

gaia 

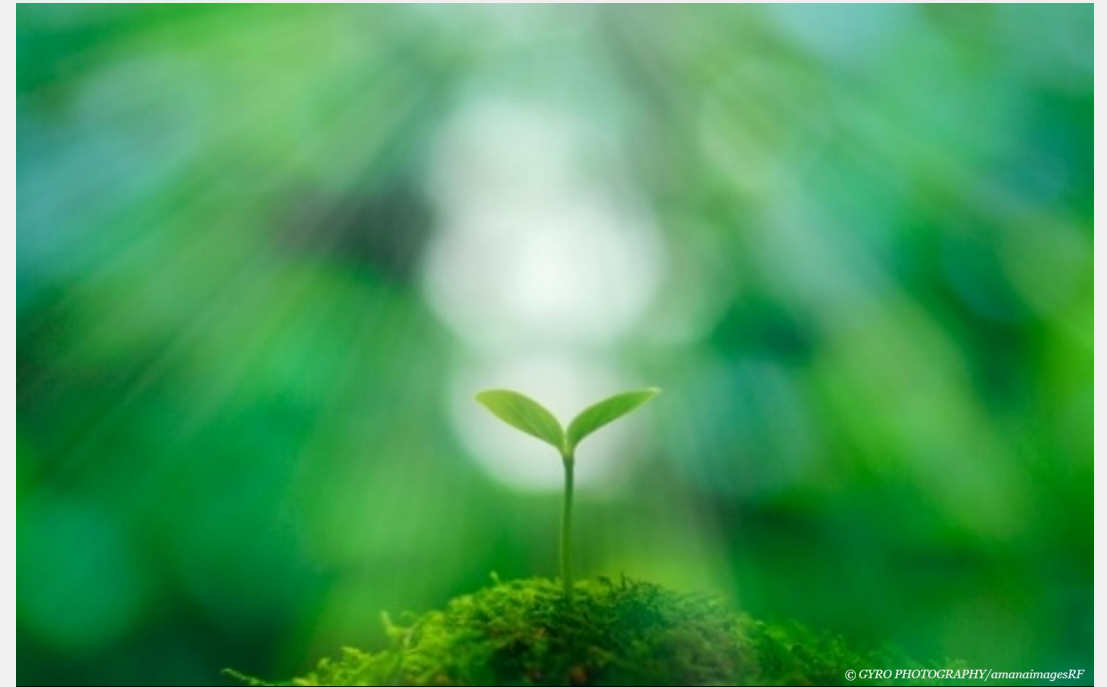
Vähähiilisten rakennusmateriaalien hiilikädenjälki osana sääntelyä – haasteet ja mahdollisuudet

TULOSTEN ESITTELY
RTT:N JOHTOKUNNAN KOKOUS 2/2021

27.4.2021

Sisällys

1. Selvityksen tausta ja tavoite
 1. Selvityksen menetelmät
 2. Selvityksen asemoituminen
2. Hiilikädenjäljen määritelmät
3. MRL:n hiilikädenjälkimääritelmän plussat ja miinukset
4. Puurakentamisen ilmastovaikutus metsän hiilitase huomioiden
5. Hiilikädenjälki sääntelyssä
6. Pohdinta ja yhteenveto



1. Selvityksen tausta ja tavoite

1.1. Selvityksen tausta ja tavoite

- 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:
 - **Pitäisikö puutuotteiden biogeeninen hiilivelka* huomioida rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen laskennassa, ja miten sen huomiointi vaikuttaisi rakennusmateriaalien välisiin eroihin laskentatuloksissa?**
 - **Mikä on rakennusten todellinen lisäinen hiilikädenjälki, ja miten se pitäisi laskea?**
- Edellä esitettyihin kysymyksiin kerättyjen vastausten pohjalta selvityksen tavoitteena on tuottaa tietopohjaa seuraaviin kysymyksiin:
 - **Mikä on puurakentamisen ilmasto vaikutus** 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?**

* Puun korjuun aiheuttama metsän hiilinielun ja -varaston väheneminen

1.2. Selvityksen menetelmät

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 ja metsäpolitiikan tuntemukseen.

Haastattelut

- Selvitystä varten toteutettiin 12 kappaletta asiantuntija- ja tutkijahaastatteluja eri näkökulmista.
- 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 hiilivelan laskentaa huomioiden puunkäytön vaikutukset metsien hiilivarastoihin ja -nieluihin, ja tapaustutkimukset 3 ja 4 hiilikädenjäljen laskentaa eri menetelmillä.

1.3. Selvityksen asemoituminen



Kuva 1. Metsien, puutuotteiden ja rakennusmateriaalien keskustelun jäsenitys.

- Tieteellinen taso ja selvitystaso pyrkivät selvittämään intressittömästi tarkasteltavaa fysikaalista ilmiötä ja sen vuorovaikutuksia.
- 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.
- 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.**

2. Hiilikädenjäljen määritelmät

2. Hiilikädenjäljen määritelmät

- Yleisesti hiilikädenjäljellä tarkoitetaan tuotteen, toimintatavan tai muun ratkaisun avulla vältettyä hiilidioksidipäästöä vähäpäästöisen ratkaisun korvatesa suurempipäästöisen, eli vähäpäästöisemmän valinnan positiivista ilmastovaikutusta. Hiilikädenjäljen laskentaan ei ole olemassa yhtä vakiintunutta kansainvälistä standardia tai laskentamenetelmää kuin hiilijalanjäljen laskentaan. Tavanomaiset kädenjälkimenetelmät eivät suoraan sovellu rakennuksiin.

- Toisin kuin vertaamiseen perustuvissa menetelmissä, MRL:n hiilikädenjäljen määritelmässä ja YM:n laskentamenetelmässä hiilikädenjäljeksi tulkitaan yksinkertaisesti sellaiset ilmastovaikutusten nettohyödyt, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta.** Hyödyiksi on menetelmässä listattu rakennuksen hiilivarastot (eloperäinen 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.
- Hiilikädenjälki arvioidaan rakennuksen koko elinkaaren ajalle, mutta ohjeena on käyttää laskentahetkellä käytössä olevaa tavanomaista tuotanto-, kierrätys- tai energiateknologiaa.
- Rakennusten hiilikädenjäljelle ollaan parhaillaan laatimassa uutta pohjoismaista määritelmää hankkeessa ”Definition and methods for the carbon handprint of buildings”.**



Handprint = the difference between the carbon footprints of these two systems

Kuva 2 Hiilikädenjäljen muodostuminen. Lähde: VTT.

3. MRL:n hiilikädenjälkimääritelmän plussat ja miinukset

3. MRL:n hiilikädenjälkimäärittelyn plussat ja miinukset (1/4)

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.

