



Hirsitalotoimialan ekokilpailukyky tarkastelu - hirsitalomallin puumateriaalien elinkaariarviointi käsittäen hiilijalanjäljen, energiataseen ja päästöt

Kirjoittajat: Katri Behm, Tarja Häkkinen

Luottamuksellisuus: Luottamuksellinen

Raportin nimi Hirsitalotoimialan ekokilpailukyky tarkastelu - hirsitalomallin puumateriaalien elinkaariarviointi käsittäen hiilijalanjäljen, energiataseen ja päästöt		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Hirsitaloteollisuus ry, Pentti Hiivala		Asiakkaan viite
Projektin nimi Hirsitalotoimialan ekokilpailukyky tarkastelu - hirsitalomallin elinkaariarviointi käsittäen hiilijalanjäljen, energiataseen ja päästöt		Projektin numero/lyhytnimi 70899
Raportin laatija(t) Katri Behm, Tarja Häkkinen		Sivujen/liitesivujen lukumäärä 34/-
Avainsanat LCA, elinkaariarviointi, hiilijalanjälki, hirsitalo		Raportin numero VTT-R-04737-10
Tiivistelmä Tässä työssä haluttiin selvittää suomalaisen hirsitaloteollisuuden hiilijalanjälki pelkistetyille hirsitalomalleille laskettuna. Hiilijalanjälki laskettiin hirsitalon puumateriaalien eli hirsien, sahatavaran ja puukuitueristeen valmistukselle rajauksella "kehdestä asiakkaalle" (puumateriaalit valmistettu, kuljetettu asiakkaalle ja asennettu) ja käyttövaiheelle erikseen. Lisäksi selvitettiin hirsitalon sisältämään puumateriaaliin sitoutuneen hiilen määrä ja minkä verran sen avulla voidaan kompensoida hirsitalon energiankulutusta käyttövaiheessa 50 vuoden aikana. Hirsitalon puumateriaalien valmistusvaiheen päästöt riippuvat hirsitalon kerrosten lukumäärästä, hirren koosta sekä väliseiniä materiaalista (sahatavara vs. hirsi). Lasketuilla asuinkäytössä olevilla hirsitalotapauksilla valmistusvaiheen päästöt vaihtelivat n. 2500-6000 kg CO₂ eq. välillä. Laskettujen hirsitalojen hiilisisältö vaihteli n. 28300-67400 kg CO₂ eq. välillä eli oli noin kymmenkertainen valmistusvaiheen kasvihuonekaasupäästöihin nähden. Hiilisisällön suuruutta voidaan konkretisoida myös vertaamalla sitä esimerkiksi talon lämmityksen aiheuttamiin vuosittaisiin kasvihuonekaasupäästöihin. Suhdeluku vaihtelee lämmitystavan mukaan, mutta esimerkiksi kaukolämmön perusteella laskettuna se on suuruusluokkaa 10-20. Vapaa-ajankäytössä olevien hirsitalojen energiankulutus riippuu käyttötavasta ja hirren paksuudesta. Tässä työssä laskettujen tapausten energiankulutus ja siten myös päästöt olivat valmistajan tietoihin perustuen n.24-44 % pienemmät kuin asuinkäytössä olevan vertailutalon. PAS 2050 -ohjeistuksen huomiointi vähentää hirsitalon valmistuksen ja käyttövaiheen yhteisestä hiilijalanjäljestä 10-17 % hirsitalotapauksesta riippuen.		
Luottamuksellisuus		Luottamuksellinen
Espoo 11.8.2010		
Katri Behm Tutkija	Tiina Pajula Tiimipäällikkö	Riikka Virkkunen Teknologiapäällikkö
VTT:n yhteystiedot Tekniikantie 2, Espoo. P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Hirsitaloteollisuus 1 alkuperäinen (Pentti Hiivala) VTT 1 alkuperäinen (VTT Kirjaamo) VTT 1 kopio (Katri Behm)		
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.		

Alkusanat

Tämän tutkimuksen laskelmat ja raportin teki tutkija Katri Behm VTT:ltä. Johtava tutkija Tarja Häkkinen (VTT) vastasi kappaleesta, jossa kuvataan rakennusten ympäristövaikutuksien arvioinnin standardi. Tutkija Sirje Vares (VTT) toimitti laskentoihin taustatietoa energiamuotoihin ja sahatavaran valmistukseen liittyen. Työ tehtiin Hirsitaloteollisuuden toimeksiantona. Yhteyshenkilöinä HTT:n puolelta toimivat Pentti Hiivala ja Eino Hekali.

Espoo 11.8.2010

Tekijät

Sisällysluettelo

Alkusanat.....	2
1 Johdanto.....	4
2 Menetelmät.....	4
2.1 Elinkaariarviointi	4
2.2 Hiilijalanjälki	5
2.3 Tuotteeseen sitoutunut hiili	5
2.4 Rakennusten ympäristövaikutuksien arvioinnin standardointi	6
3 Laskennan rajaukset	8
3.1 Hirsitalon valmistus	9
3.2 Hirsitalon käyttövaihe	11
3.2.1 Asuinkäytössä olevat hirsitalot	11
3.2.2 Vapaa-ajan käytössä olevat hirsitalot.....	12
3.3 Allokointivertailu	13
4 Tulokset.....	14
4.1 Hirsitalon puumateriaalien valmistus.....	14
4.2 Hirsitaloon sitoutunut hiili	17
4.3 Hirsitalon käyttövaihe	18
4.3.1 Asuinkäytössä olevat hirsitalot	18
4.3.2 Vapaa-ajan käytössä olevat hirsitalot.....	21
4.4 Allokointivertailu	22
5 Tulosten tarkastelu	22
5.1 Asuinkäytössä olevat hirsitalot	22
5.2 Vapaa-ajan käytössä olevat hirsitalot.....	28
6 Hirren U-arvotarkastelu	32
7 Johtopäätökset	34

1 Johdanto

Ihmisen toiminnan vaikutusta ilmastonmuutokseen on alettu seuraamaan erilaisilla mittareilla enenevässä määrin. Yksi näistä mittareista on hiilijalanjälki, joka kuvaa tuotteen elinkaaren aikana ilmastoon vapautuneita kasvihuonekaasuja, joita ovat esimerkiksi hiilidioksidi (CO_2) ja metaani (CH_4). Tässä työssä haluttiin selvittää suomalaisen hirsitaloteollisuuden hiilijalanjälki pelkistetyille hirsitalomalleille laskettuna. Hiilijalanjälki laskettiin hirsitalon puumateriaalien eli hirsien, sahatavaran ja puukuitueristeen valmistuksille rajauksella "kehdosta asiakkaalle" (puumateriaalit valmistettu, kuljetettu asiakkaalle ja asennettu) ja käyttövaiheelle erikseen. Lisäksi selvitettiin hirsitalon puumateriaaleihin sitoutuneen hiilen määrä.

Ilmastonmuutosta pyritään rajoittamaan EU:n toimesta monin säädöksin ja vaatimuksin. Yksi tärkeimmistä seurannan kohteista rakennusteollisuudessa on energiankulutus talon käyttövaiheessa. Tässä työssä haluttiin selvittää, minkä verran taloon sitoutuneen hiilimäärän avulla voidaan kompensoida hirsitalon energiankulutusta käyttövaiheessa 50 vuoden aikana.

Hiilijalanjäljen ja energiakysymysten lisäksi haluttiin selvittää hirsitalon puumateriaalien valmistusvaiheista ja hirsitalon lämmitysenergian käytöstä aiheutuvat typenoksidit (NO_x) ja rikkidioksidi (SO_2) -päästöt.

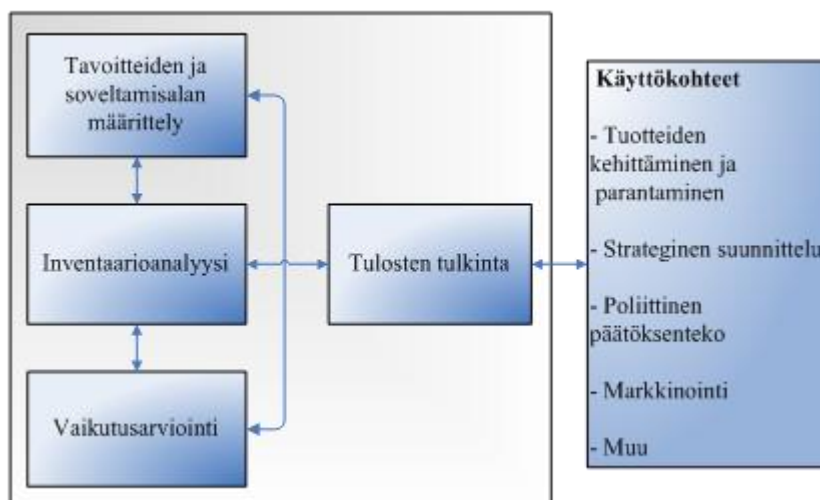
2 Menetelmät

2.1 Elinkaariarviointi

Elinkaariarviointi on ISO-standardoitu menetelmä, jolla voidaan selvittää tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana aiheutuvia potentiaalisia ympäristövaikutuksia. Menetelmää ohjaavat standardit ovat ISO 14040 ja ISO 14044. Elinkaariarvioinnissa järjestelmän elinkaaren aikaiset tapahtumat mallinnetaan yksikköprosesseittain virtauskaavioksi, jossa materiaali- ja energiavirrat yhdistetään prosessien välillä siten, että ensimmäisen prosessin tuotos yhdistetään seuraavan prosessin syötteeksi ja tämän prosessin tuotos taas seuraavan prosessin syötteeksi. Tätä jatketaan, kunnes elinkaari on halutun rajauksen mukaisesti mallinnettu. Koko elinkaaren kattava "kehdosta hautaan" -tarkastelu huomioi raaka-aineiden ja energian hankinnan ja jalostuksen, tuotteen valmistuksen, kuljetukset, käytön sekä käytöstä poiston vaiheet. "Kehdosta portille" ja "kehdosta asiakkaalle" -tarkasteluissa elinkaaren loppuvaiheet jäävät laskennan ulkopuolelle, eli järjestelmä rajataan käsittämään yksikköprosessit vain tuotteen valmistamiseen (kehdosta portille) ja mahdolliseen toimitukseen (kehdosta asiakkaalle) saakka.

Elinkaariarviointi koostuu neljästä eri vaiheesta. Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely aloittaa elinkaariarvioinnin. Kaikkien elinkaarivaiheiden aiheuttamat päästöt ja resurssien käytöt huomioidaan ja selvitetään inventaarioanalyysin eli -laskennan avulla. Inventaarion tulokset voidaan muuttaa ympäristövaikutuksiksi vaikutusarvioinnin kautta, jolloin inventaarilaskennan tuloksien perusteella

päästöt ilmaistaan potentiaalisina muutoksina ympäristössä, eli esimerkiksi kasvi-huonekaasupäästöt muunnetaan vaikutuskertoimien avulla ilmaston lämpenemiseksi. Tulosten tulkinta tapahtuu kolmen edellisen vaiheen perusteella. Kuva 1 esittää elinkaariarvioinnin pääpiirteet ja mahdollisia käyttökohteita.



Kuva 1. Elinkaariarvioinnin pääpiirteet ja käyttökohteita.

Tulokset raportoidaan järjestelmän toiminnallista yksikköä kohden. Toiminnallinen yksikkö kuvaa sitä tarvetta, jonka tuote tai palvelu täyttää.

2.2 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki kuvaa järjestelmän elinkaaren aikana tapahtuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Laskennalle on kehitteillä ISO-standardi ISO 14067, joka valmistuu vuonna 2011. Tällä hetkellä hiilijalanjäljen laskemiselle ei siis ole yksiselitteistä ohjeistusta. Luotettavat hiilijalanjälkilaskelmat perustuvat kuitenkin elinkaariarvioinnin standardeihin siten, että tarkastelussa huomioidaan kaikkien päästöjen sijaan ainoastaan elinkaaren aikana vapautuneet kasvihuonekaasut, joista tärkeimmät ovat fossiilinen hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4) ja typpioksiduuli (N_2O). Metaani ja typpioksiduuli muunnetaan laskennassa hiilidioksidi-ekvivalenteiksi (CO_2 eq.) hallitustenvälisen ilmastopaneelin (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) määrittämällä karakterisointikertoimilla, $\text{CO}_2 = 1$, $\text{CH}_4 = 25$ ja $\text{N}_2\text{O} = 298$. Hiilidioksidi-ekvivalenteiksi muunnetut kasvihuonekaasupäästöt lasketaan yhteen, jolloin tulokseksi saadaan tarkasteltavan kokonaisuuden hiilijalanjälki.

