

Puutuotteet hiilivarastona ja uusiutumattomien materiaalien korvaajina

Puurakentamisen lisäämisen vaikutukset
kasvihuonekaasutaseisiin Suomessa
vuoteen 2035 mennessä

Sampo Soimakallio, Tarja Häkkinen, Jyri Seppälä



Puutuotteet hiilivarastona ja uusiutumattomien materiaalien korvaajina

**Puurakentamisen lisäämisen vaikutukset
kasvihuonekaasutaseisiin Suomessa
vuoteen 2035 mennessä**

Sampo Soimakallio, Tarja Häkkinen, Jyri Seppälä



Suomen ympäristökeskuksen raportteja 45 | 2021

Suomen ympäristökeskus

Kulutuksen ja tuotannon keskus

Kirjoittajat: Sampo Soimakallio, Tarja Häkkinen, Jyri Seppälä

Suomen ympäristökeskus

Vastaava erikoistoimittaja: Ari Nissinen

Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (SYKE)

Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Taitto: Suomen ympäristökeskus

Kannen kuva: Hannu Rytty. Kuvassa Hopealaakson päiväkotit Helsingissä.

Julkaisu on saatavana veloituksetta internetistä: www.syke.fi/julkaisut | helda.helsinki.fi/syke

ISBN 978-952-11-5437-9 (PDF)

ISSN 1796-1726 (verkkok.)

Julkaisuvuosi: 2021

Tiivistelmä

Puutuotteet hiilivarastona ja uusiutumattomien materiaalien korvaajina. Puurakentamisen lisäämisen vaikutukset kasvihuonekaasutaseisiin Suomessa vuoteen 2035 mennessä

Sanna Marinin hallituksen ohjelman (Valtioneuvosto 2019) tavoitteena on, että Suomi on hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja hiilinegatiivinen pian sen jälkeen. Yhtenä keskeisenä keinoja Marinin hallituksen ilmasto- ja energiastrategian tavoitteiden saavuttamiseksi on esitetty puun käytön lisäämistä rakentamisessa.

Puurakentamisen ilmastovaikutuksiin ja niiden arviointiin liittyy erilaisia näkökulmia ja käsitteitä. Nämä näkökulmat ja käsitteet menevät usein julkisessa keskustelussa sekaisin ja niitä saatetaan siten käsitellä epäjohdonmukaisesti. Tässä raportissa selvennetään sitä, miten puutuotteet erityisesti rakentamisessa toimivat hiilivarastona ja miten puun hiileen liittyvät taseet lasketaan ja raportoidaan kansainvälisissä sopimuksissa. Raportissa selvennetään myös metsien ja puutuotteiden hiilitaseen laskentaa puurakentamisen kokonaisilmastovaikutusten arvioinnin kannalta. Lisäksi raportissa luodaan kokonaiskuva Suomen rakennuskannan kasvihuonekaasupäästöistä ja puurakentamisen kasvupotentiaalista sekä sen mahdollisuuksista auttaa fossiilisten päästöjen vähentämisessä ja vaikutuksista Suomen kasvihuonekaasutaseisiin vuoteen 2035 mennessä.

Puurakentamisen lisääminen vaikuttaa kasvihuonekaasujen nettopäästöihin metsien nettohiilinielun ja puutuotteiden hiilen poistumien sekä vaihtoehtoisten materiaalien tuotannossa syntyvien päästöjen kautta. Nämä vaikutukset ja niiden kohdentuminen Suomeen ja Suomen rajojen ulkopuolelle riippuvat monista eri tekijöistä.

Skenaariotarkasteluissa puurakentamisen lisäämisen vaikutus Suomen nettopäästöihin vuonna 2035 vaihteli 1,4 Mt CO₂-ekv. vähennyksestä 0,5 Mt CO₂-ekv. lisäykseen. Vaihteluväli oli seurausta siitä, saatiinko puurakentamisen lisäämiseksi tarvittava puu kotimaisten hakkuiden lisäyksellä, sahatavaran vientiä vähentämällä, vai laajentamalla raaka-ainepohjaa pikkutukkeihin ja parantamalla tuotannon resurssitehokkuutta. Nettopäästöt vähenivät skenaarioissa, joissa tarvittava puumateriaalien lisäys saatiin vientiä vähentämällä tai laajentamalla raaka-ainepohjaa pikkutukkeihin ja parantamalla tuotannon resurssitehokkuutta ja puolestaan kasvoivat skenaarioissa, joissa lisäys saatiin kotimaisia hakkuita lisäämällä. Skenaariotarkasteluihin liittyy useita oletuksia, jotka vaikuttavat tuloksiin. Kaikkien oletusten vaikutusta ei tarkasteltu laskennallisesti.

Sekä päästöillä että nieluilla on merkitystä ilmastopolitiikassa. Fossiilisten päästöjen vähentämisen ja nielujen kasvattamisen merkitys taloudellisille toimijoille riippuu siitä, minkälaista sääntelyä päästöihin ja nieluihin tullaan soveltamaan ja miten se vaikuttaa päästöjen ja nielujen kehittymiseen ja taloudelliseen arvoon.

Asiasanat: hiilivarasto, hiilinielu, puurakentaminen, puutuotteet, skenaariot, kasvihuonekaasut, päästöt

Sammandrag

Träprodukter som kollager och ersättning för icke-förnybara material. Effekterna av ett ökat byggande med trä på växthusgasbalansen i Finland fram till år 2035

Målet med Sanna Marins regeringsprogram (Statsrådet 2019) är att Finland ska vara koldioxidneutralt fram till 2035 och koldioxidnegativt kort därefter. Ett av de viktigaste sätten att uppnå målen i Marinregeringens klimat- och energistrategi är att öka användningen av trä i byggandet.

Det finns olika perspektiv och begrepp relaterade till klimateffekterna av att bygga i trä och bedömningen av dessa effekter. Perspektiven och begreppen förväxlas ofta i den offentliga debatten och kan därför användas på ett motsägelsefullt sätt. I den här rapporten förtydligas hur träprodukter, och särskilt i byggnadsverksamhet, fungerar som kollager och hur träets kolbalanser beräknas och rapporteras i internationella avtal. I rapporten förtydligas även beräkningen av skogarnas och träprodukternas kolbalanser för bedömningen av de totala klimateffekterna av att bygga med trä. I rapporten skapas dessutom en helhetsbild av det finska byggnadsbeståndets växthusgasutsläpp och träbyggandets tillväxtpotential och möjligheter att bidra till minskade utsläpp från fossila bränslen och dess inverkan på Finlands växthusgasutsläpp fram till år 2035.

Ett ökat byggande med trä påverkar nettoutsläppen av växthusgaser genom skogarnas nettokolsänkor, träprodukternas koldioxidupptag samt de utsläpp som genereras i tillverkningen av alternativa material. Dessa effekter och deras koncentration i Finland och utanför Finlands gränser beror på många olika faktorer.

Vid scenarioanalyser varierade det ökade träbyggandets effekt på Finlands nettoutsläpp år 2035 mellan en minskning med 1,4 Mt CO₂-ekv. och en ökning med 0,5 Mt CO₂-ekv. Denna variation var en följd av huruvida trämaterial som krävs för ett ökat byggande med trä erhöles genom en större inhemsk avverkning, minskad export av virke, eller genom att man breddade råmaterialbasen till klintimmer och förbättrade produktionens resurseffektivitet. Nettoutsläppen minskade i de scenarier där den ökade mängden trämaterial uppnåddes genom minskad export eller genom att råmaterialbasen breddades till klintimmer och genom att produktionens resurseffektivitet förbättrades. Däremot ökade nettoutsläppen i de scenarier där den ökade trämängden uppnåddes genom en större inhemsk avverkning. Det finns flera antaganden som påverkar resultaten i scenarioanalyserna. Effekterna av alla antaganden har inte bedömts genom beräkningar.

Både utsläpp och sänkor har betydelse för klimatpolitiken. Vilken betydelse minskade utsläpp från fossila bränslen och fler sänkorna har för ekonomiska aktörer beror på vilken typ av reglering som kommer att tillämpas på utsläpp och sänkor, och hur denna kommer att påverka utvecklingen och det ekonomiska värdet av utsläppen och sänkorna.

Nyckelord: kollager, kolsänkor, träbyggande, träprodukter, scenarier, växthusgaser, utsläpp

Abstract

Wood products as carbon storages and substitutes for non-renewable materials. The impact of increasing wood construction on Finland's GHG balances by 2035

According to Prime Minister Sanna Marin's Government Programme (Finnish Government, 2019), Finland will be carbon neutral by 2035 and carbon negative soon after that. Increasing the use of wood in construction has been proposed as a key method for achieving the objectives of Marin's Government's climate and energy strategy.

The climate impact of wood construction is associated with a variety of approaches and concepts. These approaches and concepts are often mixed up in public debate, which may lead to them being discussed in an inconsistent manner. This report explains how wood products can be used as carbon storages in wood construction in particular, and how carbon balances are calculated and reported on in the context of international conventions. This report also provides information on the calculation of carbon balances of forests and wood products in relation to the estimation of the total climate impact of wood construction. In addition, the report provides an overview on the GHG emissions resulting from Finland's building stock. It also outlines the growth potential of wood construction, the opportunities it provides for contributing to the reduction of fossil fuel emissions, and its impact on Finland's GHG emission balances by 2035.

Increasing wood construction has an impact on the net GHG emissions via the reduction of the net carbon sink of forests, the negative emissions of wood products, and the emissions resulting from the production of the alternative materials. These impacts and the way they are distributed within Finland and outside Finland depend on a variety of factors.

In the scenario analysis, the impact of increasing wood construction to Finland's net emissions in 2035 varied between a reduction of 1.4 Mt CO₂eq to an increase of 0.5 Mt CO₂eq. This variation occurred depending on whether the wood required for wood construction was sourced by increasing forest felling in Finland, by reducing the exports of sawn timber, or by expanding the selection of raw materials to small-diameter logs and improving the resource efficiency of production. The net emissions decreased in the scenario in which the required increase in wood materials was achieved by reducing exports or by expanding the selection of raw materials to small-diameter logs and improving the resource efficiency of production. The net emissions increased in the scenario in which the required increase was achieved by increasing forest felling in Finland. The scenarios involved a variety of assumptions that affect the results. Not all effects of these assumptions were analysed quantitatively.

Both emissions and carbon sinks are significant for climate policies. The effects of decreasing fossil fuel emissions and increasing the size of carbon sinks to commercial operators depend on what kind of regulation will be applied to emissions and carbon sinks, and on how the regulation affects the development and commercial value of emissions and carbon sinks.

Keywords: carbon storage, carbon sink, wood construction, wood products, scenario, greenhouse gas, GHG, emissions

Esipuhe

Tämä selvitys on tehty osana *HIILIJEMMA*-viestintähanketta, jota koordinoi Tapio Oy ja sen partnereina ovat Puutuoteteollisuus ry. ja Sahateollisuus ry. Hiilijemma-viestintähanketta on rahoitettu maa- ja metsätalousministeriön Hiilestä kiinni -toimenpidekokonaisuuden kehittämishankkeiden rahoituksesta. Suomen ympäristökeskus toteutti tämän selvityksen *HIILIJEMMA*-hankkeeseen alihankkijana. Hankeryhmään osallistuivat Tapio Oy:stä asiantuntija Sara Turunen, Puutuoteteollisuus ry:stä erityisasiantuntija Aila Janatuinen, ja toimitusjohtaja Matti Mikkola sekä Sahateollisuus ry:stä toimitusjohtaja Kai Merivuori, projektipäällikkö Kari Perttilä ja yhteiskuntasuhdepäällikkö Anniina Kostilainen. Suomen ympäristökeskuksesta tehdyn alihankinnan toteuttivat ryhmäpäällikkö Sampo Soimakallio, erikoistutkija Tarja Häkkinen ja professori Jyri Seppälä. Raportissa esitetään näkemyksiä, jotka perustuvat raportin tekijöiden arvioihin ja laskelmiin. Tekijät kiittävät lämpimästi kaikkia selvityksen tilaajia arvokkaista kommentteista selvityksen aikana.

Lokakuussa 2021

Tekijät

Sisällys

Tiivistelmä.....	3
Sammandrag	4
Abstract.....	5
Esipuhe	7
1 Johdanto	9
2 Keskeiset näkökulmat ja käsitteet.....	11
3 Puuvarat ja puun käyttö sekä metsien hiilivarastot ja -nielut Suomessa.....	14
3.1 Puuvarat, hakkuut ja puun käyttö Suomessa	14
3.2 Metsien ja puutuotteiden hiilivarastot ja -nielut Suomessa	15
4 Pitkäikäisten puutuotteiden hiilivarasto.....	18
5 Puun kestävyys- ja elinkaariominaisuudet.....	19
5.1 Puun kestävyys ja käyttöikä.....	19
5.2 Käyttöikämitoitus.....	19
5.3 Muiden elinkaariominaisuuksien merkitys pitkän käyttöiän kannalta	19
6 Metsien ja puutuotteiden hiilitaseiden laskenta.....	21
6.1 Kasvihuonekaasujen raportointi kansainvälisille sopimuksille	21
6.2 Rakennustuotteiden ja rakennusten elinkaariarviointi.....	25
7 Rakennuskannan kasvihuonekaasupäästöt.....	26
7.1 Uudisrakentamisen päästöt	28
7.2 Puurakentamisen kasvun potentiaali ja fossiilisten päästöjen vähentämispotentiaali	29
8 Puurakentamisen lisäämisen vaikutus metsien ja puutuotteiden hiilitaseisiin ja fossiilisiin päästöihin Suomessa	33
8.1 Skenaariotarkastelut.....	33
8.2 Tulosten merkitys Suomen ilmastotavoitteiden kannalta	39
9 Yhteenveto ja johtopäätökset	41
Lähteet	43

1 Johdanto

Pariisin ilmastopimuksen tavoitteena on vakauttaa globaalin keskilämpötilan nousu alle kahteen Celsius-asteeseen, pyrkien 1,5 Celsius-asteen globaaliin lämpötilan nousuun esiteolliseen aikaan verrattuna. Tavoitteen saavuttaminen edellyttää nopeaa vähennystä kasvihuonekaasujen päästöissä ja lisäystä hiiltä sitovissa nieluissa siten, että ihmistoiminnan synnyttämät kasvihuonekaasujen lähteet ja ihmistoimin aikaansaadut hiiltä poistavat nielut ovat tasapainossa viimeistään tämän vuosisadan loppupuoliskolla. Pariisin sopimus edellyttääkin, että sopimuksen osapuolet suojelevat ja vahvistavat hiilen nieluja ja varastoja, mukaan lukien metsät. (UNFCCC 2016)

Pariisin sopimus luo globaalilla tasolla puitteet kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisen ja nielujen kasvattamisen aikataululle. Sopimuksen osapuolten oikeudenmukaisissa kontribuutioissa tulee myös huomioida maiden eriytetty mutta yhteinen vastuu, minkä perusteella rikkaimpien valtioiden tulee vähentää päästöjään enemmän ja nopeammalla aikataululla kuin köyhempien valtioiden. Tämä tulee ottaa huomioon arvioitaessa yksittäisten valtioiden, kuten Suomen, ilmastotoimien riittävyttä.

Sanna Marinin hallituksen ohjelman (Valtioneuvosto 2019) tavoitteena on, että Suomi on hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja hiilinegatiivinen pian sen jälkeen. Marinin hallituksen ilmasto- ja energiastrategian täydentäviä politiikkatoimia huomioivassa WAM-skenaariossa (*with additional measures*) tavoitteeksi asetettiin, että Suomen alueelliset kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat ovat tasapainossa (hiilineutraalius saavutetaan) vuoteen 2035 mennessä ja kasvihuonekaasupäästöt jatkavat vähenemistään vuoteen 2050 mennessä siten, että poistumat ovat päästöjä suuremmat (hiilinegatiivisuus saavutetaan) (Koljonen ym. 2021).

Yhtenä keskeisenä keinoja Marinin hallituksen ilmasto- ja energiastrategian tavoitteiden saavuttamiseksi on esitetty puun käytön lisäämistä rakentamisessa. Ympäristöministeriön Puurakentamisen ohjelman tavoitteena on lisätä puun käyttöä niin kaupunkien rakentamisessa, julkisessa rakentamisessa kuin suurissa puurakenteissakin (YM 2021). Puu on uusiutuva luonnonvara, jonka hiili säilyy rakenteissa ja kalusteissa pitkään hiilivarastona. Lisäksi puun käytön avulla voidaan vähentää rakentamisesta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä.

Rakentamisen ympäristövaikutusten arvioinnin standardissa puutuotteisiin liittyvien hiilitaseiden käsittelykriteerinä pidetään tuotteen alkuperää puuntuotannollisesti kestävästi hoidetusta talousmetsästä, jossa runkopuuston poistuma ei ylitä sen kasvua (ISO 21930:2017, Section 7.2.7).

Puun käytön lisäämiseen liittyy kuitenkin myös haasteita ilmastonäkökulmasta. Puulla on nimittäin kahdenlainen merkitys ilmastomuutoksen hillinnässä. Kasvavaan puuhun sitoutuu hiilidioksidia ilmakehästä ja toisaalta uusiutuvana raaka-aineena puun hiiltä voidaan hyödyntää materiaaleina ja energiana ja sitä kautta korvata uusiutumattomien raaka-aineiden ja polttoaineiden käyttöä ja vähentää niihin liittyviä kasvihuonekaasupäästöjä (Soimakallio ym. 2021). Tyypillisesti biomassan käyttäminen hiilensidontaan on ainakin jossain määrin ja vähintään lyhyellä aikavälillä vaihtoehtoinen ratkaisu biomassan käytämiselle korvaamaan uusiutumattomia raaka-aineita. Koska puun korjuu väistämättä pienentää metsiin sitoutuneena olevan hiilen määrää useiksi vuosiksi tai vuosikymmeniksi, voidaan ilmakehään vapautuvan puun sisältämän hiilen määrää vähentää tekemällä mahdollisimman pitkäikäisiä puutuotteita. (Soimakallio ym. 2016, Seppälä ym. 2019, Soimakallio ym. 2021)

Puurakentamisen ilmastovaikutuksiin ja niiden arviointiin liittyy erilaisia näkökulmia ja käsitteitä. Nämä näkökulmat ja käsitteet menevät usein julkisessa keskustelussa sekaisin ja niitä saatetaan siten käsitellä epä johdonmukaisesti. Tässä raportissa selvennetään sitä, miten puutuotteet, erityisesti rakentamisessa toimivat hiilivarastona ja miten puun hiileen liittyvät taseet lasketaan ja raportoidaan kansainvälisissä sopimuksissa. Raportissa selvennetään myös metsien ja puutuotteiden hiilitaseen laskentaa puurakentamisen kokonaisilmastovaikutusten arvioinnin kannalta. Lisäksi raportissa luodaan kokonaiskuva Suomen rakennuskannan kasvihuonekaasupäästöistä sekä puurakentamisen kasvupotentiaalista ja sen mahdollisuuksista auttaa fossiilisten päästöjen vähentämisessä. Lopuksi raportissa tarkastellaan

laskennallisesti sitä, miten puurakentamisen lisääminen Suomessa vaikuttaa Suomen kasvihuonekaasutaseisiin vuoteen 2035 mennessä kahdessa erilaisessa puurakentamisen määrää kuvaavassa skenaariossa ja kolmessa erilaisessa vaihtoehdossa, jossa puurakentamiseen tarvittavat raaka-aineet saadaan hakkuista lisäämällä, sahatavaran vientiä vähentämällä tai laajentamalla raaka-ainepohjaa pikkutukkeihin ja tuotannon resurssitehokkuutta parantamalla.

2 Keskeiset näkökulmat ja käsitteet

Jotta metsien ja metsien käytön vaikutukset kasvihuonekaasutaseisiin voidaan ymmärtää johdonmukaisesti, on tarpeen sisäistää keskeiset näkökulmat ja käsitteet, jotka asiaan liittyvät. Seuraavassa avataan näitä näkökulmia ja käsitteitä.

Hiilinielu on prosessi, toiminta tai mekanismi, joka sitoo hiilidioksidia ilmakehästä. Hiilinielulla saateetaan kuitenkin viitata myös kasvihuonekaasujen hiili- tai hiilidioksidiekvivalenteiksi muunnettuun nieluun tai nettonieluun. Nieluterminä käytetään myös kasvihuonekaasutaseesta, johon kuuluu sekä päästölähteitä että nieluja ja joiden määrällisten yksiköiden (päästöjen ja poistumien) itseisarvojen erotus on negatiivinen (poistumat ovat päästöjä suuremmat). Esimerkiksi maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous (LULUCF) -sektori on kokonaisuudessaan nettonielu, jos sen päästöt ovat pienemmät kuin poistumat. Kasvihuonekaasuinventaareissa päästöihin ja poistumiin lasketaan hiilidioksidin lisäksi myös muita kasvihuonekaasuja, kuten metaani ja typpioksiduuli, jotka muunnetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi. Tällöin kyseessä on kasvihuonekaasujen nettonielu.

Metsien hiilinielu tarkoittaa sanan varsinaisessa merkityksessä tilannetta, jossa metsien hiilivarasto kasvaa, koska siihen sitoutuu enemmän hiiltä kuin sieltä poistuu. Kyseessä on nettonielu, koska metsissä tapahtuu aina sekä hiilen sitoutumista yhteyttämisen seurauksena että sen vapautumista lahoamisen ja maahengityksen seurauksena. Toisin sanoen, metsät eivät toimi hiilinieluna, ellei niihin sitoudu enemmän hiiltä kuin sieltä poistuu. Yleensä tarkastelussa huomioidaan myös metaani ja typpioksiduuli hiilidioksidiekvivalenteina ja metsät määritetään hiilinieluksi, jos ne ovat kasvihuonekaasujen nettonielu. Metsän nettohiilinielun arvioinnissa otetaan huomioon hakkuiden kautta poistuva hiilimäärä, mikä vähentää metsän hiilivarastoa. Metsien hiilinieluilla voidaan kuitenkin viitata myös metsissä oleviin biologisiin nieluprosesseihin, joissa hiiltä sitoutuu esimerkiksi kasvaviin puihin. Metsässä yksittäiset hiiltä sitovat puut voidaan siis määritellä hiilinieluiksi biologisen hiilensitoutumisen kautta, vaikka metsä ei itsessään olisikaan hiilinielu (metsän hiilivarasto ei kasvaisi).