- + Hiilikädenjäljen ”lisäisyys” , ts. se että huomioidaan vain ne ilmastonmuutosta hidastavat tekijät, jotka syntyvät rakennushankkeen tuloksena
- Hiilikädenjäljen ”lisäisyyden” arviointi on haastavaa koska vertailutapausta ei ole määritelty: miten voidaan määritellä, mitä todellisuudessa olisi tapahtunut ilman rakennushanketta?
- Joudutaan myös kysymään, olisiko materiaali kuitenkin käytetty jossain muualla, ja olisiko siten hiilivarasto tai muu kädenjälkivaikutus joka tapauksessa syntynyt muualla?

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
- 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 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.

3. MRL:n hiilikädenjälkimäärittelyn plussat ja miinukset (2/4)

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

+ 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?

- Puutuotteiden EN-standardeissa puutuotteiden raaka-ainepuu on oletettu hiilineutraaliksi, jos se on peräisin kestävästi hoidetusta metsästä. Tämä oletus pätee vain hyvin pitkällä aikavälillä.

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

- Karbonatisoitumisen määrän laskenta on melko monimutkaista, sillä sidotun hiilidioksidin määrä vaihtelee esimerkiksi sääolosuhteiden vuoksi ja eri tuotteiden välillä.

- Karbonatisoituminen on suhteellisen hidasta ja rakennuksen käyttövaiheessa pientä. Suurempi vaikutus saadaan, mikäli rakennuksen purkamisvaiheessa sementtipohjaiset tuotteet murskataan tiettyyn raekokoon.

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

3. MRL:n hiilikädenjälkimäärittelyn plussat ja miinukset (3/4)

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 tulisi huomioida laskennassa.
- Hyödyn realisoituminen edellyttää, että energian siirto- tai varastointimahdollisuuksia on aidosti olemassa.
- Energiasyötön kädenjälki on jopa tuntiriippuva, koska tuotantoyhdistelmä vaihtelee energian kysyntätilanteen mukaan.

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.

3. MRL:n hiilikädenjälkimäärittely plussat ja miinukset (4/4)

Määrittelemällä hiilikädenjälki ja sitomalla se esityksen mukaisella tavalla osaksi ilmastaselvitystä voidaan luoda yhteiset pelisäännöt, joiden avulla rakennusten kiertotaloudelle tai rakennuksiin varastoidulle ilmaston hiilelle voidaan luoda kannusteita ja vaikuttaa ilmastoystävällisen rakentamisen, suunnittelun, rakennustuotteiden valmistuksen, kiinteistösijoittamisen, ja rahoittamisen markkinoiden kehittämiseen.

- + Kiertotalouteen ja hiilivarastojen lisäämiseen kannustaminen ja ohjaaminen on myönteinen asia ilmastomuutoksen kannalta
- Hiilikädenjäljelle ei ole yhtä vakiintunutta määrittelyä kuin hiilijalanjäljelle, ja se on aina vähintään osittain hypoteettinen. On myös epäselvää, saadaanko sitä koskaan yhtä tarkasti määritellyksi kuin hiilijalanjälkeä.
- Hiilivarastoja tarkasteltaessa pitäisi huomioida myös muutokset metsän hiilivarastossa, ja sen ero lyhyellä ja pitkällä aikavälillä.

Hiilikädenjälkeä olisi mahdollista hyödyntää myös vapaaehtoisissa julkisen rakentamisen hankintakriteereissä.

- + 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.

4. Puurakentamisen ilmasto-vaikutus metsän hiilitase huomioiden

4.1 Tutkimuskentän lähtökohdat

- **Metsien ja puun käyttöön perustuva biotalous on monessa yhteydessä nähty ilmastoposiitiivisena toimialana ja sen kasvua on pidetty tehokkaana ilmastonmuutoksen hillintäkeinona.** Metsä toimii kasvaessaan hiilinieluna ja hakkuiden jälkeen valmistettavilla puutuotteilla voidaan korvata muita hiilipäästöiltään suurempia materiaaleja. Hiilinielun ylläpidon kannalta keskeistä on kestävä metsätalous.
- **Myös rakentamista koskevissa viimeaikaisissa tutkimuksissa puun käyttö on nähty ilmastoposiitiivisena ja sen pohjalta on annettu myös politiikkasuosituksia.** Esimerkiksi Amiri et al. 2020 tutkivat asuinrakennusten sisältämien puumateriaalien hiilivarastoja ja tekivät arvion rakennusten hiilivarastojen kasvusta Euroopassa vuosina 2020-2040 erilaisilla puurakentamisen osuuksilla. Tulosten mukaan rakennuksiin varastoituneen hiilen määrä vuosittain voisi olla 1 – 55 Mt CO₂ ja vastata 1-47 % sementtiteollisuuden päästöistä Euroopassa.

- Puun käytön vaikutuksia koskevissa metsätieteellisissä tutkimuksissa ja metsä- ja ilmastotutkijoiden haastatteluissa nousi esiin **huoli kasvavan puun käytön ja hakkuiden vaikutuksesta metsien hiilinieluihin ja -varastoihin ja sitä kautta puun käytön nettoilmastovaikutukseen.**
- Hakkuiden negatiivinen ilmastovaikutus johtuu siitä, että **metsän hakkuissa välittömästi menetetään kasvavan puuston hiilinielu ja vaikutetaan maaperän hiilivarastojen kehittymiseen.** 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 ovatkin vahvasti riippuvaisia tarkastellusta ajasta.** Tutkijoiden mukaan voidaan sanoa, että keskimäärin jokainen miljoona kuutiota puuta joka metsistä otetaan, pienentää 1.5 miljoonaa tonnia CO₂-nielua lyhyellä aikavälillä.

4.2 Haastattelussa esiin nousseita 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 niiden osuutta tulisi lisätä.**
- Puurakentamisessa voidaan synnyttää **pitkäikäisiä hiilivarastoja, jotka viivästyttävät päästöjä ja antavat lisäaikaa ilmastonmuutoksen vastaisissa toimissa.** Puurakentamisen haasteena on kuitenkin se, että myös sahateollisuuden käyttämästä tukkipuusta noin puolet päätyy lyhytikäiseen käyttöön.
- 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 lisäystä,** joka on hyvin pieni osa Suomen koko hakkuista, eli tällä ei olisi ilmaston kannalta kovin suurta merkitystä.