2.3 Tuotteeseen sitoutunut hiili

British Standards Institution (BSI) julkaisi yhteistyössä Carbon Trust:in ja Defra:n kanssa lokakuussa 2008 ohjeistuksen PAS (Publicly available specification) 2050:n ”Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and service”. PAS 2050 on ensimmäinen laajalti tunnustettu ohjeistus hiilijalanjäljen laskentaan. Sen mukaan laskennassa on huomioitava kaikki fossiilisista lähteistä olevat kasvihuonekaasupäästöt. Biogeenisistä kasvihuonekaasupäästöistä huomioidaan muut paitsi hiilidioksidipäästöt.

PAS 2050:n mukaan tuotteeseen sitoutuneen hiilen määrä voidaan huomioida, jos yli 50 % tuotteessa olevasta biogeenisestä hiilestä on poissa ilmakehästä yhden vuoden ajan tai kauemmin tuotteen valmistuksen ajankohdasta laskien. PAS 2050:n tarkastelema aikajakso on 100 vuotta, joten hiilivaraston kesto aika vaikuttaa laskelman tulokseen alla olevan kaavan mukaisesti:

$$\text{Painokerroin} = \frac{\sum_{i=1}^{100} x_i}{100},$$

jossa i = hiilivarastovuosien lukumäärä (vaihteluvälillä 1-100) ja x = osuus, joka hiilestä on sitoutuneena tuotteessa vuonna i (vaihteluvälillä 0-1).

PAS 2050 ohjeistaa kertomaan tuotteen kokonaishiilivaraston tällä luvulla, jolloin saadaan tulokseksi tuotteen keskimääräinen hiilivarastovaikutus. Saatu tulos voidaan vähentää hiilijalanjäljen tuloksesta.

Kuvitteellinen esimerkki PAS 2050:n vaikutuksesta tuotteen hiilijalanjäljen laskentaan on esitetty alla (Taulukko 1). Esimerkissä on oletettu, että Tuote A on käytössä 8 vuotta, jonka jälkeen se poltetaan kokonaisuudessaan ja sitoutuneena ollut hiilidioksidi vapautuu. Tällöin tuotteen painokertoimeksi tulee

$$\frac{1+1+1+1+1+1+1+1}{100} = 0,08.$$

Taulukko 1. Esimerkki hiilijalanjälkilaskennasta PAS 2050:n mukaan.

	Valmistuksen hiilijalanjälki	Tuotteen hiilisisältö, CO ₂ :na ilmaistuna	Hiilivarasto, joka voidaan vähentää hiilijalanjäljestä (sisältö * painokerroin)	PAS 2050:n mukaan laskettu hiilijalanjälki
Tuote A	2000 kg CO ₂	700 kg CO ₂	700 kg CO ₂ *0,08 = 56 kg CO ₂	1944 kgCO ₂

Esimerkki osoitti, miten valmistuksen hiilijalanjäljestä saatiin hyvitettyä tuotteen 8 vuoden eliniän vuoksi 56 kg CO₂-päästöjä.

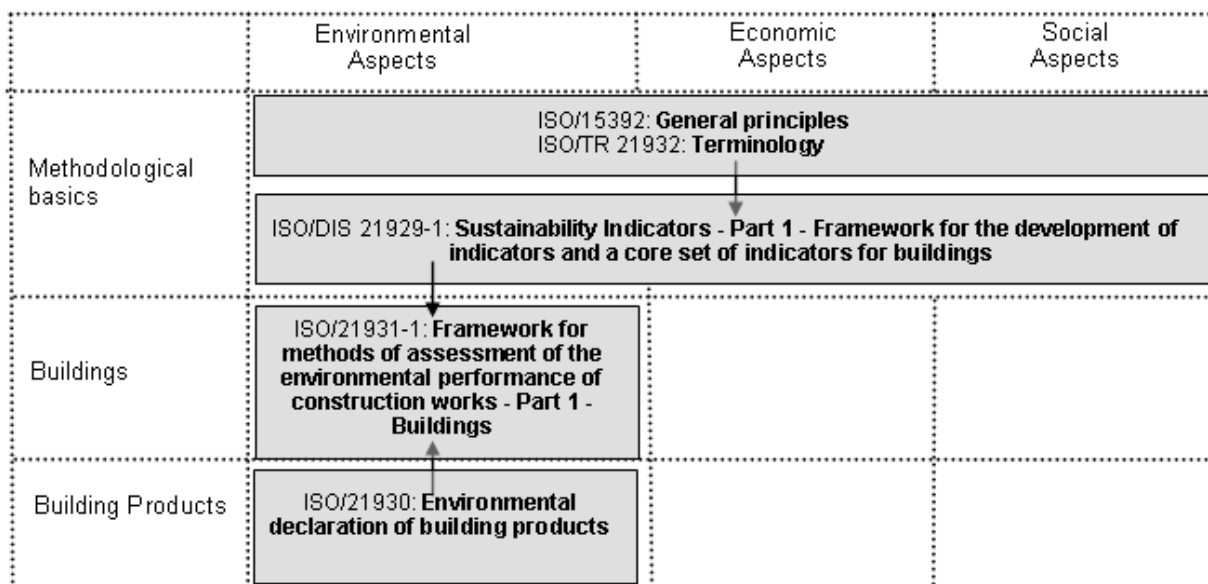
2.4 Rakennusten ympäristövaikutuksien arvioinnin standardointi

Rakennuksien ympäristövaikutukset aiheutuvat

- rakentamiseen ja ylläpitoon käytettävien materiaalien ja tuotteiden hankinnasta, valmistuksesta ja kuljettamisesta
- rakentamisen, korjaamisen ja hoidon prosesseista
- tilojen halutun sisäympäristön (sisäilmasto, valaistus) ylläpitoon tarvittavan energian tuotannosta
- tilojen käytön aiheuttamasta liikenteestä.

Rakentamiseen liittyvien tuotteiden, kuljetusten ja energioiden ympäristövaikutuksia on arvioitu laajasti. Rakentamisen ympäristövaikutusten arvioinnit tehdään noudattaen LCA-menetelmän peruseriaatteita. Kansainvälisesti, Euroopassa ja Suomessa on kehitetty yleistä standardoitua LCA-menetelmää tarkempia säännöstöjä ja formaatteja rakennustuotteiden ympäristövaikutusten arviointiin ja ilmoittamiseen. Näiden yhteisesti sovittujen standardien ja menetelmien tarkoituksena on varmistaa tulosten vertailukelpoisuutta kansallisesti ja kansainvälisesti. Esimerkiksi ISO 15930 esittää kansainvälisen formaatin rakennustuotteiden ympäristövaikutusten ilmoittamiseen.

ISO ja CEN tekevät kestävän rakentamisen suhteen standardointia tällä hetkellä alla olevien kuvien (Kuva 2 ja Kuva 3) mukaisesti. Suomi on - erityisesti RT Rakennusteollisuus ry:n ja VTT:n edustamana - ollut vahvasti mukana vaikuttajana kansainvälisessä kestävän rakentamisen standardointityössä.



Kuva 2. Kestävään rakentamiseen liittyviä kansainvälisiä standardeja

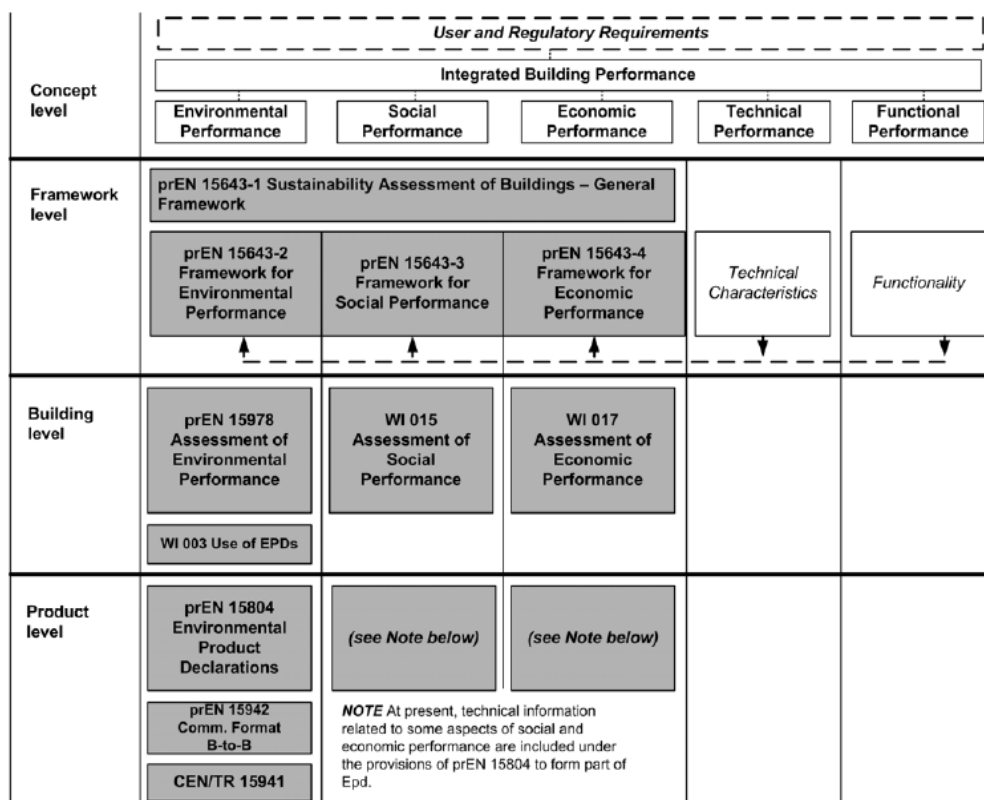


Figure 2 – The work programme of CEN/TC 350

Kuva 3. CEN/TC 350:n työsuunnitelma.

3 Laskennan rajaukset

VTT:n tehtävänä oli arvioida hirsitalon puupohjaisten materiaalien eli hirsien, sahatavaran ja puukuitueristeen valmistuksen hiilijalanjälki. Lisäksi työssä arvioitiin valmistajan antamien energiankulutuslukujen pohjalta hirsitalon käytön hiilijalanjälkeä.

Työ tehtiin kolmessa eri tasossa. Ensimmäisessä tasossa selvitettiin hirsitalon puumateriaalien valmistuksesta aiheutuvat päästöt erityyppisille hirsitalomalleille siten, että talosta huomioitiin hirsien ja muiden puupohjaisten materiaalien (sahatavara ja puukuitueriste) valmistus ja asennus. Tämä rajausta tehtiin, jotta saataisiin selville hirsitalon erityispiirteet pitkäaikaisena hiiltä sitovana puutuotteena. Työssä haluttiin siis selvittää erityisesti puukuidun hyötyjä käytettynä materiaalina kasvihuonekaasujen kannalta.

Toisessa tasossa selvitettiin hirsitalon puumateriaaleihin sitoutuneen hiilen määrä. Lopuksi kolmannessa tasossa tarkasteltiin valmistajien toimittamien energiankulutuksen arviolukujen perusteella käyttövaiheen lämmitysenergian tuotannon aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä.

