineutraalia, mikäli metsien riittävästä kasvusta huolehditaan. Lyhyemmällä tarkasteluajalla oletuksen oikeellisuus on kuitenkin kyseenalaistettu – useat metsän- ja ilmastotutkijat ovat sitä mieltä, että lyhyellä aikavälillä kestävätkin metsähakkuut synnyttävät metsään hiilivelkaa, joka ei korjaannu alle 100 vuoden aikajänteellä. Tämä johtuu siitä, että metsän kasvu ei ole salamannopeaa, vaan metsän kasvatuksessa tarvittavat kiertoajat ylittävät kiireellisen ilmastomuutoksen hillinnän tarkasteluajajänteet.

Tämän raportin luvussa 4 on kuvattu hakkuiden vaikutuksia metsän hiilitaseeseen. Lisäksi luvussa 4 on ilmeisesti ensimmäistä kertaa Suomessa liitetty CLT- ja rankarakenteisen kerrostalon hiilijalanjälkeen biogeenisen hiilivelka eli metsän pienenevän hiilinielun vaikutus. Tulokset osoittavat, että kun näin tehdään, puu- ja betonirakenteisen kerrostalon kokonaishiilijalanjäljet muodostuvat pitkällä aikavälillä suuruusluokaltaan samanlaisiksi, tai niiden suuruusjärjestys jopa muuttuu. Nykyisten elinkaarilaskentamenetelmien oletukset lähtevät siitä, että tällaista laskentaa ei saisi tehdä. Standardeihin ja menetelmiin sisältyvä alueellisen tasapainon oletus on oikeuttanut käsittelemään puuraaka-ainetta hiilineutraalina, jolloin esimerkiksi hiilikädenjälkilaskennassa metsästä siirretyn hiilivaraston saa laskea hyödyksi mutta metsälle hakkuilla aiheutettuja hiilensidontamuutoksia ei tarvitse huomioida.

Raportin kokonashiilijalanjälkilaskennan tarkoituksena oli tehdä eräänlainen päänavaus elinkaariarvioinnin ja hiilijalanjälkilaskennan kehittämiseksi ja laajentamiseksi, jotta saisimme kokonaisvaltaisemman kuvan puun käytön nettoilmastohyödyistä. Laskentaesimerkki on väistämättä teoreettinen ja yksinkertaistettu ja sen tulokset riippuvat paljolti tehdyistä oletuksista ja käytetyistä parametreista. Toiveena on, että aihe saisikin ansaitsemaansa huomiota sekä tutkimusorganisaatioissa, että poliittisessa päätöksenteossa ja johtaisi laajempaan kehitysohjelmaan kohti yhdenmukaista ja kokonaisvaltaista puun käytön ilmastovaikutusten arviointia. Tässä avainasemassa on puun käytön elinkaariarvioinnin kehittäminen niin, että arviointi huomioisi vaikutukset metsän hiilenkiertoon sekä vaikutusten ajallisen ulottuvuuden.

6.3 Puurakentamisen substituutiovaikutus

Puun käytön ilmastohyödyt riippuvat voimakkaasti siitä, mitä puumateriaalilla korvataan. Mikäli puun substituutio vähentäisi fossiilisia hiilipäästöjä enemmän kuin hakkuut synnyttävät hiilivelkaa, olisi metsien hakkaaminen perusteltua ilmastonäkökulmasta. Substituutiovaikutuksia ei huomioida MRL:n luonnoksessa esitettyssä hiilikädenjäljen määritelmässä siksi, että määritelmä ei perustu vertailuun. Lisäksi energian ja kierrättämällä korvattavien rakennusmateriaalien päästökertoimet tulevaisuudessa ovat epävarmoja, ja osa menetelmässä lasketuista päästövähennyksistä toteutuu vasta rakennuksen elinkaaren aikana tai kun rakennus puretaan, eli kiireellisen ilmastomuutoksen hillinnän kannalta liian myöhään.

Luvussa 4 laskettu puu- ja betonirakennusten kokonashiilijalanjälki tuo laskentanäkökulmat yhteen ja osoittaa, että tapausesimerkeissä substituutiovaikutus ei riitä kattamaan biogeenistä hiilivelkaa. Kun ollaan luomassa lakitason sääntelyä, edellä kuvatut epävarmuudet on tunnustettava ja huomioitava. Tieteellinen tieto metsähakkuiden lyhyen aikavälin, so. nyt puheena olevan kiireellisen ilmastomuutoksen hillinnän aikajänteeseen suhteen, on muutoksessa. Lisäksi erilaiset hiilikädenjälkimenetelmät johtavat huomattavan erilaisiin tuloksiin. Koska

vakiintuneita menetelmiä ei ole, joudutaan kysymään, miksi laskelmia pitäisi tehdä juuri yhdellä tietyllä menetelmällä, tai miksi hiilikädenjälki halutaan määritellä juuri yhdellä tietyllä tavalla.

6.4 Metsähakkuut ja kansalliset päästötavoitteet

Useat haastatellut tutkijat olivat sitä mieltä, että metsähakkuiden kasvattaminen voi johtaa jopa metsänielujen merkittävään pienenemiseen kansallisesti, millä on merkitystä Suomelle asetettujen kansallisten päästötavoitteiden saavuttamisessa. Nettohiilinielun väheneminen aiheuttaa painetta lisätä päästövähennyksiä muilla sektoreilla, ja päästövähennysten lisääminen aiheuttaa merkittäviä lisäkustannuksia.