Tilinpitoon liittyvät ongelmat

- Puutuotteiden ja puurakentamisen elinkaariarviointia ohjaavat eurooppalaiset EN-standardit.
- 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 nielut ja varastot kasvavat vastaavasti, toisin sanoen systeemi on alueellisesti tasapainossa.
- **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.**

4.3 Näkemyksiä keskeisiin kiistakysymyksiin (1/2)

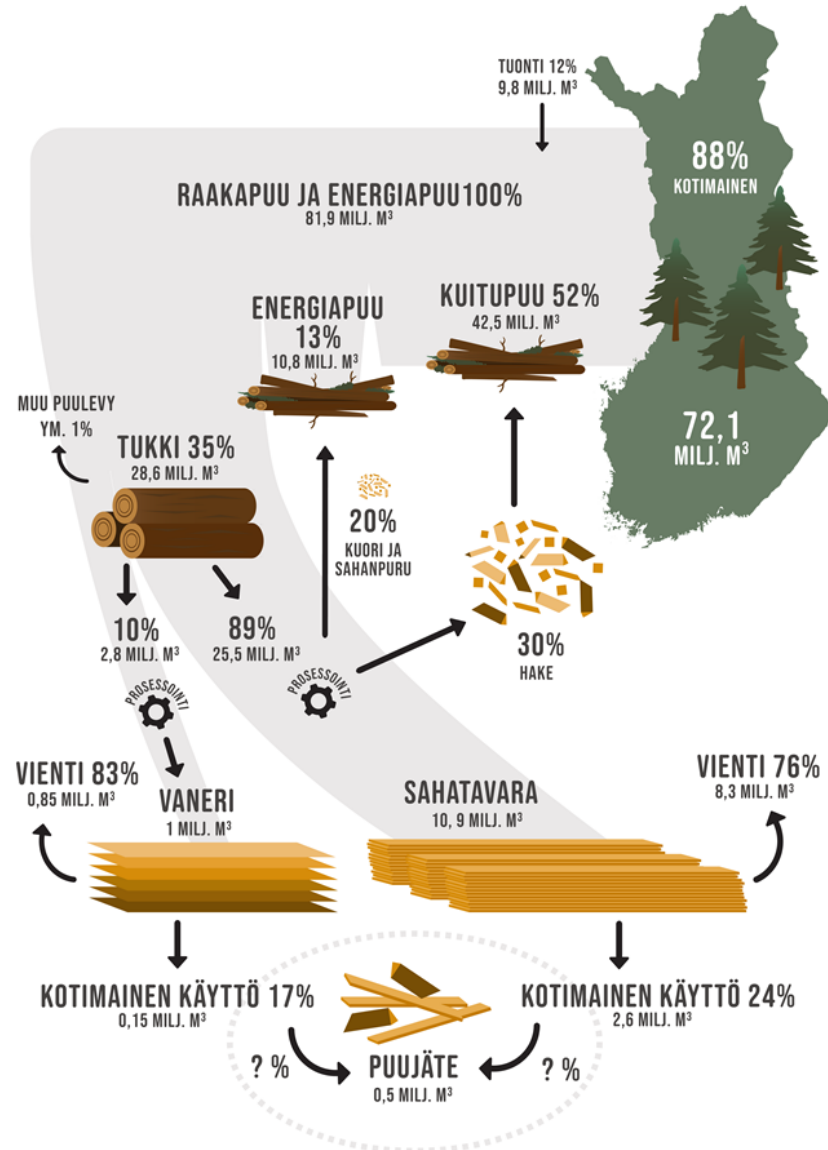
Onko kestävästi hoidetusta metsästä saatava puu hiilineutraali rakentamisen raaka-aine?

- 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, tyypillisesti alle 100 vuodessa (joskaan tästäkään ei olla yksimielisiä). Kestävän metsätalouden tehtävä on huolehtia siitä, että kasvun edellytykset säilyvät.
- **Uusiutumissykliä lyhyemmällä tarkasteluajoilla – joita ilmastonmuutoksen polttavimpien kysymysten yhteydessä juuri tarkastellaan – hakkuut synnyttävät hiilivelkaa so. pienentävät metsän hiilivarastoa.** Oleellinen kysymys tällöin on puunkäytön nettopäästövaikutus eli se, varastoidaanko puussa hiiltä riittävän kauan tai korvataanko puunkäytöllä jotain päästöiltään sellaista, jonka korvaaminen vähentää toisaalla päästöjä enemmän kuin metsässä syntyy hiilivelkaa.

Saavutetaanko puurakenteiden hiilivarastoinnilla ilmasto-hyötyjä?

- Suurimmat ilmastohyödyt puunkäytöllä saavutetaan puupohjaisilla pitkäikäisillä tuotteilla.
- Pelkkä puutuotteiden tuotanto ei ratkaise hiilivarastokysymystä, vaan tuote on myös käytettävä pitkäikäisesti. Osa puutavarasta käytetään työmailla rakennusvaiheessa esimerkiksi telineissä ja muottilautana, jolloin puutuotteet päätyvät hyvin lyhytaikaiseen käyttöön.
- **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 päästöpainet pienenevät.**
- Haastateltujen tutkijoiden mukaan puutuotteisiin sitoutuvan hiilen määrää eli puutuotteiden hiilivarastoa arvioitaessa tulisi katsoa myös vaikutukset metsän ja metsämaan hiilinieluun ja -varastoon, ja tarkastella hiilivaraston netto- ja kokonaisvaikutusta.

Kuva metsäteollisuuden raaka-ainevirroista



- Kuvan tiedot on kerätty LUKE:n tilastoista, Metsäteollisuus ry:n arvioista sekä puujätteen määrä asiantuntija arviona Gaian ja YTJ:n selvityksestä.
- 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.
- Kotimaahan jää vain noin viidennes Suomen metsäteollisuuden pitkäikäisten tuotteiden tuotannosta, josta muodostuu vuosittain n. 250 000 t puujätettä.

4.3 Näkemyksiä keskeisiin kiistakysymyksiin (2/2)

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 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.

