



Metsäsektorin kasvihuonekaasupäästöjen tilastointi

Ashrafal Alam, Hafiz Usman Ghani, Ilkka Leinonen

Tiivistelmä

Ashraful Alam, Hafiz Usman Ghani, Ilkka Leinonen

Luonnonvarakeskus (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

Tässä tutkimuksessa selvitettiin ensimmäistä kertaa Suomen koko metsäsektorin kasvihuonekaasupäästöt. Tarkasteluun rajattiin kuuluvaksi metsätalous (mukaan lukien puuston, maaperän ja puutuotteiden hiilitaseet), kuljetukset ja sellun ja paperin sekä sahatavaran ja puulevyjen valmistus. Lisäksi huomioitiin erikseen tuontipuu: sen tuottamiseen vaadittavat metsätaloustoimenpiteet, kuljetus Suomeen sekä alkuperämaan maankäytön ja maankäytön muutosten (LULUC) päästöt. Viennin osalta huomioituun kuljetukset ja kohdemaassa tapahtuva sellun jatkojalostus. Päästölaskennassa yhdisteltiin top-down ja bottom up -laskentatapoja.

Tulokset viedään Luken Tilastot-verkkosivuille, ja niitä päivitetään vuosittain hankkeessa tuotetun laskentamallin avulla.

Tulosten mukaan metsäsektorin kokonaispäästöt vuonna 2023 olivat noin 8,6 Mt CO₂e. Merkittävä osa näistä päästöistä tapahtuu kuitenkin Suomen rajojen ulkopuolella, eikä niitä tällöin huomioida kansallisessa khk-inventaarissa.

Kotimaisen teollisuuden energiankulutuksesta (polttoaineet + sähkö) syntyneet päästöt olivat yhteensä n. 1,8 Mt CO₂e ja metsätalouden sekä kotimaan kuljetusten suorat päästöt n 1,2 Mt CO₂e. Tämän tuloksen mukaan metsäsektori tuotti vuonna 2023 vain hieman yli 10% Suomen energiasektorin kokonaispäästöistä.

Metsäsektorin osuus kotimaan LULUC-päästöistä oli kokonaisuudessa negatiivinen, eli hiilinielu (-0,58 Mt CO₂e). LULUC-hiilitaseen eri komponenteista elävä biomassa ja puutuotteet tuottivat negatiivisia päästöjä, kun taas ojitettujen turvemaisen maaperä ja kivennäismaiden maaperä olivat päästölähteitä.

Tulosten perusteella voidaan tarkastella mahdollisuuksia vähentää edelleen metsäsektorin päästöjä. Teollisuuden fossiilisten polttoaineiden käyttöä voidaan entisestään vähentää hyödyntämällä tuotannon sivutuotteena syntyvää bioenergiaa ja sähköistämällä prosesseja. Kuljetuksen päästöjä voidaan vähentää biopolttoaineiden avulla, ja myöhemmässä vaiheessa kuljetuksen sähköistäminen on myös mahdollista. Materiaalien tuotantoketjuista syntyviä Scope 3 -päästöjä voidaan vähentää tuotantoprosesseja tehostamalla ja valikoimalla tuotantoon entistä vähäpäästöisempiä materiaaleja. Elinkaariarviointi on hyvä keino päästövähennysten kartoittamisen.

Tulevaisuudessa merkittävin keino tuottaa negatiivisia päästöjä ovat pitkäikäisten puutuotteiden hiilinielut, ja ennen kaikkea biopohjaisen hiilen talteenotto ja varastointi. Pelkästään suurimpien sellutehtaiden hiilidioksidin talteenotto riittää helposti siihen, että metsäsektori muuttuu kokonaisuudessaan hiilnegatiiviseksi.

Asiasanat:

Biotalous, Biotalousstrategia, Kasvihuonekaasupäästöt, Metsäsektori.

1. Johdanto

Suomi on yksi EU:n metsäisimmistä maista (FV, 2025). Metsät ovatkin keskeisessä asemassa EU:n ilmastonutraaliustavoitteen saavuttamisessa vuoteen 2050 mennessä (EU Komissio 2020) ja Suomen kansallisten tavoitteiden osalta vuoteen 2035 mennessä. Suomen biotalousstrategiassa 2022–2035 on kunnianhimoiset tavoitteet kaksinkertaistaa arvonlisäys ja tukea maan vihreää siirtymää (Valtioneuvosto, 2022). Metsät ovat myös keskeinen osa suomalaista kulttuuria ja identiteettiä, ja niillä on aina ollut keskeinen rooli Suomen taloudessa (Metsäteollisuus, 2025). Esimerkiksi vuonna 2023 alan tuotos oli noin 86 miljardia euroa, mikä on noin 16 prosenttia kansallisesta kokonaistuotoksesta, ja sen tuottama arvonlisä oli noin 23 miljardia euroa. Suomen biotaloussektori työllistää noin 309 000 henkilöä eli noin 11 % koko työllisestä työvoimasta, kun taas metsäsektori työllistää viidenneksen (eli 61 000) biotaloussektorin työntekijöistä (Luke, 2024).