Suomen metsät ovat nuoria ja harvoja, ja joidenkin arvioiden mukaan Suomen metsiin mahtuisi jopa kolminkertainen määrä puubiomassaa hehtaarille. Myös siitä, mikä merkitys tällä on hiilen kokonaissidonnalle, kiistellään. Useat tutkijat ovat sitä mieltä, että mm. juuri metsien keskimäärin nuoren iän vuoksi paras ilmastoteko olisi jättää puu kasvamaan metsään. Tulevaisuus näyttää, näemmekö jopa hakkuista pidättyville metsänomistajille maksettavia hiilinielukorvauksia. Ensimmäisiä indikaatioita tästä on jo, sillä yksityisille maanomistajille tuli haettavaksi vuoden 2021 alussa joutoalueiden metsitystuki⁵⁴, jonka tavoitteena on lisätä metsien hiilensidontaa ja vähentää maankäyttösektorin kasvihuonekaasupäästöjä Suomessa.

6.5 Hiilikädenjälki sääntelyssä

Keskeisiä haasteita hiilikädenjäljen sisällyttämiselle sääntelyyn on siis kaksi:

- 1) Rakennusmateriaaleihin sisältyvän eloperäisen hiilen käsittely standardeissa, elinkaarilaskentamenetelmissä (ja ehdotetussa hiilikädenjälkimäärittelyssä) huomioi vailinaisesti sen, että metsästä poistuu hakkuissa hiilensidontakapasiteettia.
- 2) Hiilikädenjälki on vakiintumaton käsite ja esitettyyn laskentamenetelmään liittyy monia haasteita ja epävarmuuksia.

Näiden haasteiden seurauksena syntyy useita muita haasteita, jotka liittyvät yhtäältä hyvän sääntelyn ominaisuuksiin ja toisaalta jopa siihen, miten Suomessa saavutamme kansalliset päästövähennystavoitteemme.

6.6 Miten hiilikädenjälkeä voidaan kehittää?

Kun hiilikädenjäljen määritelmää kehitetään, hiilikädenjäljen ”lisäisyyden” määrittely on keskeistä – määritelmässä tulee olla selkeää, mikä positiivinen ilmastovaikutus on konkreettisesti kyseisen rakennushankkeen ansiota. Selkeitä lisäisiä ilmastovaikutuksia ovat mm.

⁵⁴ <https://mmm.fi/metsat/metsatalous/metsat-ja-ilmastonmuutos/joutoalueiden-metsitys>

rakennuksessa tuotettu ylijäävä uusiutuva energia ja uudelleenkäytön ja kierrätyksen hyödyt. Hiilivarastojen todellinen lisäisyys on haastavampi asia, ja hiilivaraston mahdollisimman konkreettinen ja todenmukainen määrittely on tärkeää. Hiilivarastojen lisäisyyden osalta tulisi pohtia verrataanko tilannetta johonkin, esimerkiksi puun käyttöä lyhytaikaiseen puutuotteen/energiaksi tai puun jättämistä metsään puurakennuksen sijaan.

Jos menetelmät rakentuvat standardien varaan, on varmistuttava siitä, että standardit ovat ajantasaisia ja kohtelevat materiaaleja tasa-arvoisesti. Raportissa on saatu näyttöä siitä, että standardeissa määritelty kieltä kohdentaa metsän kasvavaa hiilivarastoa puutuotteille ei ole välttämättä oikein. Pahimmillaan tämä saattaa aiheuttaa sen, että Suomen hiilineutraalisuustavoitteen 2035 saavuttaminen vaikeutuu.

7 Yhteenveto

Tässä työssä on selvitetty mitä vaikutuksia olisi sillä, että maankäyttö- ja rakennuslain uudistuksen yhteydessä lakiin sisällytettäisiin rakennuksen hiilikädenjälki jossain muodossa.

Keskeisiä kysymyksiä on kaksi: Yhtäältä on haluttu selvittää, miten puutuotteiden hakkuista syntyvää muutosta metsän hiilinieluun tulisi käsitellä yleisesti ja erityisesti puurakentamisessa. Toisaalta on arvioitu, millaisia vaikutuksia hiilikädenjäljen tyyppisen argumentin sisällyttämisellä lakitason sääntelyyn olisi.

Tällä hetkellä elinkaariarvioinnin laskentastandardit lähtevät siitä, että puutuotteiden vaikutuksia metsän hiilinieluihin ei tarvitse huomioida, kunhan metsä on kestävästi hoidettua. Tässä työssä esitetyt kirjallisuuden ja tutkijahaastattelujen näkökulmat kyseenalaistavat tätä lähtökohtaa. Työssä on myös ensimmäistä kertaa Suomessa yhdistetty rakennustasolla kvantitatiivisesti rakennuksen standardien mukaisesti laskettuun hiilijalanjälkeen biogeeninen hiilivelka eli puutuotteiden edellyttämien hakkuiden vaikutus metsän hiilinieluihin ja -varastoihin. Tehtyjen tapaustutkimusten tulokset osoittavat, että näin laskettuna, pitkällä aikavälillä puurakennuksen kokonaishiilijalanjälki jopa ylittää betonirakennuksen kokonaishiilijalanjäljen.