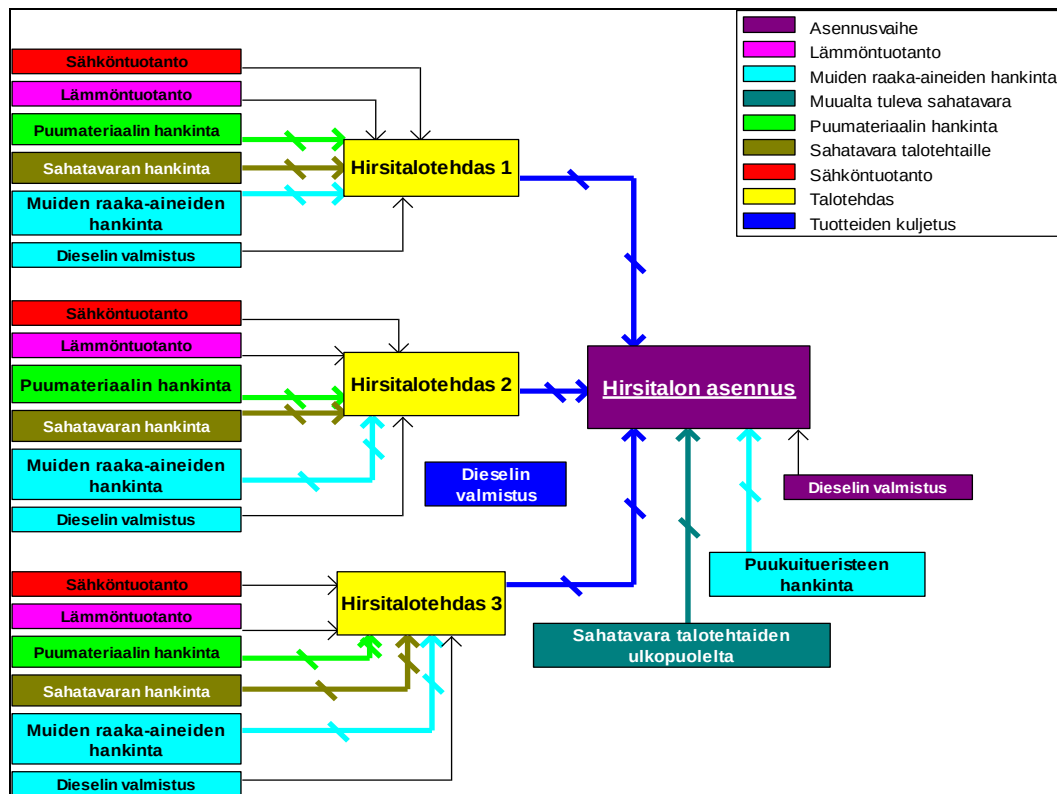
3.1 Hirsitalon valmistus

Työssä mallinnettiin tyypillisen suomalaisen hirsitalon puupohjaisten materiaalien valmistus yhdistämällä kolmen eri hirsitalotehtaan tuotantoketjutiedot kehdestä asiakkaalle -rajauksella. Laskennassa huomioitiin kasvihuonekaasupäästöt, joiden avulla laskettiin hiilijalanjälki, sekä NO_x ja SO₂ päästöt. Toiminnallisina yksikköinä käytettiin hirsitaloa [kpl], hirsiseinää [m²] ja valmistettua hirttä [m³].

Talotehtaiden raaka-aineiden hankinnat ja kuljetukset talotehtaalte, energian tuotanto sekä ostetulle että itse tuotetulle energialle ja itse talotehtailla tapahtuvat prosessit huomioitiin laskelmissa. Hirsien, sahatavaran ja puukuitueristeen valmistus ja kuljetus talon asennuspaikalle sisällytettiin tarkasteluun. Asennusvaihe tapahtuu pääasiassa nostureilla, joiden kuluttama diesel oli huomioitu.

Kukin talotehdas tuottaa hirsii, sahatavaraa, ja sivutuotteita. Talotehtaiden tuotannon mallinnettiin tapahtuvan siten, että kukin valmistaja tuottaa yhden kolmasosan hirsitalon kuluttamasta hirsimäärästä. Sivutuotteiden osuus elinkaaren päästöistä allokoitiin eli ositettiin ulos massaperusteisesti. Allokointi on esitelty tarkemmin kappaleessa 3.3.

Talotehtaiden jalostaman sahatavaran suhde tuotettuihin hirsikuutioihin vaihteli. Tietyille talotyypeille sahatavaraa jouduttiin hankkimaan lisää talotehtaiden ulkopuolelta, mutta valtaosassa tapauksista sahatavaraa tuotettiin hirsitalon kulutukseen nähden ylimäärin. Kuva 4 esittää hirsitalon puumateriaalien valmistusvaiheen yksikköprosessit yksinkertaistettuna. Laskennan työkaluna käytettiin KCL-ECO 4.1 elinkaarilaskentaohjelmaa.



Kuva 4. Lasketun järjestelmän yksinkertaistettu virtauskaavio. Värit kuvaavat elinkaaren eri vaiheita ja poikkiviiva nuolessa kuvaa kuljetusta.

Erilaisia talotyyppijä laskettiin yhteensä 12 kappaletta. Talo oli joko yksi- tai kaksikerroksinen, hirren koko vaihteli 130mm:stä 270mm:iin, ja talon väliseinät saattoivat olla kevytrakenteiset tai hirrestä valmistetut. Muuttujat vaikuttivat talon puumäärään (hirret ja sahatavara) ja puukuitueristeen määrään. Taulukko 2 kuvaa lasketut tapaukset ja niiden muuttuvat parametrit.

Taulukko 2. Laskettujen talomallien kuvaus ja muuttuvat parametrit.

Talotyyppi	Hirren koko [mm]	Väliseinät	Seinä-pinta-ala [m ²]	Talon puumäärä, yhteensä [m ³]	Talon puumäärä, hirren osuus [m ³]	Talon puumäärä, muun puun osuus [m ³]	Puukuitu-eristeen määrä [kg]
1-kerroksinen	130	Hirsi: 130mm	90	35,65	27,36	8,29	1 967
1-kerroksinen	180	Hirsi: 180mm	90	46,17	37,88	8,29	1 967
1-kerroksinen	200	Kevyet	90	32,28	18,45	13,83	2 226
1-kerroksinen	200	Hirsi: 200mm	90	51,43	43,14	8,29	1 967
1-kerroksinen	270	Kevyet	90	38,13	24,30	13,83	2 226
1-kerroksinen	270	Hirsi: 200mm	90	56,68	48,39	8,29	1 967
2-kerroksinen	130	Hirsi: 130mm	192,8	50,40	36,97	13,43	1 862
2-kerroksinen	180	Hirsi: 180mm	192,8	64,62	51,19	13,43	1 862
2-kerroksinen	200	Kevyet	192,8	57,54	39,52	18,02	2 062
2-kerroksinen	200	Hirsi: 200mm	192,8	72,11	58,29	13,82	1 862
2-kerroksinen	270	Kevyet	192,8	71,06	52,06	19,00	2 062
2-kerroksinen	270	Hirsi: 200mm	192,8	85,16	70,38	14,79	1 862

Kaikkien talotehtaiden ostaman sähkön oletettiin olevan suomalaista keskiarvoista verkkosähköä. Talotehtailla kulutettu lämpö oli joko biomassasta tuotettua lämpöä tai kaukolämpöä. Suomalaisen keskiarvoisen sähkön ja kaukolämmön päästökertoimet vuonna 2008 on esitetty alla (Taulukko 3).

Taulukko 3. Sähkön- ja kaukolämmöntuotannon päästökertoimet Suomessa vuonna 2008.

	Sähköntuotanto [kg/MWh]	Kaukolämmön tuotanto [kg/MWh]	Kaukolämmön tuotanto [kg/GJ]
Hiilidioksidi, CO ₂	218	205	56,94
Metaani, CH ₄	0,21	0,15	0,042
Dityppioksidi, N ₂ O	0,004	0,004	0,0011
Typen oksidit, NO _x	0,47	0,43	0,12
Rikkidioksidi, SO ₂	0,38	0,38	0,10

Elinkaaren yksikköprosesseille kerättiin dataa useasta eri lähteestä. Talotehtaat raportoivat omien prosessiensa tiedot, mutta muille prosesseille käytettiin joko tietokantadataa, tilastotietoja tai toimittajien antamaa tietoa. Tietolähteet on esitetty taulukossa alla (Taulukko 4).

Taulukko 4. Käytetyn datan lähteet.

Yksikköprosessi	Datan lähde
Hirsitalotehdas 1	Finnlamelli Oy
Hirsitalotehdas 2	Kontiotuote OY
Hirsitalotehdas 3	Honkarakenne Oyj
Sahatavaran valmistus	VTT
Puun pintakäsittelyaineen valmistus	Ecoinvent-tietokanta
Puukuitueristeen valmistus	Termex-Eriste Oy
Liiman valmistus	AKZO NOBEL via. Matti Alasaarela, Inspis Oy
Ostosähkön tuotanto	VTT
Kaukolämmön tuotanto	VTT
Puuperäisen lämmön tuotanto	KCL EcoData
HDPE pakkausmuovin valmistus	Ecoinvent-tietokanta
Männyn korjuu	KCL EcoData
Dieselin valmistus	Ecoinvent-tietokanta
Kuljetusprosessit	KCL EcoData / Lipasto -tietokanta
Kuljetusetäisyydet	Talotehtaat & VTT & Metlan tilastot (puu)

Kuljetuksien mahdollista tyhjää paluukuljetusta ei huomioitu muille tuotteille kuin tukkipuulle, jolle oletettiin paluuetäisyydeksi 50 % (53km) tukkien oletetusta kuljetusmatkasta (106km Metlan tilastoihin perustuen).

3.2 Hirsitalon käyttövaihe

3.2.1 Asuinkäytössä olevat hirsitalot

Hirsitalon käyttövaihe mallinnettiin valmistajien toimittamien vuotuisien energiankulutuslukujen perusteella. Valmistajien antamat luvut ovat seuraavat:

- 1-kerrostalon lämmitysenergian kulutus 12 731 kWh/vuosi
- 2-kerrostalon lämmitysenergian kulutus 19 417 kWh/vuosi.

Valmistajan ilmoituksen mukaan laskennassa on otettu huomioon tilojen lämmitysenergian kulutus, mutta ei veden lämmitykseen kuluva energiaa tai muuta sähkönkulutusta, jotka riippuvat asukkaiden lukumäärästä ja elintavoista. Valmistaja arvioi rakennusten energiankulutusluvut Dof-energiaohjelman avulla RakMK D3 ja D5 osioihin perustuen. Talon käyttöäksi oletettiin 50 vuotta, vaikka todellisuudessa hirsitalo saattaa olla käytössä huomattavasti pidempäänkin. Käyttövaiheessa tapahtuvia kunnostuksia tai muita toimenpiteitä ei otettu huomioon. Käyttövaiheen tulokset raportoitiin lisäksi bruttoalaa [m²] ja rakennus-tilavuutta [m³] kohti.

Lämmitysenergian tuotantotavan merkitystä tarkasteltiin neljän eri laskelman avulla sekä 1- että 2-kerroksiselle talolle:

1. Kaukolämpö
2. Sähkölämmitys
3. Sähkölämmitys (50 %) ja takkalämmitys (50 %)
4. Bioenergialla tuotettu lämpö (biokattila)

Taulukko 5 esittää eri lämmitysvaihtoehtojen päästökertoimet. Sähkölämmityksen päästökertoimena käytettiin Motiva Oy:n suosittelemaa kerrointa 450kg CO₂ / MWh. Sähkölämmityksen NO_x ja SO₂ -päästöille käytettiin aiemmin (Taulukko 3) kuvattuja verkkosähkön päästökertoimia. Puun poltosta takassa tai biokattilassa ei vapaudu fossiilisia kasvihuonekaasuja, mutta puun korjuun ja kuljetuksen päästöt on huomioitu. Puun kuljetusetäisyydeksi oletettiin 100km ilman paluukuljetusta. Biokattilan oletettiin olevan teollinen 100-300MW:n kattila, eli lämmitysenergia tuotetaan alueelliseen käyttöön eikä talokohtaisesti. Biokattilan ja puunkorjuun tiedot olivat EcoData-tietokannasta, mutta takkalämmityksen tiedot perustuivat Ecoinvent-tietokantaan.

Taulukko 5. Käyttövaiheen tarkastelun eri lämmöntuotantojen päästökertoimet

	CO ₂ eq. [kg/MWh]	NO _x [kg/MWh]	SO ₂ [kg/MWh]
Kaukolämpö	210	0,43	0,37
Sähkölämmitys	450	0,47	0,38
Sähkölämmitys (50 %) ja takkalämmitys (50 %)	236	0,66	0,21
Bioenergialla tuotettu lämpö (biokattila)	6,5	0,57	0,003

Uusiutuvien energiantuotantomuotojen kehitys ja käyttö kasvaa tulevaisuudessa enemmän ja enemmän. Rakennuksien lämmitysenergian yksi mahdollinen tuotantomuoto on maalämpö. Maalämmöllä ei kuitenkaan voida tuottaa kaikkea talon kuluttamaa lämmitysenergiaa, vaan sähkölämmitystä täytyy käyttää sen ohella. Mikäli maalämmöllä voitaisiin tuottaa n. 50-60 % rakennuksen lämmitysenergian kulutuksesta, voitaisiin kasvihuonekaasuja pienentää sähkölämmityksen korkeista päästöluvuista kuitenkin kaukolämmön päästöjen tasolle tai niiden alle.