Biotalouskestävyttä on kuitenkin myös kritisoitu, ja siksi se on varmistettava elinkaarisena kestävä kehityksen näkökulmasta (Füchsl ym., 2025). Suomen nykyinen kansallinen kasvihuonekaasuinventaario noudattaa IPCC:n lähestymistapaa, eikä siinä ole elinkaarinäkökulmaa, vaan se keskittyy vuosittaisiin suoriin ilmastovaikutuksiin. Tämän vuoksi metsäsektorin elinkaarisista kasvihuonekaasupäästöistä ei ole tehty kattavaa arviointia. Elinkaaristen ympäristövaikutusten tilastoinnin puuttuminen johtuu myös osittain siitä, että ympäristövaikutusten mittaamiseksi ja sisällyttämiseksi olemassa oleviin tilastoihin ei ole ollut sopivia menetelmiä. Yksi ehdotettu ratkaisu on ollut panos-tuotoslähestymistapa. Tähän menetelmään liittyy kuitenkin useita haasteita, kuten JRC:n biotaloutta koskevassa teknisessä raportissa (Kuosmanen et al., 2020) korostetaan. Erityisesti on syytä huomata, että siinä ei voida erottaa toisistaan biopohjaisiin ja fossiilisiin polttoaineisiin tai materiaaleihin perustuvan toiminnan ympäristövaikutuksia samalla teollisuudenalalla. Lisäksi se ei ota huomioon biotuotantoon liittyvää mahdollista hiilensidontaa. Käytännössä ainoa todennettavissa oleva tapa vähentää biotalouden ympäristövaikutuksia tällä menetelmällä olisi tuotannon vähentäminen. Sen vuoksi tarvitaan yksityiskohtaisempaa ja eriytettympää lähestymistapaa ympäristövaikutusten arvioimiseksi ja niiden hillintämahdollisuuksien tunnistamiseksi.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli arvioida koko Suomen metsäsektorin elinkaarisia kasvihuonekaasupäästöjä ”top-down” ja ”bottom-up” menetelmien yhdistelmällä. Tiedot hankittiin kansallisista tilastoista ja elinkaariarviointien inventaarioista. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli täydentää olemassa olevia biotaloustilastoja, ei korvata niitä. Hankkeessa keskityttiin biomassavirtojen ylätasoon analyysiin, jossa käytettiin tunnettuja panoksia ja keskimääräisiä prosesseja. Hankkeessa tuotettu, vertaisarvioituun tieteelliseen julkaisusarjaan lähetettävä tutkimuskäsikirjoitus tukee myös EU-tason vaikuttamista ja kotimaisten tilastojen kehittämistä.

2. Päästölaskenta

2.1. Yleiskatsaus laskentamenetelmiin

Laskennassa määritettiin Suomen metsäsektorin kokonaispäästöt vuodelle 2023. Kyseinen vuosi valittiin, koska se oli viimeisen vuosi, jolle kaikki tarvittavat lähtötiedot olivat saatavilla. Laskenta perustui ”Organisational carbon footprint” -laskentaperiaatteisiin. Laskennassa määritettiin metsäsektorin Scope 1 -päästöt (suorat päästöt esim. polttoaineiden käyttö ja maankäytön päästöt), Scope 2 -päästöt (epäsuorat, sähkön kulutuksesta aiheutuneet päästöt), ja Scope 3 -päästöt (muut epäsuorat päästöt, kuten kemikaalien ja muiden materiaalien tuotannosta, tuontipuun tuotannosta ja lopputuotteiden viennistä syntyneet päästöt).

Tarkastelussa metsäsektoriin rajattiin kuuluvaksi seuraavat tuotannonalat:

- Puuraaka-aineen alkutuotanto, sisältäen maankäytön ja maankäytön muutokset
- Sellu- ja paperiteollisuus kokonaisuudessaan,
- Saha- ja puulevyteollisuus kokonaisuudessaan
- Tuontipuun tuotanto, sisältäen maankäytön ja maankäytön muutokset
- Vienti, sisältäen sellun jatkojalostuksen ulkomailla
- Kaikkien edellä mainittujen tuotannonalojen vaatimat kuljetukset

Luonnonvarakeskuksen (Luke, 2025) tuottamia tämänhetkisiä puutuotteiden inventaariotietoja vuodelta 2023 hyödynnettiin arvioitaessa Suomen metsätuotteiden käyttöön liittyviä päästöjä elinkaariarvioinnin avulla (taulukko 1).

Taulukko 1. Metsätuotteiden käyttö Suomessa vuonna 2023 (Luke 2025).

Tuotteet	Kuiva-aine miljoonaa tonnia puuta
Korjatut sahapuut ja kuitupuu	26
Sahatavara	4.3
Puupaneeli	0.52
Sellu	8.30
Kemiallinen massa	6.30
Mekaaninen massa	2.00
Paperi ja kartonki	4.84
Tulostus- ja kirjoituspaperi	1,31
Pehmopaperi ja muut	0,68
Kartonki ja pakkaus	2,84

Arvioitavat elinkaaren vaiheet sisältävät metsänhoidon ja korjuun sekä puun jalostuksen massiivipuumateriaaliksi sekä sellu- ja paperituotteiksi. Eri prosessit ja niiden päästöjen arvioimiseen käytetyt tietolähteet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Päästöt ja tietolähteet eri prosesseissa.

Prosessi	Syöttötietolähde
Kotimainen LULUC (metsäbiomassa, maaperä, puutuotteet)	Luken kasvihuonekaasujen inventaario
Metsätalous	Luken elinkaari-inventaario → ecoinvent-tietokanta, Luken puun kulkuvirtatilastot
Kotimaan kuljetukset	Luken elinkaari-inventaario
Sellu ja paperi: polttoaineet	Tilastokeskus
Sellu ja paperi: sähkö	Metsäteollisuus ry, Energiateollisuus
Sellu ja paperi: materiaalit	EPD:t, ecoinvent, Puun kulkuvirtatilastot
Sahatavara, vaneri, levyt: polttoaineet	Tilastokeskus
Sahatavara, vaneri, levyt: sähkö	EPD:t, Puu kulkuvirtatilastot
Sahatavara, vaneri, levyt: materiaalit	EPD:t, ecoinvent, Puun kulkuvirtatilastot
Tuonti: kuljetukset	Luken tilastot
Tuonti: prosessit	Puun kulkuvirtatilastot, ecoinvent
Tuonti: LULUC	Luken tilastot, kasvihuonekaasuinventaarioiden tulokset
Vienti: kuljetukset	Luken tilastot
Vienti: prosessit	Luke tilastot, ecoinvent