Jos metsien hakkuumääriä kasvatetaan nykyisestä esim. metsästrategian mukaisesti yli 80 milj. kuution vuodessa, aiheutetaan hiilivelka, jota ei voida korvata alle 100 vuoden aikajännteellä. Tämä on ristiriidassa Suomen ilmastotavoitteiden kanssa. Puurakentamisen lisääminen ei kuitenkaan lisää Suomen metsien hakkuumääriä merkittävästi, jolloin sillä on todennäköisesti pieni vaikutus ilmastotavoitteisiin. Tutkijat olivat myös yhtä mieltä siitä, että koska puurakentamisella voidaan tuottaa pitkäikäisiä hiilivarastoja, se on ilmaston kannalta suositeltavampaa puun käyttöä, kuin käyttää sitä lyhytikäisiin tuotteisiin tai energiaksi. Puutuotteiden elinkaariarviointia tulisi kehittää ottamaan huomioon vaikutus metsien hiilinieluihin ja hiilivarastoihin, hiilivaikutusten ajoittuminen sekä yhdenmukaistaa käytännöt vertailuskenarioiden osalta (ks. kappale 4.2.).

Myös hiilikädenjälkilaskennassa sekä vertaavat että absoluuttiset laskentamenetelmät ohittavat vaikutukset metsän hiilinieluihin. Kun vaikutukset huomioidaan, vertaavalla menetelmällä laskettuna betonirakennuksen hiilikädenjälki on käsitellyissä tapaustutkimuksissa puurakennusta isompi. Absoluuttisessa menetelmässä puurakennusten hiilikädenjälki

puolestaan riippuu voimakkaasti rakennuksen purkuajankohdasta. Absoluuttiseen menetelmään, jollainen myös MRL:ään ehdotettu laskentatapa on, liittyy myös monia epävarmuuksia ja mahdollisesti myös epäloogisuuksia. Menetelmässä summataan vaikutuksia, jotka tapahtuvat eri aikoihin, sekä myös vältettyjä päästöjä ja väliaikaisesti varastoitua hiiltä, jotka eivät ole missään tapauksessa yhteismitallisia. Lisäksi tulevaisuudessa tapahtuvat päästösäästöt ovat epävarmoja ja kiireellisen ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta liian myöhäisiä.

Rakennusten ja rakentamisen positiivisten ilmastovaikutusten demonstrointi tavalla tai toisella on varmasti perusteltu tavoite. Tässä työssä esitetyn valossa pidämme kuitenkin huomattavan haasteellisena sitä, että näin keskeneräinen ja perusteiltaan kiistanalainen laskentatapa otettaisiin kansallisen lainsäädäntöön. Väärä ja perusteeton huomioiminen ilman lisä-analyysejä saattaa lyhyellä aikavälillä jopa vaarantaa Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamisen.

Mikäli hiilikädenjälki päätettäisiin lainsäädäntöön ottaa, ainakin seuraaviin asioihin tulisi kiinnittää huomiota:

- Sääntelyn tulee olla informatiivista, ei pakottavaa.
- Hakkuiden vaikutukset metsän hiilinieluihin tulee käsitellä perustellusti niin, että materiaaleja käsitellään tasapuolisesti ja teknologianeutraalisti
- On varmistuttava siitä, että hiilikädenjälkilaskenta sovitetaan yhteen Suomen hiilineutraalisuustavoitteiden tarkastelun kanssa
- Hiilikädenjälkilaskentaa tulee selkeyttää ja vakioida. Tulee voida esittää selkeät perustelut sille, miksi juuri tiettyä menetelmää käytetään.
- Sääntelyn tulee täyttää hyvän sääntelyn kriteerit.

Liite 1: Haastatellut henkilöt ja haastattelukysymykset

- Aalto-yliopisto, Juudit Ottelin
- Helsingin yliopisto / Ympäristöministeriö, Tuomo Kalliokoski
- Helsingin Yliopisto, Anne Toppinen
- Itä-Suomen yliopisto, Timo Pukkala
- Metsäteollisuus ry, Ahti Fagerblom
- MTK, Juha Hakkarainen
- Puutuoteteollisuus, Aila Janatuinen
- Stora Enso, Lauri Linkosalmi
- SYKE, Sampo Soimakallio
- SYKE/Ilmastopaneeli, Jyri Seppälä
- WWF, Jussi Nikula
- Ympäristöministeriö, Matti Kuittinen

Haastattelukysymykset metsätutkijoille:

1. Monissa poliittisissa tulevaisuusskenaarioissa on suunniteltu puunkäytön kasvattamista mm. energiantuotantoon ja myös puurakentamiseen (esim. MRL ja rakentamisen hiilikädenjälki).

- Mitä mieltä olette puunkäytön kasvattamiseen tähtäävistä poliittisista tavoitteista?
- Miten luulette, että puunkäytön lisääminen vaikuttaa Suomen ilmastotavoitteisiin esim. hiilineutraaliustavoitteeseen 2035 mennessä?
- entä jos lisäys kohdistuisi erityisesti puurakentamiseen?

2. Mikä olisi mielestänne ilmaston kannalta paras tapa käyttää suomalaista puuta? (tässä yhtenä vaihtoehtona on myös käyttämättä jättäminen eli hakkuiden vähentäminen)

- Täydentävä kysymys : mikä olisi ilmaston kannalta optimaalinen puutuotepaletti? (eri tuotetyyppien suhteelliset osuudet, energiakäyttö, massateollisuuden tuotteet, puurakentaminen)
- entä puunkäytön volyymi? (tulisiko nykyisiä hakkuumääriä pienentää vai onko varaa vielä kasvattaa?)