Metsien hiilivarasto koostuu maanpäällisen ja -alaisen elävän ja kuolleen biomassan hiilestä. Puuston kasvu ja maaperän karikesyöte ovat metsien hiilivarastoa kasvattavia tekijöitä, kun taas hakkuut ja puunkorjuu sekä puuston lahoaminen ja maahengitys ovat metsien hiilivarastoa pienentäviä tekijöitä.

Puutuotteiden hiilivarasto tarkoittaa sitä hiilimäärää, joka on sitoutuneena tiettyinä ajanhetkenä tiettyyn puutuotemäärään, esimerkiksi tietyn valtion alueella. Puutuotteiden varaston koko voidaan määrittellä, jos tunnetaan **puutuotteiden hiilipitoisuus**. Hiilivaraston ja hiilipitoisuuden käsitteitä sisältyy myös tuotteiden ympäristövaikutuksia ja arviointimenetelmiä koskeviin standardeihin. Tuotteiden ympäristöjalanjälkimenetelmään (ns. PEF-menetelmään) sisältyy väliaikaisen hiilivaraston käsite: Väliaikainen hiilivarasto syntyy, kun tuote vähentää ilmakehän kasvihuonekaasuja tai aiheuttaa negatiivisia päästöjä poistamalla tai varastoimalla hiiltä rajoitetun ajan (JRC 2019). Varastokäsitettä ei sen sijaan ole eurooppalaisessa rakennustuotteiden ympäristöselosteita käsittelevässä standardissa (EN 15804), eikä vastaavassa kansainvälisessä standardissa (ISO 21930:2017). Niiden mukaan biogeenisen hiilen massavirta luonnosta ja takaisin luontoon raportoidaan elinkaari-inventaariossa päästöinä ja poistumina (negatiivisina päästöinä) ja ne ilmaistaan hiilidioksidina. Hiilivaraston sijasta eurooppalainen standardi (EN 15804) sisältää kuitenkin käsitteen biogeeninen hiilisisältö, joka ilmoitetaan hiilenä (C) tuotteen elinkaaritarkastelussa tehtaan portilla (EN 15804).

Puutuotteiden hiilinielu tarkoittaa puutuotteiden hiilivaraston kasvua. Mikäli tiettyyn (esim. valtion) puutuotteiden hiilivarastoon sitoutuu jonakin ajanjaksona (esim. yhdessä vuodessa) enemmän hiiltä kuin sieltä poistuu, kasvaa puutuotteiden hiilivarasto ja puutuotteet raportoidaan

kasvihuonekaasuinventaariossa nettohieluun rinnastettavina poistumina. Näin tehdään, koska kansainvälisesti on sovittu, että biomassan polton päästöt raportoidaan energiasektorilla nollana ja biomassaan sitoutuvan tai siitä vapautuvan hiilidioksidin virtojen sijasta raportoidaan biomassan varastonmuutoksia metsissä, maaperässä ja puutuotteissa. Puutuotteisiin lasketaan kaikki puumateriaalit tuotekategorioitain, sisältäen muun muassa sahatavaran, puulevyt ja paperituotteet. Kiinteitä, kaasumaisia ja nestemäisiä biopolttoaineita ei yleensä huomioida puutuotteina, vaan niihin sisältyvän hiilen oletetaan vapautuvan niiden tuotantovuonna.

Nielu (ks. hiilinielu)

Päästölähde on prosessi, toiminta tai mekanismi, joka aiheuttaa kasvihuonekaasujen (kuten hiilidioksidin), aerosolien tai kasvihuonekaasun esiasteen päästöjä ilmakehään. Päästölähteiden määrää mitataan päästöinä. Esimerkiksi lahoava puu voi olla kasvihuonekaasujen päästölähde.

Nettonielu (ks. hiilinielu)

Nettopäästö tarkoittaa tietyn määritetyn prosessin tai alueen lähteistä aiheutuvien päästöjen ja nielujen aikaansaamien poistumien itseisarvojen määrällistä erotusta. Jos nettopäästö on positiivinen, päästöt ovat poistumia suuremmat.

Absoluuttinen päästö/poistuma viittaa tietyn määritetyn prosessin tai alueen päästöön tai poistumaan, joka ainakin teoriassa voidaan havaita ja mitata. Absoluuttinen päästö tai poistuma on sellainen, joka tapahtuu todellisuudessa tai jonka oletetaan tapahtuvan todellisuudessa. Osapuolten YK:n ilmastosopimuksille toimittamissa kasvihuonekaasuinventaarioissa kuvataan kansainvälisesti sovittujen käytäntöjen mukaisesti ne historialliset päästöt ja poistumat, joiden on arvioitu tapahtuneen. Lisäksi voidaan laatia skenaarioita siitä, miten absoluuttisten päästöjen ja poistumien arvioidaan kehittyvän esimerkiksi business as usual, olemassa olevien ilmastotoimien jatkuessa tai uusien ilmastotoimien käyttöönoton seurauksena.

Hiili-, hiilidioksidi- tai kasvihuonekaasutase tarkoittaa johonkin määritettyyn järjestelmään kertyvän ja sieltä poistuvan hiilen, hiilidioksidin tai kasvihuonekaasujen erotuksen määrää.

Hiili-, hiilidioksidi- tai kasvihuonekaasuvirta tarkoittaa hiilen, hiilidioksidin tai kasvihuonekaasujen virtaa ilmakehästä johonkin varastoon tai sieltä ilmakehään.

Hiilidioksidiekvivalentti on eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävä hiilidioksidiksi yhteismittallistettu vaikutus.

Vertailutilanteeseen suhteutetut päästöt ja poistumat tarkoittavat kahden skenaarion välisten päästöjen ja poistumien erotusta. Tällä tavoin voidaan esimerkiksi tarkastella sitä, kuinka paljon uudet ilmastotoimet vähentävät nettopäästöjä verrattuna tilanteeseen, jossa olemassa olevien toimien oletetaan jatkuvan ilman tarkasteltavia uusia ilmastotoimia. Vertailutilanne muodostaa oletuksien mallinnetun kuvauksen siitä todellisuudesta, joka realisoituisi ilman tarkasteltavaa toimintoa. Vertailutilanteen määrittäminen on välttämätöntä, jotta voidaan johdonmukaisesti arvioida minkä tahansa tarkasteltavan toiminnan vaikutus. Tämä on erityisen tärkeää silloin, kun vertailutilanne on dynaaminen. Esimerkiksi metsien hiilivarasto muuttuu ajan myötä myös siinä tapauksessa, että metsiä ei hakata lainkaan tai niitä hakataan vähemmän kuin tarkasteltavassa tilanteessa. Näin ollen tarkasteltavan hakkuun vaikutus metsien hiilivarastoon syntyy vertailutilanteeseen suhteutettuna. Vertailutilanteessa voidaan olettaa, että metsiä käsitellään tai niitä ei käsitellä lainkaan. Johdonmukainen valinta riippuu tarkastelun näkökulmasta, mutta oleellista on, että tarkasteltava käsittely (esim. hakkuu) ei sisälly vertailutilanteeseen.

Vertailutilanne valitaan tutkimustavoitteen mukaan. Vertailutilanteessa tulee kuvata kaikki ne päästöt ja poistumat, joiden oletetaan muuttuvan tarkastellun toiminnon seurauksena. Esimerkiksi puusta valmistettavilla tuotteilla ja energialla voidaan korvata sille vaihtoehtoisia uusiutumattomia materiaaleja ja energianlähteitä. Näin voidaan välttää vaihtoisten tuotteiden ja energian tuotannossa ja käytössä syntyviä päästöjä.

Substituutio tarkoittaa tuotteen tai palvelun korvautumista jollain toisella tuotteella tai palvelulla. Substituutio tapahtuu aina suhteessa vertailutilanteeseen. Esimerkiksi puunkäytön substituution kohdalla vertailutilanteessa ei olisi käytetty tarkasteltavia puutuotteita ja -energiaa, vaan olisi käytetty niille vaihtoehtoisia tuotteita ja energiaa. Toisin kuin absoluuttiset päästöt, substituutiota ei voida havaita, mitata tai todentaa, vaan se tulee mallintaa oletuksia käyttäen.

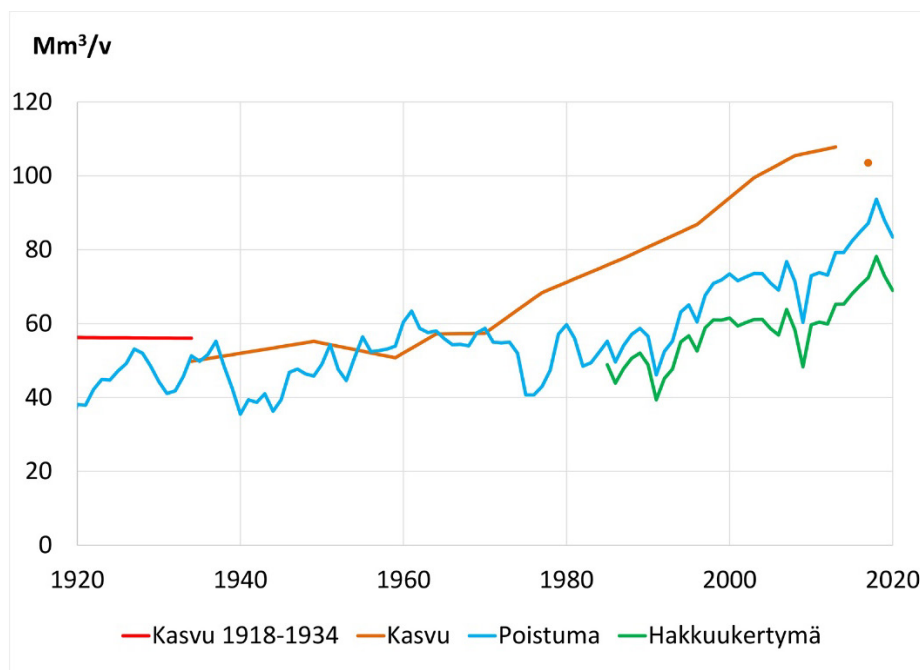
Vältetyt päästöt tarkoittavat tarkastellun toiminnon ja sen vertailutilanteen välisen erotuksen kasvihuonekaasutasetta, esimerkiksi erotusta metsien ja puutuotteiden hiilivarastossa ja uusiutumattomien raaka-aineiden käytöstä aiheutuviissa päästöissä puutuotteen tai -energian tuotantotoiminnossa ja sen vertailutilanteessa. Vältettyihin päästöihin lasketaan usein kuitenkin vain fossiilisista lähteistä peräisin olevat kasvihuonekaasut, jolloin vältetyt päästöt kuvaavat tietyn toiminnon avulla vältettäviä fossiilisia päästöjä.

3 Puuvarat ja puun käyttö sekä metsien hiilivarastot ja -nielut Suomessa

3.1 Puuvarat, hakkuut ja puun käyttö Suomessa

Suomessa puuston kasvu on lähes kaksinkertaistunut 50 vuodessa ja puuston tilavuus on 1,7-kertainen verrattuna 1960-lukuun, koska sen jälkeen puuston kasvu on lisääntynyt selvästi enemmän kuin puuston hakkuu- ja luonnonpoistuma (kuva 1). Keskimäärin vuonna 1960 (VMI 5) puuston kasvu oli noin 50 Mm³, kun se keskimäärin vuonna 2013 (VMI 12) oli noin 108 Mm³ (kuva 1). Valtakunnan metsien 13. inventoinnin (VMI 13) kahden ensimmäisen mittausvuoden mukaan puuston kasvu on alentunut, ja oli keskimäärin vuonna 2017 noin 103,5 Mm³ (kuva 1). Koska puuston kasvu on vuodesta 1970 lähtien koko ajan ylittänyt puuston poistuman, on puuston määrä ja hiilivarasto kokonaisuudessaan kasvanut. Suomen metsissä on nykyään runkopuuta noin 2 505 Mm³ (taulukko 1).

Teollisuuspuun hakkuut olivat Suomessa vuonna 2020 noin 57 Mm³. Se oli seitsemän prosenttia vähemmän kuin vuotta aikaisemmin ja saman verran kuin edeltävän kymmenvuotisjakson keskiarvo. Vuonna 2020 runkopuuta korjattiin lisäksi energiaksi kymmenen miljoonaa kuutiometriä, joten käyttöön hakatun runkopuun kokonaismäärä, eli hakkuukertymä, oli noin 69 Mm³. Tästä tukkipuuta oli noin 36 prosenttia, kuitupuuta 49 prosenttia ja loput 15 prosenttia energiapuuta. Puuston poistuma vuonna 2020 oli yhteensä 83,5 Mm³, sisältäen käyttöön hakatun puun lisäksi myös metsään jäävän hukkarunkopuun ja luonnonpoistuman. Vuonna 2020 Suomessa käytettiin raakapuuta kaikkiaan noin 78 Mm³. Raakapuusta noin 67 Mm³ jalostettiin metsäteollisuudessa. Energian tuotannossa raakapuuta poltettiin noin 11 Mm³. (LUKE 2021a) Vuonna 2020 sahatavaraa tuotettiin noin 11 Mm³ (LUKE 2021a).

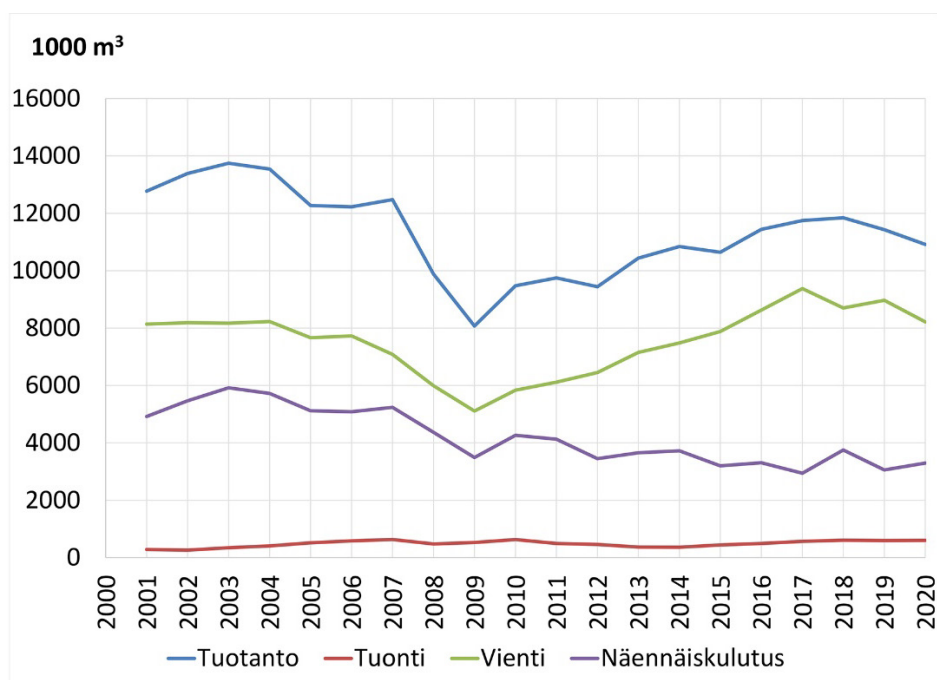


Kuva 1. Puuston vuotuinen kasvu, poistuma ja hakkuukertymä Suomessa. (lähde: LUKE 2021a, b).

Taulukko 1. Suomen puuston ja metsien tilastotietoa (LUKE 2021a, Tilastokeskus 2021a).

Muuttuja	Suure	Yksikkö
Puuston tilavuus metsä- ja kitumaalla	2505	miljoonaa m ³
Puuston kasvu metsä- ja kitumaalla (keskimäärin v. 2016–2017)	103,5	miljoonaa m ³ vuodessa
Runkopuun hakkuukertymä v. 2020	68,9	miljoonaa m ³ vuodessa
Tukkipuu	25,0	miljoonaa m ³ vuodessa
Kuitupuu	33,6	miljoonaa m ³ vuodessa
Energiapuu	10,3	miljoonaa m ³ vuodessa
Metsäteollisuuden puun käyttö v. 2020	67 (josta 86 % kotimaista)	miljoonaa m ³ vuodessa
Puun energiakäyttö v. 2020	99	terawattituntia vuodessa
Viljeltyä metsää v. 2020	95 000	hehtaaria vuodessa
Suojellun metsän pinta-ala	2,9	miljoonaa hehtaaria

Sahatavaran tuotanto on Suomessa vaihdellut noin 8–14 Mm³:n välillä vuosina 2001–2020. Suurin osa sahatavaran tuotannosta Suomessa päätyy vientiin. Sahatavaran kotimaan käyttö on ollut suurimmillaan vuosina 2002–2004. Näennäiskulutus on laskenut 40–50 prosenttia 2000-luvun alusta viime vuosiin. Samalla viennin osuus on noussut. (kuva 2)



Kuva 2. Sahatavaran tuotanto, tuonti, vienti ja niiden kautta laskettu näennäiskulutus Suomessa vuosina 2001–2020. Näennäiskulutus on laskettu lisäämällä tuotantoon tuonti ja vähentämällä näiden summasta vienti. (LUKE 2021a).

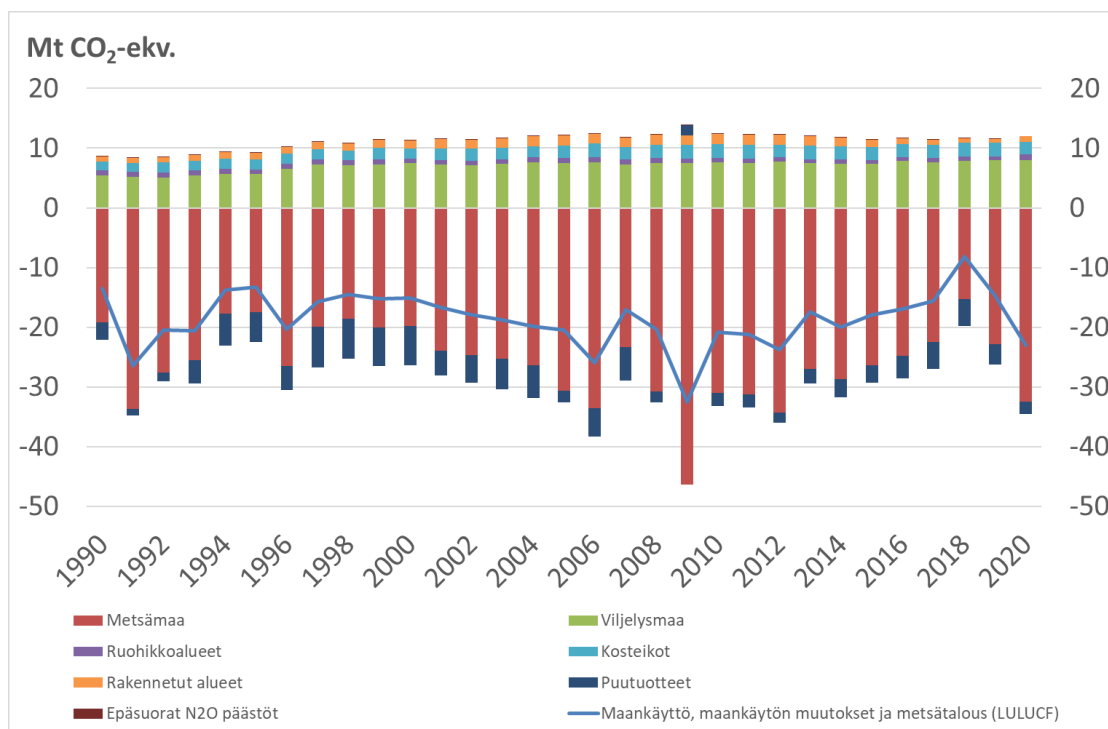
3.2 Metsien ja puutuotteiden hiilivarastot ja -nielut Suomessa

Suomen metsien puustossa on hiiltä reilut 800 miljoonaa tonnia (Tilastokeskus 2020), mikä on promille maailman metsien hiilivarastosta. Lisäksi kangasmaiden maaperässä on hiiltä noin 1000 miljoonaa tonnia (Liski ym. 2006) ja turpeessa noin 5600 miljoonaa tonnia (Turunen 2008). Suomessa puutuotteissa hiiltä on muutama kymmenen miljoonaa tonnia. Laturi ym. (2008) arvioivat, että Suomessa

puutuotteisiin oli vuonna 2004 varastoitunut n. 27 miljoonaa tonnia hiiltä. Määrä vastaa muutamaa prosenttia Suomen metsien puustossa olevasta hiilimäärästä.

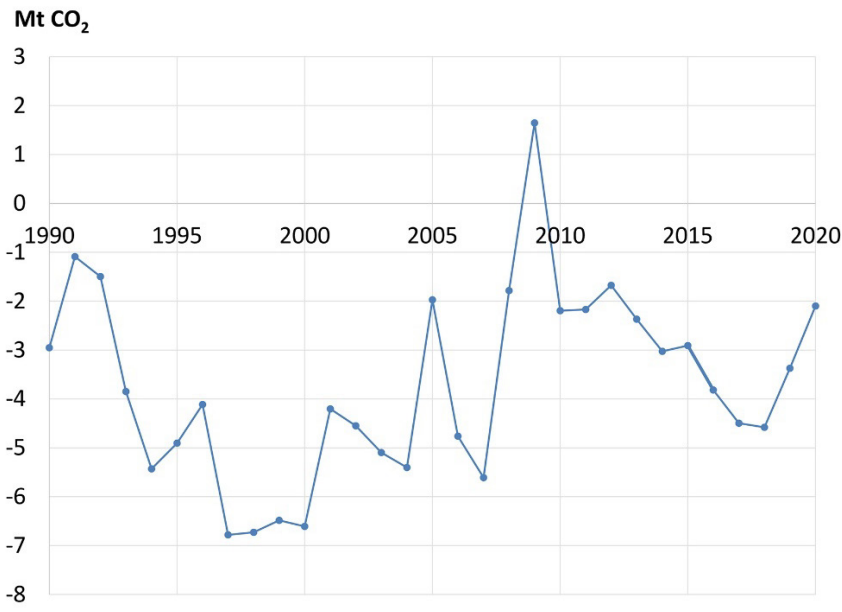
Suomessa maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous (LULUCF) -sektori on ollut kasvihuonekaasujen nettohiilinielu koko kasvihuonekaasuinventoinnin ajan (1990-) (kuva 2). Tämä johtuu erityisesti siitä, että metsien nettohiilinielu on ollut suurempi kuin muiden maankäyttöluokkien (viljelysmaa, ruohikko-alueet, kosteikot ja rakennettu maa) päästöt. Metsät ovat olleet nettohiilinielu, koska metsien hiilensidonta on ylittänyt metsistä puun korjuun ja maahengityksen myötä poistuneen (ilmakehään vapautuneen tai puutuotteisiin siirtyneen) hiilen (hiilidioksidiekvivalenttina ilmaistuna) määrän. Myös LULUCF-sektorilla raportoitavat puutuotteet ovat olleet yhtä vuotta lukuun ottamatta nettohiilinielu koko inventoinnin ajan (kuva 3).