Käyttövaiheen herkkyystarkasteluna asuinrakennuksena käytettävälle hirsitalolle tarkasteltiin tilannetta, jossa talo on rakennettu energiavaatimukset ylittäväksi. Tarkastelussa vertailukohtana oli 180mm hirrestä valmistettu rakennusvaatimukset täyttävä talo. Energiavaatimukset ylittävän talon energiankulutusluku perustui oletukseen, että talo on rakennettu 270mm hirrestä mutta muuten vastaavalla tavalla eli yhtä energiatehokkaasti kuin 180mm hirrestä valmistettu talo. Tällöin hirsiseinän läpi johtuva lämmönhukka vähenee ja lämmönkulutus pienenee. Energiavaatimukset ylittävän ja 270mm hirrestä valmistetun talon lämmitysenergian kulutukseksi valmistajan toimittamien tietojen mukaan käytettiin seuraavia lukuja:

- yksikerroksisen hirsitalon tapauksessa 10 092 kWh/vuosi ja
- kaksikerroksisen hirsitalon kohdalla 15 087 kWh/vuosi

3.2.2 Vapaa-ajan käytössä olevat hirsitalot

Vapaa-ajan rakennuksena eli osittaisessa käytössä olevien hirsirakennuksien käyttövaiheen kasvihuonekaasupäästöjä arvioitiin erikseen. Laskennassa tutkittiin kahta käyttötilannetta, joiden energiankulutukset valmistaja on arvioinut:

1. Normaali vapaa-ajan asunto 130mm hirrestä: Ylläpitolämpö +5 astetta, painovoimainen ilmanvaihto: 9 630 kWh/vuosi
2. Ympäri vuotiseen käyttöön soveltuva vapaa-ajan asunto 180mm hirrestä: Ylläpitolämpö +10 astetta: 7 102 kWh/vuosi

Valmistajan toimittamien energiankulutuslukujen taustalla oli seuraavanlaiset oletukset:

- Sisälämpötila 9kk (käyttö 4 vrk kuukaudessa)
 - 4 vuorokautta +21 astetta
 - loput vuorokaudet ylläpitolämmössä (+5 tai +10 astetta) -> keskimääräinen lämpötila näille kuukausille +7,1 tai +11,5 astetta
- 2kk (maaliskuu ja joulukuu käyttö 7 vrk kuukaudessa)
 - 7 vuorokautta +21 astetta
 - loput vuorokaudet ylläpitolämmössä (+5 tai +10 astetta) -> keskimääräinen lämpötila näille kuukausille +12,4 tai 12,5 astetta
- 1kk (heinäkuu)
 - käyttöä koko kuukausi -> lämpötila +21 astetta

Lämmitysenergiankulutuksen ero omakotikäytössä olevaan 180mm hirrestä valmistettuun yksikerroksiseen rakennukseen on siis valmistajan mukaan -24,4 % 130mm hirrestä valmistetulle ja -44,2 % 180mm hirrestä valmistetulle vapaa-ajan käytössä olevalle talolle. Vapaa-ajan asunnoissa on tyypillisesti takka ja sähkölämmitys. Laskelmissa oletettiin, että puolet lämmöstä tuotetaan takalla ja puolet sähköllä. Sähkölämmitykselle käytettiin Motivan päästökerrointa (Taulukko 5).

3.3 Allokointivertailu

LCA-laskentaa ohjaava standardi ISO 14044 mainitsee allokoinnista seuraavaa: ”...järjestelmän syötteet ja tuotokset tulisi osittaa sen eri tuotteiden ja toimintojen välillä tavalla, joka heijastaa niiden välillä vallitsevia fysikaalisia suhteita” ja että ”Jos allokoinnin perustaksi ei voida asettaa tai käyttää yksinomaan fysikaalisia suhteita, syötteet tulisi allokoida tuotteiden ja toimintojen välillä käyttäen muita niiden välisiä suhteita ... esimerkiksi allokoida tuotteiden taloudellisen arvon perusteella.”

Hirsitalon valmistuksen päästöt laskettiin ensisijaisesti massa-alkokointiin perustuen, sillä massaperusteen allokointiin ohjeistetaan mm. Rakennusteollisuuden kustannus (RTK) Oy:n julkaisussa ”Menetelmä rakennustuotteiden ympäristöselosteiden laadintaan ja rakennusten ympäristövaikutusten arviointiin” (ISBN 952-5472-16-7, Edita, Helsinki, 2004).

Massaperusteisessa allokoinnissa hirren valmistuksen elinkaari jaettiin hirrelle, sahatavaralle ja ulos myytävälle sivutuotteille niiden massasuhteessa. Ainoastaan liiman ja puun pintakäsittelyaineen valmistuksesta ja kuljetuksesta aiheutuvat päästöt kohdistettiin täysin hirrelle. Jokaisella talotehtaalla oli oma allokointikertoimensa, koska tuotteiden ja sivutuotteiden massasuhte ei ollut vakio. Allokoinnin tarve vaihteli myös talotyyppistä riippuen, sillä talon kerrosmäärän, hirsityypin ja väliseinien muuttuminen vaikutti hirren ja sahatavaran kulutusmääriin.

Standardissa todetaan myös, että ”Jos useat allokontimenettelyt vaikuttavat soveliallta, tulee toteuttaa herkkyysanalyysi, jolla osoitetaan valitusta lähestymistavasta poikkeamisen seuraukset.” Tämän vuoksi suoritettiin herkkyysanalyysi arvoallokontiin perustuen yhdelle talotyyppille (1-kerroksinen, 200mm hirsi, kevyet väliseinät). Arvoallokontin perustana käytettiin Honkarakenteelta saatuja luottamuksellisia tietoja tuotteiden ja sivutuotteiden myyntiarvosta. Päästöt allokoitiin tuotteille ja sivutuotteille niiden arvo-osuuksien (tuotteesta saadun tulon osuus kaikista tuloista) suhteen siten, että arvokkain tuote sai suurimman osan päästöistä ja halvimmat sivutuotteet pienimmän osan.

4 Tulokset

4.1 Hirsitalon puumateriaalien valmistus

Tyypillisen hirsikuution ja erikokoisista hirsistä valmistetun laskennallisen hirsiseinäneliömetrin valmistuksen aiheuttamat päästöt on raportoitu taulukossa alla (Taulukko 6). Hirsiseinäneliömetrin luvut saatiin kertomalla tyypillisen hirsikuution valmistuksen päästöluku hirren paksuudella 200mm. Laskelma käsittää hirren elinkaaren tehtaan portille asti, eli kuljetusta asiakkaalle ei ole huomioitu. Sahatavaran ja muiden sivutuotteiden osuus päästöistä on allokoitu eivätkä ne siis ole taulukon luvuissa mukana.

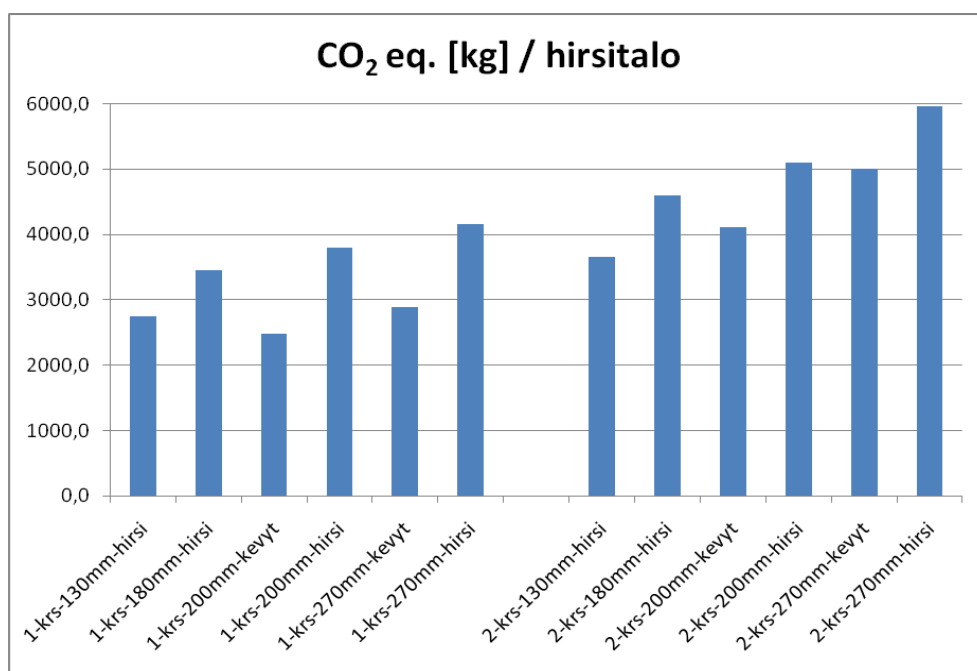
Taulukko 6. Hirsikuution ja 200mm hirrestä valmistetun laskennallisen hirsiseinäneliön valmistuksen aiheuttamat CO₂ eq., NO_x ja SO₂ päästöt.

	CO ₂ eq. [kg]	NO _x [kg]	SO ₂ [kg]
1 m ³ hirttä	55,4	0,43	0,1
1 m ² hirsiseinää	11,1	0,1	0,02

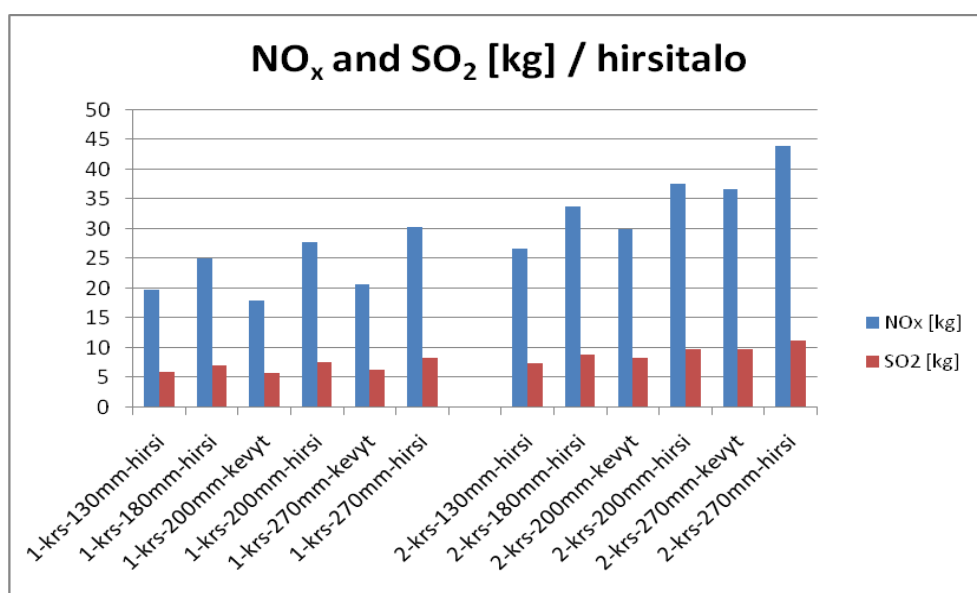
Hirsitalon puumateriaalien valmistuksen aiheuttamat päästöt on esitetty alla (Taulukko 7, Kuva 5 ja Kuva 6). Laskelmissa on mukana taloon kuluvien hirsien, muun sahatavaran ja puukuitueristeiden valmistus, mutta tuloksista on allokoitu ulos purun, hakkeen ja talotehtaiden muiden sivutuotteiden osuus.

Taulukko 7. Hirsitalon puumateriaalien valmistuksen aiheuttamat CO₂ eq., NO_x ja SO₂ päästöt lasketuille taloille. Tulokset on ilmoitettu kg päästöä / hirsitalo.