3. Nykyisissä EN ja PCR standardeissa koskien sahatavaraa, puutavaran katsotaan olevan hiilineutraalia, jos se on peräisin kestävästi hoidetuista metsistä. Tämä perustuu alueellisen tasapainon oletukseen, jossa hakattua metsää kohden (ja sen vähentyneitä hiilivarastoja ja -nieluja) kohden on jossain metsä, jonka nielut ja varastot kasvat vastaavasti. ts. systeemi on pitkällä aikavälillä tasapainossa. Standardit vaikuttavat mm. puutuotteiden LCA-analyysien laskentaan. Puun hiilineutraaluisoletusta kohtaan on esitetty myös paljon kritiikkiä.

- Mitä mieltä olette tästä oletuksesta ja sen perusteella tehdyistä puutuotteiden elinkaariarvioista (LCA)?
- Miten elinkaariarviointia voisi parantaa?

4. Millaisia vaikutuksia puurakentamisen lisäämisellä on ilmastoon lyhyellä ja pitkällä aikavälillä?

- Paljonko sahatavarasta päätyy nykyisellään lyhytaikaiseen ja pitkäaikaiseen varastoon?
- Miten tutkimuksessa on käsitelty/määritelty puutuotteiden ja puurakennusten hiilivarastoja ja niiden pysyvyyttä?

1. Mitä kirjallisuutta suosittelisitte aiheeseen liittyen?

Haastattelukysymykset muille asiantuntijoille

1. Mikä on puurakentamisen ilmastovaikutus siinä tapauksessa, että puutuotteiden käytössä huomioidaan koko elinkaari metsien hiilinieluista ja -varastoista alkaen? Onko vaikutus erilainen lyhyellä ja pitkällä aikavälillä (esimerkiksi Suomen hiilineutraalisuustavoitteen 2035 näkökulmasta)?
2. Miten tutkimuksessa on käsitelty puutuotteiden ja puurakennusten hiilivarastoja ja niiden pysyvyyttä? Mihin tutkimuksiin te perustatte näkemyksenne?
3. Mitä hiilivarasto mielestänne tarkoittaa ja miten se olisi olennaista huomioida?
4. Mitkä ovat mahdollisuudet hiilikädenjäljen ottamisessa mukaan lainsäädäntöön Suomessa?
 - Mitä hiilikädenjälkeen kannattaisi mielestäsi sisällyttää?
 - Miten varmistetaan teknologianeutraalisuus?
5. Mitkä ovat haasteet hiilikädenjäljen ottamisessa mukaan lainsäädäntöön Suomessa?
 - Miten haasteet pitäisi huomioida lainsäädännön määritelmässä (esim. MRL hiilikädenjälkimääritelmä)?
6. Millainen kierrätys- ja uudelleenhyödyntämispotentiaali on puurakennuksilla (status nyt ja mahdollisuudet tulevaisuudessa)? Onko aiheesta mitään tutkimusta/arviointia?
7. Miten hiilikädenjäljen ottaminen mukaan lainsäädäntöön vaikuttaisi rakentamiseen ja eri vähähiilisten rakennusmateriaalien käyttöön?

8. Oletteko tutustuneet LCA-metodiin liittyvään kritiikkiin hiilineutraalisuusoletuksesta?
Mitä mieltä olette siitä?

- Baseline-vertailun tarve?

Liite 2: Metsän hiilivarastot, -nielut ja hiilitase

Metsä hiilivarastona

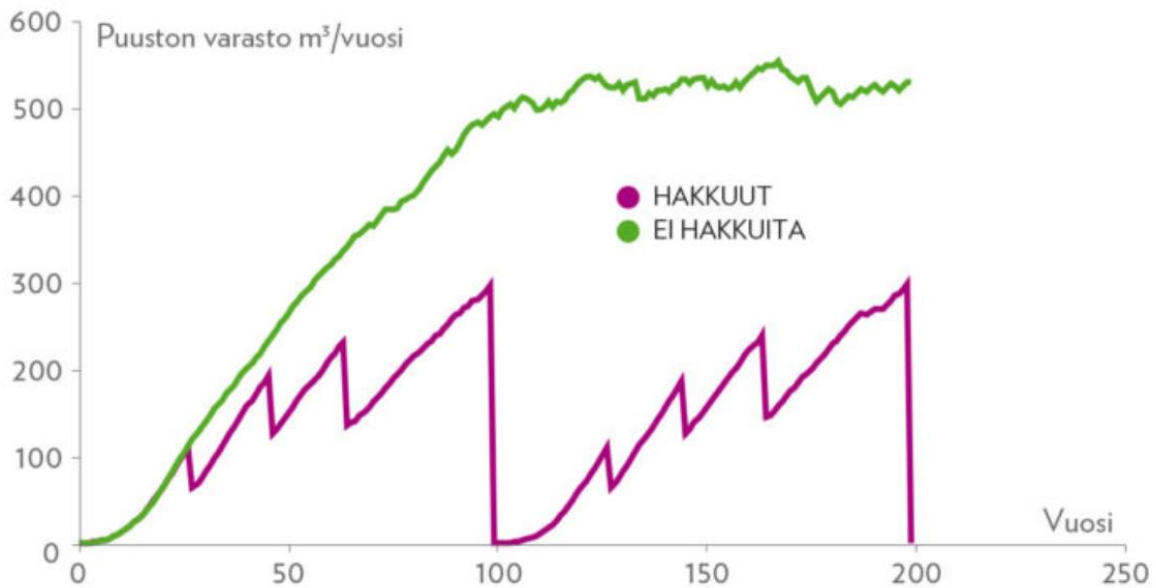
Borealisessa metsässä hiiltä on varastoituneena elävään kasvibiomassaan, kuolleeseen kasvibiomassaan ja maaperään. Lisäksi talousmetsissä voidaan hiilivarastoihin laskea mukaan hakkuissa korjattuun puuhun varastoitunut hiili. Suurin osa elävästä kasvibiomassasta koostuu puista (sis. runko, oksat, lehdet, juuret) ja usein yksinkertaisuuden vuoksi muu kasvillisuus jätetäänkin pois hiilivirtoja koskevista laskuista ja havainnollistuksista. Kuolleeseen kasvibiomassaan sisältyvät vastaavasti puiden lehti- ja juurikarike sekä muut maatumattomat kuolleet osat, kuten oksat, runko, kannot ja juuret. Maaperän hiilivarasto sisältää maaperäeliöiden hiilen ja sinne kasvillisuudesta kertyneen orgaanisen hiilen. Borealisessa metsämaassa ei yleensä juurikaan ole epäorgaanista hiiltä.