Vuoden 2021 kasvihuonekaasuinventaarin mukaan Suomen metsien nettohiilinielu on vaihdellut n. 15 ja 47 Mt CO₂-ekv. poistuman välillä vuosina 1990–2019, ja oli vuonna 2019 arviolta 23 Mt CO₂-ekv. (Tilastokeskus 2021b). Merkittävimmin metsien nettohiilinieluun on tänä ajanjaksona vaikuttanut puuston kasvun lisääntyminen (nielua lisäävä tekijä) noin 80 Mm³:stä vuonna 1990 arvioituun noin 112 Mm³:iin¹ vuonna 2019 ja vuosittaiset muutokset markkinahakkuissa (hakkuiden lisääntyminen on pienentänyt nielua ja vähentänyt kasvattanut nielua). Lisäksi metsien nettohiilinieluun on vaikuttanut maaperän kasvihuonekaasutaseiden kehitys. Kivennäismaat ovat toimineet puuston ohella hiilen nettohiilinieluna ja orgaaniset maat puolestaan hiilen nettolähteenä. Vastaavana ajanjaksona Suomen raportoitavat puutuotteiden hiilivaraston muutokset ovat vaihdelleet n. 2 Mt CO₂-päästön ja n. 7 Mt CO₂-poistuman välillä, ollen keskimäärin n. 3,8 Mt CO₂-poistuma (kuva 4). Puutuotteiden hiilivaraston muutoksen koko on riippunut voimakkaimmin kotimaisen sahatavaran tuotantovolyymistä (sahatavaran tuotannon volyymin kasvu on lisännyt puutuotteiden hiilidioksidipoistumia) (Tilastokeskus 2021b).



Kuva 3. Maankäyttö, maankäytönmuutos ja metsätalous (LULUCF) -sektorin kasvihuonekaasupäästöt Suomessa 1990–2020. Negatiivinen luku tarkoittaa kasvihuonekaasujen poistumaa (nettonielua). Vuoden 2020 tiedot ovat kasvihuonekaasujen pikaennakosta. (Tilastokeskus 2021b, c)

¹ Kasvihuonekaasuinventaareissa puuston kasvu on ekstrapoloitu viimeisille tilastovuosille.
<https://www.luke.fi/blogi/kasvihuonekaasuinventaario-jatkuvaa-kehittamista/>



Kuva 4. Puutuotteiden hiilidioksiditase Suomessa 1990–2020. Negatiivinen luku tarkoittaa kasvihuonekaasujen poistumaa (nettonielua). (Tilastokeskus 2021b)

Suomen kansallisen metsästrategian (MMM 2019) tavoitteena on kasvattaa runkopuun vuotuiset hakkuut 80 Mm³:iin vuoteen 2025 mennessä. Luonnonvarakeskuksen vuonna 2020 laatiman arvion mukaan skenaariossa, jossa runkopuun hakkuut nostetaan kansallisen metsästrategian tavoittelemalle tasolle, metsien nettonielu on vuonna 2035 noin 27 Mt CO₂-ekv. (Koljonen ym. 2020). Huomion arvoista kuitenkin on, että arvio metsien nettonielusta kyseisessä skenaariossa on 15 Mt CO₂-ekv., mikäli arvioissa sovelletaan kasvihuonekaasuinventaarion mukaisia kertoimia puuston tilavuuskasvun ja poistuman muuntamiseksi biomassoiksi ja hiileksi (Koljonen ym. 2020).

Arviot metsien nettohiilinielun tulevasta kehityksestä riippuvat voimakkaasti puuston kasvuun ja hakkuumääriin liittyvistä oletuksista. Eri mallinnuksissa laaditut arviot ovat vaihdelleet esimerkiksi 2030-luvulla muutaman miljoonan hiilidioksiditonnin nettopäästölähteestä useiden kymmenten miljoonien hiilidioksiditonniin nettonieluun (Kalliokoski ym. 2019, Koljonen ym. 2019). Tulevaisuudessa Suomen metsien nettohiilinielu voi siis kasvaa tai pienentyä vuoden 2019 tasosta riippuen erityisesti hakkuumäärien, hakkuiden kohdentumisen ja runkopuuston kasvun kehityksestä (Koljonen ym. 2019, 2020).

Metsien simulointimallit antavat suhteellisen yhtenäisen tuloksen sille, miten hakkuumäärien muuttaminen muuttaa metsien nettohiilinielua, vaikka absoluuttinen taso onkin epävarma (Koljonen ym. 2019, Kalliokoski ym. 2019, Koljonen ym. 2020). Kalliokoski ym. (2019) vertaili viiden eri metsämallin tuloksia skenaarioiden välillä, joissa runkopuun hakkuumäärät olivat 40 ja 80 Mm³ vuodessa. Tulosten perusteella metsien vuotuinen nettohiilinielu oli korkeamman hakkuun skenaariossa noin 50 vuoden simulointijakson (2010–2055) aikana noin 0,8–1,7 Mt CO₂/Mm³ pienempi kuin matalamman hakkuun skenaariossa ja viiden metsämallin tulosten keskiarvo on n. 1,3 Mt CO₂/Mm³. Vuoden 2016 Energia- ja ilmastostrategiaa varten laadittiin mallitarkasteluja Luonnonvarakeskuksen MELA-mallilla noin 72, 80 ja 86 Mm³ vuotuisille hakkuutasoille. Tulosten perusteella metsien vuotuinen nettohiilinielu oli noin 1,2–1,9 Mt CO₂/Mm³ pienempi korkeamman hakkuun skenaarioissa kuin matalamman hakkuun skenaarioissa 30 vuoden simulointijakson aikana (Soimakallio ym. 2021). Pidemmällä aikavälillä hakkuiden nielua pienentävä vaikutus oletettavasti vähenee erityisesti puuston kasvuun liittyvän dynamiikan vuoksi, mutta vaikutus voi säilyä suuruusluokaltaan samansuuruisena useita vuosikymmeniä, jopa yli vuosisadan (Seppälä ym. 2019, Soimakallio ym. 2021). Mitä pidempää aikaväliä tarkastellaan, sitä suuremmiksi kasvavat erilaiset epävarmuudet, muun muassa luonnontuhojen suhteen (Soimakallio ym. 2021).

4 Pitkäikäisten puutuotteiden hiilivarasto

Puun kuivamassasta noin puolet on hiiltä. Pitkäikäiset puutuotteet varastoivat hiiltä, jota puu on kasvaessaan sitonut ilmakehästä. Puutuotteissa on hiiltä noin prosentti siitä, mitä maailman metsissä on (Lauk ym. 2008, Pan ym. 2011).

Suomessa erilaisiin rakenteisiin on sitoutunut arviolta 22,8 miljoonaa tonnia ja tämän lisäksi kiintokalusteisiin arviolta 1,2 miljoonaa tonnia hiiltä. Kaikista puutuotteisiin sitoutuneesta hiilestä rakennuksiin sitoutuneen hiilen osuudeksi on arvioitu 62 prosenttia. Noin 15 prosenttia arvioidaan olevan sitoutunut infrastruktuurin rakenteisiin ja 23 prosenttia pienrakenteisiin. (Vares ym. 2017)

Hiilen varastointiaika puutuotteissa vaihtelee voimakkaasti sen mukaan, mikä puutuote on kyseessä, miten se käytetään ja mihin puutuote päätyy elinkaarensa lopussa. Puutuotteen elinikä voi olla kertakäyttöisen tuotteen kohdalla päiviä ja pitkäikäisen kestotuotteen kohdalla jopa useita vuosisatoja. Pitkäkestoisimpia puutuotteita ovat rakennusmateriaalit. Keskimäärin rakennustuotteissa puun hiili säilyy varastossa useita vuosikymmeniä. Esimerkiksi Skog ym. (2008) arvioivat, että puisessa omakotitalossa olevan hiilen puoliintumisaika on noin 105 vuotta, mikä vastaa keskimääräisenä varastointiaikana noin 150 vuotta (Cherubini ym. 2012). Puoliintumisaika tarkoittaa sitä aikaa, jolloin puutuotteeseen alun perin sitoutuneesta hiilen määrästä oletetaan olevan puolet jäljellä. Puoliutumisaikaa käytetään usein syöttömuuttujana puutuotteiden hiilivaraston muutosta arvioivissa malleissa. Esimerkiksi, jos puoliintumisajaksi oletetaan 50 vuotta, niin yleisesti kasvihuonekaasuinventaariossa käytetty malli antaa tuloksen, että ajan hetkellä nolla tehdyn puutuotteen hiilivarastosta on jäljellä 50 vuoden kuluttua 50 prosenttia, 100 vuoden kuluttua 25 prosenttia ja 200 vuoden kuluttua noin 6 prosenttia.

Puutuotteiden hiilivarastoa voidaan kasvattaa lisäämällä pitkäikäisten puutuotteiden määrää ja pidentämällä puutuotteiden hiilisisällön elinkaarta kierrätystä, uusiokäyttöä ja uudelleenvalmistusta parantamalla (Geng ym. 2017). Toisaalta rakennuksia myös puretaan ennen niiden suunniteltua käyttöikää ja purkupuuta päätyy polttoon, mikä lyhentää puutuotteiden hiilen varastointiaikaa. Puutuotteiden pitkäikäisyyden kannalta keskeistä on pitkän käyttöiän varmistaminen käyttöikäsuunnittelun ja oikeiden ympäristöolosuhteiden huomioimisen avulla sekä korjaamalla ja ylläpitämällä puurakenteita ja -rakennuksia.

5 Puun kestävyys- ja elinkaariominaisuudet

5.1 Puun kestävyys ja käyttöikä

Hiili voi säilyä teknisesti pitkään pitkäkestoiseksi tarkoitettussa puutuotteessa, jos puutuotteet on suojattu siten, ettei puu altistu hajoamiselle. Puutuotteiden ja yleisesti kaikkien rakennustuotteiden kestävyys rakennuksissa vaikuttavat monet suunnitteluun, rakentamiseen, olosuhteisiin, käyttöön ja kunnossapitoon liittyvät tekijät. Puurakenteiden kestävyys vaikuttavat olennaisesti ympäristöolot ja erityisesti vesi eri muodoissaan sekä biologiset tekijät kuten home ja laho yhdessä kosteuden kanssa. Lahottajasienet erittävät puun hiiltä hajottavia entsyymejä. Bakteerien aiheuttama mikrobinen hajoaminen on lahottajasieniin verrattuna hidasta. Puun fotokemiallinen hajoaminen UV-säteilyn ja lahoaminen kosteuden kautta vaikuttavat etenkin puun uloimpaan pintakerrokseen, mutta voivat myös heikentää puutuotteen laatua ja siten nopeuttaa puutuotteen käytöstä poistamista ja polttoa.

Puun kestävyys normaaleissa kuivissa säälle altistumattomissa käyttöoloissa on kuitenkin erittäin hyvä, eikä sen käyttöikää käytännössä rajoita mikään luontainen vaurioitumismekanismi. Turmeltumattoman puun lujuusominaisuudet säilyvät kuivissa olosuhteissa vakaina (Viitanen, 2014). Puurakenteiden kestävyys suunnittelussa keskeisintä on rakenteellinen suojaus. Rakenteellinen suojaus tarkoittaa puumateriaalista valmistettujen rakenteiden suunnittelua niin, että rakenteet pysyvät mahdollisimman kuivina, rakenteissa ei ole vettä kerääviä yksityiskohtia ja rakenteet pääsevät tilapäisen kostumisen jälkeen kuivumaan riittävän nopeasti niin, että vaurioitumista ei ehdi tapahtua. Säälle altistuvien rakenteiden suojauskeinona käytetään lisäksi puumateriaalin oikeaa valintaa ja pinnoitteita ja erityisesti maankäytöksessä olevien rakenteiden suhteen teollista kyllästystä kemiallisin suoja-ainein.

5.2 Käyttöikämitoitus

Kansainvälinen standardointiorganisaatio ISO on laatinut sarjan standardeja, jotka määrittelevät rakennusten käyttöikään liittyviä käsitteitä ja ohjeistavat käyttöikäsuunnittelun menettelytapoja. Näiden standardien määritelmien mukaisesti suunnitteluikä (*design life*) on rakennuksen aiottu käyttöikä ja vaadittu käyttöikä on rakennuttajan rakennukselle tai rakennusosalle asettama käyttöikävaatimus. Vaadittu käyttöikä voi perustua myös rakennusmääräyksiin. Käyttöiällä (*service life*) tarkoitetaan valmistuksen tai asennuksen jälkeistä ajanjaksoa, jonka aikana rakennus tai sen osa täyttää tai ylittää sille asetetut toimivuusvaatimukset (*performance requirement*). Käyttöikäsuunnittelun avulla pyritään varmistamaan, että käyttöikä ylittää tavoitteeksi asetetun suunnitteluiän (ISO 15696-1:2011 ja sarjan muut standardit).

Puun käyttöikämitoitusta on kehitetty ISO 15686 -standardisarjan kerroinmenettelyä hyödyntäen. Käyttöiän arvioinnissa ja mitoituksessa puutuotteen käyttöolo on keskeinen lähtökohta. Puun käyttöolot jaetaan luokkiin. Luokassa 1 puu on kuivassa sisätilassa, luokassa 2 on ajoittaista kosteuskuormaa, luokassa 3 puu on ulkona säälle alttiina ja luokassa 4 maankäytöksessä (EN 335, 2013). Yli 100 vuoden käyttöiän perusohjeet käyttöluokissa 1 ja 2 ovat kuivan CE-merkityn puumateriaalin käyttö, oikea liima-tyyppi insinööripuutuotteilla, kosteusteknisesti toimivat suunnitteluratkaisut ja -yksityiskohdat, kuiva rakentaminen, luonnonkuormien muutoksien huomioon ottaminen, oikea-aikainen huolto ja oikeiden käyttöolosuhteiden varmistaminen mukaan lukien ilmanvaihto, suojaus kosteudelta ja yllättävien kosteusongelmien kuivaus tehokkaasti (Viitanen 2019).

5.3 Muiden elinkaariominaisuuksien merkitys pitkän käyttöiän kannalta

Suomen rakennuskannan koko vuoden 2020 alussa oli 415 miljoonaa neliometriä, ja se koostui 1,4 miljoonasta rakennuksesta, joista 1,2 miljoonaa on asuinrakennuksia. Suomen rakennuskanta on suhteellisen uutta. Rakennuskanta muuttuu koko ajan hitaasti, koska uusia rakennuksia rakennetaan ja käytössä

olleita puretaan. Noin kaksi kolmannesta asuinkerrostaloista sekä omakoti- ja paritaloista on kerrosalan pohjalta laskettuna rakennettu vuoden 1970 jälkeen. Vastaavasti muista rakennuksista 70 prosenttia on rakennettu vuoden 1970 jälkeen (YM 2020). Rakennuksia puretaan paitsi niiden toiminnallisen tai teknisen vanhanaikaistumisen takia myös taloudellisista syistä ja käyttötarpeen muuttuessa. Väestörakenteen muutoksien ja sisäisen muuttoliikkeen takia rakennuksia jää vajaakäyttöön tai tyhjilleen. Lukumääräisesti rakennuksia kuitenkin sekä puretaan että rakennetaan eniten alueilla, joissa asukasmäärän kasvu on suurinta (Huuska & Kolkwitz, 2021). Huuska ja Lahdensivu (2016) ovat tutkineet rakennusten purkumääriä Suomessa vuosina 2000–2012. Tuona aikana purettiin noin 51 000 rakennusta. Vuosittainen purkuaste oli 0,25 prosenttia rakennusten lukumäärästä ja 0,15 prosenttia alasta. Asuinrakennusten purkuaste oli 0,15 prosenttia rakennusten luumäärästä ja muilla rakennuksilla se oli 0,65 prosenttia eli huomattavasti korkeampi kuin asuintaloilla. Purkurakennusten keskimääräinen ikä purkuhetkellä oli asuinrakennusten kohdalla 58 vuotta ja muiden kohdalla 43 vuotta. Tärkein purkusyy oli purkaminen uuden rakentamisen tieltä (47 prosenttia), ja käyttöiän päättymisen vaurioitumisen takia selitti vain pienen osan purkamisista (3 prosenttia) (Huuska & Lahdensivu, 2016). Jotta pitkä käyttöikä toteutuisi puurakennuksissa tai ylipäätään rakennuksissa, niin kestävyys- ja käyttöikäsuunnittelun lisäksi on siis otettava huomioon monia muitakin näkökulmia.

Rakennusten purkuikä ja purkamisen motiiveja koskevat tutkimustulokset vahvistavat rakennusten elinkaariominaisuuksien tärkeyttä vähähiilisen ja resursseja säästävän rakentamisen tavoitteiden saavuttamiseksi. Erityisesti kasvavilla kaupunkialueilla ja erityisesti muiden kuin asuinrakennusten suhteen rakennusten muunneltavuuden, purettavuuden, siirrettävyyden ja rakenteiden uudelleen käytettävyyden tarve korostuu todennäköisesti lähitulevaisuudessa. Puurakennusten suhteen keskeinen syy elinkaariominaisuuksien tärkeydelle on myös varastoituneen hiilen säilyminen pitkään.

Puurakentamisen lähiaikojen kehitystyön tarpeena on paitsi kestävyys- ja käyttöikä tutkimuksen tuloksien laaja käytännön haltuunotto, myös uusien ratkaisujen ja lähestymistapojen kehittäminen elinkaariominaisuuksien toteuttamiseksi. Puurakentamisella saattaakin esimerkiksi keveyden ja työstettävyyden vuoksi olla luontaisesti vahvat lähtökohdat hyvien elinkaariominaisuuksien toteuttamiselle. Esimerkiksi siirrettävyyden vaatimus suosii puuta puurakentamisen keveyden vuoksi. Tällä hetkellä siirrettävien rakennusten markkinoilla tehdään erityisesti palvelurakennuksia ja tarjolla on pääasiassa puurakenteisia ratkaisuja. Jotta muunneltavuudesta, purettavuudesta, uudelleen käytettävyydestä ja siirrettävyydestä tulisi rakennusosien kokonaiskäyttöikään merkittävästi vaikuttava tekijä, paljon esteitä tulisi kuitenkin poistaa. Lähitulevaisuuden tärkeitä kehityskohteita ovat sekä elinkaariominaisuuksien kannalta edulliset rakentamisen ratkaisut että keinot, joilla poistetaan säädöksiin ja markkinoihin liittyviä esteitä (Häkkinen & Tarpio, 2021).

6 Metsien ja puutuotteiden hiilitaseiden laskenta

6.1 Kasvihuonekaasujen raportointi kansainvälisille sopimuksille

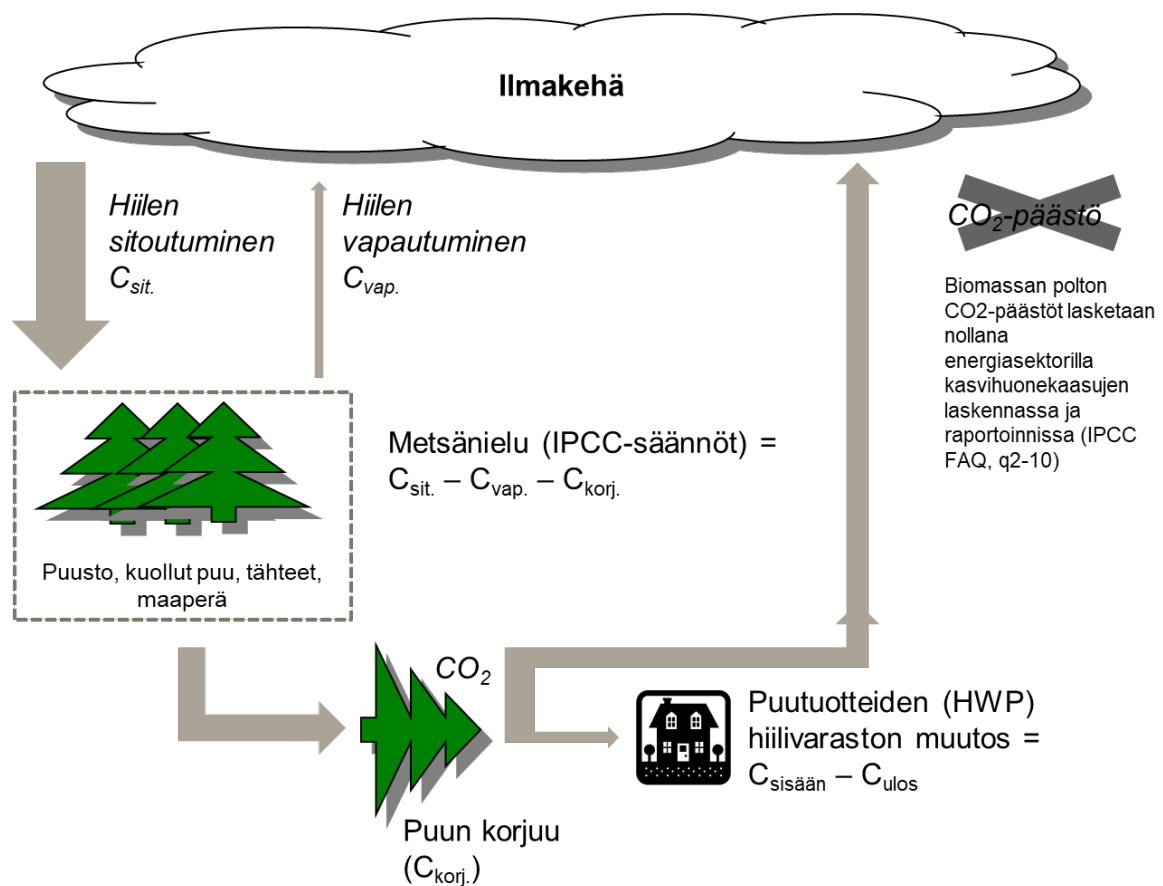
Kasvava puusto toimii biologisena hiilen sitojana, kun hiiltä sitoutuu ilmakehästä fotosynteesin avulla enemmän kuin mitä biologisen hajotustoiminnan kautta vapautuu maaperästä ilmakehään. Kun puustoa hakataan ja siitä valmistetaan tuotteita, osa puuston sisältämästä hiilestä siirtyy metsästä puutuotteisiin, jossa se säilyy puutuotteiden elinkaaren ajan. Mikäli puutuote poltetaan esimerkiksi energiaksi elinkaarensa lopussa, vapautuu sen sisältämä hiili poltettaessa. Mikäli puutuote päätyy lahoamaan esimerkiksi kaatopaikalle, vapautuu osa puutuotteen hiilestä anaerobisissa olosuhteissa metaanina, osa hiilidioksidina ja lahoamaton osa säilyy vapautumattomana.