Luken tilastossa metsätuotteiden käyttö sisältää myös tuontiraaka-aineet. Näin ollen, jos esim. sahatukia tuodaan Suomeen, kaikki niiden käsittelyyn liittyvät myöhemmät päästöt myös kohdistetaan Suomeen. Sitä vastoin vientituotteiden, kuten paperinvalmistuksessa käytettävän sellun, jalostuksesta aiheutuvat päästöt kohdistetaan inventaariossa asianomaiselle tuojamaalle. Koska myös nämä päästöt kuitenkin sisältyivät tässä tutkimuksessa tehtyyn tarkasteluun, ne arvioitiin erikseen elinkaariarvioinnin menetelmiä käyttäen.

Tuotantoprosessien päästöistä määritettiin erikseen polttoaineenkulutuksen päästöt (Scope 1), sähkön kulutuksen elinkaariset päästöt (Scope 2) sekä materiaalit, jotka on sisällytetty lopputuotteeseen tai käytetty prosessin aikana (Scope 3). Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi selluteollisuudessa käytettävät kemikaalit ja puuteollisuudessa liimat ja fenolihartsit. Luken tilastosta saadut tiedot puuainevirroista (ks. taulukko 1) kuvaavat materiaalien sisältämän puun kuiva-aineen määriä. Lisämateriaalien läsnäolo johtaa tuotteissa hieman suurempaan kokonaismassaan; Esimerkiksi fenolihartsin käyttö puupaneeleissa lisää massaa noin 9 % (taulukko 3). Tämä massan lisäys otettiin huomioon laskelmissa.

Suomen metsien hiilinielut ja päästöt saatiin suoraan Luken tilastoista. Lisäksi Tilastokeskuksesta saatiin tiedot sellu- ja paperiteollisuuden sekä saha- ja puulevyteollisuuden polttoaineiden kulutuksesta ja siihen liittyvistä päästöistä. Loput päästöt laskettiin asianmukaisilla päästökertoimilla, jotka kerrottiin Suomessa käytetyillä materiaalimäärillä (taulukko 1). Päästöarvot ilmoitettiin megatonneina hiilidioksidiekvivalenttia (Mt CO₂e)

Osioissa 2.2. -2.9. selostetaan yksityiskohtaisemmin eri teollisuusaloilla käytetyt laskentamenetelmät ja alakohtaiset suorat ja epäsuorat päästöt.

2.2. Maankäyttö ja maankäytön muutokset (LULUC)

Maankäyttö ja maankäytön muutos (LULUC) ottaa huomioon sekä puubiomassan että kivennäismaiden ja orgaanisten maiden maaperän hiilipäästöt. Tässä tarkastelussa nämä hiilinielut ja päästölähteet määritettiin suoraan Suomen kansallisessa inventaarioraportissa (National Inventory Report 2025) esitetyistä tiedoista. Päästöt ja nielut on laskettu IPCC:n ohjeiden mukaisesti (IPCC 2006, IPCC 2019). Inventoinnissa puubiomassalla tarkoitetaan elävien puiden kuivapainoa. Se sisältää maanpäälliset komponentit, kuten runkopuun, kuoren, elävät ja kuolleet oksat, neulaset tai lehdet, sekä maanalaiset komponentit, jotka koostuvat kannoista ja juurista. Elävän puun biomassan hiilivaraston muutokset raportoidaan inventaariossa yhdistettynä arviona sekä maanpäällisestä että maanalaisesta biomassasta.

Kansallisen khkh-inventaarion tulosten mukaan kivennäismaiden puubiomassan hiilinielu oli vuonna 2023 -6,2 Mt CO₂e ja orgaanisen maaperän puubiomassan hiilinielu -7,1 Mt CO₂e, yhteensä -13,3 CO₂e.

Hiilivaraston muutokset sekä kivennäismaiden että orgaanisten maiden maaperässä arvioidaan lahopuun, karikkeen ja maaperän orgaanisen aineksen osalta metrin syvyyteen. Kivennäismaiden päästöt vuonna 2023 olivat 0,37 Mt CO₂e ja orgaanisten maiden maaperän päästöt 13,95 Mt CO₂e. Orgaaniset metsämaat, joita yleisesti kutsutaan turvemaiksi, luokitellaan valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) kriteerin mukaan. Kohde on turvemaata, jos orgaaninen maakerros on turvetta tai jos yli 75 % pohjakaasuvillisuudesta on suolajistoa. Hiilidioksidipäästöt arvioidaan ojitettujen soiden osalta, kun taas ojitamattomien soiden maaperän hiilivaraston muutoksia ei huomioida inventaariossa.

2.3. Puutuotteiden hiilivaraston muutos

Kansallisen inventaarioraportin (National Inventory Report 2025) mukaan puutuotteiden hiilivaraston muutosten arvioitiin vuonna 2023 olevan -1,6 Mt CO₂e. Raportoidut arvot perustuvat Suomesta korjatusta puusta peräisin oleviin varastoihin (IPCC 2006, 2019). Nämä varastot luokitellaan kotimaassa tuotettuihin ja kulutettuihin puutuotteisiin sekä kotimaassa tuotettuihin ja ulkomaille vietyihin puutuotteisiin. Laskelmissa sahatavara ja viilulevyt erotetaan puulajien mukaan (kuusi, mänty ja koivu), kun taas vaneri luokitellaan kuusi- ja koivutyyppeihin. Puupohjaiset levyt luokitellaan viilulevyihin, vaneriin sekä lastu- ja kuitulevyihin, ja kuitulevyt jaetaan tiheään kuitulevyyn (HDF), keskitiheään kuitulevyyn (MDF) ja matalatiheyksiseen kuitulevyyn (LDF).