Suurin osa maaperässä hajoavan biomassan hiilestä vapautuu suhteellisen nopeasti ilmaan, mutta osa hiiliyhdisteistä on sitoutuneena pitkäikäisempään muotoon ja näin ollen voi kertyä maaperään. Määrät ovat merkittäviä: noin kolmasosa kivennäismaiden metsien hiilivarastosta on puustossa ja kaksi kolmasosaa maaperässä. Turvemaidella maaperän hiilivarasto voi olla moninkertainen riippuen turpeen paksuudesta. Puuston ja maaperän hiilivarastot ovat suurimmat vanhoissa talousmetsissä tai luonnontilaisissa metsissä. Luonnontilaisen tai luonnontilaisen kaltaisen metsän, jossa ei ole tehty hakkuita, hiilivarastot voivat olla 2-4 kertaa suuremmat kuin keskimääräisen talousmetsän⁵⁵.

Talousmetsien hiilivarasto kehittyy eri tavalla kuin metsien, joissa ei tehdä hakkuita (Kuva 10)⁵⁶. Luonnontilaisen puuston ja talousmetsän puuston hiilivarastojen erotus kuvaa metsäbiomassan käytön tuottamaa hiilivelkaa metsässä.

⁵⁵ Seppälä, J. ja Kanninen, M. 2019. Metsien hakkuiden kasvattaminen ei ole ilmastoteko. <https://labor.fi/t&y/metsien-hakkuiden-kasvattaminen-ei-ole-ilmastoteko/>

⁵⁶ Kilpeläinen, A. & Strandman, H. & Kellomäki, S. & Seppälä, J. (2014), Assessing the Net Atmospheric Impacts of Wood Production and Utilization, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 19, 955–968.



Kuva 10. Periaatteellinen kuva metsän puuston hiilivaraston kehityksestä 200 vuoden aikana, kun metsää ei hakata ollenkaan tai kun metsässä tehdään harvennushakkuut ja kaksi päätehakkuuta 100 ja 200 vuoden kohdalla. Lähde: Kilpeläinen ym. 2014.

Metsän hiilitase ja hiilinielut

Hiilen sitominen ja vapautuminen metsässä on monen biologisen tekijän summa ja virtausta tapahtuu samanaikaisesti molempiin suuntiin. Tällöin on hyödyllistä käyttää hiilitaseen käsitettä, joka kuvaa hiilen sitoutumisen ja vapautumisen suhdetta tietyssä ajassa. Metsät toimivat hiilinieluna silloin, kun sitomista tapahtuu enemmän kuin vapautumista ja metsän hiilivarastot kasvavat.

Puut sitovat kasvaessaan hiilidioksidia ilmasta ja kerryttävät hiiltä biomassansa. Hiilen sidonta on voimakkainta nopeasti kasvavissa nuorissa puissa tai metsissä, mutta hiilensidontaa tapahtuu myös vanhemmissa puissa ja metsissä. Esimerkiksi Suomessa havupuiden luontainen elinikä on useita satoja vuosia ja ne voivat jatkaa kasvuaan kuolemaansa asti.

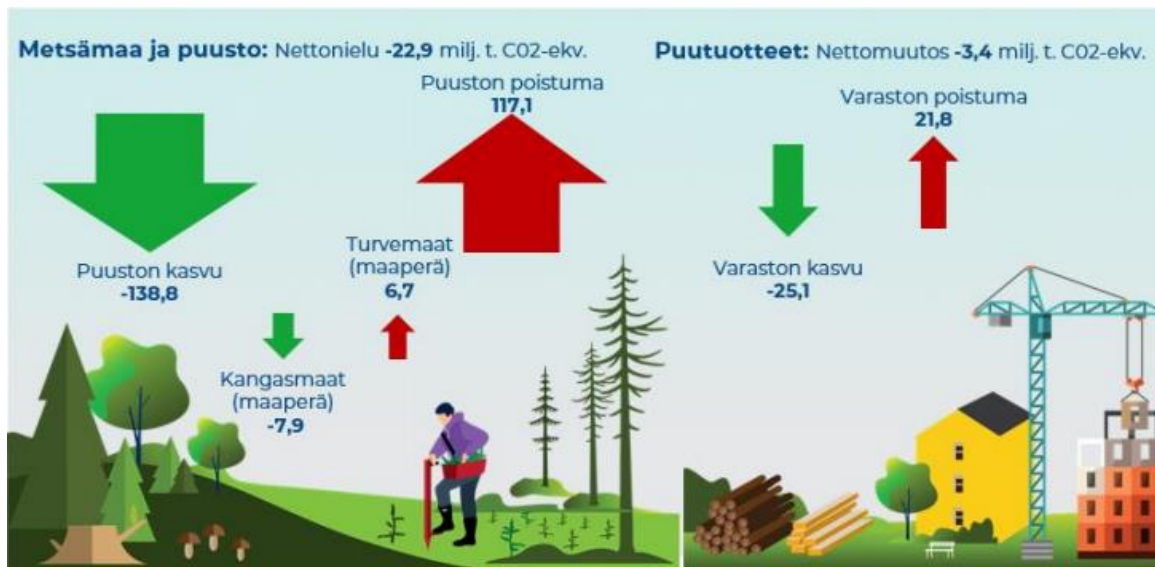
Elävistä puista irtoava karike ja kuollut puuainne toimivat hiilisyötteenä maaperään. Maaperän hiilivarasto kasvaa, kun karikkeen ja maaperän sisältämän hiilen määrä kasvaa enemmän kuin maaperän orgaanisen aineen hiili hajoaa. Maaperän hiilivaraston kehitykseen vaikuttavat sääolot ja hakkuiden muutokset sekä maaperän käsittelytoimet, esimerkiksi muokaus ja ojitus. Yleensä metsien kangasmaat toimivat nettonieluna, kun taas turvemaa ovat hapettomissa oloissa muodostuvan metaanin vuoksi hiilen lähde. Turvemaiden kohdalla taaseen vaihtelu on kuitenkin suurta.