Kansainvälisessä kasvihuonekaasujen raportoinnissa on sovittu, että biomassan hiilidioksidivirtojen sijasta biomassan hiilidioksiditaseet lasketaan varastonmuutosten kautta (IPCC FAQ Q2-10). Tämä tarkoittaa sitä, että biomassan polton hiilidioksidipäästöt raportoidaan energiasektorilla nollana. Näin ollen, mikäli puutuote poltetaan elinkaarensa lopuksi energiaksi, raportoidaan siitä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt nollana. Varastonmuutoslaskenta tarkoittaa myös sitä, että puuston mukana metsästä pois korjattu hiili lasketaan metsän kasvihuonekaasutaseeseen hiilidioksidipäästönä ja puutuotteisiin sitoutunut hiili lasketaan hiilidioksidin poistumana (negatiivisena päästönä). Sekä metsän että puutuotteiden hiilivarastonmuutos määräytyy varastoon tulevan ja sieltä poistuvan hiilidioksidin erotuksena.

Laskemalla fysikaalisia hiilen virtoja ilmakehään (poltossa ja lahoamisessa syntyvät hiilidioksidipäästöt) ja ilmakehästä (biologinen hiilensitoutuminen puiden kasvussa), päästään globaalilla tasolla samaan lopputulokseen kuin laskemalla hiilivaraston muutoksia, mikäli laskennassa käytettävät oletukset hiilen virroista ja varastonmuutoksista ovat verrannollisia toisiinsa (kuva 1). Oleellista on, että laskenta tehdään jommallakummalla periaatteella johdonmukaisesti, sillä muuten hiilidioksiditase ei tule ilmakehän näkökulmasta lasketuksi oikein. Kun laskenta tehdään kuten kansainvälisesti on sovittu, lasketaan metsän ja puutuotteiden varastonmuutoksia yllä kuvatun mukaisesti, mutta ei hiilen virtoja ilmakehään ja ilmakehästä. Sen sijaan, mikäli laskettaisiin hiilen fysikaalisia virtoja ilmakehään ja ilmakehästä, laskettaisiin metsään sitoutuva ja siellä vapautuva hiilidioksidi sekä metsästä korjatusta puusta puun poltossa ja lahoamisessa vapautuva hiilidioksidi, mutta ei metsän ja puutuotteiden hiilivaraston muutoksia.

Kansainvälisesti sovittujen kasvihuonekaasujen raportointikäytäntöjen mukaisesti menetellään niin, että mikäli puutuotteiden hiilivarasto kasvaa (varastoon sitoutuu enemmän hiilidioksidia kuin sieltä poistuu), raportoidaan varaston kasvu hiilidioksidin poistumana (negatiivisena päästönä). Koska hiilinielun määrällinen yksikkö on poistuma, rinnastuu puutuotteiden hiilivaraston kasvu raportoinnissa hiilinieluun. Jonkun raportoivan maan osalta voi raportoinnissa periaatteessa syntyä tilanne, jossa metsä toimii hiilen lähteenä (hiilivarasto pienenee) mutta puutuotteet hiilen nieluna (hiilivarasto kasvaa). Puutuotteiden hiilinielu viittaa siis puutuotteiden hiilivaraston kasvuun ja juontaa juurensa kansainvälisesti sovitusta kasvihuonekaasujen laskentasäännöistä.

Puutuotteiden hiilivaraston muutoksia on arvioitu yleisimmin, todennäköisesti tiedon saatavuuteen liittyvien rajoitteiden vuoksi, yhden kertaluvun hajoamismallilla (*first order decay*), jossa puutuotteen sisältämälle hiilelle annetaan puoliintumisaika (Jasinevičius ym. 2015). Hallitustenvälinen ilmastopaneeli IPCC antaa suosituksina oletuspuoliintumisaikat puutuotehyödykeluokille: sahatavaralle 35 vuotta, puulevyille 25 sekä paperille ja kartongille 2 vuotta (IPCC 2019). Puoliintumisaikat voivat kuitenkin vaihdella eri tuotteille keskimäärin 1 ja 100 vuoden välillä (Skog & Nicholson 1998). Donlan ym. (2012) mukaan yksittäisten arvojen epävarmuus voi olla kiinteille puutuotteille ± 30 prosenttia ja paperille ± 50 prosenttia. Arvioihin liittyviä huomattavia epävarmuuksia on mahdollista pienentää vain hankimalla luotettavampia, seurantatietoja puutuotteiden hiilivarastojen muutoksista (IPCC 2019).



Kuva 5. Yksinkertaistettu havainnollistus metsien ja puunkäytön hiilitaseiden määrittämisestä hallitusten välisen ilmastopaneelin (IPCC) ohjeistuksen perusteella. Koska biomassan polton CO₂-päästöt lasketaan nollana, lasketaan puun mukana metsästä poistettava hiili CO₂-päästönä ja puutuotteiden hiilivaraston kasvu hiilidioksidin poistumana (nieluna) maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous (LULUCF) -sektorin taseessa. Näin ilmakehän tase tulee lasketuksi vastaavasti kuin laskemalla todellisia hiilen virtoja ilmakehään ja ilmakehästä. (Soimakallio 2019)

Puutuotteiden hiilivaraston muutos voidaan määrittää kahdella erilaisella menetelmällä, 1) inventaarimenetelmällä tai 2) virtamenetelmällä. Inventaarimenetelmässä täytyy määrittää hiilivarasto tarkasteltavan aikavälin päätepisteissä. Menetelmän etuna on se, ettei siinä tarvita tietoa puutuotteiden historiallisesta käytöstä. Menetelmä tarvitsee kuitenkin paljon tietoa käytössä olevien puutuotteiden määrästä, minkä koostaminen on resurssi-intensiivistä ja hankalaa. Virtamenetelmässä tarvitaan arvio puutuotteiden käyttöiästä ja tietoa puun historiallisesta käytöstä. Menetelmän etuna inventaarimenetelmään verrattuna on se, että arvioinnissa tarvittavat tiedot on usein helpommin saatavissa. (IPCC 2019)

IPCC:n ohjeistus kasvihuonekaasuinventaareille sisältää neljä erilaista laskentamenetelmää puutuotteiden hiilidioksiditaseiden raportointiin. Ne ovat 1) varastonmuutos (stock change), 2) tuotanto (production), 3) virta (atmospheric flow) ja 4) yksinkertainen hajoaminen (simple decay) (kuva 6). Varastonmuutos- ja tuotantomenetelmät kohdistuvat hiilivarastonmuutoksiin määritetyissä puutuotteiden varastoissa ja niissä tapahtuviin hiilidioksidipäästöihin ja -poistumiin. Virta ja yksinkertainen hajoaminen -menetelmät kohdistuvat hiilidioksidivirtojen määrittämiseen. Varastonmuutos- ja virtamenetelmät huomioivat raportoivan maan puutuotteisiin liittyvät hiilivarastonmuutokset tai virrat kulutusperusteisesti riippumatta siitä, missä maassa raportoivassa maassa kulutettu puutuote on tuotettu. Tuotanto ja yksinkertainen hajoaminen -menetelmät puolestaan huomioivat raportoivan maan puutuotteisiin liittyvät hiilivarastonmuutokset tai virrat siltä osin kuin puutuote on tuotettu raportoivassa maassa kotimaisesta puusta. (IPCC 2019)

IPCC:n ohjeistamat neljä laskentamenetelmää luovat erilaiset kannustimet puutuotteiden ja puuenergian tuottamiselle ja käytölle sekä viennille ja tuonnille (taulukko 2). Kaikki neljä menetelmää kannustavat tuottamaan kotimaassa hakatusta puusta pitkäikäisiä puutuotteita. Varastonmuutos- ja virtamenetelmät kannustavat saattamaan nämä kotimaan markkinoille ja myös tuomaan pitkäikäisiä puutuotteita kotimaan markkinoille. Materiaalikierrätykseen kannustavat kaikki muut menetelmät paitsi tuotantomenetelmä, jossa puutuotteiden hajoaminen on määritetty etukäteen, eikä puutuotteiden varastolla ole siten merkitystä laskennassa. Puuenergian tuontiin kannustavat kaikki muut menetelmät paitsi virtamenetelmä, jossa puuenergiasta vapautuva hiilidioksidi lasketaan päästönä. Virtamenetelmä kannustaa ainoana menetelmänä lyhytikäisten puutuotteiden ja puuenergian vientiin.

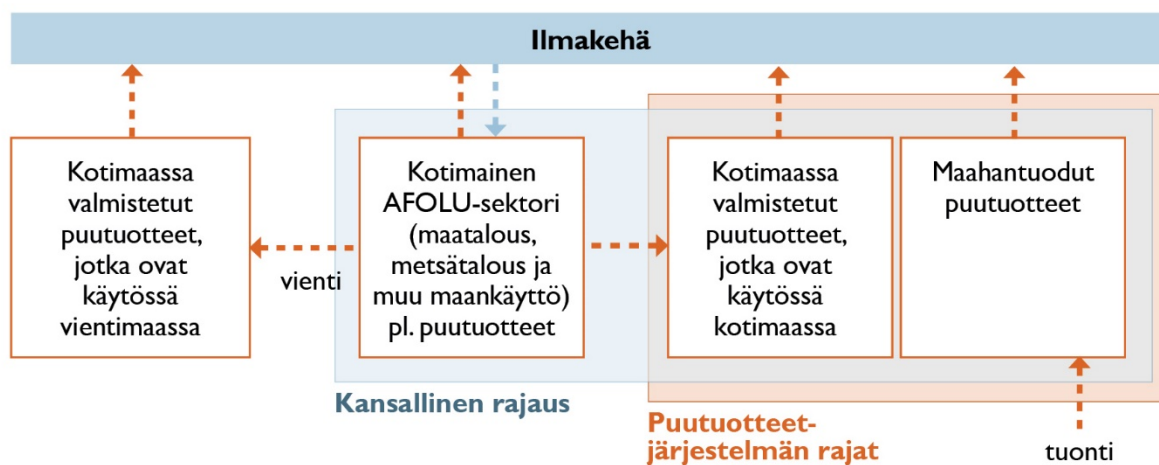
Kasvihuonekaasujen raportoinnissa Kioton pöytäkirjalle käytettiin tuotantomenetelmää, jota sovelletaan myös EU:n LULUCF-asetuksen velvoitteiden seurannassa. Suomi raportoi puutuotteiden kasvihuonekaasutaseet YK:n ilmastopöytäkirjalle myös tuotantomenetelmää käyttäen (Tilastokeskus 2021b).

IPCC:n antamien puoliintumisaikojen sijasta maat voivat käyttää myös kansallisia puoliintumiskertoimia puutuotteiden hiilitaseiden raportoinnissa. Kuitenkin on huomioitava, että tuotantomenetelmää sovellettaessa (kuten EU:n LULUCF-asetuksessa), tulisi kansalliset kertoimet määrittää sen maan kertoimien mukaan, mihin maahan raportoivan maan kotimaisesta puusta tehdyt puutuotteet viedään. Jos vientimaassa on käytössä IPCC:n oletuskertoimet, tulee käyttää niitä kyseisen viennin osalta. Näin esimerkiksi Suomella on varsin rajallisesti suoria vaikutusmahdollisuuksia puutuotteiden hiilitaseiden laskentaan EU:n LULUCF-velvoitteen piirissä. Kotimaahan jäävien kotimaisesta puusta valmistettujen puutuotteiden osalta voitaisiin soveltaa kansallisia puoliintumiskertoimia, mutta viennin osalta tulisi soveltaa vientimaassa käytettäviä kertoimia. Aiempien tutkimusten perusteella Suomessa todelliset puoliintumisaikat sahatavaralle ja puulevyille ovat olleet lyhyempiä kuin IPCC:n oletuskertoimet (Tilastokeskus 2011), minkä seurauksena Suomen kansallisten kertoimien käyttö saattaisi pienentää Suomen raportoimaa puutuotteiden hiilinielua. Muiden maiden kansallisten kertoimien vaikutuksesta Suomen puutuotteiden hiilinieluun kansallisia kertoimia käytettäessä ei ole tietoa. Vaikka kansallisiin kertoiimiin siirtyminen saattaisi jossain määrin pienentää Suomen raportoimaa puutuotteiden hiilinielua, voisi se samalla luoda kannustimen jatkossa lisätä pitkäikäisten puutuotteiden osuutta tuotannossa ja ylläpitää käytössä olevaa puuta materiaalina mahdollisimman pitkään. Mitä pidempään kotimaahan käyttöön jäävät kotimaisesta puusta tehdyt puutuotteet olisivat käytössä, sitä pidemmiksi puutuotteiden hiilen puoliintumisaikat muodostuisivat.

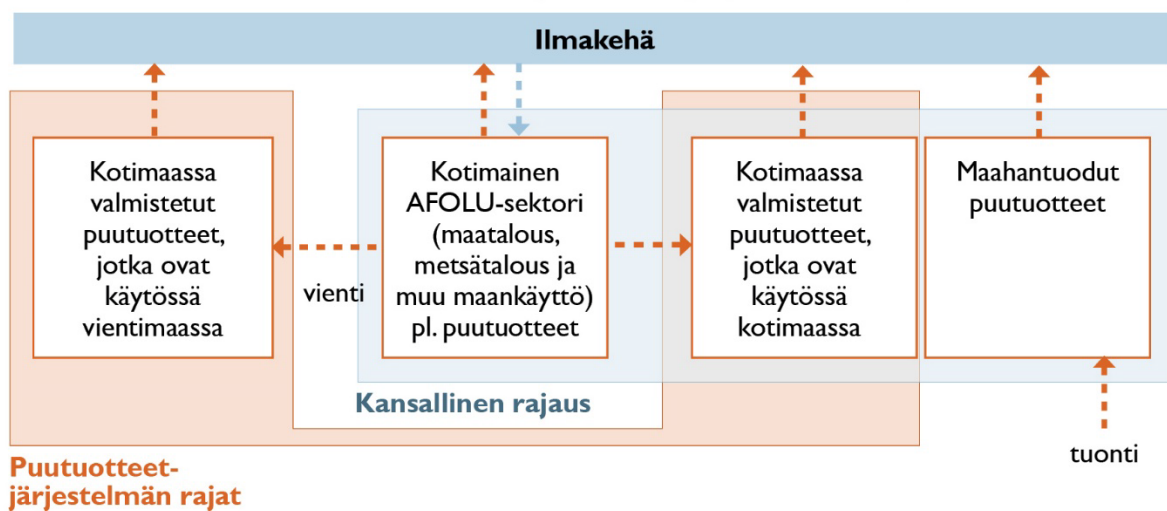
Taulukko 2. Arvio IPCC:n ohjeistamien varastonmuutos (stock change), tuotanto (production), virta (atmospheric flow) ja 4) yksinkertainen hajoaminen (simple decay) -laskentamenetelmien puutuotteiden ja puuenergian tuotannolle ja käytölle sekä viennille ja tuonnille luomista positiivisista (kannustaa) ja negatiivisista (ei kannusta) kannustimista.

Menetelmä	Kannustaa	Ei kannusta (hidastaa)
Varastonmuutos	Materiaalikierrätykseen, pitkäikäisten puutuotteiden tuottamiseen ja tuontiin kotimaan markkinoille, puuenergian tuontiin.	Puutuotteiden vientiin, lyhytikäisten puutuotteiden tuontiin.
Tuotanto	Pitkäikäisten puutuotteiden tuottamiseen, lyhytikäisten puutuotteiden ja puuenergian tuontiin.	Materiaalikierrätykseen, pitkäikäisten puutuotteiden tuontiin.
Virta	Lyhytikäisten puutuotteiden ja puuenergian vientiin, pitkäikäisten puutuotteiden tuotantoon ja tuontiin, materiaalikierrätykseen.	Puuenergian kotimaiseen käyttöön, lyhytikäisten puutuotteiden tai puuenergian tuontiin.
Yksinkertainen hajoaminen	Kotimaisesta puusta valmistettujen pitkäikäisten puutuotteiden tuotantoon ja materiaalikierrätykseen, puuenergian tuontiin.	Lyhytikäisten puutuotteiden ja puuenergian tuottamiseen kotimaisesta puusta.

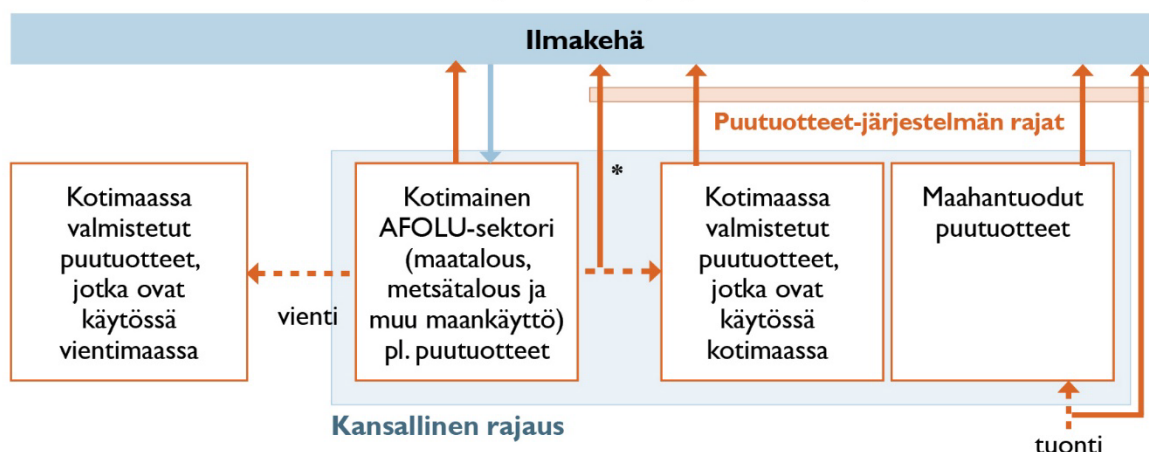
I. 'Varaston muutos' -lähestymistavan järjestelmän rajat



2. 'Tuotanto'-lähestymistavan järjestelmän rajat

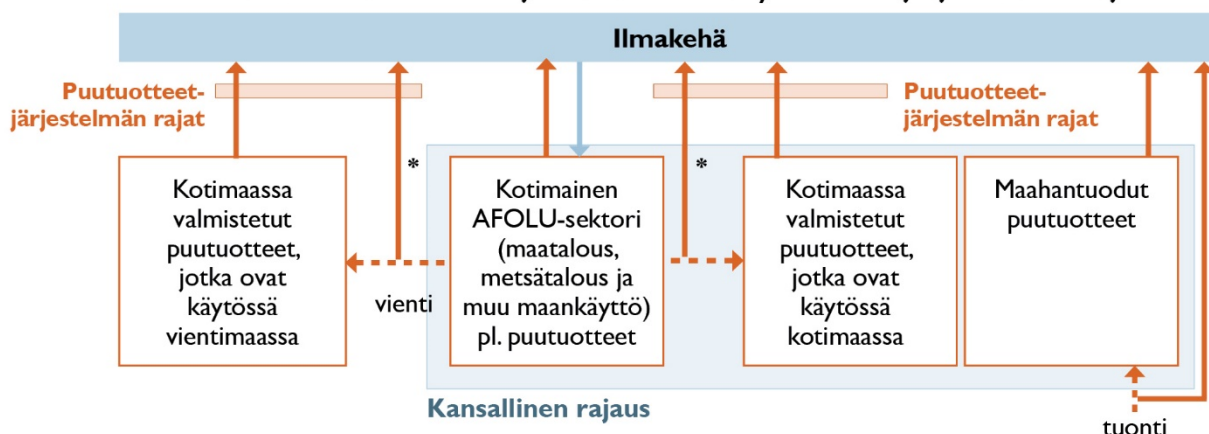


3. 'Virta'-lähestymistavan järjestelmän rajat



* Käsitteellisesti, 'virta'-lähestymistapa perustuu kaikkien puutuotteet-järjestelmän rajojen läpikulkeviin CO₂-virtojen jäljittämiseen. Tästä johtuen puuraaka-aineen energiakäyttöön liittyvät virrat on sisällytetty mukaan.

4. 'Yksinkertainen hajoaminen' -lähestymistavan järjestelmän rajat



* Käsitteellisesti, 'yksinkertainen hajoaminen'-lähestymistapa perustuu kaikkien puutuotteet-järjestelmän rajojen läpikulkeviin CO₂-virtojen jäljittämiseen. Tästä johtuen puuraaka-aineen energiakäyttöön liittyvät virrat on sisällytetty mukaan.

Kuva 6 (sivut 24 ja 25). Järjestelmän rajat neljälle erilaiselle periaatteella: 1) 'Varastonmuutos', 2) 'Tuotanto', 3) 'Virta' ja 4) 'Yksinkertainen hajoaminen' laskea puutuotteiden hiilidioksiditaseet (alkuperäinen lähde: IPCC 2019).