2.4. Metsätalous

Metsätaloudesta tuotettiin elinkaari-inventaario tärkeimmille Suomessa kasvaville puulajeille (taulukko 3). Inventaario sisälsi kattavan valikoiman metsänhoito- ja metsänparannustoimia, mukaan lukien maanmuokkaus, uudistaminen ja taimikonhoito. Keskeiset metsänhoitotoimenpiteet, kuten lannoitus, harvennus ja lopullinen uudistushakkuu, otettiin huomioon siihen pisteeseen asti, että korjattu puu on valmis kuljetusta varten. Inventaarioon sisältyi myös hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden siirto hakkuukohteiden välillä. Tämä systemaattinen inventointi tehtiin vuosille 2018-2022, ja se koosti metsän kasvatuksen ja hoidon jokaiseen vaiheeseen liittyvät energia- ja materiaalipanokset, päästöt ja resurssivirrat, ja tämän

inventoinnin avulla pystyttiin tuottamaan yksityiskohtaiset ympäristöarvioinnit suomalaisesta metsänhoidosta.

Taulukko 3. Inventointitulokset yhdelle kuutiometrille Suomessa korjattua puuta

Metsänhoito	Yksiköt	Inventointitulos
Istutettavat taimet	kappale	1.30
Metsänhoidossa käytetty diesel	MJ	4.30
Sora, murskattu	kg	25.99
Puunkorjuu, harvesteri	tunti	0.04
Metsäkuljetus, kuormatraktori	tunti	0.071
Diesel harvesterin ja kuormatraktorin siirtoon	kg	6.50
Lannoitus	kg N	0,107

2.5. Kotimaan kuljetukset

Kotimaan maantiekuljetusten tavaramassat, ajoneuvojen kilometrimäärät ja kuljetusmatkat tavaralajeittain kerättiin Tilastokeskuksesta (taulukko 4). Massiivipuutuotteiden, kuten sahataran ja puupohjaisten levyjen kuljetukseen oletettiin käytettävän 76 tonnin kuorma-auton kapasiteettia ja muiden tuotteiden 60 tonnin kuorma-autokapasiteettia.

Taulukko 4. Kuljetukset Suomessa 2023 (Tilastokeskus 2025b).

Kuljetettava materiaali	Paino, tonnia	Keskimääräinen matka, km	tkms	Kuormausuhde, %	Kuorma-auton kapasiteetti
Sahatavara ja kuitupuu	34 899 000	89	3 106 011 000	96	76 t
Energiapuu, polttopuu, kannot, oksat, metsähake jne.	5 000 000	58	290 000 000	73	60 t
Sahanpuru, lastut	6 855 000	137	939 135 000	90	60 t
Mekaanisen metsäteollisuuden tuotteet, sahatavara, puulevyt, esivalmistetut puuelementit jne.	5 362 000	216	1 158 192 000	63	76 t
Sellu	3 345 000	196	655 620 000	85	60 t
Paperi, kartonki, painotuotteet, muut paperi- ja kartonkituotteet	5 385 000	163	877 755 000	64	60 t
Peruskemikaalit; hapot, lipeä, jne.	3 354 000	157	526 578 000	91	60 t
Kierrätettävät materiaalit; kierrätyspaperi jne.	2 208 000	160	353 280 000	51	60 t
Yhteensä	66 408 000	1 176	7 906 571 000		

Arvio polttoaineenkulutuksesta perustuu LIPASTO-tietokantaan (taulukko, 5, VTT, 2017). Laskelmissa oletettiin, että tavarat kuljetetaan kuorma-autolla ja palautetaan tyhjinä. Tämän jälkeen kuorma-auton kuormaan ja kapasiteettiin perustuvat päästöt laskettiin molempiin suuntiin.

Taulukko 5. Eri kuorma-autojen polttoaineenkulutus ja niiden kuormakoot.

	Polttoaineen kulutus, grammaa kilometrillä		Polttoaineen kulutus, grammaa per tkm	
	76 t	60 t	76 t	60 t
Täyttömäärä				
100 %	499	415	9,78	10,4
90 %	479	401	10,4	11,1
80 %	459	386	11,3	12,1
70 %	440	372	12,3	13,3
Tyhjä	302	270	-	-

2.6. Sellu ja paperi

Sellun ja paperin tuotannossa käytettyjen polttoaineiden tuottamat kasvihuonekaasupäästöt saatiin suoraan Tilastokeskuksen taulukoista. Vuotuinen sähkönkulutus saatiin Metsäteollisuus ry:ltä, ja perustui se Energiateollisuuden tilastoihin. Päästölaskennassa kokonaiskulutuksesta vähennettiin sellu- ja paperiteollisuuden oma sähköntuotanto. Tämä tuotanto oletettiin perustuvan puupohjaisiin biopolttoaineisiin. Niiden päästöjä ei tarvitse huomioida erikseen, koska ne sisältyvät metsätalouden, kuljetuksen ja metsien maankäytön päästöihin. Suomen sähkön päästökerroin (t CO₂/MWh) arvioitiin kertomalla sähkönkulutus tuotantomuotojen osuudella ja niiden päästöillä megawattituntia kohden. Eri sähköntuotantomuotojen osuuden lähteenä oli Tilastokeskus (2025, taulukko 6) ja päästökertoimiin käytettiin ecoinvent-tietokantaa.