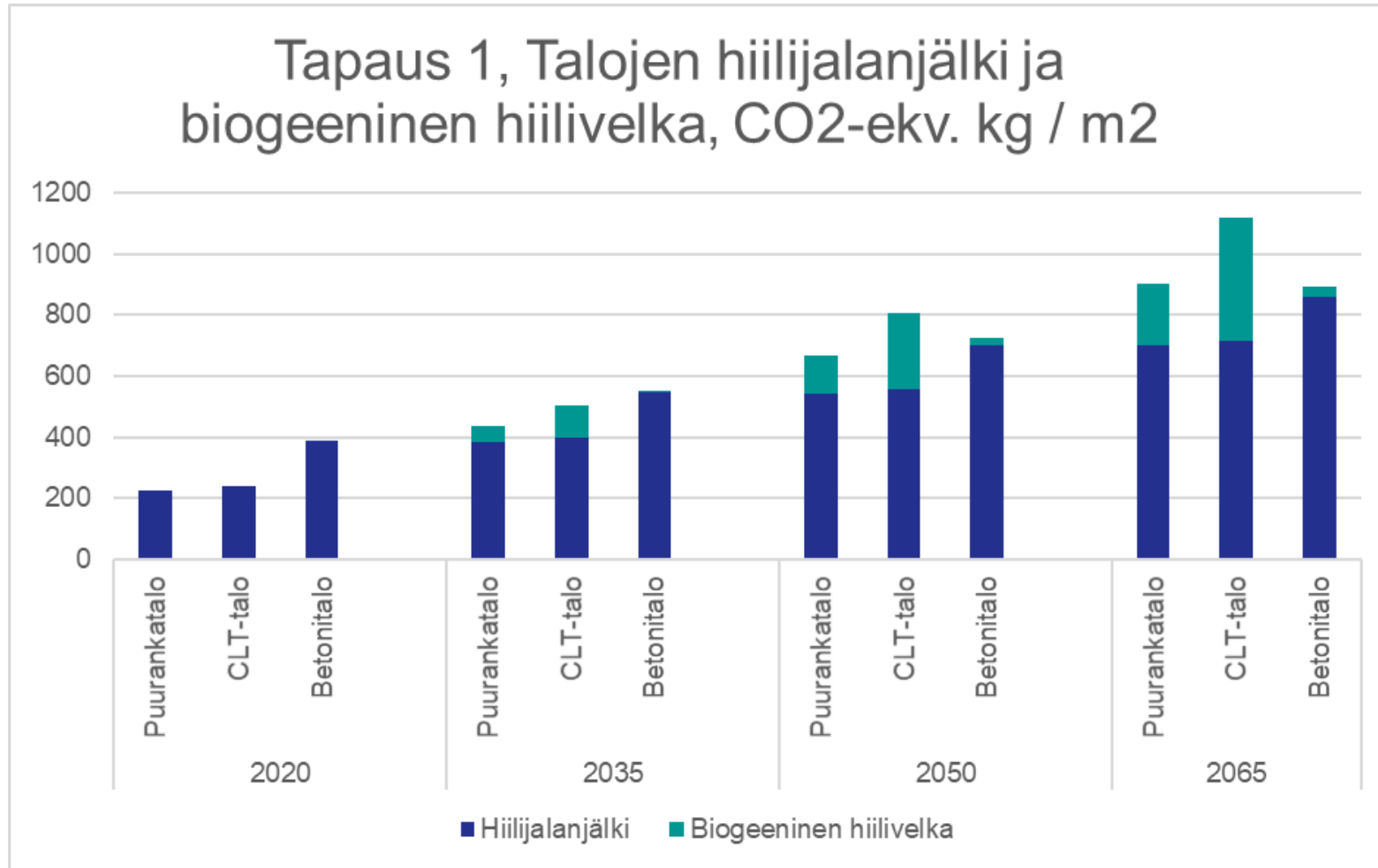
Miten maankäyttösektorin päästölaskenta liittyy asiaan?

- Suomessa puun käytön ja hakkuiden vaikutuksia metsien hiilinieluihin ja -varastoihin lasketaan 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 sivuuttamiselle käytetään sitä, että päästöt on jo huomioitu maankäyttösektorin kansallisessa laskennassa.
- Tällainen kansallisen tason laskenta ei ole relevantti tuotetason hiilijalanjälki- ja -kädenjälkilaskennassa. **Tuotetason laskennan perusteluissa ei voida käyttää argumenttina sitä, että päästöt on jo laskettu kansallisella tasolla, sillä laskennan tasot ovat erilaiset.**
- Hiilijalanjälkilaskennan ja elinkaariarvioinnin standardeissa 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 kerrostalojen hiilijalanjälki muuttuisi, jos laskennassa huomioidaan puuntuotantoon liittyvän biogeeninen hiilivaikutus eli hiilivelka. Biogeenisella 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 2019 laatima tapaustutkimus eri tyyppisten rakennusten hiilijalanjäljen laskennasta. Tutkimuksessa selvitettiin ympäristöministeriön hiilijalanjäljen laskentatyökalun käytettävyyttä sekä sitä, miten materiaali- ja runkovalinnat vaikuttavat rakentamisen hiilijalanjälkeen.
- **Vertailtavana kohteena oli tyypillinen viisikerroksinen asuinkerrostalo, jonka rakennusmateriaaleina käytettiin joko betoni-, puuranka-, massiivipuu- (CLT) tai hybridirakenteita. Kerrostalojen pinta-ala oli 1994 m².**
- Rakennusten biogeenisen hiilijalanjäljen arvioimiseksi muodostettiin ns. normaalimetsään perustuva laskentaskenaario.
- 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.
- Laskennasta tehtiin kaksi eri versiota. Tapauksessa 1 rakennukseen tarvittava puu tuotetaan keskimääräisessä, tasaikäiskasvatuksella hoidetussa, eteläsuomalaisessa tuoreen kankaan kuusikossa ja tapauksessa 2 pohjoissuomalaisessa tuoreen kankaan kuusikossa.
- Normaalimetsän metsäkuviot muodostettiin talousmetsien kasvua simuloivan MOTTI-ohjelman perusteella ja kuviotiedot vietiin metsän hiilitaseita laskevaan Monsu-ohjelmaan. Monsun avulla simuloitiin normaalimetsän kehitystä ilman hakkuita ja laskettiin puuston ja maaperän hiilitase kumuloituvasti vuosille 2020, 2035, 2050 ja 2065.