6.2 Rakennustuotteiden ja rakennusten elinkaariarviointi

Rakennustuotteiden ja rakennusten tasolla kasvihuonekaasupäästöjä arvioidaan elinkaariarviomenetelmällä. Elinkaari jaetaan kolmeen päävaiheeseen (A, B ja C), joista ensimmäinen kattaa vaiheet raaka-aineiden hankinnasta rakentamiseen, toinen vaihe on rakennuksen käyttövaihe ja kolmas rakennuksen purkamisen ja jätteenkäsittelyn vaihe. Hiilen massavirta luonnosta teknosfääriin ilmoitetaan negatiivisena lukuna, koska tuleva hiilen massavirta kasvattaa teknosfääriin hiilivarastoa. Kun tämä määrä tai sen osa vapautuu ilmakehään esimerkiksi palamisen tai biohajoamisen seurauksena, niin massavirta raportoidaan positiivisena lukuna eli päästönä siinä elinkaaren moduulissa, jossa vapautuminen tapahtuu. Vastaavasti tehdään myös, jos biogeeninen hiili siirtyy toisesta tuotesysteemistä tarkasteltavaan tai siitä pois toiseen tuotesysteemiin. Tuotteen elinkaaren lopussa ilmoitetaan päästö (positiivisena lukuna) purkutuotteiden tai jätteen käsittelyvaiheessa.

7 Rakennuskannan kasvihuonekaasupäästöt

Yleisesti arvioidaan, että rakentaminen ja rakennukset kuluttavat noin 40 prosenttia käytössä olevasta primäärienergiasta ja aiheuttavat noin kolmanneksen kasvihuonekaasupäästöistä. Sama arvio esitetään lukuisissa raporteissa ja artikkeleissa mukaan lukien YM:n vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Arvioiden alkuperäisiä lähteitä ja laskentaperiaatteita on kuitenkin hyvin vaikea löytää viiteketjujen takaa.

Tässä tehtiin suuntaa antava laskennallinen arvio rakentamisen kasvihuonekaasupäästöistä ja tuotesidonnaisten päästöjen osuudesta ottamalla huomioon seuraavat asiat:

- rakennuskannan koko
- rakennusten energiankulutus
- energian päästökertoimet
- uudisrakentamisen määrä
- rakentamisen, purkamisen, materiaalien kuljetuksen ja rakennusjätteen käsittelyn päästöarvot
- rakennustuotteiden valmistuksesta aiheutuvat päästöt ottaen huomioon rakentamisen hukka ja korjaaminen.

Rakentamisen kasvihuonekaasupäästöt arvioitiin vuotta kohden ja niitä vertailtiin koko Suomen vuoden 2019 ja 2020 päästöarvoon.

Suomen rakennuskannan tämänhetkinen koko on noin 505 miljoonaa kerrosneliötä (taulukko 3). Rakennuskannan lämmityksen ja muun sähkönkäytön kokonaispäästö laskettiin rakennusten energiankäytön (taulukko 4) sekä energian päästöarvojen (taulukko 5). Rakennusten käytön päästöarvoksi saatiin yhteensä 11,8 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. (11840582 t CO₂-ekv.).

Taulukko 3. Rakennuskannan koko (Tilastokeskus 2021d).

	kerros-m ²
Rakennuskannan koko	505 285 969
Asuinrakennukset	316 742 996
Muut kuin asuinrakennukset	188 542 973

Taulukko 4. Rakennusten energiankäyttö (GWh), [YM 2020, muu sähkön käyttö (valaistus, laitteet) arvioitu (18 % asuintaloilla ja 27 % muilla)].

	Puu	Öljy	Lämpöpumput	Kaukolämpö	Sähkö	Yhteensä	Muu sähkö
Omakotitalot ja paritalot	11380	3150	4960	2630	9610	31730	6965
Rivitalot	130	190	590	3110	1380	5400	1185
Asuinkerrostalot	50	540	80	13630	1140	15440	3389
Ei-asuinrakennukset	875	3275	185	11900	2105	18340	6783

Taulukko 5. Energian päästöarvot (CO₂data 2021, hyödynjakoperiaatteella laskettuna).

	kg CO ₂ -ekv./kWh
Sähkö	0,153
Kaukolämmitys	0,147
Kaukokylmä	0,042
Fossiilinen	0,306
Puu	0,027

Rakennusmateriaalien valmistuksen kokonaisvaikutus arvioitiin karkeasti tyypillisen tuotesidonnaisen päästöarvon (taulukko 6) sekä uudisrakentamisen määrän (taulukko 7) pohjalta. Näin arvioituna uusien rakennusten rakentamisen aiheuttama päästö materiaalien valmistuksen osalta on noin 3,2 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. (3154759 t CO₂-ekv.). Tässä käytetyt päästöarvot ovat arvioita, jotka on tehty ympäristöministeriön tilaamien laskelmien tulosten pohjalta (Bionovan julkaisemattomat tulokset keuhkokuumeesta 2021). Lokakuussa valmistuvan uuden selvityksen myötä laskelmat uusitaan käyttäen päästöarvoina SYKE:n CO₂-tietokannan uudempia tietoja. Arvoja voisi tarkentaa huomattavasti myös, jos uudisrakentamisen määristä olisi saatavilla rakennustyypeittäin hienojakoista tietoa.

Taulukko 6. Rakentamisen tuotesidonnaiset päästöt (vain rakennustuotteiden valmistus) (arvio YM:n tilaamien tapaustarkastelujen pohjalta).

Asuinrakennukset	300 kg	CO ₂ -ekv./krs-m ²
Muut (keskiarvo)	350 kg	CO ₂ -ekv./krs-m ²

Taulukko 7. Uudisrakentamisen määrä (lähde tilastot, keskiarvo 2018–2020), kerrosneliötä per vuosi.

Keskiarvo (2018–2020)	7621663	krs-m ² /vuosi
Asuinrakennusten osuus	3582182	krs-m ² /vuosi
Muiden osuus	4039481	krs-m ² /vuosi

Vastaavasti uusien rakennusten rakentamisen kokonaispäästökseen (käyttäen yksikköpäästölle oletusarvoa 60 kg CO₂-ekv./krs-m² (CO₂data.fi 2021) saadaan yhteensä noin 0,5 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. (457300 t CO₂-ekv.). Rakennusmateriaalien kuljetuksen kokonaispäästökseen saadaan noin 0,2 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. (228650 t CO₂-ekv.). Luku on laskettu olettamalla, että keskimääräinen matka on 200 km ja että keskimääräinen materiaalien paino per kerrosneliömetri on 1500 kg sekä käyttämällä CO₂data-tietokannan keskimääräistä autokuljetusten päästöarvoa.²

Korjaamisen vaikutusta arvioitiin olettamalla, että kaikki purkujäte (taulukko 8) korvataan vastaavan luokkaan (puu, mineraali tai metalli) kuuluvalla materiaalilla käyttäen taulukon 9 mukaisia päästöarvoja. Lisäksi arvioitiin näiden materiaalien kuljetuksen aiheuttama päästö samoin periaattein kuin uudisrakentamisen tuotteiden kuljetuksen aiheuttama päästö. Tämän pohjalta laskien korjaamisen päästövaikutukseksi saatiin yhteensä noin 0,5 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. (452016 t CO₂-ekv. valmistuksesta ja 23360 t CO₂-ekv. kuljetuksesta).

Taulukko 8. Rakennusten purku- ja rakennusjätteen määrät (Lehtonen 2019).

kaikki	1600000	tonnia per vuosi
korjausrakentaminen 58 %	928000	tonnia per vuosi
uudisrakentaminen 15 %	240000	tonnia per vuosi
uudis- ja korjausrakentaminen yhteensä	1168000	tonnia per vuosi
josta	478880	tonnia puuta
	385440	tonnia kivi- ja mineraalia
	163520	tonnia metallia

² Tosiasiassa kuljetusmatkat tehdään portilta työmaalle vaihtelevat hyvin paljon ja valittu arvo on oletus, joka on valittu ilman tietoa oikeasta keskiarvosta. Tyypillinen paino on valittu betonirakenteiden asuinkerrostalojen ympäristövaikutuksista tehtyjen tapaustutkimusten pohjalta ottamatta huomioon maa-aineksia, maaperän vahvistuksia, paalutuksia ja pysäköinnin ratkaisuja.

Taulukko 9. Rakennusmateriaalien päästöarvot (oletetaan, että purkujätteet korvataan vastaavalla määrällä uutta tuotantoa ja otetaan huomioon uudisrakentamisen hukka), (päästöarvojen oletusarvot CO2data.fi 2021).

puu	0,1	kg CO ₂ -ekv./kg
kivi- ja mineraalimateriaali	0,2	kg CO ₂ -ekv./kg
metalli	2	kg CO ₂ -ekv./kg

Tilastojen perusteella Suomessa purettiin vuosina 2000–2012 noin 51 000 rakennusta. Vuosittainen purkuaste oli 0,25 prosenttia rakennusten lukumäärästä ja 0,15 prosenttia alasta. CO2data-tietokannan mukaan purkamisen yksikköpäästö on 7 kg CO₂-ekv. kerrosneliötä kohden. Näiden pohjalta laskemalla rakennusten purkamisen aiheuttamaksi päästökseen saadaan noin 0,005 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. (5306 tonnia CO₂-ekv.). Korjaamisen ja siihen liittyvän purkutyön päästövaikutuksia ei otettu huomioon.

Lisäksi arvioitiin koko purkujätteen käsittelyn päästö CO2data-arvojen pohjalta olettamalla, että koko purku- ja rakentamisjäte jakautuu samoin kuin uudis- ja korjausrakentamisen rakentamisjäte. Käsittelyn päästöarvot CO2data-tietokannan mukaan ovat metallisille, mineraalisille ja puupohjaisille rakennusjätteille vastaavassa järjestyksessä 0,002, 0,006 ja 0,020 kg CO₂-ekv./kg. Näiden avulla laskemalla saatiin rakennusjätteen käsittelyn aiheuttamaksi päästökseen noin 0,02 miljoonaa tonnia (16768 t CO₂-ekv.).

Laskemalla edellä esitetyt päästöarvot yhteen, saadaan talonrakentamisen aiheuttamaksi päästökseen yhteensä noin 15,5 miljoonaa tonnia, josta rakennusten käytön osuus on noin 75 prosenttia (11,8 miljoonaa tonnia).

Laskelmassa ei ole mukana kaukojäähdytystä, mutta sen merkitys on pieni. Airaksisen ym. (2015)³ mukaan kaukojäähdytyksen markkinat Suomessa vuonna 2015 olivat 190 GWh. Arvioitu kasvu oli 6 prosenttia vuodessa. Sen mukaan markkina vuonna 2020 olisi ollut 254 GWh ja vastaava päästö taulukon 5 perusteella 0,01 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. (10679 tonnia).

Koko Suomen kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2020 olivat noin 43,6 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia (Tilastokeskus 2021b), joten rakentamisen osuudeksi kokonaispäästöstä saadaan tämän laskelman pohjalta noin 36 prosenttia. Vuosi 2020 oli leudon talven ja koronaepidemian takia poikkeuksellinen, minkä takia vuoden 2019 päästötilanne antaa paremman kuvan Suomen tämänhetkisestä päästötasosta. Vuonna 2019 Suomen kasvihuonekaasupäästöt olivat 53,1 miljoonaa tonnia, minkä perusteella rakentamisen osuudeksi kokonaispäästöistä tulee noin 29 prosenttia.

SYKEN arvion mukaan (CO2data.fi 2021) sähkön ja kaukolämmön päästöt tulevat pienenemään varsin nopeasti lähivuosikymmenien aikana. Tämä tulee vaikuttamaan nopeammin käyttösidonnaisten päästöjen kokonaisarvoihin kuin tuotesidonnaisiin päästöihin. Vuoden 2030 oletetuilla arvoilla laskettuna käyttösidonnaiset päästöt olisivat yhteensä 8,8 miljoonaa tonnia.

7.1 Uudisrakentamisen päästöt

Koska rakennusten energiatehokkuus on parantunut viime vuosina huomattavasti ja koska uusiutuvan energian osuus rakennusten hajautetun energian käytön lähteenä kasvaa koko ajan, niin tuote- ja käyttösidonnaisten päästöjen suhde on uusien rakennusten kohdalla tarkasteltuna erilainen kuin koko kannan tasolla tarkasteltuna.

Uuden asuinkerrostalon tyypilliseksi lämpö- ja sähköenergian kulutukseksi voidaan arvioida 91 kWh/m² ja 37 kWh/m², kun sähkönkulutus arvioidaan vuonna 2018 voimaan tulleiden määräysten mukaan ja oletetaan, että E-luvun sallima muu energiankäyttö on kaukolämpöä (Häkkinen & Vares, 2018). Käyttösidonnaisen päästön arvoiksi saadaan 388 kg CO₂-ekv./m² (kaukolämpö) ja 141 kg CO₂-ekv./m² (sähkö) laskettuna 50 vuoden ajanjaksolla ja ottaen huomioon energian oletetut päästömuutokset

³ https://energia.fi/files/399/Rakennusten_jaahdytysmarkkinat_18-12-2015.pdf

(CO2data.fi 2021). Vastaavasti betonirakenteisen kerrostalon tuotesidonnaisille päästöille voidaan Bionovan laskelmien perusteella käyttää arvoa 412 kg CO₂-ekv. Arvo on laskettu 10 uuden kerrostalon pohjalta kattaen kaikki elinkaaren vaiheet. Näiden arvioiden pohjalta tuotesidonnaisten päästöjen osuus on 44 prosenttia ja käyttösidonnaisten yhteensä 56 prosenttia (lämmön osuus 41 % ja sähkön osuus 15 %).

Puurakenteisen kerrostalon tuotesidonnaiset fossiiliset päästöt ovat pienemmät kuin tavanomaisen betonirakenteisen talon päästöt. Syynä on sekä saman toimivuusvaatimuksen täyttävien vastaavien tuotteiden painoerot että massapohjainen päästöarvo sinänsä. Painoerolla on huomattava merkitys. Esimerkiksi viitteen (Vares ym. 2017) massalaskelmien mukaan esimerkkinä käytetyn betonirakenteisen tyyppillisen kerrostalon massa oli 1461 kg/br-m², kun vastaavien puurakenteisten rakennusten massat vaihtelivat välillä 630 ja 751 kg/br-m² (pienin arvo rankarakenteisiin tilaelementteihin pohjautuvalla rakennuksella ja suurin CLT-suurelementteihin pohjautuvalla rakennuksella). Puun massapohjainen alhainen fossiilinen päästöarvo taas perustuu huomattavalta osalta biopohjaisen polttoaineen hyödyntämiseen valmistusprosessissa. Puu- ja betonirakenteisten rakennusten vertailuja esitetään monissa viitteissä kuten esimerkiksi Ruuska ym. (2014), Vares ym. (2017) ja Granlund Consulting Oy (2020). Päästöero koskee erityisesti rakennuksen rungon hiilijalanjälkeä. Esimerkiksi viitteen Ruuska ym. (2014) tapaus-tutkimukseen perustuvan esimerkin mukaan betonikerrostalon rungon hiilijalanjälki oli 237 kg CO₂-ekv./m², kun vastaavan puurunkoisen rakennuksen hiilijalanjälki oli 125 kg CO₂-ekv./m². Vares ym. (2017) arvion mukaan asuinkerrostalossa puurakentamisen fossiilisten päästöjen säästö betonirakentamiseen verrattuna on noin 40 prosenttia, kun tarkastellaan vain materiaaleja ja perustukset jätetään huomioimatta. Vastaavasti Granlund Consulting Oy:n (2020) mukaan fossiilisten päästöjen säästö on noin 30 prosenttia. Puurakennus perustetaan yleensä betoni- tai teräspäerustuksella (Granlund Consulting Oy 2020). Samoin mahdolliset pysäköintihallit ovat teräsbetonirakenteisia. Puukerrostaloja tehdään usein myös siten, että alin kerros on betonirakenteinen. Näiden kaikkien huomioonottaminen vertailussa pienentää puu- ja betonirakennuksen suhteellista eroa.

7.2 Puurakentamisen kasvun potentiaali ja fossiilisten päästöjen vähentämispotentiaali

Suomen rakennuskannan puutuotteiden hiilivarastosta (n. 23 Mt C ~ 84 Mt CO₂) eniten hiiltä on talorakennuskannassa (n. 65 %), josta pientaloissa on noin puolet. Loput 35 prosenttia hiilestä on infrarakenteissa ja muissa rakenteissa. Rakennuskannan hiilivarasto on Suomessa kasvanut vajaa 0,2 Mt C (~ n. 0,7 Mt CO₂) vuodessa 1980–2016 (Vares ym. 2017). Samaan aikaan Suomessa tuotettujen puutuotteiden hiilidioksidin poistumat (hiilinielu) kasvihuonekaasuinventaariossa ovat olleet keskimäärin noin 3,8 Mt CO₂ vuosina 1990–2019 (Tilastokeskus 2021b).

Asuinrakentamisessa puuta käytetään päämateriaalina erityisesti pientalorakentamisessa. Omakotitaloissa puun osuus on yli 80 prosenttia, mutta puukerrostalojen osuus valmistuneista kerrosneliöistä on edelleen vain muutamia prosentteja. Vuosina 1996–2021 Suomeen on rakennettu kaikkiaan 119 puukerrostaloa. Näiden yhteenlaskettu ala on 231 939 kerrosneliötä (Markku Karjalaisen kokoamat tiedot 2021). Puukerrostaloista on vuoden 2013 jälkeen rakennettu noin 60 prosenttia CLT-rakenteisina. Käytännössä puurankajärjestelmät sopivat hyvin alle kuusi kerroksisiin rakennuksiin, kun taas CLT- ja LVL-elementeistä voidaan valmistaa myös korkeita kerrostaloja.

Tilastojen⁴ mukaan Suomessa valmistui vuosina 2016–2020 yhteensä 1,8 miljoonaa (1 798 887) kerrosneliötä asuinkerrostaloja. Samoina vuosina valmistui Markku Karjalaisen kokoaman aineistojen pohjalta 114 363 kerrosneliötä puukerrostaloja. Puun käyttöä on haluttu edistää myös erityisesti julkisessa rakentamisessa, ja hallitusohjelmassa tavoitteena on 45 prosentin osuus vuonna 2025. Vuonna

⁴ Tilastokeskus. Rakennus- ja asuntotuotanto, https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_rak_ras/statfin_ras_pxt_12fy.px/

2019 puun osuus kaikessa julkisen rakennuttajan rakentamisessa myönnettyjen rakennuslupien perusteella ja kerrosalan pohjalta laskettuna oli 19 prosenttia Foreconin kokoaman aineiston pohjalta. Näiden rakennusten kokonaisala oli 1,25 miljoonaa kerrosneliötä. Tilastojen mukaan julkisia palvelurakennuksia (hoitoalan, opetus-, kokoontumis- ja pelastustoimen rakennukset) valmistui vuosina 2016–2020 yhteensä 5,7 miljoonaa (5 701 266) kerrosneliötä, eli keskimäärin 1,1 miljoonaa (1 140 253) kerrosneliötä vuodessa.

Puurakentamisen lisäys vähentää vaihtoehtoisten rakennusmateriaalien tarvetta ja siihen kytkeytyviä fossiilisia päästöjä. Nämä päästövähennykset realisoituvat Suomen rajojen sisällä, mikäli suomalainen vaihtoehtoisten materiaalien tuotanto vähenee puurakentamisen lisäyksen seurauksena.

Seuraavassa puukerrostalojen rakentamisen merkitystä hiilivaraston kannalta ja fossiilisten kasvihuonekaasujen päästösäästöjen kannalta arvioidaan käyttämällä viitteen Vares. ym. (2017) mallintamia arvoja olettaen, että puurakenteisista kerrostaloista 60 prosenttia tehdään CLT-rakenteisina. Puukerrostalon tuotteiden valmistuksen hiilijalanjälkenä käytetään arvoa 165 kg CO₂-ekv./br-m² ja betonikerrostalon hiilijalanjälkenä arvoa 282 kg CO₂-ekv./br-m². Arvio kattaa päärakenteet, mutta ei esimerkiksi perustuksia, talotekniikkaa, varustuksia ja kalusteita. Arvio ei myöskään kata kuljetusten, rakentamisen, kunnossapidon ja purkamisen fossiilisia päästöjä, mutta näiden merkitys rakennuksen elinkaaren aikaisen (joka laskennoissa usein määritellään 50 vuodeksi) puuhun liittyvän fossiilisten päästöjen säästön kannalta onkin suhteellisen vähäinen. Vastaavasti hiilisisältönä käytetään arvoa 291 kg CO₂/br-m² CLT-rakenteisille puukerrostaloille, arvoa 168 kg CO₂/br-m² muille puukerrostaloille ja arvoa 40 kg CO₂/br-m² betonikerrostaloille. Samoja lukuja käytetään lähtöarvoina myös julkisille palvelurakennuksille, mutta kerrottuna luvulla 1,25 suuremman kerroskorkeuden vuoksi. Lisäksi on oletettu, että rakenteet ovat samantyyppisiä ja että vertikaalirakenteiden merkitys päästöjen kannalta on samaa suuruusluokkaa kuin vaakarakenteiden yhteenlaskettu merkitys. Tilastojen mukaan rakennustilavuuden ja kerrosalan suhde palvelurakennuksilla on keskimäärin 5,6 (vuodet 2016–2020), kun taas vastaava luku asuinkerrostaloilla on 3,7. Yllä olevat päästö- ja hiilisisältöarvot on vielä kerrottu luvulla 1,05 muuttaen ne viitteen bruttoneliöpohjaisista lähtöarvoista kerrosneliöpohjaisiksi arvoiksi.⁵

Jos rakentaminen jatkuisi samalla volyymilla kuin mitä on tapahtunut keskimäärin vuosina 2016–2020, niin 10 prosenttiyksikön muutos rakennettavassa asuinkerrostalojen ja vastaavasti julkisten palvelurakennusten kerrosalassa betonista puuhun aiheuttaisi vuodessa:

- 0,022 miljoonan CO₂-tonnin fossiilisten päästöjen säästön asuinkerrostaloissa
- 0,018 miljoonan CO₂-tonnin fossiilisten päästöjen säästön julkisissa palvelurakennuksissa
- 0,038 miljoonan tonnin kasvun puutuotteiden hiilivarastossa asuinkerrostaloissa (CO₂)
- 0,030 miljoonan tonnin kasvun puutuotteiden hiilivarastossa julkisissa palvelurakennuksissa (CO₂).