Taulukko 6. Sähkön kokonaiskulutus Suomessa 2023 (Tilastokeskus 2025a).

Tuotantomuoto	Sähkönkulutus (GWh)	Osuus (%)
Kivihiili	1 478	1,85
Vesivoima	15 026	18,78
Maakaasu	629	0,79
Ydinenergia	32 759	40,95
Tuulivoima	14 465	18,08
Turve	1 068	1,33
Öljy	203	0,25
Muut uusiutuvat energialähteet	523	0,65
Aurinkovoima	716	0,89
Puupolttoaineet	10 196	12,74
Muut energialähteet	210	0,26
Muut fossiiliset polttoaineet	1 009	1,26
Tuonti Norjasta	400	0,50
Tuonti Ruotsista	1 324	1,65
Sähkön kokonaiskulutus	80 007	100

Selluntuotannossa käytettävien materiaalien ja kemikaalien valmistuksen tuottamat päästöt mallinnettiin Metsä Fibre Oy:n Kemin tehtaan aineistolla (Metsä Fibre Oy 2019). Tehtaalla sellun kokonaistuotanto oli 1,5 miljoonaa tonnia vuodessa, josta noin 80 % on havupuuta ja loput lehtipuuta, pääasiassa koivua. Kemikaalien kulutus (taulukko 7) kerrottiin vastaavalla päästökertoimella (ecoinvent-tietokanta), jolloin saatiin lopullinen päästökerroin tuotettua sellutonna kohti.

Taulukko 7. Kemikaalien kulutus yhden sellutonnin valmistuksessa (Metsä Fibre Oy 2019).

Kemikaali	Kaava	Määrä t / t sellua
Magnesiumsulfaatti	MgSO ₄	0.0024
Happi	O ₂	0.0267
Hartsisaippua		0.0048
Vetyperoksidi	H ₂ O ₂	0.0050
Natriumhydroksidi	NaOH	0.0287
Talkki		0.0008
Hiilidioksidi	CO ₂	0.0023
Natriumkloraaatti	NaClO ₃	0.0213
Metanoli/metyylialkoholi/puualkoholi	CH ₃ OH	0.0023
Natriumbisulfiitti	NaHSO ₃	0.0020
Kalsiumoksidi	CaO	0.0187
Polyalumiinikloridi	PAC	0.0003
Polymeeri		0.0001
Alumiinihydroksidi	Al(OH) ₃	0.0027
Urea	CH ₄ N ₂ O	0.0004
Vaahdonesto		0.0003
Yhteensä		0.119

Paperintuotannon päästöjen laskennassa Luken puun kulkuvirrat -tilastosta saatiin tuotantomäärät erikseen kolmelle eri paperiluokalle (ks. taulukko 1). Päästölaskennassa tarvittavat tiedot paino- ja kirjoitusparin tuotannolle kerättiin Cocelli et al. (2018) tutkimuksesta. Tässä tutkimuksessa tehtiin paperintuotannon inventaario Storaenson paperintuotantolaitoksille (taulukko 8). Eri panosten määrät kerrottiin ecoinvent-tietokannasta kerätyillä vastaavilla päästökertoimilla, jolloin saatiin päästöarvot tuotettua paperitonna kohden. Päästökertoimiin sisältyi myös sellutehtaan perustaminen olettaen, että sen käyttöikä on 20 vuotta. Tällä menetelmällä laskettu päästökerroin oli samaa suuruusluokkaa kuin ecoinvent-tietokannassa ilmoitettu arvo vastaaville paperituotteille.

Taulukko 8. Kemikaalien kulutus yhden paino- ja kirjoituspaperitonnin tuotannossa (Cocelli et al. 2018).

Kemikaali	Kaava	Määrä, tonnia yhtä paperitonna kohti
Vesi	H ₂ O	7500
Kalsiumkarbonaatti (kalkki)	CaCO ₃	258
Kaoliini	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	48,4
Tärkkelys		28,3
Lateksit		12,3
Valkaisuaineet		5,85

Kahden muun luokan "Pehmopaperi ja muut" sekä "Kartonki ja pakkaus" valmistusmateriaalit ja niiden päästöt koottiin ecoinvent-tietokannasta.

2.7. Sahatavara ja puulevyt

Sahateollisuuden ja puupohjaisten levyjen tuotannon polttoaineiden kulutuksen päästöt saatiin suoraan Tilastokeskuksesta, ja niiden kokonaismäärä vuonna 2023 oli 0,0529 Mt CO₂e. Sahatavaran tuotannon sähkönkulutus arvioitiin viiden suomalaisen sahan keskimääräistä sähkönkulutuksista. Arvioitu kulutus oli 0,154 MWh tuotettua sahatavaratonna kohti. Materiaaleista voiteluaineen ja liiman kulutukset arvioitiin samasta aineistosta, ja ne olivat 0,233 kg ja 0,289 kg sahatavaratonna kohti.

Puulevyjen tärkeimmät raaka-aineet ovat puu ja fenoliharts. Puupohjaisten paneelien sähkönkulutukseksi arvioitiin 0,232 kWh (Puettmann ym. 2016). Puulevyn valmistukseen tarvittavan fenolihartsin kulutus määritettiin suomalaisille tuotteille (UPM, Metsäwood, Koskisen) julkaistuista ympäristöselosteista (EPD). Laskelmien mukaan yhden tonnin puulevyn valmistukseen käytetään keskimäärin 0,08 tonnia hartsia.