Talotyyppi	Hirsityyppi	Väliseinät	CO ₂ eq. [kg]	NO _x [kg]	SO ₂ [kg]
1-kerroksinen	130mm	Hirsi: 130mm	2 748	19,7	5,9
1-kerroksinen	180mm	Hirsi: 180mm	3 452	25,0	7,0
1-kerroksinen	200mm	Kevyet	2 488	17,9	5,7
1-kerroksinen	200mm	Hirsi: 200mm	3 804	27,7	7,6
1-kerroksinen	270mm	Kevyet	2 888	20,7	6,3
1-kerroksinen	270mm	Hirsi: 200mm	4 155	30,3	8,2
2-kerroksinen	130mm	Hirsi: 130mm	3 654	26,6	7,4
2-kerroksinen	180mm	Hirsi: 180mm	4 605	33,8	8,9
2-kerroksinen	200mm	Kevyet	4 116	30,0	8,3
2-kerroksinen	200mm	Hirsi: 200mm	5 101	37,5	9,7
2-kerroksinen	270mm	Kevyet	4 997	36,7	9,7
2-kerroksinen	270mm	Hirsi 200mm	5 962	44,0	11,1

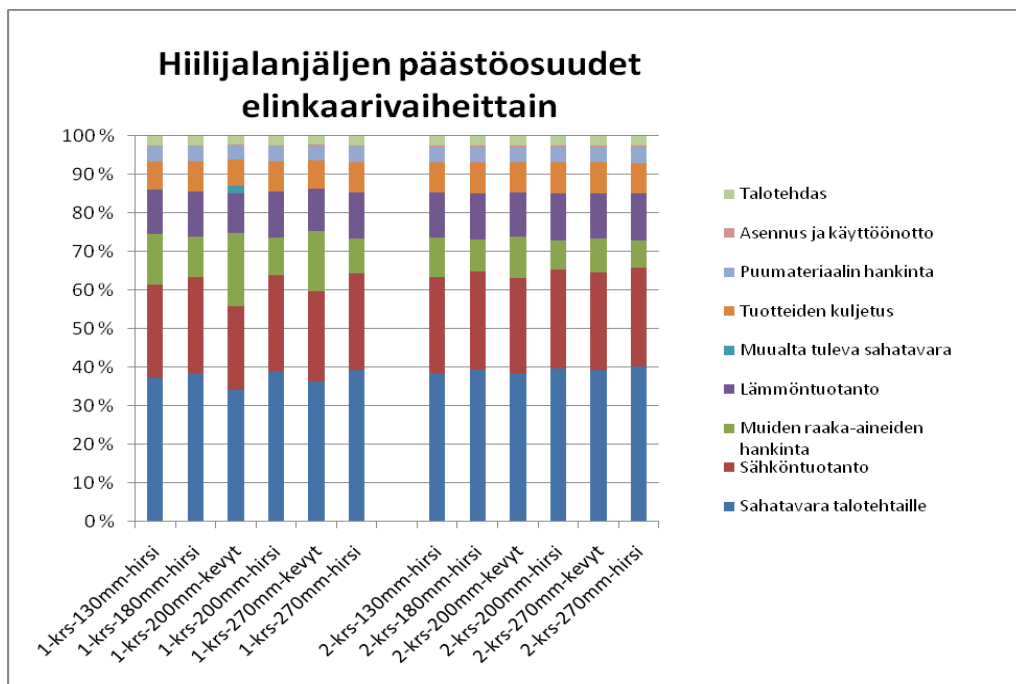


Kuva 5. Hirsitalon puumateriaalien valmistuksen aiheuttamat CO₂ eq. päästöt lasketuille taloille. Pylväiden nimet kertovat talon kerroksien lukumäärän, hirren paksuuden ja väliseinien tyypin (kevyet vs. hirsiväliseinät).



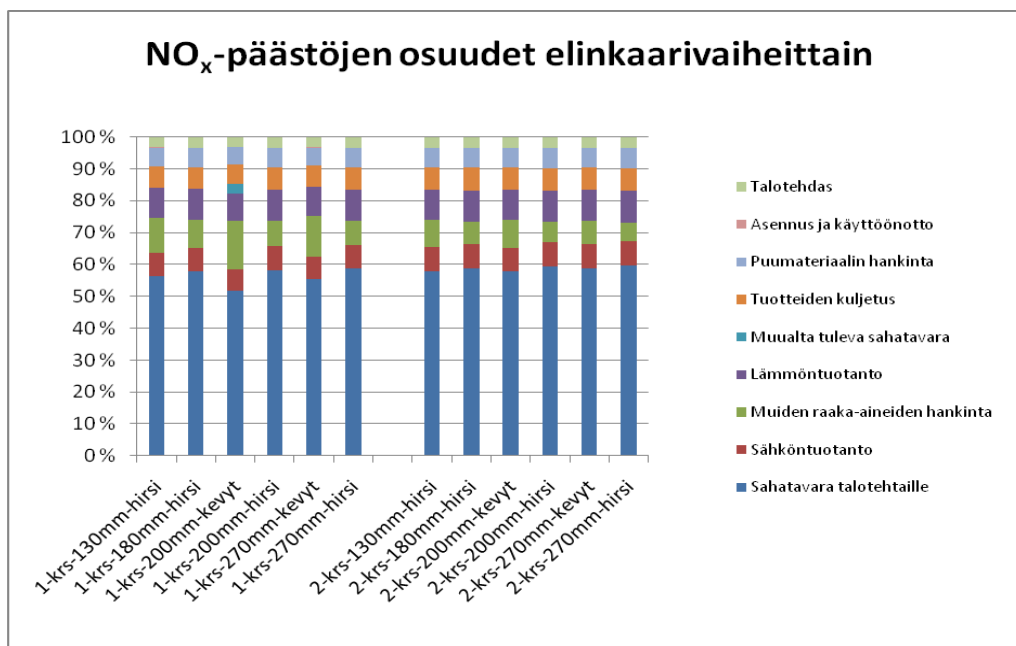
Kuva 6. Hirsitalon puumateriaalien valmistuksen aiheuttamat NO_x ja SO₂ päästöt lasketuille taloille. Pylväiden nimet kertovat talon kerroksien lukumäärän, hirren paksuuden ja väliseinien tyypin (kevyet vs. hirsiväliseinät).

Hiilidioksidiekvivalenttien päästöt elinkaarivaiheittain on esitetty alla (Kuva 7). Tärkeimmät päästölähteet ovat talotehtaille toimitettavan sahatavaran valmistus (n.38 % CO₂-päästöistä) ja talotehtaan kuluttaman sähkön (n.25%) ja lämmön (n.12%) valmistus. Muiden materiaalien hankinta aiheuttaa n. 12 % ja tuotteiden kuljetus asennuspaikalle n. 8 % hiilijalanjäljestä. Yläpohjassa ja kevyissä väliseinissä olevan puukuitueristeen valmistuksen osuus päästöistä kasvaa kevyiden väliseinien tapauksissa, kun puumateriaalin kokonaismäärä ja täten myös valmistuksen kokonaispäästöt pienenevät.



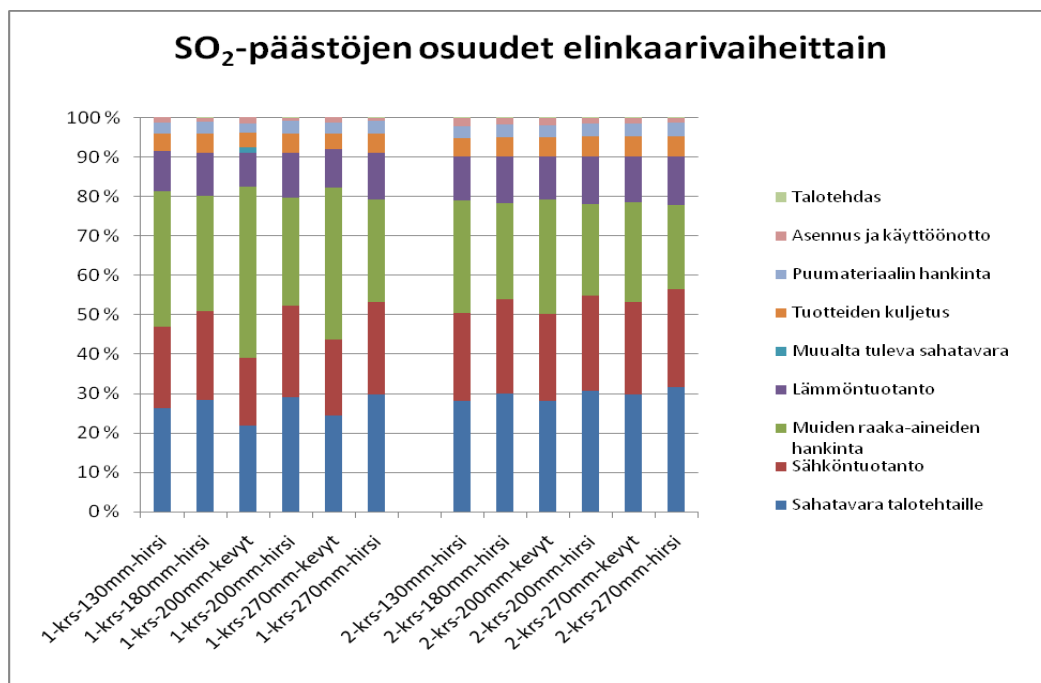
Kuva 7. Hirsitalon puumateriaalien valmistuksen hiilijalanjäljen päästöosuudet elinkaarivaiheittain kehdosta asiakkaalle –laskennassa. Pylväiden nimet kertovat talon kerroksien lukumäärän, hirren paksuuden ja väliseinien tyypin (kevyet vs. hirsiväliseinät).

Kuva 8 esittää typen oksidien päästölähteet. Tärkein päästölähde on sahatavaran tuotanto talotehtaalle, jonka osuus NO_x -päästöistä on n.58%. Myös sähkön- ja lämmönvalmistuksesta sekä muiden materiaalien hankinnasta aiheutuu NO_x -päästöjä n.8-10% kustakin. Puukuitueristeen valmistus aiheuttaa lisäpäästöjä myös typen oksidien suhteen kevyiden väliseinien tapauksissa.



Kuva 8. Hirsitalon puumateriaalien valmistuksen NO_x -päästöosuudet elinkaarivaiheittain kehdosta asiakkaalle –laskennassa. Pylväiden nimet kertovat talon kerroksien lukumäärän, hirren paksuuden ja väliseinien tyypin (kevyet vs. hirsiväliseinät).

Rikkidioksidipäästöjä tulee pääosin sahatavaran valmistuksesta (n.28%) sekä sähkön- ja lämmöntuotannosta (n.22 % ja n.11%) talotehtaille. Muiden raaka-aineiden hankinnan merkitys vaihtelee n.21%:sta 43%:iin erityisesti puukuitueristeen valmistuksen takia. Kuva 9 esittää hirsitalon puumateriaalien SO₂-päästölähteet elinkaarivaiheittain.



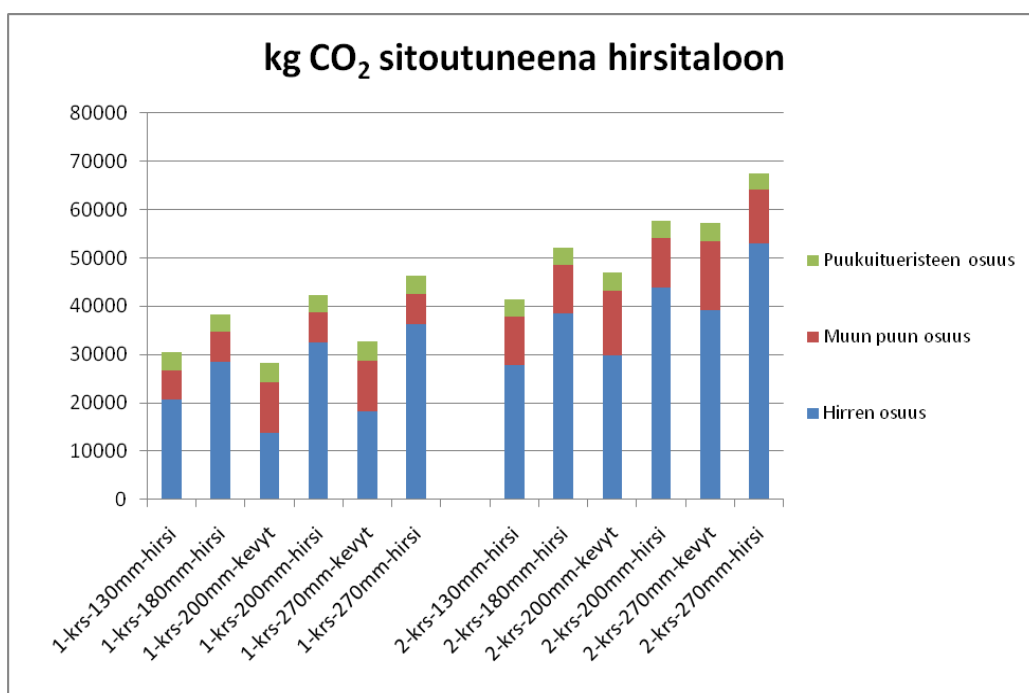
Kuva 9. Hirsitalon puumateriaalien valmistuksen SO₂-päästöosuudet elinkaarivaiheittain kehdosta asiakkaalle –laskennassa. Pylväiden nimet kertovat talon kerroksien lukumäärän, hirren paksuuden ja väliseiniä tyypin (kevyet vs. hirsiväliseinät).