Yhden metsikön elinkaaren aikana hiilitase muuttuu metsän kehityksen mukana. Talousmetsissä tyypillisesti, kun käytössä on tasaikäiskasvatus, metsät ovat päätehakkuun jälkeen noin 20 vuoden ajan hiilen lähteitä. Tällöin maaperä ja hajoavat hakkuutähteet vapauttavat enemmän hiiltä kuin mitä nuori taimikko pystyy sitomaan. Puuston kasvaessa metsä muuttuu vähitellen nieluksi ja nielu on suurimmillaan puiden ollessa 40-60 vuoden ikäisiä. Tämän jälkeen metsikön hiilinielu vähenee puuston ikääntyessä. On kuitenkin hyvä huomata, että tyypillisessä talousmetsien päätehakkuuikässä (70-100v.) puusto on vielä kaukana luontaisesta eliniästään ja sen kasvu voisi jatkua vielä pitkään.

kerätty LUKE:n tilastoista⁵⁷, Metsäteollisuus ry:n arvioista⁵⁸ sekä puujätteen määrä asiantuntija arviona Gaian ja Ytekki Oy:n selvityksestä⁵⁹. Kuva 11 havainnollistaa raakapuun suhteellista käyttöä, sekä keskittyä pitkäikäisten puutuotteiden arvoketjuun.

Suomessa karkeasti noin 35 % raakapuusta päätyy puutuoteteollisuuteen, josta voidaan valmistaa pitkäkestoisia tuotteita joiden hiilivarasto varasto säilyy vuosikymmeniä, parhaimmillaan yli sata vuotta. Yli puolet ainespuusta käytetään lyhytikäisten tuotteiden valmistukseen, joissa hiili vapautuu nopeasti, yleensä 1-5 vuodessa. Tukkipuun prosessoinnissa tarvitaan n. 2 m³ tukkipuuta, josta syntyy 1 m³ sahatavaraa, 0,6 m³ haketta ja 0,2 m² sahanpurua ja 0,2 m³ puun kuorta. Nämä prosessissa syntyneet sivutuotteet hyödynnetään energiantuotannossa tai selluteollisuudessa. Tämä selvitys ei huomionnut kaikkia metsäteollisuuden raaka-aineiden virtauksia, mutta on tärkeää tiedostaa, että hakkuissa ei voida saada tukkipuuta ilman kuitu- ja energiapuu kertymää. Metsäteollisuuden toiminta on hyvin verkostoitunutta ja materiaalitehokasta, joten tämänkaltaiset yksinkertaistukset voivat ali- tai yliarvioida tuotannon vaikutuksia.

Suomen nettohiilinielu ja puutuotteiden hiilivarastojen muutos 2019



Kuva 12 Metsien ja puutuotteiden hiilitase (milj.t. CO₂-ekv.) 2019. Lähde: MMM, Metsien rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä. Luvut: LUKE/Tilastokeskus (ennakkotieto).

Kansallisesti Suomen metsien nettohiilinielu on vaihdellut vuodesta 1990 lähtien 17-47 milj. tonnin CO₂ ekv. välillä. Suurin nieluihin vaikuttava tekijä on vuotuisten hakkuiden määrä. Vuonna 2019 metsien puusto ja maaperä sitoivat hiiltä yhteensä 22,9 milj. tonnia CO₂-ekv.(kuva 13). Puutuotteisiin sitoutui hiiltä yhteensä 3,4 milj. tonnia CO₂-ekv

⁵⁷ LUKE, (2020). Ruoka ja luonnonvaratilastojen e-vuosikirja 2020

⁵⁸ Metsäteollisuus ry (2021), Tilastot, Metsäteollisuuden tuotanto ja vienti 2020 (<https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/viennin-osuus-metsateollisuuden-tuotannosta>)

⁵⁹ Håkämies ym. (2019). Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous. Gaia Consulting

Liite 3: Kestävän metsänhoidon periaatteet

Kestävän metsänhoidon periaatteena on varmistaa, että tuleville sukupolville turvataan yhtä hyvät tai paremmat toimintamahdollisuudet hyödyntää metsiä kuin nykyisellä sukupolvella on. Kestävän metsänhoidon tulee olla pitkäjänteistä ja kokonaisvaltaista huomioiden ekologisen, sosiaalisen ja taloudellisen kestävyys, jotta nämä tavoitteet voitaisiin saavuttaa. Näitä periaatteita voidaan tarkastella kansainvälisellä, kansallisella tai paikallisella tasolla.