2.8. Puun tuonti

Tuontipuun maankäyttöön ja maankäytön muutoksiin (LULUC) sekä metsätalouteen liittyvät päästöt laskettiin erillään Suomen sisäisistä päästöistä. Myös Suomen ulkopuolella tapahtuva meri- ja tieliikenne arvioitiin erikseen. Tuontimäärät määritettiin Tilastokeskuksen (2025) tietojen perusteella. Päästöt laskettiin koko raakapuun tuonnille, joka vuonna 2023 oli 4,775 Mm³. Suurin osa tuontipuusta oli peräisin Euroopan maista. Metsätalouden päästöjen laskennassa hyödynnettiin ecoinvent-tietokannan päästökertoimia maahantuodulle raaka-aineelle.

Suomen ulkopuolelta tuotavan raaka-aineen kuljetusmatkojen laskennassa käytettiin keskimääräistä merirahtimatkaa alkuperämaasta Suomeen (taulukko 9). Kultakin alueelta tuotujen tuotteiden massa kerrottiin vastaavalla merirahtimatalla, jolle ecoinvent-tietokantaan perustuvana päästökertoimena käytettiin 0,01024 kg CO₂e/tonnikilometri (tkm). Tieliikenteen päästöt laskettiin päästökertoimilla 0,1496 kg CO₂/tkm Euroopan reiteillä ja 0,1588 kg CO₂e/tkm globaaleilla reiteillä. Laskelmien yksinkertaistamiseksi kaiken tuonnin osalta oletettiin, että paikallinen kuljetusmatka lähtöpaikasta lähimpään merisatamaan on 200 kilometriä.

Taulukko 9. Keskimääräiset kuljetusmatkat Suomeen eri maanosista.

Maanosa	Keskimääräinen merikuljetus, km	Paikallisliikenne, km
Eurooppa	1 700	200
Aasia	25 000	200
Afrikka	14 663	200
Pohjois-Amerikka	7 684	200
Latinalainen Amerikka	13 000	200
Oseania	25 000	200

Maankäyttöön ja maankäytön muutoksiin (LULUC) liittyvät päästöt laskettiin noudattamalla Lehtilän ym. (2025) kehittämää yleistä viitekehystä kansallisen tason LULUC-päästöjen ja -

poistumien määrittämiseksi. Laskennassa sovellettiin top-down -lähestymistapaa, jossa metsien LULUC-päästöt ja hiilenpoistot tiettyä ajanjaksona allokoitiin kyseisenä ajanjaksona korjatulle biomassalle. Myös orgaanisen maaperän CH₄-päästöt sisällytettiin LULUC-päästöihin. Tiedot metsämaan hiilivaraston muutoksista, CH₄-päästökertoimet sekä kivennäis- ja orgaanisen maaperän osuudet eri maissa saatiin kansallisten kasvihuonekaasuinventaarioiden CRF-
taulukoista. CRF-taulukot ovat avoin, vuosittain päivitettävä tietokanta, joka mahdollistaa säännölliset päivitykset esimerkiksi vuosittaisten tilastotietokantojen kehittämiseksi. Puunkorjuumääriä koskevien tietojen lähteinä olivat FISE¹, Forest Research² ja UNECE.³

2.9 Puutuotteiden vienti

Merirahdin ja lähikuljetusten päästöt laskettiin Tilastokeskuksen tietojen perusteella (Taulukot 10 ja 11). Kuljetuksen päästöjen lisäksi sellulle määritettiin jatkojalostuksen, eli paperinvalmistuksen päästöt kohdemaassa. Näin varmistettiin, että systeeminrajaus oli sama sekä kotimaassa että ulkomailla valmistetuille puupohjaisille tuotteille.

Taulukko 10. Metsäsektorin vientituotteet ja vientikohteet (Tilastokeskus, 2025a).

Vientituote	Kaikki maat	Eurooppa	Aasia	Afrikka	Pohjois-Amerikka	Latalain-Amerikka	Oseaania
Raakapuu, m3	1 969 000	1 907 000	10 000	52 000	0	0	0
Sivutuotteet, m3	12 000	12 000	0	0	0	0	0
Sahatavara ja puulevyt, tonnia	9 453 000	4 801 000	4 886 000	1 832 000	171 000	5 000	58 000
Sellu, tonnia	4 518 000	1 930 000	0	130 000	102 000	2 000	15 000
Paperi, tonnia	2 647 000	1 674 000	0	162 000	424 000	105 000	48 000
Kartonki, tonnia	3 287 000	2 191 000	0	175 000	282 000	257 000	14 000
Jalostetut paperi- ja kartonkituotteet, tonnia	259 000	232 000	93 000	3 000	14 000	2 000	0

¹ <https://forest.eea.europa.eu/countries/eea-member-countries/belgium>

² <https://cdn.forestresearch.gov.uk/2022/05/UKWPT-2021-provisional-figures.pdf#:~:text=It%20is%20estimated%20that%20a%20to-tal%20of,in%202021%2C%20a%204%25%20increase%20from%202020>

³ <https://forest-data.unece.org/Countries/UA#3>

Taulukko 11. Keskimääräiset kuljetusmatkat Suomesta eri maanosiin.

Maanosa	Keskimääräinen me- rirahti, km	Maantiekulje- tukset, km
Eurooppa	1 700	200
Aasia	25 000	200
Afrikka	14 663	200
Pohjois-Ame- rikka	7 684	200
Latinalainen Amerikka	13 000	200
Oseania	25 000	200

Vientisellun jatkojalostuksen päästöt laskettiin erikseen, jolloin varmistettiin päästölaskennan yhdenmukaisuus koko tuotantoketjussa. Viedyn massan määrästä arvioitiin tuotetun paperin ja kartongin määrä. Oletuksena oli, että vientisellu jakautuu tasaisesti painopaperin sekä kartonki- ja pakkausmateriaalien tuotannon kesken. Ulkomaisen paperintuotannon päästökertoimet saatiin ecoinvent-tietokannasta. Paperin ja kartongin tuotannon kokonaispäästöistä vähennettiin sellun tuotannon ja kuljetusvaiheiden päästöt, koska nämä oli jo erikseen sisällytetty laskelmiin.