4.2 Hirsitaloon sitoutunut hiili

Hirsitalon puupohjaisiin materiaaleihin on sitoutunut hiiltä puun kasvuajana. Hirsitalon sisältämä hiilimäärä hiilidioksidiina kuvattuna on esitetty alla (Taulukko 8 ja Kuva 10).

Taulukko 8. Hirsitalon sisältämän hiilen määrä hiilidioksidiina ilmaistuna.

	Hirren osuus [kg CO ₂]	Muun puun osuus [kg CO ₂]	Puukuitueristeen osuus [kg CO ₂]	Kokonaismäärä [kg CO ₂]
1-krs-130mm-hirsi	20 566	6 231	3 606	30 403
1-krs-180mm-hirsi	28 473	6 231	3 606	38 311
1-krs-200mm-kevyt	13 868	10 396	4 081	28 345
1-krs-200mm-hirsi	32 427	6 231	3 606	42 264
1-krs-270mm-kevyt	18 266	10 396	4 081	32 742
1-krs-270mm-hirsi	36 373	6 231	3 606	46 211
2-krs-130mm-hirsi	27 789	10 095	3 414	41 298
2-krs-180mm-hirsi	38 478	10 095	3 414	51 986
2-krs-200mm-kevyt	29 706	13 545	3 779	47 030
2-krs-200mm-hirsi	43 815	10 388	3 414	57 616
2-krs-270mm-kevyt	39 132	14 282	3 779	57 193
2-krs-270mm-hirsi	52 902	11 117	3 414	67 433



Kuva 10. Hirsitalon sisältämä hiili CO₂:na ilmaistuna. Pylväiden nimet kertovat talon kerroksien lukumäärän, hirren paksuuden ja väliseinien tyypin (kevyet vs. hirsiväliseinät).

PAS 2050:n mukaan talon hiilisisällöstä 50 % voidaan vähentää kokonaishiilijalanjäljestä, kun talon käyttöikä on 50 vuotta.

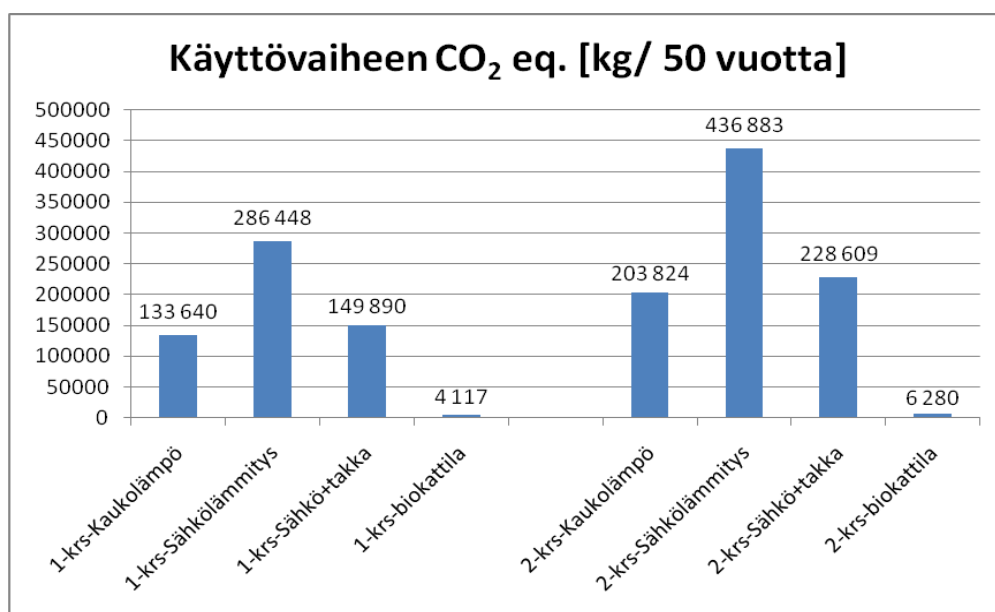
4.3 Hirsitalon käyttövaihe

4.3.1 Asuinkäytössä olevat hirsitalot

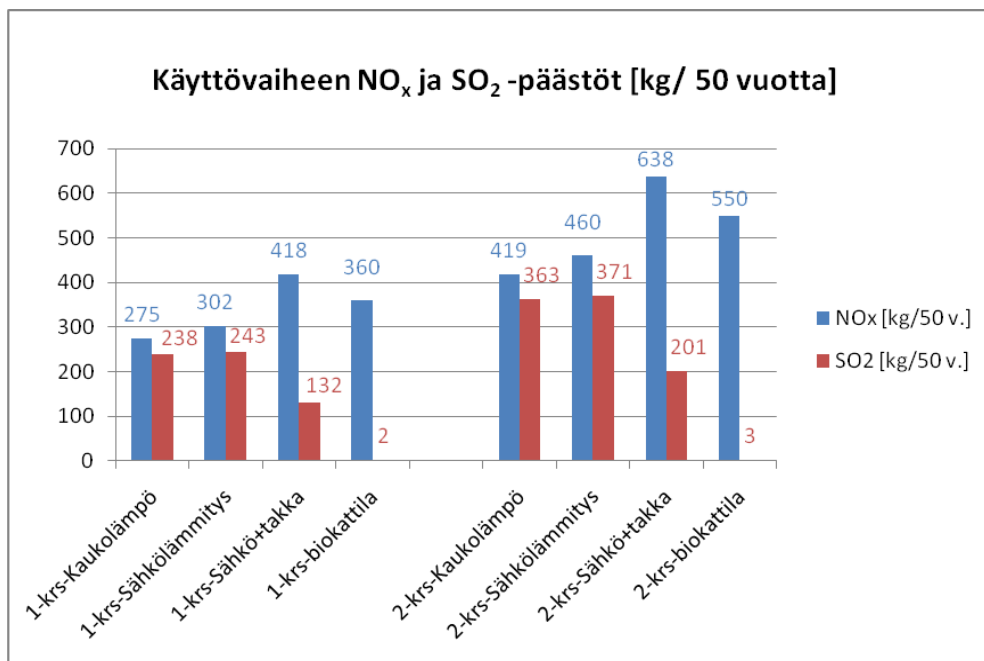
Ympäri vuotisessa käytössä olevan hirsitalon käyttövaiheessa aiheutuvat CO₂ eq., NO_x ja SO₂ –päästöt valmistajan toimittamiin energiankulutuslukuuihin perustuen on esitetty alla yhtä vuotta kohti laskettuna (Taulukko 9) ja koko käyttöikää eli 50 vuotta kohti (Kuva 11 ja Kuva 12). Tulokset osoittavat, että kasvihuonekaasuja vapautuu ylivoimaisesti eniten sähkölämmitteisessä tapauksessa eli 1-kerroksisen talon tapauksessa n. 5700 kg CO₂ eq./vuosi. Jos rakennuksessa käytettäisiin maalämpöä sähkölämmityksen ohella, voitaisiin päästöissä mahdollisesti päästä kaukolämmön päästömäärien tasolle tai jopa niiden alle. Kaukolämmöllä lämmitettävän talon käyttövaiheen päästöt (n.2700 kg CO₂ eq./vuosi yksikerroksisella talolla) ovat suunnilleen samansuuruiset kuin sähkö- ja takkalämmitteisen talon päästöt (n.3000 kg CO₂ eq./vuosi). Biokattilalla tuotetun lämmön kasvihuonekaasupäästöt ovat muihin lämmönlähteisiin nähden ylivoimaisen pienet (n.80 kg CO₂ eq./vuosi). Puuta poltettaessa syntyy paljon NO_x-päästöjä, mutta rikkidioksidipäästöt ovat hyvin pienet, kuten sähkö ja takka – yhdistelmän ja biokattilan tapaukset osoittavat.

Taulukko 9. Hirsitalon käyttövaiheen aiheuttamat CO₂ eq., NO_x ja SO₂ päästöt lasketuille taloille. Tulokset on raportoitu yhtä käyttövuotta kohti. Tulokset perustuvat valmistajan toimittamiin energiankulutuslukuihin.

Talotyyppi	Lämmitysmuoto	CO ₂ eq. [kg/vuosi]	NO _x [kg/vuosi]	SO ₂ [kg/vuosi]
1-kerroksinen	Kaukolämpö	2 673	5,5	4,8
1-kerroksinen	Sähkölämmitys	5 729	6,0	4,9
1-kerroksinen	Sähkölämmitys (50 %) ja takkalämmitys (50 %)	2 998	8,4	2,6
1-kerroksinen	Bioenergialla tuotettu lämpö (biokattila)	82	7,2	0,0
2-kerroksinen	Kaukolämpö	4 077	8,4	7,3
2-kerroksinen	Sähkölämmitys	8 738	9,2	7,4
2-kerroksinen	Sähkölämmitys (50 %) ja takkalämmitys (50 %)	4 572	12,8	4,0
2-kerroksinen	Bioenergialla tuotettu lämpö (biokattila)	126	11,0	0,1



Kuva 11. Käyttövaiheen 50 vuoden aikana vapautuneet hiilidioksidiekvivalenttipäästöt eri lämmitysvaihtoehdoilla. Pylväiden nimet kuvaavat talon kokoa ja lämmitysmuotoa. Tulokset perustuvat valmistajan toimittamiin energiankulutuslukuihin.



Kuva 12. Käyttövaiheen 50 vuoden aikana vapautuneet NO_x ja SO₂ -päästöt eri lämmitysvaihtoehtojilla. Pylväiden nimet kuvaavat talon kokoa ja lämmitysmuotoa. Tulokset perustuvat valmistajan toimittamiin energiankulutuslukuihin.

Taulukko 10 esittää käyttövaiheen kasvihuonekaasupäästöt vuositason rakennuksen bruttoalaa [m²] ja rakennustilavuutta [m³] kohti. Yksikerroksisen talon bruttoala oli 163m² ja rakennustilavuus 522 m³, kun kaksikerroksisen talon vastaavat luvut olivat 203m² ja 710m³.

Taulukko 10. Käyttövaiheen kasvihuonekaasupäästöt koko taloa, bruttopinta-alaa ja rakennustilavuutta kohti ilmaistuna eri lämmitysvaihtoehtojilla. Tulokset perustuvat valmistajan toimittamiin energiankulutuslukuihin.

Talotyyppi	Lämmitysmuoto	CO ₂ eq. [kg/vuosi]	CO ₂ eq. [kg/m ² /vuosi]	CO ₂ eq. [kg/m ³ /vuosi]
1-kerroksinen	Kaukolämpö	2 673	16,4	5,1
1-kerroksinen	Sähkölämmitys	5 729	35,1	11,0
1-kerroksinen	Sähkölämmitys (50 %) ja takkalämmitys (50 %)	2 998	18,4	5,7
1-kerroksinen	Bioenergialla tuotettu lämpö (biokattila)	82,3	0,5	0,2
2-kerroksinen	Kaukolämpö	4 077	20,1	5,7
2-kerroksinen	Sähkölämmitys	8 738	43,0	12,3
2-kerroksinen	Sähkölämmitys (50 %) ja takkalämmitys (50 %)	4 572	22,5	6,4
2-kerroksinen	Bioenergialla tuotettu lämpö (biokattila)	126	0,6	0,2

Käyttövaiheen herkkyystarkastelu suoritettiin energiavaatimukset ylittävälle talolle. Tarkastelussa vertailukohtana oli 180mm hirrestä valmistettu rakennusvaatimukset täyttävä talo. Energiavaatimukset ylittävän talon energiankulutusluku perustui oletukseen, että talo on tehty 270mm hirrestä mutta muuten vastaavalla yhtä energiatehokkaasti kuin 180mm hirrestä valmistettu talo. Tällöin hirsiseinän läpi johtuva lämpöhukka vähenee ja lämmönkulutus pienenee. Herkkyystarkastelun tulokset vuositason rakennuksen bruttoalaa [m²] ja rakennus-

tilavuutta [m³] kohti on esitetty alla (Taulukko 11). Vertailun helpottamiseksi taulukossa on esitetty myös jo aiemmin kuvattu perustilanne 180mm hirrestä rakennetulle talolle. Taulukko osoittaa, että hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä voidaan pienentää n.20 % hirren paksuutta kasvattamalla, jos talo muuten rakennetaan yhtä energiatehokkaaksi kuin ohuemmasta hirrestä rakennetut talot.