Yleiseurooppalaiset kestävän metsätalouden 6 kriteeriä ovat:

1. Metsävarojen ylläpitäminen ja tarkoituksenmukainen lisääminen sekä metsien merkitys maailmanlaajuiselle hiilenkierrolle
2. Metsien terveyden ja elinvoimaisuuden ylläpitäminen
3. Metsien tuotannollisten toimenpiteiden ylläpitäminen ja tarkoituksenmukainen lisääminen
4. Luonnon monimuotoisuuden ylläpitäminen, suojelu ja tarkoituksenmukainen lisääminen metsäekosysteemissä
5. Metsien suojatoimintojen ylläpitäminen ja tarkoituksenmukainen lisääminen metsien hoidossa
6. Muiden yhteiskunnallis-taloudellisten toimintojen ja edellytysten ylläpitäminen

Ekologisesta kestävydestä voidaan huolehtia turvaamalla metsien ja soiden monimuotoisuudesta, minimoimalla metsätalouden vaikutukset vesistöihin, sekä huolehtimalla metsien kyvystä hillitä ja sopeutua ilmastonmuutokseen. Sosiaaliseen kestävyteen takaimiseksi on tärkeää turvata eri sidosryhmien oikeudenmukaiset mahdollisuudet hyödyntää metsiä myös tulevaisuudessa. Taloudellinen kestävyys tarkoittaa sitä, että metsien elinvoimaisuus, tuottavuus ja kannattavuus säilyvät pitkällä aikavälillä.

Metsäpolitiikan avulla voidaan asettaa reunaehdot metsien kestäväälle hyödyntämiselle, johon voidaan vaikuttaa kehittämällä ohjauskeinoja ja/tai instituutioita.

- lainsäädännölliset ohjauskeinot -mm. metsälaki, luonnonsuojelulaki, maankäyttö- ja rakennuslaki, poronhoitolaki
- institutionaaliset järjestelyt - mm. lakien valvonta, metsäpoliittiset keinot ja metsäohjelmat, kansainväliset sopimukset, organisaatiot
- taloudelliset ohjauskeinot - mm. rahoitus- ja tukimuodot, metsäverotus
- tiedolliset ohjauskeinot -mm. tiedonkeruujärjestelmät, tutkimus, koulutus- ja neuvontatoiminta, ohjeistus, eri organisaatioiden yhteistoiminta.

Esimerkiksi, Suomessa metsäalan toimijoita ja -omistajia pyritään ohjeistamaan yleisesti hyvän metsänhoidon suositusten avulla, jonka laatimisen koordinoinnista vastaa Tapiio Oy. Laatimiseen osallistuvat johto- ja ohjausryhmätyössä 30 eri metsä-, ympäristö- ja ilmastoalan toimijaa sekä erinäinen määrä asiantuntijoita ⁶⁰.

⁶⁰ METLA, (2013). Suomen metsät 2012: Mitä ovat kestävän metsätalouden kriteerit ja indikaattorit?

Liite 4: Kirjallisuuskatsauksessa läpikäydyt lähteet

ALRahahleh, L., Ikonen, V.-P., Kilpeläinen, A., Torssonen, P., Strandman, H., Asikainen, A., Kaurola, J., Venäläinen, A., Peltola, H. (2017). Effects of forest conservation and management on volume growth, harvested amount of timber, carbon stock and amount of dead wood in Finnish boreal forests under changing climate. *Canadian Journal of Forest Research* 47(2): 215-225.

Amiri, A., Ottelin, J., Sorvari, J. Junnilla, S. (2020). Cities as carbon sinks—classification of wooden buildings (Aalto-yliopisto). *Environmental Research Letters*, Volume 15, Number 9.

Baul, T.K., Alam, A., Ikonen, A., Strandman, H., Asikainen, A., Peltola, H., Kilpeläinen, A. (2017). Climate change mitigation potential in boreal forests: impacts of management, harvest intensity and use of forest biomass to substitute fossil resources. *Forests* 8(11), 455.

Brandao M. and Levasseur A. (2010). Assessing Temporary Storage in Life Cycle Assessment and Carbon Footprinting. Outcomes of an expert workshop.

Bruce-Hyrkäs, T. ja Tarkkala, L. 2018. Puu- ja betonikerrostalojen elinkaaripäästöjen vertailu. Bionova Ltd.

Hammar, T. and Hansson, P-A. and Seleborg, M. and Stendahl, J. (2020). Climate effects of a forestry company: including biogenic carbon fluxes and substitution effects. *Swedish University of Agricultural Sciences*.

Hassan, M.K., Villa, A., Kuittinen, S. Jänis, J., Pappinen, A. (2019). An assessment of side-stream generation from Finnish forest industry, *J Mater Cycles Waste Manag* 21(2): 265–280.

Heinonen, T., Pukkala, T., Mehtätalo, L., Asikainen, A., Kangas, J., Peltola, H. (2017). Scenario analyses for the effects of harvesting intensity on development of forest resources, timber supply, carbon balance and biodiversity of Finnish forestry. *Forest Policy and Economics*, Volume 80, July 2017, Pages 80-98.