Fossiilisten päästöjen säästö luonnollisesti kasvaa, jos lasketaan useampien vuosien yhteenlaskettu vaikutus ja jos oletetaan, että siirtymä on 10 prosenttiyksikön sijasta enemmän. 30 prosenttiyksikön siirtymä asuinkerrostaloissa ja julkisissa palvelurakennuksissa vastaisi noin 0,12 miljoonan CO₂-tonnin päästösäästöä. Myös hiilivarastoa kertyy vuosi vuodelta, koska puutuotteiden poistuma käytöstä on pienempi kuin uudisrakentamisessa kertyvä hiilen määrä. 30 prosenttiyksikön siirtymällä asuinkerrostalojen ja julkisten palvelurakennusten osalta hiilivarasto kasvaisi 0,20 miljoonaa CO₂-tonnia, jos puutuotteiden poistumia käytöstä ei oteta huomioon. Tämä vastaa hiilenä 0,055 miljoonaa tonnia. Ja koska yksi

⁵ Rakennuksen kerrosalaan luetaan kerrosten alat ulkoseinien ulkopinnan mukaan laskettuna ja se kellarikerroksen ja ullakon ala, johon voidaan sijoittaa näiden tilojen sijainnin, koon, valoisuuden ja muiden ominaisuuksien perusteella rakennuksen pääasiallisen käyttötarkoituksen mukaisia tiloja. Koska kerrosalaan luetaan ullakolla ja kellarikerroksissa vain pääasiallisen käyttötarkoituksen mukaiset tilat, rakennuksen kerrosala voi olla pienempi kuin rakennuksen bruttoala. (SFS 5139)

kuutiometri sahatavaraa sitoo noin 730 kg hiiltä, niin luku vastaa 0,075 miljoonaa kuutiota sahatavaraa⁶. Asuinkerrostalojen ja julkisten palvelurakennusten siirtymää voi tietenkin tapahtua muissakin rakennustyypeissä kuten liike-, toimisto-, teollisuus- ja varastorakennuksissa.

Näin oletettiin Granlund Consulting Oy:n (2020) tekemässä laajassa selvityksessä, jossa puurakentamisen lisäyspotentiaalia suhteessa nykytasoon tarkasteltiin kahdessa skenaariossa (taulukko 10). Perusskenaariossa puurakentamisen osuutta lisätään vuoden 2017 tasosta kaikissa rakennustyypeissä (pl. muut asuinrakennukset ja vapaa-ajanrakennukset, joissa osuus pysyy nykytasolla). Optimistisessa skenaariossa kerrostaloissa, liike- ja toimistorakennuksissa sekä teollisuus- ja varastorakennuksissa puurakentamisen osuus kasvaa perusskenaariota suuremmaksi. Puumateriaalien tarpeen lisäys vuonna 2035 suhteessa vuoden 2019 tasoon on perusskenaariossa 0,5 Mm³ ja optimistisessa skenaariossa 0,7 Mm³.

Granlund Consulting Oy:n selvityksessä perusskenaariossa puurakentamisen osuuden kasvattamisella on mahdollista pudottaa uudisrakentamisen päästöjä 7 prosenttia vuoden 2017 tasosta. Optimistisessa skenaariossa vastaava vaikutus on 11 prosenttia. Talonrakentamisen, mukaan lukien materiaalien valmistus, kuljetus ja työmaatoiminnot, vuoden 2017 kokonaispäästönä käytettiin lukua 2,4 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. Absoluuttisena lukuna arvioitu fossiilisten päästöjen säästö on siis 0,168 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. Luku on suuruusluokaltaan sama kuin edellä oleva arvio laskettuna 30 prosentin siirtymällä. Granlund Consulting Oy:n (2020) perusskenaariossa kuitenkin oletettiin puurakentamisen lisääntyvän myös muissa rakennustyypeissä kuin asuinkerrostaloissa ja julkisissa palvelurakennuksissa. Granlund Consulting Oy:n (2020) laskema fossiilisten päästöjen suhteellinen säästöarvio talonrakentamisen kokonaispäästöön verrattuna on suurempi, koska talonrakentamisen kokonaispäästönä (eli laskelman nimittäjänä) käytetty luku (2,4 miljoonaa tonnia CO₂-ekv.) on pienempi kuin tässä arvioitu 3,15 miljoonaa tonnia CO₂-ekv.

Taulukko 10. Granlund Consulting Oy:n (2020) tekemä arvio puun osuuden lisäämiseksi päämateriaalina puurakentamisessa.

	Nykytaso (2017 pohjalta)		Perus, 2035		Optimistinen, 2035	
	Puu	Muut materiaalit	Puu	Muut materiaalit	Puu	Muut materiaalit
Pientalot, rivi- ja ketjutilat	80	20	90	10	90	10
Kerrostalot	5	95	35	65	50	50
Muut asuinrakennukset ja vapaa-ajanrakennukset	98	2	98	2	98	2
Liike- ja toimistorakennukset	12	88	32	68	50	50
Julkiset palvelurakennukset	27	73	65	35	65	35
Teollisuus- ja varastorakennukset	22	78	35	65	50	50
Muut rakennukset	69	31	72	25	75	25

Vares ym. (2017) tapaustarkasteluista puukerrostaloille (tapaukset A-E) ja niille verrannolliselle betonikerrostalolle (tapaus F) voidaan johtaa arviot siitä, kuinka paljon puurakentamisessa käytettävää puun hiilitonni vähentää fossiilisia kasvihuonekaasupäästöjä. Taulukossa 11 on esitetty niin sanottu korvauskerroin (yhtälö esitetty lähteessä Sathre ja O'Connor 2010). Korvauskertoimessa osoittajana on betoni- ja puukerrostalon fossiilisen hiilijalanjäljen (hiilitonneina ilmaistuna) välinen erotus ja nimittäjänä puu- ja betonikerrostalon puumateriaalien sisältämän hiilen (hiilitonneina ilmaistuna) välinen erotus. Näin saadaan laskettua kuinka paljon yksi yksikkö rakentamiseen lisättyä puumateriaalia vähentää

⁶ Havupuun kuivapaino 370-420 kg (uunikuivaa); hiiltä 50 % painosta: Esimerkiksi kuivapainolla 400 kg: 400 / 2 = 200 kg. 1 m³ puuta on sitonut ilmakehästä hiilidioksidia 3,67*200 = 734 kg.

fossiilisia kasvihuonekaasupäästöjä betonirakentamista korvattaessa. Vares ym. (2017) tulosten mukaan korvauskerroin vaihtelee välillä 0,5–1,0 (t_C/t_C) ja on viiden tapaustarkastelun keskiarvona 0,74 (t_C/t_C).

Leskinen ym. (2018) arvioivat kirjallisuudessa esitettyjen tuotteiden substituutiokerroin perusteella, että puutukirakenteiden ja -seinien substituutiokerroin on 1,3 t_C/t_C ja muiden rakennustuotteiden (ikkunoiden, ovien, kaiteiden jne.) substituutiokerroin on 1,6 t_C/t_C . Irrallisten tuotekoh- taisten tietojen käyttö ei kuitenkaan kerro kokonaisvaikutusta, koska eri tuotteilla on hyvin erilaiset tuotantomäärät. Puutuotteiden substituutiovaikutuksia voidaan järkevästi arvioida vain vertailemalla sa- man toiminallisen yksikön tarjoavia taloratkaisuja keskenään. Smyth ym. (2018) arvioivat, että suurim- mat puurakentamisen kasvihuonekaasupäästövähennykset saavutetaan omakotitalojen yhteydessä. He johtivat erilaisten talotyyppien tarkasteluista Kanadassa lautatavaroiden keskimääräiseksi substituutio- kertoimeksi 0,54 t_C/t_C ja vanerituotteiden keskimääräiseksi kertoimeksi 0,45 t_C/t_C . Suomessa pientalora- kentaminen on puuvaltaista (yli 80 prosenttia), ja siten rakentamisessa potentiaalisin kohde uusia kor- vausvaikutuksia tavoiteltaessa on asuinkerrostalot ja palvelurakennukset.

Taulukko 11. Puu- ja betonikerrostalojen fossiilinen hiilijalanjälki, puumateriaalien määrä ja fossiilisten päästöjen säästö (t C) käytetty puumateriaalin hiilimäärää (t C) kohden, kun puukerrostalo (A-E eri runkotyypeillä) korvaa betonisen kerrostalon (F) lähteen Vares ym. (2017) mukaan.

	yksikkö	Puu					Betoni
		A	B	C	D	E	F
Fossiilinen hiilijalanjälki	t CO ₂	325	321	301	326	310	542
puumateriaalia	t	204	373	240	236	459	60
Puumateriaalia betonikerrostaloon (F) verrattuna	t CO ₂	210	466	268	262	497	
Korvauskerroin (<i>displacement factor</i>)	t_C/t_C	1,0	0,5	0,9	0,8	0,5	

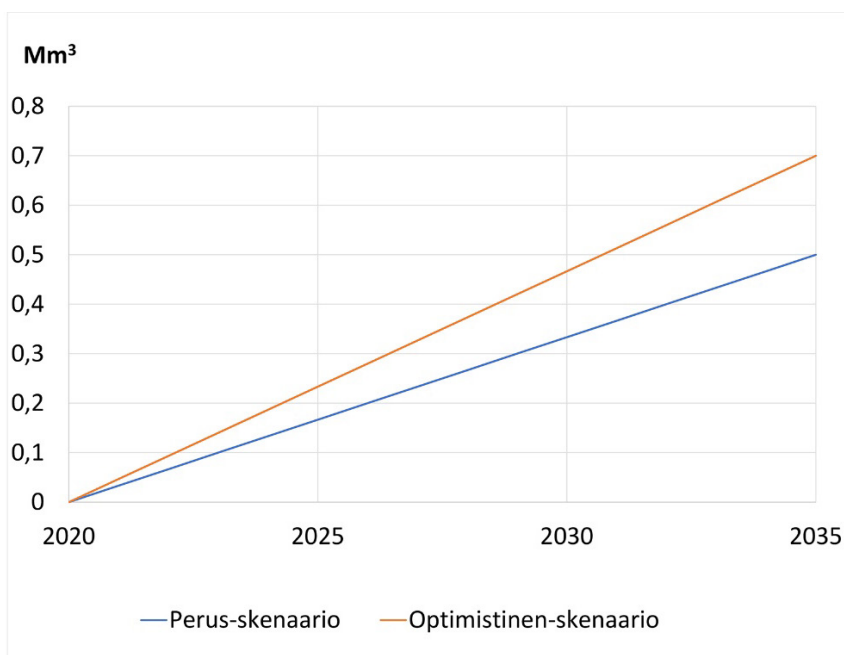
8 Puurakentamisen lisäämisen vaikutus metsien ja puutuotteiden hiilitaseisiin ja fossiilisiin päästöihin Suomessa

Tässä luvussa tarkastellaan puurakentamisen lisäämisen vaikutusta Suomen metsien ja puutuotteiden sekä fossiilisiin hiilitaseisiin muutaman erilaisen skenaarion avulla. Vaikutus arvioidaan sen perusteella, kuinka paljon puurakentamisen lisäyksen oletetaan vaikuttavan Suomen metsien hakkuisiin ja nettonieluun, ilmastopöytäkirjoille raportoitavien puutuotteiden hiilitaseisiin ja rakentamiseen liittyviin fossiilisiin päästöihin. Vaikutusta tarkastellaan muutoksena kahden skenaarion välillä, jossa toisessa puurakentamista lisätään ja toisessa ei lisätä nykytasosta. Tuloksissa ei tarkastella metsien tai puutuotteiden absoluuttista nettonielun tasoa, eikä rakentamisen fossiilisten päästöjen tasoa, vaan ainoastaan puurakentamisen lisäyksen vaikutusta metsien ja puutuotteiden nieluun sekä fossiilisiin päästöihin.

8.1 Skenaariotarkastelut

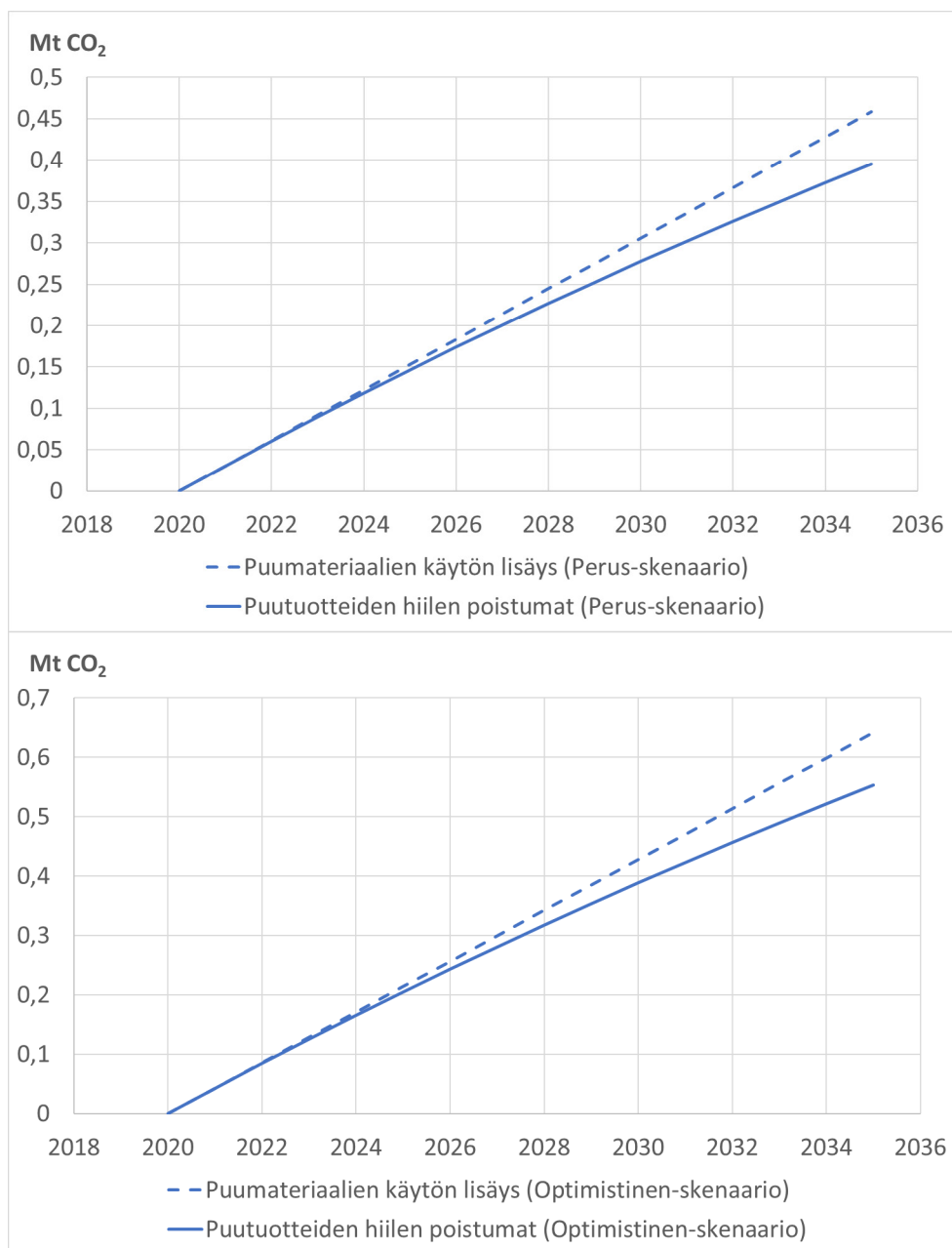
Puumateriaalien tarpeen lisäyksen vuonna 2035 oletettiin noudattavan Granlund Consulting Oy:n (2020) Perus- ja Optimistinen-skenaarioiden oletuksia. Lisäyksen oletettiin tapahtuvan lineaarisesti vuodesta 2020 vuoteen 2035 (kuva 7). Puumateriaalien hiilisisällöksi oletettiin Granlund consulting Oy:n (2020) laskelmien tavoin $0,25 \text{ t C/m}^3$. Tällä perusteella laskettiin puumateriaalien vuosittainen lisäys ja sen hiilisisältö. Vaikutuksia Suomen metsien ja puutuotteiden kasvihuonekaasuinventaariossa raportoitaviin hiilitaseisiin (*tuotanto*-menetelmä) arvioitiin kolmen lisäolettamuksen avulla:

- Tilanteessa, jossa puurakentamisen lisäyksen vaatima puu saadaan lisäämällä kotimaisia ainespuun hakkuita.
- Tilanteessa, jossa puurakentamiseen käytetty puu saadaan sahatavaran vientiä vähentämällä.
- Tilanteessa, jossa puurakentamiseen käytetty puu saadaan laajentamalla raaka-ainepohjaa sahaukseen nykyisellään päätymättömiin pikkutukkeihin ja tuotannon resurssitehokkuutta parantamalla.



Kuva 7. Arvio puumateriaalien tarpeen lisäyksestä puurakentamisessa 2020–2035 Perus- ja Optimistinen-skenaarioissa.

Lisääntynyt puumateriaalien tuotanto kotimaisesta puusta kasvattaa myös puutuotteiden hiilipoistumia kasvihuonekaasujen raportoinnissa (Tuotanto-menetelmä). Olettamalla kaiken puumateriaalin olevan sahatavaraa ja soveltamalla sille IPCC:n oletuskertoimen mukaista hiilen puoliintumisaikaa (35 vuotta), saadaan laskettua lisääntyneen puumateriaalin tuotannon puutuotteiden hiilen poistumat (kuva 4). Koska puutuotteiden hiilitaseiden laskennassa hiiltä alkaa poistua puutuotteesta tuotantovuoden jälkeen, jäävät puutuotteiden hiilen poistumat alhaisemmiksi kuin puutuotteiden alkuperäinen hiilimäärä on ja ero kasvaa ajan funktiona ja on vuonna 2035 noin 15 prosenttia (kuva 4).



Kuva 8. Puumateriaalien käytön lisäys ja puutuotteiden hiilen poistumat Perus- ja Optimistinen-skenaarioissa 2020–2035.

Tilanteessa a) puumateriaalien lisäys kohdistuu suoraan kotimaiseen raakapuuhun ja lisää sen hakkuita. Raakapuun tarve vuonna 2035 on Granlund Consulting Oy:n selvityksen mukaan 1 Mm³ Perus-skenaariossa ja 1,5 Mm³ Optimistinen-skenaariossa. Soveltamalla hakkuiden vuotuiselle metsien nettohiilinielua pienentävälle vaikutukselle Suomen ilmastopaneelin raportin (Kalliokoski ym. 2019) viiden

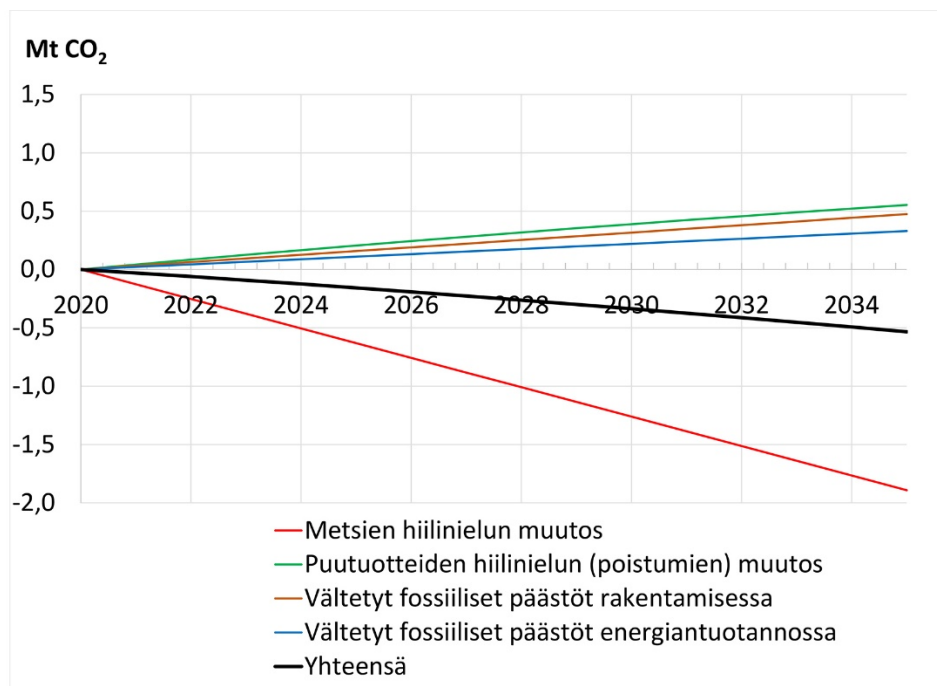
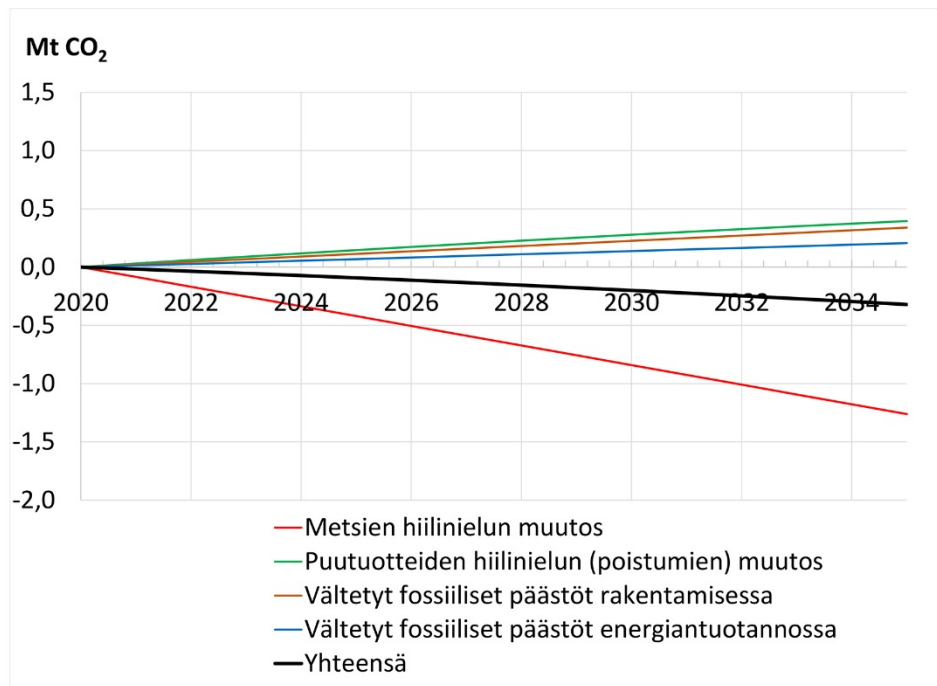
metsämallin simulointitulosten keskiarvoa ($1,26 \text{ Mt CO}_2/\text{Mm}^3$) (ks. luku 3.2), saadaan laskettua raakapuun tarpeen aiheuttama metsien nettohiilinielun pieneminen. Tulosten mukaan metsien nettohiilinielu pienenee raakapuun hakkuiden lisäyksenä lineaarisesti nollasta vuonna 2020 noin $1,3 \text{ Mt CO}_2$ Perus-skenaariossa ja noin $1,9 \text{ Mt CO}_2$ Optimistinen-skenaariossa vuonna 2035. (kuva 9) Mikäli tuloksessa huomioitaisiin myös päätehakkuista tukkipuun hakkuiden yhteydessä hakattavan kuitupuun määrä, olisi tarvittava raakapuun hakkuukertymä arvioitua suurempi ja siten hakkuiden lisäyksen nettohiilinielua pienentävä vaikutus myös edellä laskettua suurempi. Toisaalta kuitupuun hakkuiden vaikutus voidaan myös kohdentaa kuitupuun käytölle, jolloin sen nettohiilinielua pienentävä vaikutus ei rasita tukkipuun käyttökohteita, kuten yllä olevassa laskennassa on epäsuorasti oletettu.