3. Tiivistelmä tuloksista

Vuonna 2023 Suomen metsäsektorin kokonaispäästöt, mukaan lukien kaikki prosessit Suomessa ja ulkomailla, olivat noin 8,6 Mt CO₂e. Eri prosessien ja toimialojen päästöt on eritelty taulukossa 12.

Taulukko 12. Metsäsektorin kokonaispäästöt vuonna 2023

Prosessi	Päästö, Mt CO ₂ e
Maankäyttö ja maankäytön muutokset kotimaassa	
Elävä biomassa	-13,3
Maaperä, kivennäismaat	0,37
Maaperä, orgaaniset maat	13,95
Puutuotteiden hiilitase	-1,6
Metsätalous ja kotimaan kuljetus	
Metsätalous kotimaassa	0,608
Kotimaan kuljetus	0,577
Sellu ja paperi	
Sellu ja paperi, polttoaineet	1,368
Sellu ja paperi, sähkö	0,354
Sellu ja paperi, materiaalit	2,645
Sahatavara ja puulevyt	
Sahatavara ja puulevyt, polttoaineet	0,053
Sahatavara ja puulevyt, sähkö	0,0260
Sahatavara ja puulevyt, materiaalit	0,0580
Vienti	
Kuljetus, vienti	2,597
Prosessit, vienti	1,683
Tuonti	
Kuljetus, tuonti	0,169
Metsätalous, tuonti	0,032
LULUC, tuonti	-0,946
Yhteensä	8,644

4. Tuloksista tiedottaminen

Projektin etenemisestä, alustavista tuloksista ja jatkosuunnitelmista keskusteltiin projektin aikana Teams-palaverissa 16.9. 2024. Keskustelussa mukana oli MMM:n ja muiden ministeriöiden edustajia sekä projektin vastuututkija Lukesta.

Projektin tuloksista ja projektissa käytetyistä laskentamenetelmistä on valmisteilla tieteellinen artikkeli. Artikkelin on parhaillaan viimeistelyvaiheessa, ja tavoitteena on lähettää se julkaisusarjaan lokakuun 2025 aikana.

Tulosten vienti Luken Tilastot-verkkosivuille on parhaillaan käynnissä. Tarkoituksena on tuottaa uusi, Metsäsektorin kasvihuonekaasupäästöt -verkkosivu, osaksi Biotalous-kokonaisuutta. Sivulle tulee tiivistelmä hankkeen sisällöstä, sekä keskeiset tulokset visualisoituna. Tulokset esitetään samassa muodossa kuin taulukossa 14, ja käyttäjällä on myös mahdollisuus tarkastella tuloksia toimialoittain ja päästölähteittäin. Tuloksia päivitetään vuosittain käyttämällä hankkeessa kehitettyä laskentamallia. Vuoden 2023 tulokset on tarkoitus julkaista marraskuun 2025 aikana.

Luken viestinnän kanssa käydään parhaillaan keskusteluja tuloksista tiedottamisesta Luken viestintäkanavia hyödyntämällä. Syksyn aikana on tarkoitus järjestää avoin webinaari jossa esitellään hankkeen tuloksia. Samaan webinaariin voidaan mahdollisesti sisällyttää tuloksia myös muista Lukessa käynnissä olevista metsien hiilitaseisiin liittyvistä projekteista.

5. Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, ensimmäistä kertaa, Suomen koko metsäsektorin kasvihuonekaasupäästöt. Tarkasteluun rajattiin kuuluvaksi metsätalous (mukaan lukien puuston ja maaperän sekä puutuotteiden hiilitaseet), Suomessa tapahtuvat kuljetukset, Suomessa tapahtuva sellun ja paperin valmistus sekä Suomessa tapahtuva sahatavaran ja puulevyjen valmistus. Lisäksi huomioitiin erikseen tuontipuu: sen tuottamiseen vaadittavat metsätaloustoimienpiteet, kuljetus Suomeen sekä alkuperämaan maankäytön ja maankäytön muutosten (LULUC) päästöt. Viennin osalta huomioitiin kuljetukset sekä kohdemaassa tapahtuva sellun jatkojalostus. Näin ollen systeeminrajaukset pysyivät samana sekä Suomessa käytetyille että ulkomaille viedyille tarkasteluun sisäytyville metsäpohjaisille tuotteille.

Tarkastelu toteutettiin Organisational Carbon Footprinting -mukaisella lähestymistavalla. Tarkasteluun sisällytettiin metsäsektorin toimialojen Scope 1 -päästöt (suorat polttoaineiden käytöstä ja maankäytöstä ja maankäytön muutoksista aiheutuvat päästöt), Scope 2 -päästöt (epäsuorat, prosesseissa käytetyn sähkön ja lämmön tuotannosta syntyvät päästöt) ja myöskin Scope 3 -päästöt (prosesseissa käytettävien materiaalien tuotantoketjun päästöt). Näistä päästöistä suomalaisen tuotannon osalta Scope 1 ja Scope 2 -päästöt sisältyvät myös kansalliseen kasvihuonekaasuinventaarioon. Materiaalien tuotannosta (Scope 3) Suomen kansallisessa inventaariossa huomioidaan ne tuotantoketjun päästöt, jotka tapahtuvat Suomen rajojen sisällä. Tässä hankkeessa ei tehty analyysiä käytettyjen materiaalien alkuperämaista, joten myöskään Scope 3 -päästöjen huomioimista kansallisessa inventaariossa ei voitu tarkastella.