Taulukko 11. Käyttövaiheen herkkyytstarkastelun eli rakennusvaatimukset ylittävän talon kasvihuonekaasupäästötulokset koko taloa, bruttopinta-alaa ja rakennustilavuutta kohti ilmaistuna kaukolämpöä käytettäessä. Tulokset perustuvat valmistajan toimittamiin energiankulutuslukuihin.

Talotyyppi	Energiankulutus rakennusvaatimuksiin nähden	CO ₂ eq. [kg/vuosi]	CO ₂ eq. [kg/m ² /vuosi]	CO ₂ eq. [kg/m ³ /vuosi]
1-kerroksinen	Rakennusvaatimukset täyttävä talo, 180mm hirrestä	2 673	16,4	5,1
1-kerroksinen	Rakennusvaatimukset ylittävä talo, 270mm hirrestä	2 119	13,0	4,1
2-kerroksinen	Rakennusvaatimukset täyttävä talo, 180mm hirrestä	4 077	20,1	5,7
2-kerroksinen	Rakennusvaatimukset ylittävä talo, 270mm hirrestä	3 167	15,6	4,5

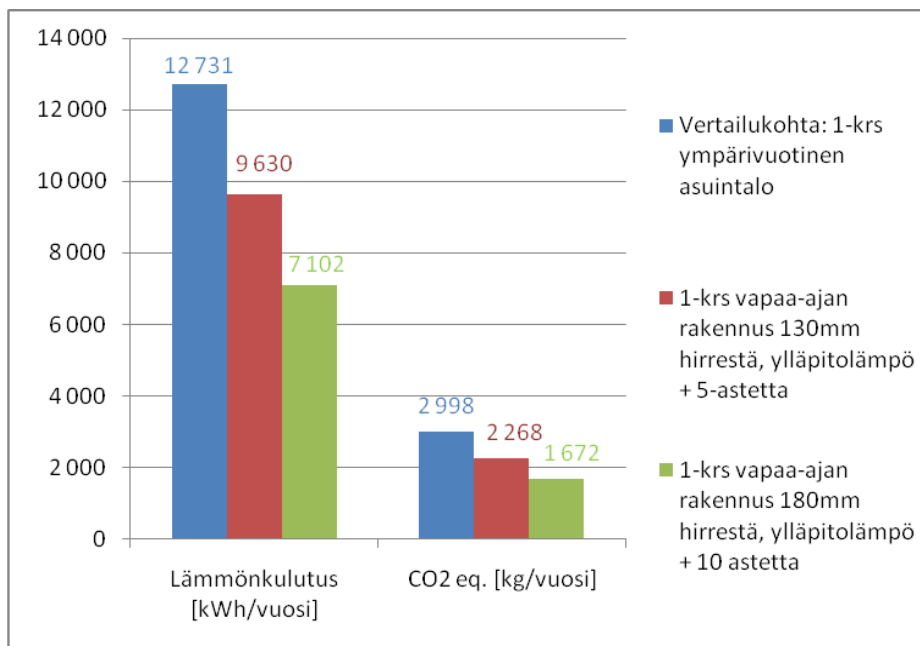
4.3.2 Vapaa-ajan käytössä olevat hirsitalot

Vapaa-ajan rakennuksina käytettyjen hirsitalojen käyttövaiheen energiankulutuksien tulokset on esitetty alla (Taulukko 12). Energiankulutusluvut ovat valmistajan toimittamat.

Taulukko 12. Vapaa-ajan asunnon käyttövaiheen vuosipäästöt sähkö + takkalämmityksellä. Tulokset perustuvat valmistajan toimittamiin energiankulutuslukuihin.

	Lämmönkulutus [kWh/vuosi]	CO ₂ eq. [kg/vuosi]	CO ₂ eq. [kg/m ² /vuosi]	CO ₂ eq. [kg/m ³ /vuosi]
Vertailukohta: 1-krs ympärivuotinen asuintalo	12 731	2 998	18,4	5,7
1-krs vapaa-ajan rakennus 130mm hirrestä, ylläpitolämpö + 5-astetta	9 630	2 268	13,9	4,3
1-krs vapaa-ajan rakennus 180mm hirrestä, ylläpitolämpö + 10 astetta	7 102	1 672	10,3	3,2

Vertailukohtaan eli ympärivuotisessa asuinkäytössä olevan rakennusvaatimukset täyttävään taloon nähden 130mm hirrestä rakennetun vapaa-ajan asumuksen energiankulutus käyttövaiheessa on valmistajan mukaan 24,4 % pienempi. Käyttövaiheen päästöt ovat suoraan verrannolliset lämmitysenergian kulutukseen, joten myös päästöt ovat 24,4 % pienemmät. 180mm hirrestä valmistetulle rakennukselle luvut ovat 44,2 % pienemmät. Kuva 13 esittää yksikerroksisten vapaa-ajan asuntojen käyttövaiheen tulokset ympärivuotiseen asuinkäytössä olevaan hirsitaloon verrattuna valmistajan toimittamiin energiankulutustietoihin perustuen.



Kuva 13. Vapaa-ajan rakennuksien käyttövaiheen lämmönkulutuksen ja kasvihuonekaasupäästöjen vertailu ympärivuotisessa käytössä olevaan hirsitaloon vuositasolla. Tulokset perustuvat valmistajan toimittamiin energiankulutuslukuihin.

4.4 Allokointivertailu

Yksikerroksisen 200mm hirrestä valmistetun kevytväliseinäisen hirsitalon massa-alkokointiin ja arvoalkokointiin perustuvat tulokset on esitetty alla (Taulukko 13).

Taulukko 13. Hirsitalon valmistuksen massa- ja arvoalkokointiin perustuvien tulosten vertailu yhdellä talomallilla (1-kerroksinen, 200mm hirs, kevyet väliseinät)

	CO ₂ eq. [kg]	NO _x [kg]	SO ₂ [kg]
Massa-alkokointi	2 488	17,9	5,7
Arvo-alkokointi	3 094	21,5	6,7

Arvo-alkokoinnin tulokset ovat suuremmat kuin massa-alkokoinnin, eli arvo-alkokoinnissa taloudellisesti vähemmän arvokkaille sivutuotteille ositetaan vähemmän päästöjä kuin massa-alkokoinnissa.

5 Tulosten tarkastelu

5.1 Asuinkäytössä olevat hirsitalot

Massiivihirsistä rakennetut ympärivuotisessa asuinkäytössä olevat 1- ja 2-kerroksiset hirsitalot valmistetaan 180-270mm paksuisista hirsistä. Hirsitalon puumateriaalien valmistusvaiheen päästöt riippuvat hirsitalon kerrosten lukumäärästä, hirren koosta sekä väliseinien materiaalista (sahatavara vs. hirs). Lasketuilla asuinkäytössä olevilla hirsitalotapauksilla valmistusvaiheen päästöt vaihtelivat n. 2500-6000 kg CO₂ eq. välillä.

Hirsitaloon sitoutuneen hiilen määrä on suoraan verrannollinen talossa käytettyjen puumateriaalien määriin. Laskettujen hirsitalojen hiilisisältö vaihteli n. 28300-67400 kg CO₂ eq. välillä eli oli noin kymmenkertainen puumateriaalien valmistusvaiheen kasvihuonekaasupäästöihin nähden.

Talotehtaiden sivutuotteista valtaosa päättyy energiakäyttöön. Taulukko 14 kuvaa sivutuotteiden sisältämän energian määrän verrattuna hirsitalon käyttövaiheen energiankulutukseen eli kertoo, kuinka kauan hirsitaloa voitaisiin lämmitellä hirsien valmistusprosessin aikana syntyneillä sivutuotteilla ”päästöittä”. Laskelmissa aiemmin sivutuotteille allokoitu päästö puumateriaalien valmistusvaiheesta on huomioitu ja vähennetty hirsitalon lämmitystä korvaavasta ajasta kaukolämmön päästöihin perustuen. Laskelmien mukaan sivutuotteista saatavalla energialla lämmitettäisi hirsitaloa noin kolme vuotta.

Taulukko 14. Talotehtaiden sivutuotteiden sisältämä energia verrattuna hirsitalon käyttövaiheen lämmitysenergiankulutukseen. Tulokset perustuvat valmistajan toimittamiin energiankulutuslukuihin.

Talotyyppi	Sivutuotteiden yhteisenergia [MJ/hirsitalo]	Hirren määrä [m ³ /talo]	Käyttövaiheen energiankulutus [kWh/vuosi]	Aika, jonka hirsitaloa lämmitettäisi sivutuotteilla [vuotta]
1-krs-180mm-hirsi	149 948	37,88	12 731	3
1-krs-200mm-kevyt	73 034	18,45	12 731	1
1-krs-200mm-hirsi	170 769	43,14	12 731	3
1-krs-270mm-kevyt	96 192	24,3	12 731	2
1-krs-270mm-hirsi	191 552	48,39	12 731	4
2-krs-180mm-hirsi	202 636	51,19	19 417	3
2-krs-200mm-kevyt	156 440	39,52	19 417	3
2-krs-200mm-hirsi	230 741	58,29	19 417	4
2-krs-270mm-kevyt	206 080	52,06	19 417	3
2-krs-270mm-hirsi	278 600	70,38	19 417	5

Taloon sitoutuneen hiilen avulla voidaan kompensoida valmistuksesta ja käytöstä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. PAS 2050 -ohjeistuksen mukaan laskettuna hiilijalanjäljestä voidaan vähentää 50 % hirsitalon hiilisisällöstä, kun talon käyttöäksi oletetaan 50 vuotta. Taulukko 15 esittää asuinkäytössä olevien hirsitalojen puumateriaalien valmistuksen ja käyttövaiheen hiilitaseen PAS 2050 -ohjeistuksen huomioiden.

Sama asia on kuvattu myös bruttoneliötä kohden ympärivuotisessa asuinkäytössä olevalle talolle (Taulukko 16). Käyttövaiheen tulokset ympärivuotisessa käytössä olevan talon tapauksessa perustuvat kaukolämmön päästökertoimiin (Taulukko 9). PAS 2050 -ohjeistuksen huomiointi vähentää ympärivuotisessa asuinkäytössä olevan hirsitalon valmistuksen ja käyttövaiheen yhteisestä hiilijalanjäljestä 10-17 % hirsitalotapauksesta riippuen. Jos koko talon hiilisisältö huomioidaan PAS 2050:n ulkopuolella, muutokseksi tulee 21-34 %.

Taulukko 17 kuvaa asuinrakennuksena olevien hirsitalojen lämmityksen tuotantomuodon merkitystä hiilijalanjälkeen. Taulukossa on esitetty eri lämmöntuotantomuodoilla aiheutetut vuosittaiset päästöt, jotka talon sisältämän hiilen avulla voidaan kompensoida tietyn käyttöajan verran. Taulukkoon on siis laskettu se aika, jonka kuluessa hirsitalon valmistuksesta ja sitä käytettäessä kulutetun

lämmitysenergian tuotannosta vapautuvien kasvihuonekaasupäästöjen määrä ylittää taloon sitoutuneen hiilen kokonaismäärän. Eri lämmitysmuodoilla ajaksi tulee hyvin erilaisia tuloksia. Kaukolämmöllä ”päästötöntä” asumisaikaa on keskimäärin 13 vuotta, sähkölämmityksellä 6 vuotta, ja yhdistetyllä sähkö- ja takkalämmityksellä n.11 vuotta. Biokattilalla tuotetun lämmön tapauksessa talossa voidaan asua yli 300 vuotta, ennen kuin ilmakehään vapautuneiden fossiilisten kasvihuonekaasujen määrä ylittää talossa sitoutuneena olevan hiilen määrän. Tarkastelussa ei ole huomioitu talon käyttöikää eikä PAS 2050:n painokerrointa. Kuva 14 esittää saman asian 200mm hirrestä ja kevyillä väliseinillä rakennetuille 1- ja 2-kerroksisille taloille.