Puutuotteiden avulla rakentamisessa vältettävät fossiiliset päästöt arvioitiin olettamalla, että puu korvaa betonia ja betonin tuotannon päästöt kotimaassa vähenevät vastaavasti. Puun korvauskertoimena käytettiin Vares ym. (2017) -lähteestä johdettua keskimääräistä korvauskerrointa ($0,74 t_c/t_c$). Lisäksi oletettiin, että noin puolet tukkipuusta päätyy rakentamisen puutuotteisiin. Loput ovat mekaanisen metsäteollisuuden sivuvirtoja, joista yksinkertaisuuden vuoksi tässä oletettiin 10 prosenttia tarvittavan puutuotteiden tekemisen prosessienergiaksi ja loput 90 prosenttia käytettävän korvaamaan fossiilisia polttoaineita energiantuotannossa⁷. Korvauskertoimena energiantuotannossa käytettiin arvoa $0,75 t_c/t_c$ perustuen Soimakallio ym. (2016) esittämän epävarmuusvälin odotusarvoon.

Hakkuiden seurauksena metsien hiilinielu pienenee sekä Perus- että Optimistinen-skenaariossa enemmän kuin puutuotteiden hiilivarasto kasvaa ja fossiilisia päästöjä saadaan vältettyä rakentamisessa ja energiantuotannossa. Näin ollen nettopäästöt ilmakehään kasvavat lineaarisesti ajan funktiona vuodesta 2020 vuoteen 2035 puurakentamisen lisäyksen seurauksena. (kuva 9)

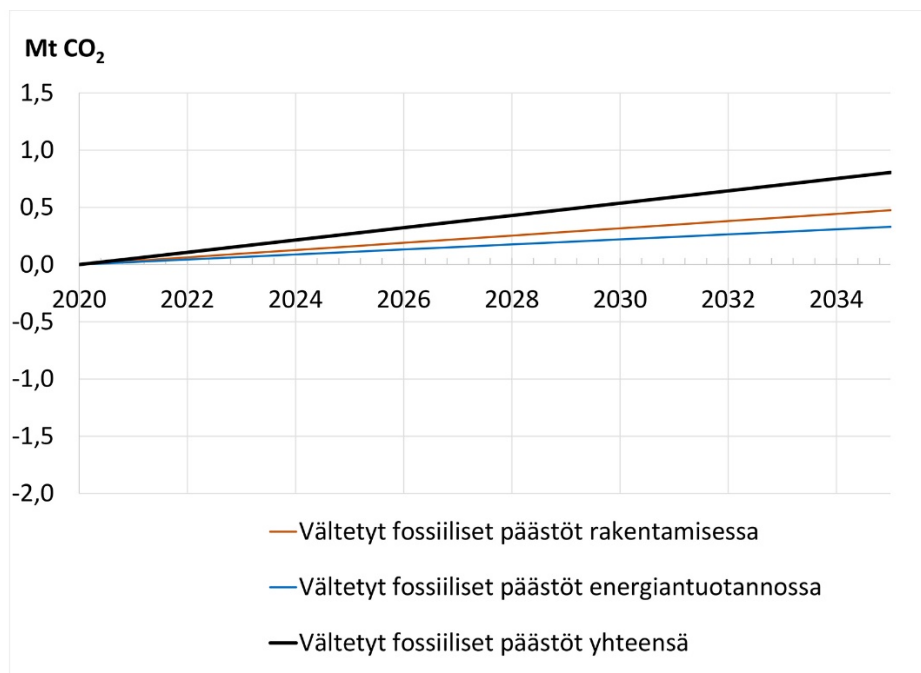
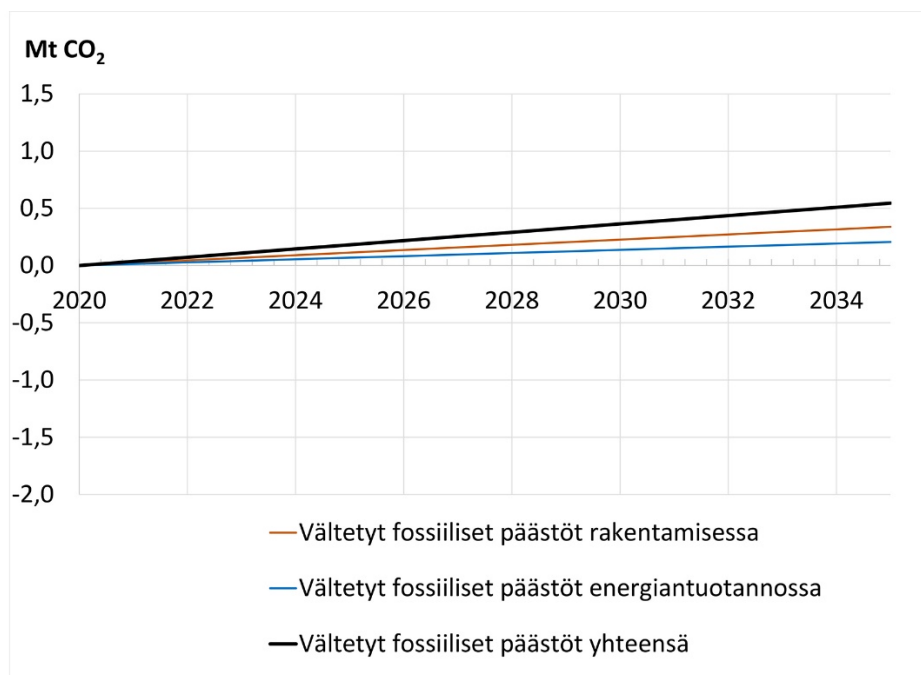
Tilanteen a) tuloksiin liittyy monenlaisia epävarmuuksia ja herkkyyksiä laskennassa käytettyjen oletusten suhteen. Tällaisia ovat muun muassa hakkuiden nielua pienentävä vaikutus, tukkipuun hakkuiden vaikutus kokonaishakkuukertymään ja mekaanisen metsäteollisuuden sivuvirtojen hyödyntämiseen liittyvät oletukset. Hakkuiden nielua pienentävä vaikutus suhteessa metsästä korjattuun puumäärään nähden olisi voitu arvioida oletettua suuremmaksi tai pienemmäksi (ks. luku 3.2). Tilanteessa a) lisääntyvä hakkuukertymä olisi voitu arvioida oletettua suuremmaksi, sillä tukkipuun hakkuiden lisääntyessä myös kuitupuun hakkuut tyypillisesti lisääntyvät. Jos tämä olisi huomioitu, olisi metsien hiilinielu pienentynyt oletettua enemmän. Lisäksi mekaanisen metsäteollisuuden sivuvirroista merkittävä osa käytetään massatuoteteollisuuden raaka-aineena. Jos tämä olisi huomioitu, olisi fossiilisten polttoaineiden korvaus energiantuotannossa siten jäänyt oletettua pienemmäksi. Sellutuotteilla voidaan myös korvata niille vaihtoehtoisia tuotteita ja siten vähentää vaihtoehtoisten tuotteiden tuotannossa syntyviä päästöjä, mutta suurin osa korvaushyödyistä syntyy Suomen rajojen ulkopuolella, koska sellutuotteet päätyvät enimmäkseen vientiin.

⁷ Todellisuudessa mekaanisen metsäteollisuuden sivuvirroista suurin osa menee massatuoteteollisuuden raaka-aineeksi. Esimerkiksi vuonna 2013 mekaanisen metsäteollisuuden sivuvirroista n. 40 % käytettiin energian tuotantoon ja 60 % massatuoteteollisuuden raaka-aineena (Koponen ym. 2015). Mikäli laskennassa olisi oletettu, että osa sivuvirroista menee massatuoteteollisuuden raaka-aineeksi, olisi pitänyt arvioida, mitä korvausvaikutuksia massatuoteteollisuuden tuotteilla on tai vaihtoehtoisesti allokoida tämä osuus pois puurakentamiselle kohdennettavasta vaikutuksesta jollain perusteella (esimerkiksi massasuhteisiin perustuen).



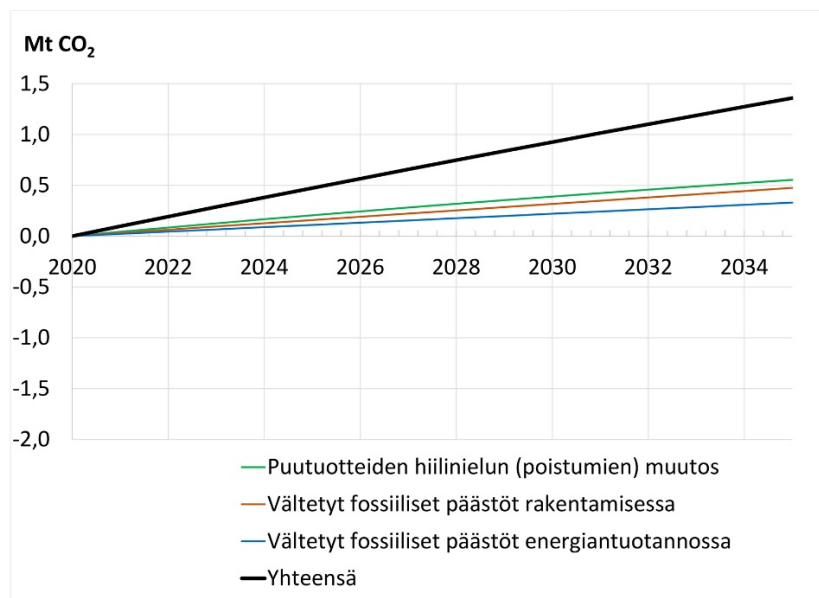
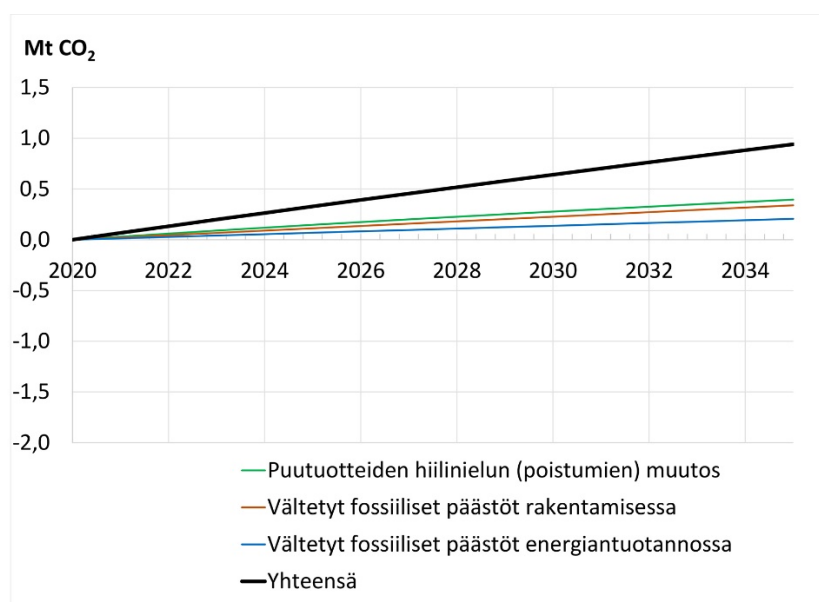
Kuva 9. Metsien ja puutuotteiden hiilinielun muutos, vältetyt fossiiliset päästöt rakennusmateriaalien tuotannossa (puun korvataessa betonia) ja mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden energia-käytössä sekä näistä yhteenlaskettu tase Perus (yläkuva) ja Optimistinen (alakuva) -skenaarioissa 2020–2035 tilanteessa a), jossa puurakentamisen lisäyksen vaatima puu saadaan lisäämällä kotimaisia ainespuun hakkuita. Positiivinen luku kuvaa päästöjen vähentymistä tai poistumien kasvua ja negatiivinen luku kuvaa päästöjen lisäystä tai poistumien pienentymistä.

Tilanteessa b) puurakentamisen lisäykseen tarvittava puu saadaan sahatavaran vientiä vähentämällä. Tällöin puurakentamisen lisäys ei lisää raakapuun hakkuita Suomessa, eikä myöskään kotimaisesta puusta tuotettavien puutuotteiden määrää. Näin ollen puurakentamisen lisäyksen vaikutus sekä metsien nettohiilinieluun että puutuotteiden poistumiin on nolla. Olettamalla vastaavanlaiset korvaukset kuin tapauksessa a), vähenevät fossiiliset päästöt rakentamisessa ja energiantuotannossa kotimaassa vastaavalla tavalla kuin tapauksessa a) lineaarisesti kasvaen 2020–2035 puurakentamisen lisäyksen myötä (Kuva 10). Vähentyneen sahatavaran viennin vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin Suomen rajojen ulkopuolella ei ole huomioitu.



Kuva 10. Vältetyt fossiiliset päästöt rakennusmateriaalien tuotannossa (puun korvatussa betonilla) ja mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden energiakäytössä sekä näistä yhteenlaskettu tase Perus (yläkuva) ja Optimistinen (alakuva) -skenaarioissa 2020–2035 tilanteessa b), jossa puurakentamisen lisäykseen tarvittava puu saadaan sahatavaran vientiä vähentämällä.

Tilanteessa c) puurakentamisen lisäykseen tarvittava puu saadaan laajentamalla raaka-ainepohjaa pikkutukkeihin ja tuotannon resurssitehokkuutta parantamalla. Mikäli oletetaan, että kotimaiset raaka-puun hakkuut eivät tämän seurauksena lisäännä ja vientiin tuotettavan sahatavaran tuotanto säilyy ennallaan, lisääntyy puutuotteiden poistumat tämän seurauksena. Tällöin vaikutus metsien nettohiilinieluun on nolla ja puutuotteiden hiilipoistumat lisääntyvät kuvan 8 mukaisesti. Mikäli edelleen oletetaan, että pikkutukkien käytön siirtymän johdosta rakentamisen päästöt Suomessa vähenevät kuten tapauksissa a) ja b), eikä muita kotimaisia vaikutuksia aiheudu, vähenevät nettopäästöt kotimaassa kuvan 11 mukaisesti. Epäsuoria vaikutuksia, joita aiheutuu vähentyneestä pikkutukkien käytöstä esimerkiksi selluteollisuudessa, ei ole huomioitu. Tämän takia tulos kuvaa käytännössä tilannetta, jossa selluteollisuuden tuotanto vähenee, ulkomaisen puun käyttö kasvaa tai resurssitehokkuus paranee puurakentamiseen siirtyvien pikkutukkien määrän verran.



Kuva 11. Puutuotteiden hiilinielun muutos ja vältetyt fossiiliset päästöt rakennusmateriaalien tuotannossa (puun korvatesse betonia) ja mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden energiakäytössä sekä näistä yhteenlaskettu tase Perus (yläkuva) ja Optimistinen (alakuva) -skenaarioissa 2020–2035 tilanteessa c), jossa puurakentamisen lisäykseen tarvittava puu saadaan laajentamalla raaka-ainepohjaa pikkutukkeihin ja tuotannon resurssitehokkuutta parantamalla.

8.2 Tulosten merkitys Suomen ilmastotavoitteiden kannalta

Puurakentamisen vaikutus Suomen nettopäästöjen kehitykseen riippuu oleellisesti siitä, kuinka paljon hakkuut Suomessa sen seurauksena lisääntyvät ja kuinka paljon fossiiliset päästöt rakentamisessa ja energiantuotannossa sen seurauksena toisaalta vähenevät. Rakentamisen fossiiliset päästöt vähenevät 0,3 tai 0,5 Mt CO₂-ekv. vuonna 2035, jos puurakentamista lisätään Perus- tai Optimistinen-skenaarion mukaisesti. (taulukko 12). Puurakentamisen lisäämisen vaikutus metsien ja puutuotteiden hiilidioksidipoistumiin riippuu siitä, miten puurakentamisen lisääminen vaikuttaa kotimaisiin hakkuisiin ja puutuotteiden tuotantoon.

Mikäli puurakentamisen lisääminen ei lisää kotimaisia hakkuita, ei metsien hiilinielu Suomessa puurakentamisen lisäämisen seurauksena pienene. Puutuotteiden hiilidioksidipoistumia on mahdollista lisätä metsien hiilinielua pienentämättä raportoinnissa käytettävää *tuotantomenetelmää* noudattaen vain, jos pitkäikäisiä puutuotteita voidaan valmistaa enemmän hakkuukertymää kasvattamatta, esimerkiksi laajentamalla raaka-ainepohjaa pikkutukkeihin ja tuotannon resurssitehokkuutta parantamalla.

Vuoden 2035 nettopäästöt kasvavat noin puolimiljoona hiilidioksiditonnia, jos puurakentamista lisätään Optimistinen-skenaarion mukaisesti ja kaikki tarvittava puu tulee lisähakkuista. Parhaimmassa tapauksessa puolestaan saavutetaan lähes 1,5 miljoonan hiilidioksiditonnin vähennys nettopäästöissä vuonna 2035, jos kaikki puu tulee laajentamalla raaka-ainepohjaa pikkutukkeihin ja tuotannon resurssitehokkuutta parantamalla, eivätkä kotimaiset hakkuut tämän seurauksena lisäänty. Muut tarkastellut vaihtoehdot sijoittuvat näiden ääripäiden väliin. Jos noin kaksi kolmasosaa tarvittavasta puusta tulee hakkuista lisäämällä ja noin kolmannes vientiä vähentämällä, päädytään tässä tarkastelluilla oletuksilla tuloksiin, jossa nettopäästöt pysyvät suurin piirtein muuttumattomina vuosina 2020–2035. Jos hakkuiden osuus puun tarpeen tyydyttämisestä on tätä suurempi, nettopäästöt kasvavat ja pienemmällä osuudella puolestaan vähenevät. Vastaavasti nettopäästöt pysyvät suurin piirtein muuttumattomina, jos hakkuiden osuus puun tarpeen tyydyttämisestä on noin kolme neljäsosaa ja loppuosuus saadaan laajentamalla raaka-ainepohjaa pikkutukkeihin ja tuotannon resurssitehokkuutta parantamalla.

Taulukko 12. Metsien hiilinielun muutos, puutuotteiden (poistumien) hiilinielun muutos, vältetyt fossiiliset päästöt rakentamisessa ja vältetyt fossiiliset päästöt energiantuotannossa Perus- ja Optimistinen-skenaarioissa vuonna 2035 (Mt CO₂-ekv.). Positiivinen luku tarkoittaa vältettyjä päästöjä ilmakehään tai nielun (poistumien) kasvua ja negatiivinen luku tarkoittaa nielun (poistumien) pienentymistä tai päästöjä ilmakehään.

	Tilanne a)	Tilanne b)	Tilanne c)
Perus-skenaario			
Metsien hiilinielun muutos	-1,3	0	0
Puutuotteiden (poistumien) hiilinielun muutos	0,4	0	0,4
Vältetyt fossiiliset päästöt rakentamisessa	0,3	0,3	0,3
Vältetyt fossiiliset päästöt energiantuotannossa	0,2	0,2	0,2
Yhteensä	-0,3	0,5	0,9
Optimistinen-skenaario			
Metsien hiilinielun muutos	-1,9	0	0
Puutuotteiden (poistumien) hiilinielun muutos	0,6	0	0,6
Vältetyt fossiiliset päästöt rakentamisessa	0,5	0,5	0,5
Vältetyt fossiiliset päästöt energiantuotannossa	0,3	0,3	0,3
Yhteensä	-0,5	0,8	1,4

Sekä päästöillä että nieluilla on merkitystä ilmastonmuutoksessa ja sen hillinnässä, mutta niiden merkitys ilmastopolitiikassa riippuu siitä, miten niitä säännellään. EU:ssa päästöille on asetettu vähentämisvelvoitteet erikseen EU:n päästökaupassa ja kansallisesti taakanjakoasetuksen kautta ja nieluja säännellään EU:n LULUCF-asetuksen kautta. EU:n LULUCF-regulaatiossa Suomelle asetettu nieluvelvoite vuosille 2021–2025 on arviolta n. 21 Mt CO₂-ekv. (Hildén ym. 2020) ja komission ehdotuksen mukaisesti vuonna 2030 n. 18 Mt CO₂-ekv. (MMM 2021). EU-regulaation puitteissa suurempana tai pienempänä toteutuvan nielun merkitys Suomelle on riippuvainen siitä, miten Suomi saavuttaa omat velvoitteensa ja miten paljon mahdollista velvoitteet ylittävää nielua voidaan hyödyntää muiden sektoreiden tai maiden velvoitteiden täyttämässä. Nämä kysymykset ovat osin avoimia ja riippuvaisia erinäisten asioiden kehityksestä Suomessa ja muissa EU:n jäsenmaissa.

Erilaiset epäsuorat mekanismit voivat vaikuttaa oleellisesti siihen, mitä kokonaisvaikutuksia puurakentamisen lisäämisellä on Suomen rajojen sisäpuolella ja ulkopuolella. Kun vientiä vähennetään kotimaisen kysynnän kasvun johdosta, täytyy kansainvälisten markkinoiden kysyntä tyydyttää jollain, jos se ei viennin vähenemisen seurauksena alene. Tällöin Suomen rajojen ulkopuolella hakkuut lisääntyvät tai vaihtoehtoisten materiaalien käyttö lisääntyy. Jos raaka-aina siirtyy aiemmasta käyttökohteesta, esimerkiksi sellun tuotannosta puurakentamiseen, korvautuu aiemman käyttökohteen raaka-aineen tarve jollain, mikäli tuotanto pysyy ennallaan. Tällöin hakkuut saattavat lisääntyä Suomessa tai Suomen rajojen ulkopuolella. Materiaalien kierrätyksellä ja muulla resurssitehokkuuden parantamisella voidaan vähentää neitseellisten raaka-aineiden tarvetta, jolloin sitä voidaan vapauttaa tietyistä tuotannosta toiseen, esimerkiksi puurakentamiseen.