Tapaustutkimuksen 1 tulokset

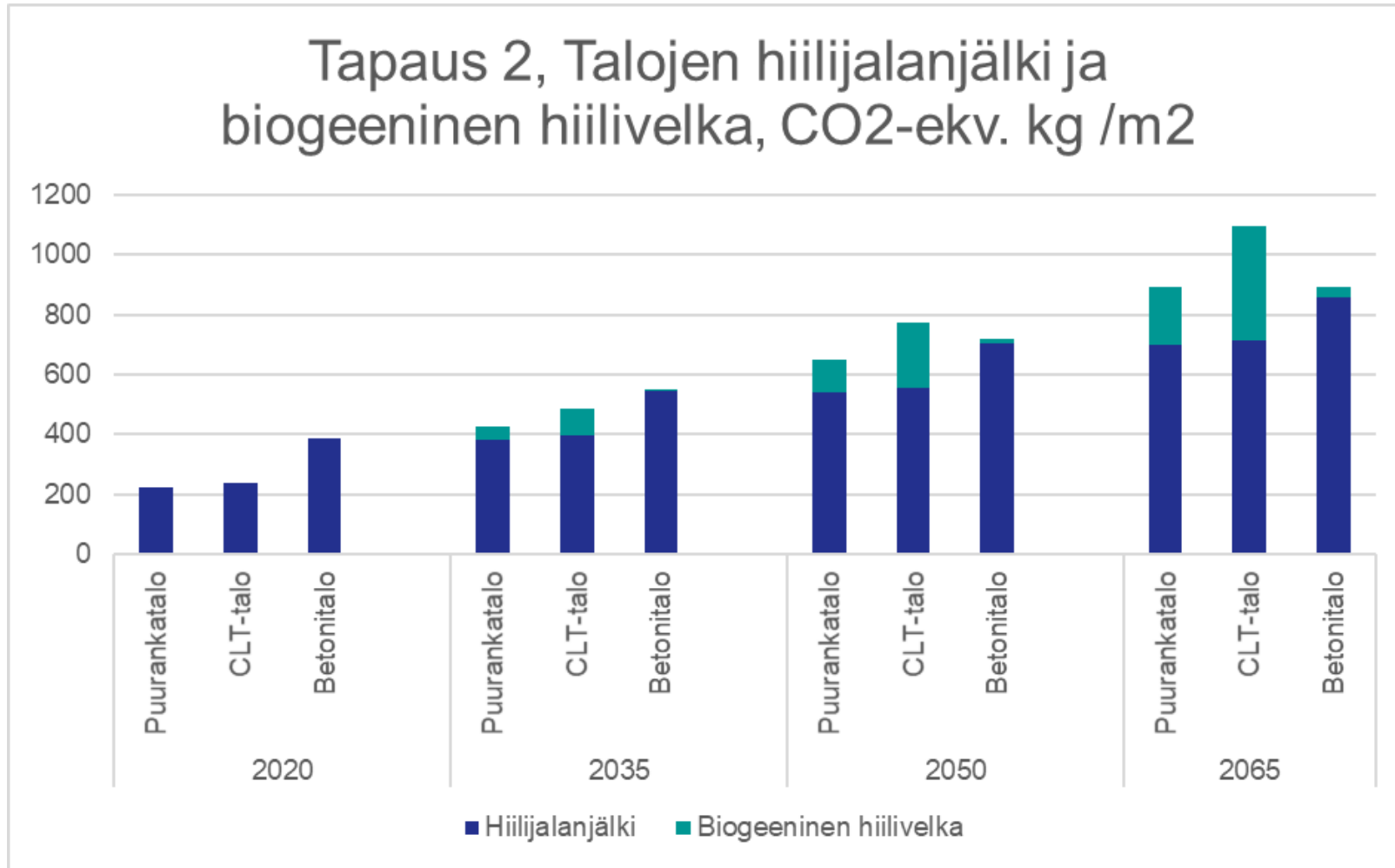


Biogeeniseen hiilivelan suuruuteen vaikuttaa suoraan taloihin käytetyn puun määrä. Puurankataloon verrattuna CLT-taloon menee noin kaksinkertainen määrä puuta, kun taas betonitaloon vain alle viidesosa puurankatalosta.

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.

Tapaustutkimuksen 2 tulokset

Tapaus 2, Talojen hiilijalanjälki ja biogeeninen hiilivelka, CO₂-ekv. kg /m²

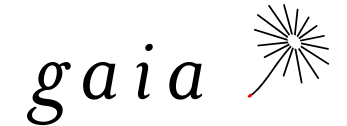


Tulokset ovat hyvin samankaltaiset Case 2:n osalta. Pieni ero biogeenisen hiilivelan suuruudessa johtuu siitä, että Pohjois-Suomessa metsän kasvu on hitaampaa ja tukkipuun osuus saatavasta ainespuusta pienempi.

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.

Johtopäätöksiä tapaustutkimuksista 1 ja 2



- Näissä tapaustutkimuksissa metsän hiilitaseesta yhden puurakennuksen osuudeksi laskettiin vain tuotetusta tukkipuusta saatavien pitkäkestoisten tuotteiden osuus. Tämä pohjautuu elinkaariarvioinnin 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 hiilijalanjälki kasvaisi vastaavasti.
- **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 hiilijalanjäljen 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. 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 puun käytön erilaiset vaihtoehdot, kuten se, että rakentamiseen käytetty puu käytettäisiinkin kuitu- tai energiapuuna.

5. Hiilikädenjälki sääntelyssä

5.1 Tapaustutkimukset 3 ja 4



- 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)
- Tapaustutkimuksessa 4 käytetään MRL:n hiilikädenjälkimääritelmää sekä puuttuvien ohjeistusten kohdalla YM:n Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmää.
- Lähtökohtana laskennalle oli tapaustutkimusten 1 ja 2 tapaan Viljakaisen & Lahtelan (2019) tapaustutkimus erityyppisten rakennusten hiilijalanjäljen laskennasta.

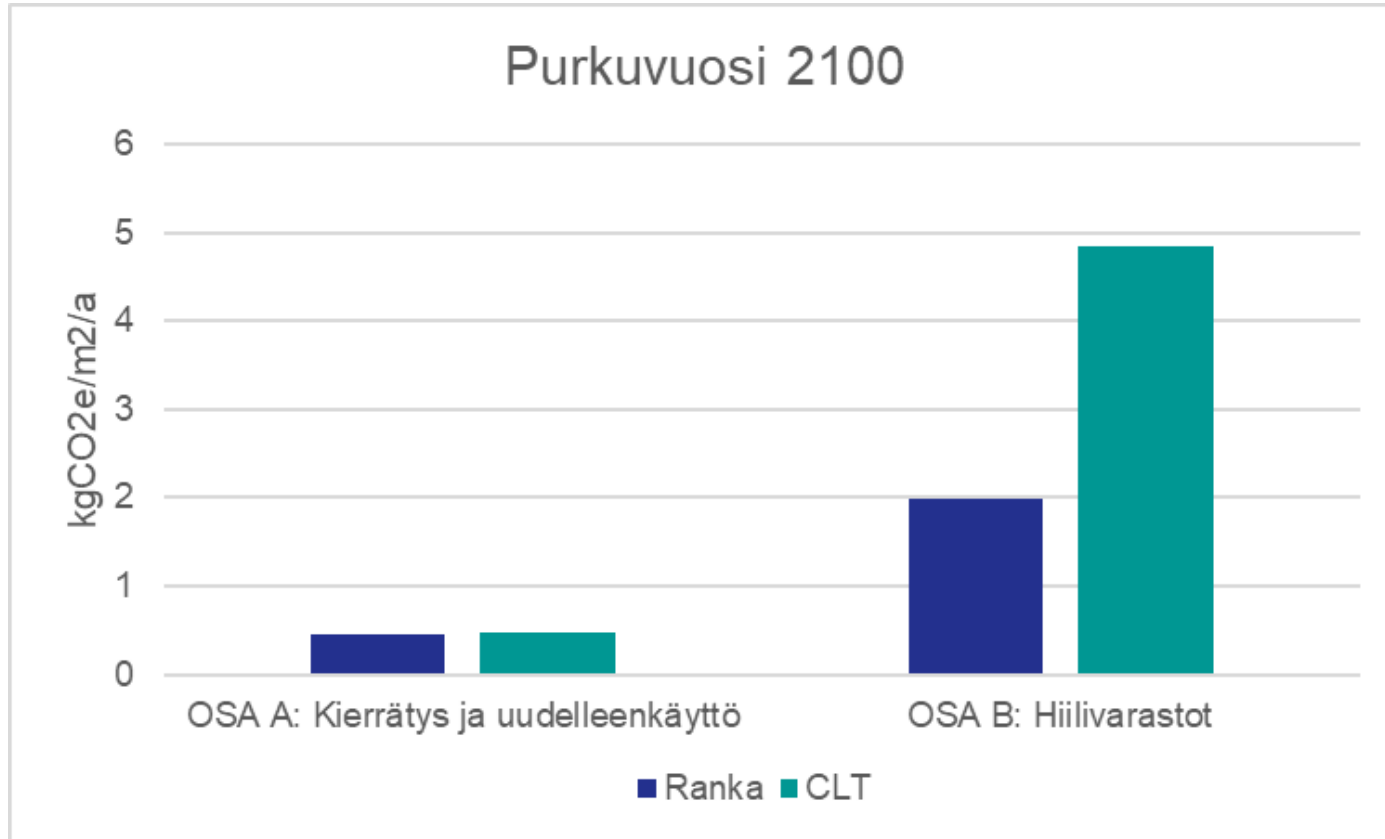
	TAPAUSTUTKIMUS 3	TAPAUSTUTKIMUS 4
KOHDE	CLT-rakenteinen talo ja rankarakenteinen talo Viljakaisen & Lahtelan (2019) mukaan	
LASKENTA-MENETELMÄ	VTT Carbon Handprint Guide ja Mission Innovation AEF	MRL:n luonnosteksti ja YM:n laskentaohje
LÄHTÖTIEDOT	Viljakainen & Lahtela (2019)	Viljakainen & Lahtela (2019)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