Päästölaskennassa yhdisteltiin top-down ja bottom-up -laskentatapoja. Esimerkiksi teollisuuden suorat polttoaineiden käytöstä aiheutuvat päästöt saatiin suoraan kansallisesta tilastoista (top-down). Samoin metsien LULUC-päästöt ja hiilenpoistot saatiin kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion tuloksista. Sen sijaan esim. eri materiaalien käytöstä aiheutuvien päästöjen arvioinnissa käytettiin prosessipohjaista, elinkaarista tarkastelua (bottom-up).

Tulosten mukaan metsäsektorin kokonaispäästöt vuonna 2023 olivat noin 8,6 Mt CO_{2e}. On kuitenkin syytä huomata, että merkittävä osa näistä päästöistä tapahtuu Suomen rajojen ulkopuolella, eikä niitä silloin huomioida kansallisessa khk-inventaariossa.

Kotimaisen teollisuuden energiankulutuksesta (polttoaineet + sähkö) syntyneet päästöt olivat yhteensä n. 1,8 Mt CO_{2e} ja metsätalouden sekä kotimaan kuljetusten suorat päästöt n 1,2 Mt CO_{2e}. Tämän tuloksen mukaan Suomen metsäsektori tuotti vuonna 2023 vain hieman yli 10% Suomen energiasektorin kokonaispäästöistä.

Metsäsektorille kuuluvat kotimaan LULUC-päästöt olivat niukasti negatiivisia (-0,58 Mt CO_{2e}). LULUC-päästöjen eri komponenteista elävä biomassa (-13,3 Mt CO_{2e}) ja puutuotteet (-1,6 Mt CO_{2e}) tuottivat negatiivisia päästöjä, kun taas ojitettujen turvemaisen maaperä (14 Mt CO_{2e}) ja kivennäismaiden maaperä (0,37 Mt CO_{2e}) olivat päästölähteitä. Ojitettujen turvemaiden maaperä oli selvästi suurin yksittäinen päästölähde koko tarkastelussa.

Tämän tutkimuksen tulosten tarkastelu mahdollistaa myös sen, että mahdollisuuksia metsäsektorin päästövähennyksiin voidaan nyt arvioida entistä paremmin. Vaikka teollisuuden

energiankulutuksesta aiheutuvat päästöt ovat jo hyvin pienet verrattuna Suomen energiasektorin kokonaispäästöihin, päästöjen lisävähennykset ovat edelleen mahdollisia. Teollisuus käyttää edelleen fossiilisia polttoaineita, ja tätä käyttöä voidaan vähentää hyödyntämällä entistä enemmän tuotannon sivutuotteena syntyvää bioenergiaa ja sähköistämällä prosesseja. Myös kuljetuksen päästöjä voidaan vähentää biopolttoaineiden avulla, ja myöhemmässä vaiheessa kuljetuksen sähköistäminen on varmasti myös entistä enemmän mahdollista. Suomalaisen sähköntuotannon edelleen vihertyessä, teollisuuden sähkönkulutuksen päästöt lähestyvät välttämättä nollaa.

On myös syytä huomata, että teollisuuden materiaalien tuotantoketjun päästöt (Scope 3) muodostavat merkittävän osan kokonaispäästöistä. Suuri suhteellinen päästöosuus ei johdu pelkästään siitä, että käytetyt kemikaalit ja materiaalit olisivat erityisen suuripäästöisiä, vaan yksinkertaisesti siitä, että kun suorat energiankäytön päästöt on saatu minimoitua, vaikeasti vähennettävien Scope 3 -päästöjen merkitys korostuu. Näitäkin päästöjä voidaan vähentää tuotantoprosesseja tehostamalla ja valikoimalla tuotantoon entistä vähäpäästöisempiä materiaaleja. Elinkaariarvioinnin menetelmien avulla on mahdollista kartoittaa, mitkä ovat tehokkaimpia keinoja Scope 3 -päästöjen vähentämiseksi.

Vaikka metsäsektorille kuuluvat LULUC-päästöt ovat edelleen negatiivisia, tämä tilanne ei välttämättä säily pitkään, sillä maankäytön päästöt ovat jatkuvassa kasvussa. Koska Suomen metsien puuston kasvunopeus on nyt vakiintunut, viime vuosisadan lopun kiihtyvän kasvuvaiheen jälkeen, metsien hiilivarasto lähestyy vähitellen tasapainotilaa. Tämä tarkoittaa välttämättä sitä, että puuston ja kivennäismaiden maaperän hiilinielut pienenevät jatkuvasti. Turve- mailla taas ilmaston lämpeneminen on voimakkaasti lisännyt maaperän päästöjä, ja koska lämpenemisen odotetaan jatkuvan, myös turvemaiden päästöt lisääntyvät entisestään. Siksi tulevaisuudessa merkittävin keino tuottaa negatiivisia päästöjä ovatkin pitkäikäisten puutuotteiden hiilinielut, ja ennen kaikkea biopohjaisen hiilen talteenotto ja varastointi, joko hiilidioksidina pysyviin varastoihin tai biohiilenä maaperään. Metsätalouden tuottaman biomassan sisältämä hiili mahdollistaa teoriassa kymmenien miljoonien tonnien vuotuisen hiilinielun tuottamisen, ja pelkästään muutamien suurimpien sellutehtaiden hiilidioksidin talteenotto ja varastointi riittää helposti siihen, että koko metsäsektori muuttuu kokonaisuudessaan hiilinegatiiviseksi.



**You can find us
online
luke.fi**