Nykytiedon perusteella on vaikea arvioida, missä määrin Suomessa voidaan lisätä metsien hakkuita siten, ettei hakkuiden lisäys pienennä nielua velvoitteiden kannalta merkityksellisesti. Suomen hiilineutraaliustavoitteen kannalta suuremmat päästövähennykset edellyttävät pienempää LULUCF-sektorin nielua ja toisinpäin. Lopulta fossiilisten päästöjen vähentämisen ja nielujen kasvattamisen merkitys taloudellisille toimijoille riippuu siitä, minkälaista sääntelyä päästöihin ja nieluihin tullaan soveltamaan ja miten se vaikuttaa päästöjen ja nielujen kehittymiseen ja taloudelliseen arvoon.

9 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä raportissa tarkasteltiin sitä, miten puutuotteet, erityisesti rakentamisessa, toimivat hiilivarastona ja miten puun hiileen liittyvät taseet lasketaan ja raportoidaan kansainvälisissä sopimuksissa. Raportissa myös selvennettiin metsien ja puutuotteiden hiilitaseen laskentaa puurakentamisen kokonaisilmastovaiikutusten arvioinnin kannalta. Lisäksi raportissa luotiin kokonaiskuva Suomen rakennuskannan kasvihuonekaasupäästöistä sekä puurakentamisen kasvupotentiaalista ja sen mahdollisuuksista auttaa fossiilisten päästöjen vähentämisessä vuoteen 2035 mennessä.

Pariisin ilmasopimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi globaaleja kasvihuonekaasujen päästöjä tulee vähentää ja hiiltä sitovia nieluja lisätä ripeästi siten, että päästöt ja nielut ovat tasapainossa viimeistään kuluvan vuosisadan jälkimmäisellä puoliskolla. Sanna Marinin hallituksen ohjelman tavoitteena on, että Suomi on hiilineutraali (päästöt ja nielut yhtä suuret) vuoteen 2035 mennessä ja hiilinegatiivinen (nielut päästöjä suuremmat) pian sen jälkeen. Vuosina 2016–2020 Suomen vuotuiset kasvihuonekaasupäästöt ovat olleet keskimäärin noin 54 Mt CO₂-ekv. vuodessa ja LULUCF-sektorin vuotuinen netto-nielu n. 16 Mt CO₂-ekv. (Tilastokeskus 2021b). Nettopäästöjä tulee siis vähentää vuosien 2016–2020 tasosta lähes 40 Mt CO₂-ekv. vuoteen 2035 mennessä, jotta Suomi saavuttaa Sanna Marinin hallituksen asettaman hiilineutraaliustavoitteen.

Rakennusten käyttö aiheuttaa Suomessa arviolta noin 12 Mt CO₂-ekv. suuruiset päästöt ja rakennusmateriaalien tuotanto noin 3 Mt CO₂-ekv. Yhtenä keskeisenä keinoja Marinin hallituksen ilmasto- ja energiastrategian tavoitteiden saavuttamiseksi on esitetty puun käytön lisäämistä rakentamisessa.

Ympäristöministeriön Puurakentamisen ohjelman tavoitteena on lisätä puun käyttöä niin kaupunkien rakentamisessa, julkisessa rakentamisessa kuin suurissa puurakenteissakin (YM 2021). Puu on uusiutuva luonnonvara, jonka hiili säilyy rakenteissa ja kalusteissa pitkään hiilivarastona. Lisäksi puun käytön avulla voidaan vähentää rakentamisesta aiheutuvia fossiilisia kasvihuonekaasupäästöjä.

Suomessa puuston kasvu on lähes kaksinkertaistunut 50 vuodessa ja puuston tilavuus on 1,7-kertainen verrattuna 1960-lukuun, koska sen jälkeen puuston kasvu on lisääntynyt selvästi enemmän kuin puuston hakkuu- ja luonnonpoistuma. Puuntuotannollisesti tarkasteltuna hakkuumääriä voi olla mahdollista lisätä, tosin uusimpien arvioiden mukaan Suomen metsien puuston kasvu on viime vuosina alentunut. Suomen kansallisessa metsästrategiassa tavoitellaan runkopuun hakkuukertymän nostamista 80 Mm³:iin vuoteen 2025 mennessä.

Puutuotteiden hiilivarastojen muutokset lasketaan ja raportoidaan osana LULUCF-sektoria. Mikäli puutuotteiden hiilivarasto kasvaa, raportoidaan tase hiilen poistumana (nieluna) ja päinvastoin. Puutuotteiden tase raportoidaan ns. *tuotantomenetelmää* käyttäen, jossa tulos määräytyy kotimaisesta puusta tuotettujen puutuotteiden määrästä, käytännössä tuotetun sahatavaran ja puulevyjen määrästä. Suomi käyttää raportoinnissa puutuotteiden hiilen vapautumisen määrittämiseen IPCC:n oletuskertoimia, minkä vuoksi Suomessa käytetyn puutavaran käyttöajan kasvattaminen ei näy Suomen kasvihuonekaasupäästöjen tuloksessa. Periaatteessa olisi mahdollista käyttää kotimaahan jäävien puutuotteiden osalta kansallisia kertoimia, jotka perustuisivat IPCC:n kertoimia luotettavimpiin tietoihin puutuotteiden todellisista kansallisista varastonmuutoksista. Tällöin puutuotteiden pidempi todellinen käyttöaika johtaisi pidempään hiilen säilymisaikaan ja suurempaan puutuotteiden hiilen poistumamäärään (nieluun) puutuotteiden kasvihuonekaasutaseen määrittelyssä.

Puurakentamisen lisääminen vaikuttaa kasvihuonekaasujen nettopäästöihin metsien nettohiilinielun ja puutuotteiden hiilen poistumien sekä vaihtoehtoisten materiaalien tuotannossa syntyvien päästöjen kautta. Nämä vaikutukset ja niiden kohdentuminen Suomeen ja Suomen rajojen ulkopuolelle riippuvat monista eri tekijöistä.

Työssä on arvioitu puurakentamisen lisäämisen vaikutusta metsien ja puutuotteiden hiilitaseisiin ja fossiilisiin päästöihin Suomessa vuoteen 2035 mennessä kahden erilaisen puurakentamisen lisäysmäärän ja kolmen erilaisen puumateriaalien tarpeen tyydyttämisen kautta. Skenaariotarkastelujen

realistisuuteen ei oteta raportissa kantaa, vaan skenaarioiden tarkoituksena oli haarukoida puurakentamisen lisäämisen vaikutuksia Suomen nettopäästöihin eräänlaisten äärilaitojen kautta. Mikäli puurakentamisen lisäämiseksi tarvittava puu saadaan pelkästään lisäämällä hakkuita metsissä, pienenee metsien nettohiilinielu vuoden 2035 tasossa enemmän kuin lisääntyneeseen puumateriaalien tuotantoon saadaan sidottua hiiltä ja vaihtoehtoisten materiaalien korvauksessa vältettyä päästöjä, jolloin kokonaisvaikutus Suomessa on (netto)päästöjä kasvattava. Mikäli puurakentamisen lisäämiseksi tarvittava puu saadaan pelkästään sahatavaran vientiä vähentämällä, ei metsien hiilinielu Suomessa pienene, eikä myöskään puutuotteiden hiilen poistumat lisäänty. Tällöin vaihtoehtoisten materiaalien korvautumisen myötä vaikutus Suomessa on päästöjä vähentävä, jos korvattavien materiaalien tuotanto Suomessa vastaavasti vähenee. Mikäli puurakentamisen lisäämiseksi tarvittava puu saadaan pelkästään lisäämällä sahatavaran tuotantoa lisäämättä hakkuita, eli laajentamalla raaka-ainepohjaa pikkutukkeihin ja tuotannon resurssitehokkuutta parantamalla, saadaan lisäksi puutuotteiden hiilen poistumia lisättyä, jolloin kokonaisvaikutus Suomessa on nettopäästöjä edelleen vähentävä, mikäli muuhun tarkoitukseen tuotettavan sahatavaran tuotanto pysyy ennallaan ja kotimaiset hakkuut eivät lisäänty pikkutukkien sahatavaran tuotantoon siirtymisen vuoksi. Skenaariotarkasteluissa puurakentamisen lisäämisen vaikutus Suomen nettopäästöihin vuonna 2035 vaihteli 1,4 Mt CO₂-ekv. vähennyksestä 0,5 Mt CO₂-ekv. lisäykseen.

Työssä tehdyt skenaariotarkastelut eivät käsittele erilaisia epäsuoria puumarkkinoihin liittyviä mekanismeja, jotka voivat vaikuttaa oleellisesti siihen, mitä kokonaisvaikutuksia puurakentamisen lisäämisellä on Suomen rajojen sisäpuolella ja ulkopuolella. Hakkuut saattavat lisääntyä Suomessa tai Suomen rajojen ulkopuolella.

Hakkuiden nielua pienentävä vaikutus muuttuu ajan myötä, mutta vaikutus on epävarma, sillä se riippuu metsien hiilitaseiden kehityksestä sekä tilanteesta, jossa hakkuut lisääntyvät, että tilanteesta, jossa ne eivät lisäänty. Mallisimulaatioiden mukaan pysyvän hakkuutason muutoksen vaikutus vuotuisen nieluun voi kuitenkin säilyä useita vuosikymmeniä (jopa yli sata vuotta) suuruusluokaltaan samankaltaisena kuin tässä työssä on arvioitu. Pidemmän aikavälin huomioiminen olisi oleellista, mutta edellyttäisi myös monenlaisten epävarmuuksien aiempaa parempaa huomioimista.

Sekä päästöillä että nieluilla on merkitystä ilmastopolitiikassa. Nykytiedon valossa on vaikea arvioida, missä määrin Suomessa voidaan lisätä metsien hakkuita siten, ettei hakkuiden lisäys pienennä nielua velvoitteiden kannalta merkityksellisesti. Suomen hiilineutraaliustavoitteen kannalta suuremmat päästövähennykset edellyttävät pienempää LULUCF-sektorin nielua ja toisinpäin. Viime kädessä fossiilisten päästöjen vähentämisen ja nielujen kasvattamisen merkitys taloudellisille toimijoille riippuu siitä, minkälaista sääntelyä päästöihin ja nieluihin tullaan soveltamaan ja miten se vaikuttaa päästöjen ja nielujen kehittymiseen ja taloudelliseen arvoon.

Lähteet

- Airaksinen, M., Vainio, T., Vesanen, T., Ala-Kotila, P. 2015. Rakennusten jäähdytysmarkkinat. VTT-CR-06168-15| 18.12.2015 https://energia.fi/files/399/Rakennusten_jaahdytysmarkkinat_18-12-2015.pdf [viitattu 24.9.2021]
- Cherubini, F., Guest, G. and Strømman, A.H. 2012. Application of probability distributions to the modeling of biogenic CO₂ fluxes in life cycle assessment. *Gcb Bioenergy* 4(6): 784-798.
- CO2data.fi 2021. Rakentamisen päästötietokanta. Suomen ympäristökeskus ja ympäristöministeriö. [viitattu 16.10.2021]
- Donlan, J., Skog, K. and Byrne, K. 2012. Carbon storage in harvested wood products for Ireland 1961–2009. *Biomass and Bioenergy* 46: 731–738.
- EN 335. 2013. Durability of wood and wood-based products. Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products. European Standards.
- Geng, A., Yang, H., Chen, J. and Hong, Y. 2017. Review of carbon storage function of harvested wood products and the potential of wood substitution in greenhouse gas mitigation. *Forest Policy and Economics* 85: 192-200.
- Granlund Consulting Oy. 2020. Vähähiilisen puurakentamisen tiekartta. 2.11.2020. 43 s. Kirjoittajat Tytti Bruce-Hyrkäs, Ulla Nykter, Elina Ruoho, Anni Viitala. Julkaisija Puutuoteteollisuus ry. https://puutuoteteollisuus.fi/images/puufaktaa/ym-paristo-kiertotalous-ym/V%C3%A4h%C3%A4hiilisen%20puurakentamisen%20tiekartta_loppuraportti_final.pdf [viitattu 22.9.2021]
- Hildén, M., Auvinen, K., Berninger, K., Björklund, M., Ekholm, T., Ekroos, A., Huttunen, S., Hyytiäinen, K., Kokko, K., Lähteenmäki-Uutela, A., Mehling, M., Perrels, A., Seppälä, J., Soimakallio, S., Tikkakoski, P., Toivonen, E., Tynkkynen, O. 2021. Mahdollisuudet vahvistaa ilmastolakia uusilla keinoilla. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:5. 211 s.
- Huuska, S. & Kolkwitz, M. 2021. Stocks and flows of buildings: Analysis of existing, demolished, and constructed buildings in Tampere, Finland, 2000–2018. *Journal of industrial ecology*, Osa/vuosikerta 25, 948–960.
- Huuska, S. & Lahdensivu, J., 2016. Statistical and geographical study on demolished buildings. *Building research and information*, 44:1, 73–96.
- Häkkinen, T. & Vares, S. 2018. Rakennuksen khk-päästöjen ohjauksen vaikutusten arviointi. VTT Technology 324. .60 p.+ app. 9 p.
- Häkkinen, T. & Tarpio, J. 2021. Elinkaariominaisuudet rakentamisen ohjauksessa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja (painossa).
- IPCC. 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Authors: Sebastian Rüter (Germany), Robert William Matthews (UK), Mattias Lundblad (Sweden), Atsushi Sato (Japan), Rehab Ahmed Hassan (Sudan).
- IPCC. 2021. Frequently asked questions. Task Force on Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/faq/faq.html> [viitattu 14.10.2021]
- ISO 15686-1. 2011. Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles. International Organization for Standardization.
- ISO 21930. 2017. Sustainability in buildings and civil engineering works — Core rules for environmental product declarations of construction products and services. International Organization for Standardization.
- Jasinevičius, G., Lindner, M., Pingoud, K. and Tykkyläinen, M. 2015. Review of models for carbon accounting in harvested wood products. *International Wood Products Journal*, 6(4): 198–212.
- JRC. 2019. JRC Technical reports. Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method. Authors: Zampori L, Pant R. 2019. 10.2760/424613 <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC115959>
- Kalliokoski, T., Heinonen, T., Holder, J., Lehtonen, A., Mäkelä, A., Minunno, F., Packalen, T., Peltoniemi, M., Pukkala, T., Salminen, O., Schelnaas, M.-J., Vauhkonen, J., Kanninen, M. 2019. Skenaarioanalyysi metsien kehitystä kuvaavien mallien ennusteiden yhtäläisyyksistä ja eroista. Suomen ilmastopaneeli 2/2019.
- Koljonen, T., Aakkula, J., Honkatukia, J., Soimakallio, S., Haakana, M., Hirvelä, H., Kilpeläinen, H., Kärkkäinen, L., Laitila, J., Lehtilä, A., Lehtonen, H., Maanavilja, L., Ollila, P., Siikavirta, H., Tuomainen, T. 2020. Hiilineutraali Suomi 2035 - Skenaariot ja vaikutusarviot. VTT Technology 366. 150 s.
- Koljonen, T., Honkatukia, J., Maanavilja, L., Ruuskanen, O-P., Similä, L., Soimakallio, S. 2021. Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset (HIISI). Synteesiraportti - Johtopäätökset ja suositukset (painossa).

- Koljonen, T., Soimakallio, S., Lehtilä, A., Similä, L., Honkatukia, J., Hildén, M., Rehunen, A., Saikku, L., Salo, M., Savolahti, M., Tuominen, P., Vainio, T. 2019. Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 24/2019.
- Koponen, K., Sokka, L. & Keränen, J. 2015, Cascading use of woody biomass, VTT Research Report: VTT-R-03979-15, 20015, 25 s.
- Laturi, J., Mikkola, J. and Uusivuori, J., 2008. Carbon reservoirs in wood products-in-use in Finland: current sinks and scenarios until 2050. *Silva Fennica* 42(2): 307–324.
- Lauk, C., Haberl, H., Erb, K.H., Gingrich, S. and Krausmann, F., 2012. Global socioeconomic carbon stocks in long-lived products 1900–2008. *Environmental Research Letters*, 7(3), p.034023.
- Lehtonen, K. Purkutyöt – opas tekijöille ja teettäjille. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:29. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161884/YM_2019_29.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Leskinen, P., Gardellini, G., Gonzalez-García, S., Hurmekoski, E., Sathre, R., Seppälä, J., Smyth, C., Stern, T. and Verkerk, P.J. 2018. Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. From science to policy. European Forest Institute.
- Liski, J., Lehtonen, A., Palosuo, T., Peltoniemi, M., Eggers, T., Muukkonen, P. & Mäkipää, R., 2006. Carbon accumulation in Finland's forests 1922–2004 – an estimate obtained by combination of forest inventory data with modelling of biomass, litter and soil. *Annals of Forest Science* 63: 687–697.
- LUKE. 2020. Ruokaja luonnonvaratilastojen e-vuosikirja 2020. Tilastoja maataloudesta, metsäsektorilta sekä kala- ja riistataloudesta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 106/2020.
- LUKE. 2021a. Metsätilastot. Tilastotietokanta. Luonnonvarakeskus. [Metsätilastot | Luonnonvarakeskuksen tilastot \(luke.fi\)](https://tilastot.luke.fi/) [viitattu 13.10.2021]
- LUKE. 2021b. Metsien vuotuinen kasvu laski tuoreimmassa valtakunnan metsien inventoinnissa. <https://www.luke.fi/uutiset/metsien-vuotuinen-kasvu-laski-tuoreimmassa-valtakunnan-metsien-inventoinnissa/> [viitattu 25.10.2021]
- MMM. 2019. Kansallinen metsästrategia 2025 – päivitys. Valtioneuvoston periaatepäätös 21.2.2019. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:7.
- MMM. 2021. Maankäyttösektorin ilmastolaskelmat perustuivat uudessa LULUCF-asetuksessa sektorin todellisiin päästöihin ja nieluihin. Maa- ja metsätalousministeriö, tiedote 14.7.2021. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410837/maankayttosektorin-ilmastolaskelmat-perustuivat-uudessa-lulucf-asetuksessa-sektorin-todellisiin-paastoihin-ja-nieluihin>
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G. and Ciais, P., 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333(6045): 988–993.
- Ruuska, A.P. and Häkkinen, T.M. 2015. The significance of various factors for GHG emissions of buildings. *International Journal of Sustainable Engineering* 8(4-5): 317–330.
- Sathre, R. and O'Connor, J., 2010. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental science & policy* 13(2): 104–114.
- 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. *J. Environ. Management* 247: 580–587.
- Skog, K.E. 2008. Sequestration of carbon in harvested wood products for the United States. *Forest Products Journal* 58: 56–72.
- Smyth, C., Rampley, G., Lemprière, T.C., Schwab, O., Kurz, W.A., 2017. Estimating product and energy substitution benefits in national-scale mitigation analyses of Canada's forest sector. *Gcb Bioenergy* 9(6): 1071–1084.
- Soimakallio, S. 2019. Miksi puuntuotannon maksimointi ei maksimoi hiilinielua? Suomen ympäristökeskus, ratkaisuja blogi. 10.9.2018. [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Ratkaisujablogi/Sampo_Soiimakallio_Miksi_puuntuotannon_ma\(47869\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Ratkaisujablogi/Sampo_Soiimakallio_Miksi_puuntuotannon_ma(47869)) [viitattu 27.10.2021]
- Soimakallio, S., Saikku, L., Valsta, L. and Pingoud, K., 2016. Climate Change Mitigation Challenge for Wood Utilization - The Case of Finland. *Environmental science & technology*, 50(10): 5127–5134.
- Soimakallio, S., Kalliokoski, T., Lehtonen, A. and Salminen, O., 2021. On the trade-offs and synergies between forest carbon sequestration and substitution. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 26(1): 1–17.
- Tilastokeskus. 2011. Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2008: National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. In: Pipatti R. (Ed). 470 s..
- Tilastokeskus. 2020. Statistics Finland: Greenhouse Gas Emissions in Finland 1990–2018, National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto protocol, Helsinki. 2020.

- Tilastokeskus. 2021a. Energian kokonaiskulutus energialähteittäin. Energiatilastot. <https://www.stat.fi/til/ene.html> [viitattu 27.10.2021]
- Tilastokeskus. 2021b. Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2019. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 15 April 2021.
- Tilastokeskus. 2021c. Kasvihuonekaasupäästöt vähenivät 9 prosenttia. https://www.stat.fi/til/khki/2020/khki_2020_2021-05-21_tie_001_fi.html [viitattu 30.10.2021]
- Tilastokeskus. 2021d. Rakentaminen. <https://www.stat.fi/til/rak.html> [viitattu 23.10.2021]
- Turunen, J. 2008. Development of Finnish peatland area and carbon storage 2000. *Boreal Environment Research* 13: 319–334.
- UNFCCC. 2016. The Paris Agreement. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- Valtioneuvosto. 2019. Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019. Valtioneuvoston julkaisuja 2019:31.
- Vares, S. Häkkinen, T. & Vainio, T. 2017. Rakentamisen hiilivarasto. VTT. Noudettu osoitteesta <https://www.ym.fi/download/noname/%7B2859F537-ECD2-479D-A62B-F13AD75403F2%7D/136827>
- Viitanen, H., 2014. 100 year's service life of wood in service life conditions 1 and 2 - dry and moderately humid conditon. *VTT-R-04689-14*.
- Viitanen, H., 2019. Vaativien puurakenteiden suunnittelu. Elinkaarisuunnittelu. https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/47_Puurakennuksen-elinkaarisuunnittelu.pdf
- YM 2020. Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia. SUOMI. 2020 – 2050. Rakennusten energia-tehokkuusdirektiivin (2010/31/EU), muutettuna direktiivillä 2018/844/EU, artiklan 2a mukainen il-moitus 10.3.2020. <https://ym.fi/korjausrakentamisen-strategia> [viitattu 20.9.2021]
- YM. 2021. Puurakentamisen ohjelma. <https://ym.fi/puurakentaminen> [viitattu 15.20.2021]