Tapaustutkimuksen 3 tulokset (VTT:n laskentamenetelmä)

	Hiilikädenjälki, tCO ₂ e	Hiilikädenjälki, kgCO ₂ e/m ² /a
Rankarakenteinen puutalo	-14	-1,59
CLT-talo	-446	-6,27

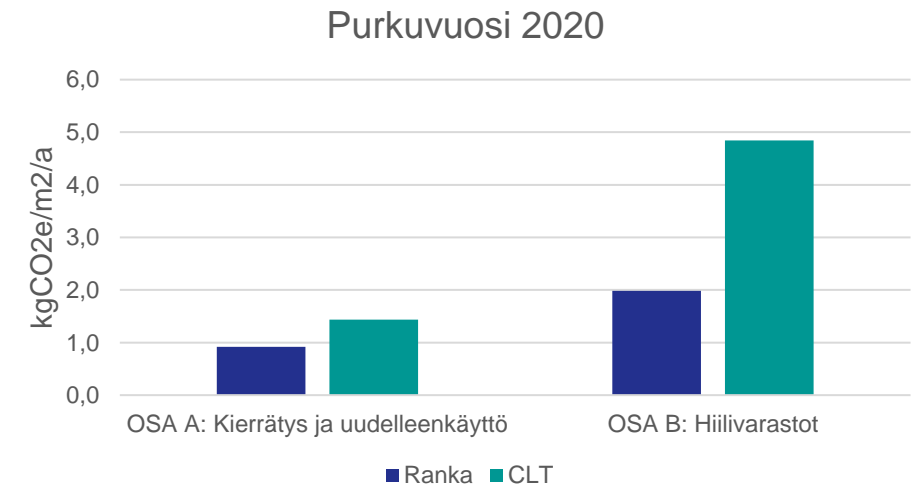
- Taulukossa on esitetty laskennan tulokset tapaustutkimukselle 3. Ilmoitamme tulokset sekä tCO₂e -yksikössä että MRL:n menetelmän mukaisessa yksikössä vertailun vuoksi. Jälkimmäisessä luvussa on otettu huomioon rakennuksen oletusarvoinen 75 vuoden käyttöikä.
- **Puiden kasvamaan jättämisen positiivinen vaikutus on selvästi suurempi kuin puurakennusten rakentamisen hiilikädenjäljet. Kun biogeeninen hiilen sidonta huomioidaan, hiilikädenjälkikokonaisuus on siis sekä rankarakenteisella puutalolla että CLT-talolla negatiivinen eli hiilidioksidipäästöjä syntyy enemmän kuin niitä säästyy puurakentamisen ansiosta.**

Tapaustutkimuksen 4 tulokset



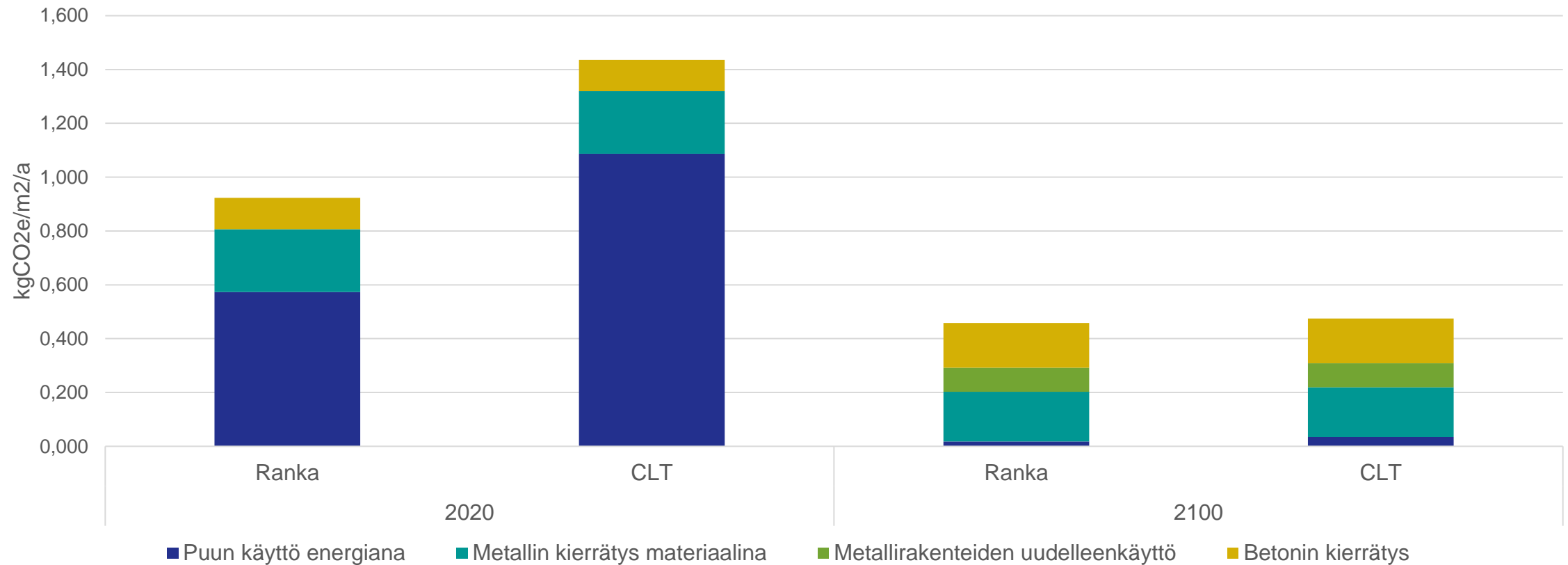
Tapaustutkimuksen 4 tulokset osista A ja B. (osat C ja D jätettiin tarkastelusta pois)

- Kuvassa 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.
- Alla herkkyystarkastelu, jossa purkuvuosi 2020:

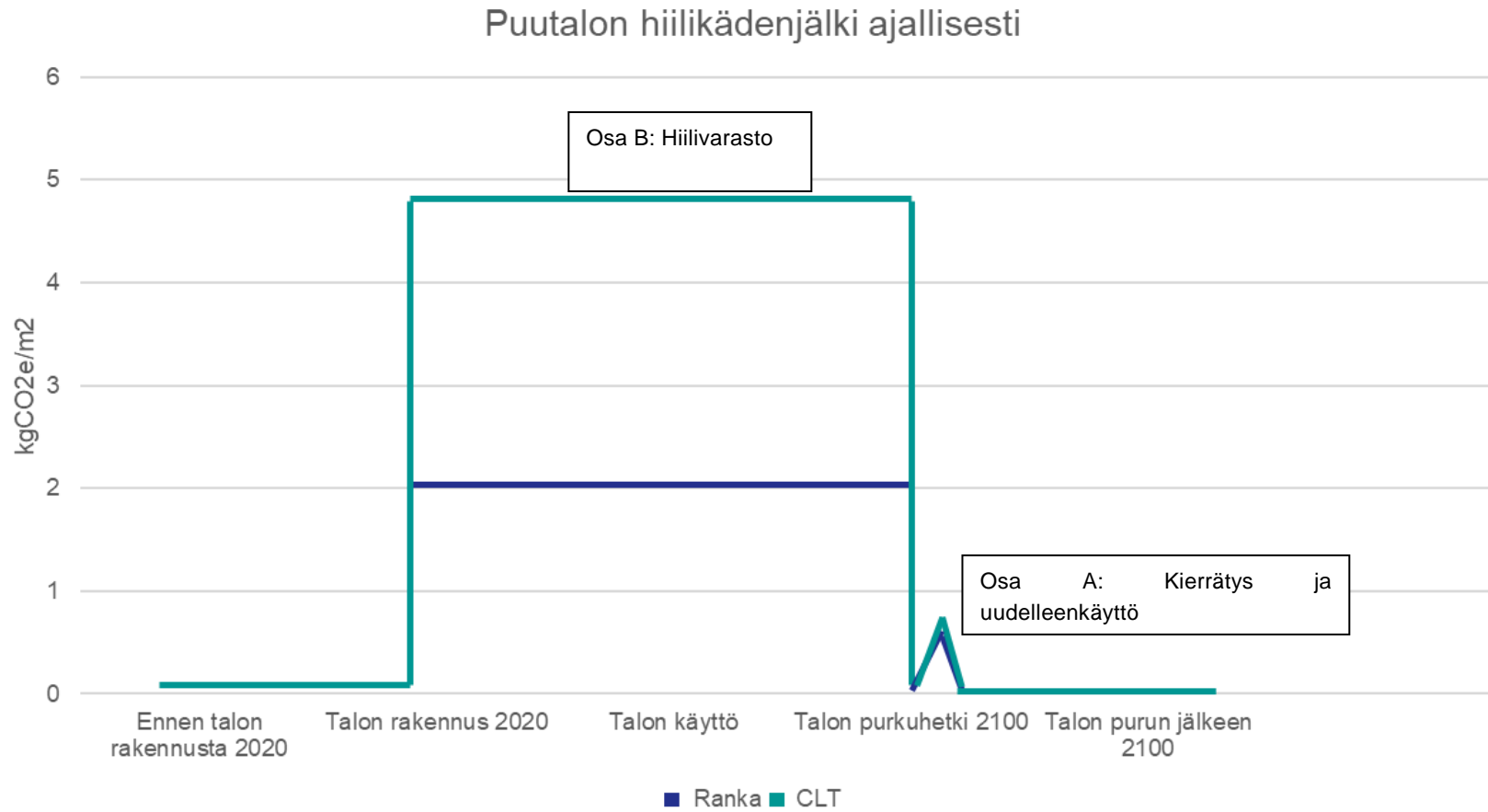


Tapaustutkimuksen 4 tulokset (MRL:n määritelmän menetelmä)

Hiilikädenjälki, OSA 1: Kierrätys ja uudelleenkäyttö



Puutalon hiilikädenjälki ajallisesti



Tapaustutkimusten 3 ja 4 tulosten vertailu

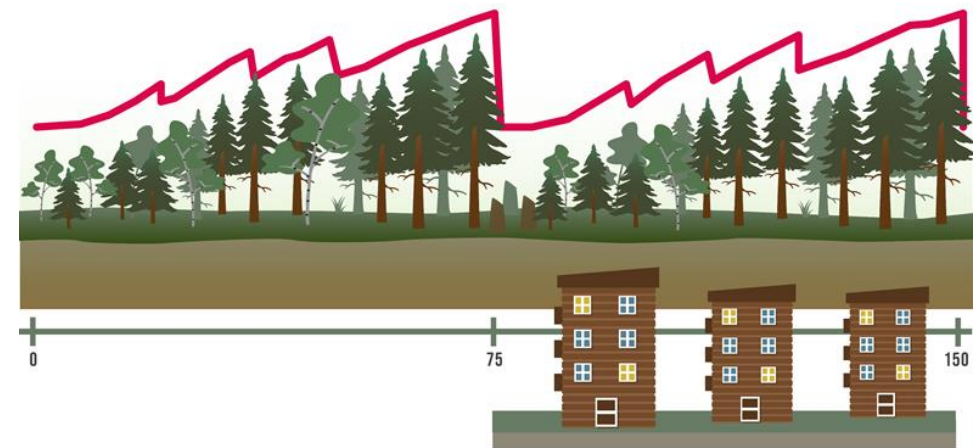
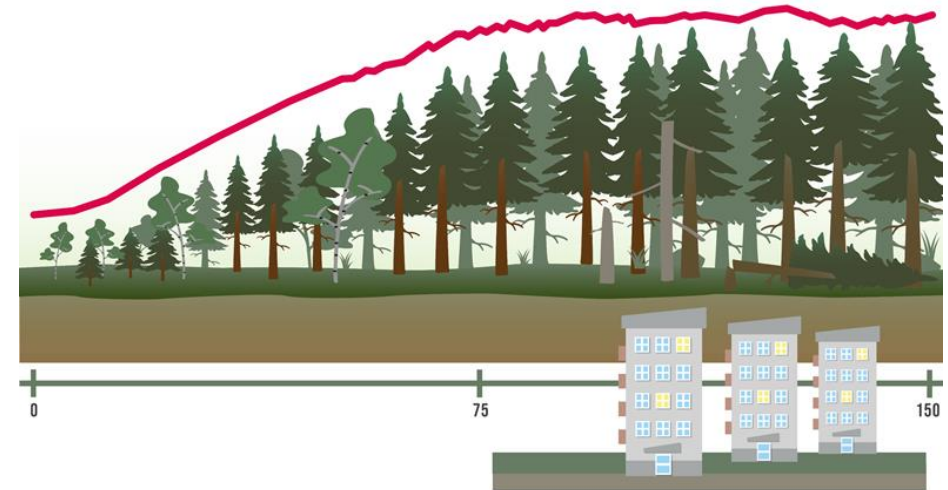


Hiilikädenjälki (kgCO ₂ e/m ² /a)	Tapaustutkimus 3: VTT:n menetelmä	Tapaustutkimus 4: MRL:n menetelmä	
		2020	2100
<i>Purkuvuosi</i>			
Rankarakenteinen puutalo	-1,59	2,9	2,44
CLT-talo	-6,27	6,28	5,31

- Taulukossa 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 & Lahtelan 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.