Helin, T., Sokka, L., Soimakallio, S., Pingoud, K., Pajula, T. (2013). Approaches for inclusion of forest carbon cycle in life cycle assessment – a review. *GCB-Bioenergy*, Volume5, Issue5, September 2013, Pages 475-486.

Helin, T., Salminen, H., Hynynen, J., Soimakallio, S., Huuskonen, S., Pingoud, K. (2015). Global warming potentials of stemwood used for energy and materials in Southern Finland: differentiation of impacts based on type of harvest and product lifetime. *GCB-Bioenergy*, Volume8, Issue2, March 2016, Pages 334-345.

Holmgren, P. (2020). Climate effects of the forest-based sector in the European Union. *Cepi*.

Hoxha, E., Passer, A., Saade, M. R. M., Trigaux, D., Shuttleworth, A., Pittau, F., ... Habert, G. (2020). Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods. *Buildings and Cities*, 1(1), 504–524. DOI: <http://doi.org/10.5334/bc.46>

Hurmekoski, E., Myllyviita, T., Seppälä, J., Heinonen, T., Kilpeläinen, A., Pukkala, T., Mattila, T., Hetemäki, L., Asikainen, A., Peltola, H. (2020). Impact of structural changes in wood-using industries on net carbon emissions in Finland. *Journal of Industrial Ecology*.

Häkkinen, T. (2020). Rakentamisen hiilikädenjälki ja rakennuksen ilmastohyötyjä (esitys)

Häkämies S., Lähdesmäki-Josefsson K., Pitkämäki A., Lehtonen K. (2019). Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous. Gaia Consulting

Ilmastopaneeli (2015). Metsien hyödyntämisen ilmastovaikutuksen ja hiilinielujen kehittymisen

Ilmastopaneeli (2017). Tutkijoiden pääviestit metsien käytön ilmastovaikutuksesta

Kalliokoski, T., Bäck, J., Boy, M., Kulmala, M., Kuusinen, N., Mäkelä, A., Minkkinen, K., Minunno, F., Paasonen, P., Peltoniemi, M., Taipale, D., Valsta, L., Vanhatalo, A., Zhou, L., Zhou, P. and Berninger, F. (2020). Mitigation Impact of Different Harvest Scenarios of Finnish Forests That Account for Albedo, Aerosols and Trade-Offs of Carbon Sequestration and Avoided Emissions. *Front. For. Glob. Change*, 06 October 2020.

Kneeshaw, D., Bergeron, Y., Kuuluvainen, T., (2011). Forest Ecosystem Structure and Disturbance Dynamics across the Circumboreal Forest. *The SAGE handbook of biogeography*.

LUKE (2016). Puusta valmistettujen tuotteiden hiilivaraston muutoksen laskenta kasvihuonekaasuinventaarissa

LUKE (2020). Ruoka ja luonnonvaratilastojen e-vuosikirja 2020

METL, (2013). Suomen metsät 2012: Mitä ovat kestävän metsätalouden kriteerit ja indikaattorit?

Metsäteollisuus ry (2021). Tilastot, Metsäteollisuuden tuotanto ja vienti 2020 (<https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/viennin-osuus-metsateollisuuden-tuotannosta>)

Philippe Leturcq (2020). GHG displacement factors of harvested wood products: the myth of substitution. In: *Nature Journal*

Pingoud, K., Ekholm, T., Soimakallio, S., Helin, T. (2015) Carbon balance indicator for forest bioenergy scenarios. *CCB-Bioenergy*. Volume8, Issue1, January 2016.

Politiikasta.fi: Biomassojen rooli ja riskit huomioitava ilmastostrategiassa.

Pukkala, T. (2011). Optimizing forest management in Finland with carbon subsidies and taxes. *Forest Policy and Economics*, Volume 13, Issue 6, July 2011.

Seppälä, J., Heinonen, T., Pukkala, T., Kilpeläinen, A., Mattila, T., Myllyviita, T., Asikainen, A., Peltola, H. (2019). Effect of increased wood harvesting and utilization on required greenhouse gas displacement factors of wood-based products and fuels. *Journal of Environmental Management*, Volume 247, 1 October 2019.

Seppälä, J., Kanninen, M. (2019). Metsien hakkuiden kasvattaminen ei ole ilmastoteko. *T&Y talous ja yhteiskunta* 1 | 2019

Soimakallio, S., Saikku, L., Valsta, L., Pingoud, K. (2016). Climate Change Mitigation Challenge for Wood Utilization—The Case of Finland. *Environmental Science and Technology*.

Soimakallio, S., Cowie, A., Brandão, M., Finnveden, G., Ekvall, T., Erlandsson, M., Koponen, K., Karlsson, P-E. (2015) Attributional life cycle assessment: is a land-use baseline necessary? *International Journal of Life Cycle Assessment*.

SYKE (2021). Maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistuksen ilmastovaikutusten arviointi.

Viljakainen, M. & Lahtela, T. (2019). Rakentamisen hiilijalanjälkivertailu, tapaustudkimus rakennuksen hiilijalanjäljen laskennasta, loppuraportti.

VTT (2017). Rakentamisen hiilivarasto. Ympäristöministeriö.

VTT (2000). Arvioita puurakentamisen kasvihuonevaikutuksesta

Gaia Group Oy

Bulevardi 6 A,
FI-00120
HELSINKI, Finland

Tel +358 9686 6620
Fax +358 9686 66210

ADDIS ABABA | BEIJING | BUENOS
AIRES | GOTHENBURG | HELSINKI |
SAN FRANCISCO | TURKU | ZÜRICH

You will find the presentation of our staff,
and their contact information, at www.gaia.fi

gaia 