5.2 Hiilikädenjäljen haasteet osana rakentamisen sääntelyä

- Perimmäisenä haasteena hiilikädenjäljen ottamisessa mukaan lainsäädäntöön on se, että **hiilikädenjälki on vakiintumaton käsite, jonka määritelmästä ja laskentatavasta ei ole yksimielisyyttä**. Tavanomaiset hiilikädenjälki-laskentamenetelmät, jotka perustuvat hiilijalanjälkien vertailuun (kuten VTT:n Carbon Handprint -metodologia), eivät sovellu sellaisenaan rakentamiseen, eikä rakentamiseen ole vielä kehitetty vakiintunutta omaa hiilikädenjälkilaskentamenetelmää.
- 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 on hiilineutraali, mutta lyhyellä aikavälillä, jota nyt selkeästi käsitellään, biogeeninen hiilivelka pitäisi huomioida.



5.3 Vaikutukset rakentamiseen ja eri vähähiilisten rakennusmateriaalien käyttöön

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.
- **Positiivisten vaikutusten ilmoittaminen voi kannustaa alan toimijoita kehittämään uudenlaisia pitkäaikaista hiilivarastoa ja hiilikädenjälkeä edistäviä ratkaisuja rakennusteollisuudessa, myös muiden materiaalien kehittämisessä.** Esimerkkinä muista hiilivarastoa ja hiilikädenjälkeä edistävästä materiaaleista voisivat olla erilaiset hiilensidontaratkaisut betoniin, tai esimerkiksi hiilen varastointi muovituotteisiin.

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, joutuisi rakennusala etsimään keinoja raja-arvotason saavuttamiseksi. Tällä saattaisi olla vaikutuksia rakennusmateriaalien päästöjen kannalta keskeisten rakennusmateriaalien valintoihin rakennusta suunniteltaessa seuraavasti:
 - Uudelleenkäytön ja kierrätyksen nettohyödyt (EN 15804) ohjaisivat käyttämään ratkaisuja, joiden kierrätysyhyöty ja uudelleenkäyttöpotentiaali on suuri (esim. teräsrakenteet).
 - 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.
 - Rakennuksen ylijäämäenergiantuoton huomioiminen ohjaa erilaisiin rakennuksen energiantuottoratkaisujen yleistymiseen ja talotekniseen tuotekehitykseen.

Vaikutukset rakentamiseen ja eri vähähiilisten rakennusmateriaalien käyttöön

Mitkä jos hiilikädenjälki olisi julkisen rakentamisen hankintakriteeri?

- Julkisissa hankinnoissa voidaan hankittavalle rakennusurakalle esittää erilaisia hankintakriteerejä, jotka tarjoajien tulee täyttää joko kynnysehtomaisesti tai niin, että kriteerejä vertaillaan jollain tavalla valittaessa kokonaisedullisinta tarjousta. Silloin korkeamman hiilikädenjäljen laskennallisesti saava hanke voisi voittaa alhaisemman hiilikädenjäljen hankkeen, mikäli ne muuten olisivat tasavertaisia kilpailutuksessa.
- 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.
- 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.

5.4 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 2035. 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 on riski että hiilineutraalisuustavoite jää saavuttamatta.
- Rakennusten eloperäiset hiilivarastot lasketaan mukaan kasvihuonekaasuinventaarioon LULUCF-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 hakkuun hiilimäärästä.

5.5 Ehdotuksia hiilikädenjäljen määrittelyyn 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.
- **Väliaikaisten hiilivarastojen ja päästöjen vähenemisen summaaminen on ongelmallista** – nämä eivät ole aivan yhteismitallisia suureita
- **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?
 - **Ehdottaisimme jonkinlaista tulevaisuuden päästökehityksen huomiointia kädenjäljen laskentaan, jotta tulevaisuuden positiivisia ilmastovaikutuksia ei yliarvioitaisi.** Tulevaisuuden kehitykseen kuvaamiseen tarvittaisiin vähintään skenaariot, joita kaikki noudattavat 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?
 - **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 aikaväleillä.

6. Pohdinta ja yhteenveto

6.1 Pohdinta

- Hiilikädenjälki sinänsä on moninaisesti määritelty käsite. Yleensä sillä tarkoitetaan toiminnan ilmastopositiivista vaikutusta, joka voi olla esimerkiksi muiden toimijoiden hiilijalanjäljen pienentämistä mutta myös hiilivarastojen luomista. Väliaikaisella hiilen varastoinnilla arvioidaan olevan merkitystä ilmastonmuutoksen kiireellisessä hillinnässä – pitkällä tähtäyksellä niillä ei ole vaikutusta ilmakehän hiilidioksidipitoisuuksiin.
- Ympäristöministeriö (ja MRL:n laskentamenetelmä) lähtee siitä, että rakennuksen hiilikädenjälki viittaa sellaisiin ilmastohyötyihin, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta. Näin vältetään suora vertailu (määrittelemättömään) perusratkaisuun, mutta joudutaan määrittelemään ilmastohyödyt epäsuorasti. Lähestymistavan kiistaton hyöty on vapautuminen referenssitapauksen määrittelystä, mutta samalla syntyy uusia haasteita. Näin määritellyn hiilikädenjäljen hyödyt realisoituvat osittain vasta tulevaisuudessa ja ovat epävarmoja

Keskeisiä haasteita hiilikädenjäljen sisällyttämiselle sääntelyyn on kaksi:

1. Rakennusmateriaaleihin sisältyvän eloperäisen hiilen käsittely standardeissa, elinkaarilaskentamenetelmissä (ja ehdotetussa hiilikädenjälkimäärittelyssä) huomioi vaillinaisesti 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 päästövähennystavoittemme.

6.2 Yhteenveto

- 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 se, mitä vaikutuksia hakkuilla on, että puutuotteita vastaava puumäärä poistetaan metsän hiilinielusta.** Tehdyn tapaustutkimuksen tulokset osoittavat, että näin laskettuna pitkällä aikavälillä puurakennuksen kokonaishiilijalanjälki (hiilivelka huomioiden) jopa ylittää betonirakennuksen kokonaishiilijalanjäljen.

- **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 vakioda. Tulee voida esittää selkeät perustelut sille, miksi juuri tiettyä menetelmää käytetään.
 - Sääntelyn tulee täyttää hyvän sääntelyn kriteerit.