Taulukko 15. Asuinkäytössä olevan hirsitalon puumateriaalien valmistuksen ja hirsitalon käytön hiilijalanjälki kaukolämpöä käytettäessä. Taulukko tarkastelee muutosta PAS2050-ohjeistuksen avulla ja sen ulkopuolella. Vihreällä fontilla kuvattu sarake kuvaa kokonaishiilijalanjäljen PAS2050:n mukaan laskettuna. Käyttövaiheen tulokset perustuvat valmistajan toimittamiin energiankulutuslukuihin.

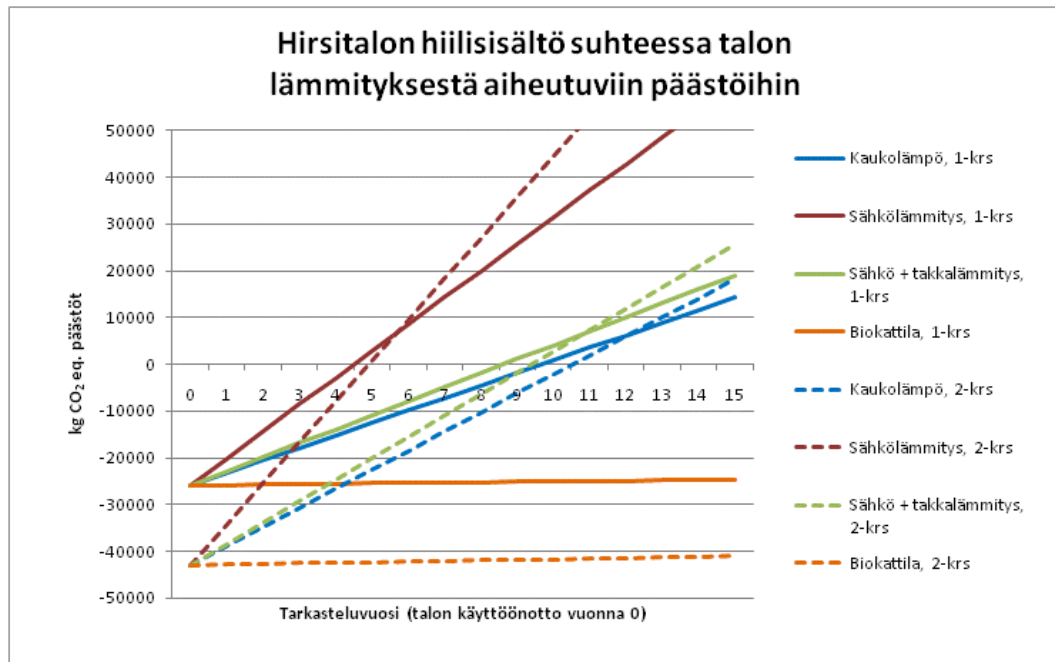
Talo- tyyppi	Hirren koko [mm]	Väliseinät	Valmis- tuksen päästöt [kg CO ₂ eq.]	Käyttövaiheen päästöt 50v. aikana [kg CO ₂ eq.]	Valmistuksen ja käyttövaiheen päästöt yhteensä 50v. aikana [kg CO ₂ eq.]	Taloon sitoutunut hiili [kg CO ₂ eq.]	Hiilinielua vastaavan päästömäärän tuottaminen kaukolämmöllä [kWh lämpöä]	PAS-hyvitys hiilijalan- jäljestä 50v. aikana [kg CO ₂ eq.]	Valmistuksen ja 50v. käytön päästöt yhteensä PAS- hyvityksen jälkeen [kg CO ₂ eq.]	Muutos PAS- hyvityksen myötä [%]	Valmistuksen ja käytön päästöt koko hiilisisällön huomioiden [kg CO ₂ eq.]	Muutos koko hiilisisällön huomioiden [%]
1-krs	180	Hirsi: 180mm	3 452	133 640	137 092	38 311	182 433	-19 156	117 937	-14 %	98 781	-28 %
1-krs	200	Kevyet	2 488	133 640	136 128	28 345	134 976	-14 173	121 956	-10 %	107 783	-21 %
1-krs	200	Hirsi: 200mm	3 804	133 640	137 444	42 264	201 257	-21 132	116 312	-15 %	95 180	-31 %
1-krs	270	Kevyet	2 888	133 640	136 528	32 742	155 914	-16 371	120 157	-12 %	103 786	-24 %
1-krs	270	Hirsi: 200mm	4 155	133 640	137 795	46 211	220 052	-23 106	114 690	-17 %	91 584	-34 %
2-krs	180	Hirsi: 180mm	4 605	203 825	208 430	51 986	247 552	-25 993	182 437	-12 %	156 444	-25 %
2-krs	200	Kevyet	4 116	203 825	207 941	47 030	223 952	-23 515	184 426	-11 %	160 911	-23 %
2-krs	200	Hirsi: 200mm	5 101	203 825	208 926	57 616	274 362	-28 808	180 118	-14 %	151 310	-28 %
2-krs	270	Kevyet	4 997	203 825	208 822	57 193	272 348	-28 597	180 226	-14 %	151 629	-27 %
2-krs	270	Hirsi: 200mm	5 962	203 825	209 787	67 433	321 110	-33 717	176 071	-16 %	142 354	-32 %

Taulukko 16. Asuinkäytössä olevan hirsitalon puumateriaalien valmistuksen ja käytön hiilijalanjälki kaukolämpöä käytettäessä bruttoneliötä kohti. Taulukko tarkastelee muutosta PAS2050-ohjeistuksen avulla ja sen ulkopuolella. Vihreällä fontilla kuvattu sarake kuvaa kokonaishiilijalanjäljen bruttoneliötä kohti PAS2050:n mukaan laskettuna. Käyttövaiheen tulokset perustuvat valmistajan toimittamiin energiankulutuslukuihin.

Talo- tyyppi	Hirren koko [mm]	Väliseinät	Valmis- tuksen päästöt [kg CO ₂ eq.]	Käyttövaiheen päästöt 50v. aikana [kg CO ₂ eq.]	Valmistuksen ja käyttövaiheen päästöt yhteensä 50v. aikana [kg CO ₂ eq.]	Taloon sitoutunut hiili [kg CO ₂ eq.]	Hiilinielua vastaavan päästömäärän tuottaminen kaukolämmöllä [kWh lämpöä]	PAS-hyvitys hiilijalan- jäljestä 50v. aikana [kg CO ₂ eq.]	Valmistuksen ja 50v. käytön päästöt yhteensä PAS- hyvityksen jälkeen [kg CO ₂ eq.]	Muutos PAS- hyvityksen myötä [%]	Valmistuksen ja käytön päästöt koko hiilisisällön huomioiden [kg CO ₂ eq.]	Muutos koko hiilisisällön huomioiden [%]
1-krs	180	Hirsi: 180mm	21	820	841	235	1 119	-118	724	-14 %	606	-28 %
1-krs	200	Kevyet	15	820	835	174	828	-87	748	-10 %	661	-21 %
1-krs	200	Hirsi: 200mm	23	820	843	259	1 235	-130	714	-15 %	584	-31 %
1-krs	270	Kevyet	18	820	838	201	957	-100	737	-12 %	637	-24 %
1-krs	270	Hirsi: 200mm	25	820	845	284	1 350	-142	704	-17 %	562	-34 %
2-krs	180	Hirsi: 180mm	23	1 004	1 027	256	1 219	-128	899	-12 %	771	-25 %
2-krs	200	Kevyet	20	1 004	1 024	232	1 103	-116	909	-11 %	793	-23 %
2-krs	200	Hirsi: 200mm	25	1 004	1 029	284	1 352	-142	887	-14 %	745	-28 %
2-krs	270	Kevyet	25	1 004	1 029	282	1 342	-141	888	-14 %	747	-27 %
2-krs	270	Hirsi: 200mm	29	1 004	1 033	332	1 582	-166	867	-16 %	701	-32 %

Taulukko 17. Asuinrakennuksena olevien hirsitalojen puumateriaalien valmistuksen ja käyttövaiheen hiilijalanjälkivertailua eri lämmitysvaihtoehtoilla. Vihreällä fontilla kuvatut sarakkeet kuvaavat kullekin lämmitystavalle laskettua aikaa, joka talossa voidaan asua ennen kuin talon valmistuksen ja lämmityksen aiheuttamien fossiilisten kasvihuonekaasupäästöjen määrä ylittää taloon sitoutuneen hiilen määrän. Taulukossa ei huomioida talon käyttöikää eikä PAS 2050 ohjeistusta vaan tarkastellaan talon koko hiilisisältöä. Käyttövaiheen tulokset perustuvat valmistajan toimittamiin energiankulutuslukuihin.

Talo- tyyppi	Hirren koko [mm]	Väliseinät	Valmistuksen päästöt [kg CO ₂ eq.]	Taloon sitoutunut hiili [kg CO ₂ eq.]	Käyttö- vaiheen päästöt per vuosi kauko- lämmöllä [kg CO ₂ eq.]	Käyttöaika kauko- lämmöllä "ilman päästöjä" [vuosina]	Käyttö- vaiheen päästöt per vuosi sähköllä [kg CO ₂ eq.]	Käyttöaika sähkö- lämmityk- sellä "ilman päästöjä" [vuosina]	Käyttö- vaiheen päästöt per vuosi sähköllä ja takalla [kg CO ₂ eq.]	Käyttöaika sähkö- ja takka- lämmityksellä "ilman päästöjä" [vuosina]	Käyttö- vaiheen päästöt per vuosi bio- kattilalla [kg CO ₂ eq.]	Käyttöaika biokattilalla "ilman päästöjä" [vuosina]
1-krs	180	Hirsi: 180mm	3 452	38 311	2 673	13	5 729	6	2 998	12	82	424
1-krs	200	Kevyet	2 488	28 345	2 673	10	5 729	5	2 998	9	82	314
1-krs	200	Hirsi: 200mm	3 804	42 264	2 673	14	5 729	7	2 998	13	82	467
1-krs	270	Kevyet	2 888	32 742	2 673	11	5 729	5	2 998	10	82	363
1-krs	270	Hirsi: 200mm	4 155	46 211	2 673	16	5 729	7	2 998	14	82	511
2-krs	180	Hirsi: 180mm	4 605	51 986	4 077	12	8 738	5	4 572	10	126	377
2-krs	200	Kevyet	4 116	47 030	4 077	11	8 738	5	4 572	9	126	342
2-krs	200	Hirsi: 200mm	5 101	57 616	4 077	13	8 738	6	4 572	11	126	418
2-krs	270	Kevyet	4 997	57 193	4 077	13	8 738	6	4 572	11	126	416
2-krs	270	Hirsi: 200mm	5 962	67 433	4 077	15	8 738	7	4 572	13	126	489



Kuva 14. Hirsitalon sisältämän hiilimäärän vertailua käyttövaiheen lämmitysenergian eri tuotantomuotojen aiheuttamiin päästöihin 200mm hirrestä ja kevyillä väliseinillä rakennetuille yksi- ja kaksikerroksisille hirsitaloille. X-akseli kuvaa käytön tarkasteluvuosien lukumäärää, kun talon asennus tapahtuu vuonna 0. Y-akseli kuvaa hiilidioksidipäästöjä hirsitalosta johtuen, eli hetki 0 kuvaa talon valmistuksen päästöjen ja hiilinielun summaa ja joka vuonna lämmitysenergiasta tulee päästöjä tietty määrä lisää. Käyrän ja X-akselin leikkauspiste kertoo, milloin hirsitalon puumateriaalien valmistuksen ja käytön lämmitysenergian tuotannosta vapautuu sama määrä hiilidioksidia kuin hirsitaloon on sitoutunut.

5.2 Vapaa-ajan käytössä olevat hirsitalot

130mm hirsistä valmistetut talot ovat vapaa-ajan käytössä olevia rakennuksia. Laskelmien mukaan 130mm hirrestä valmistettujen talojen puumateriaalien valmistuksen aikana vapautuneiden kasvihuonekaasujen määrä oli yksi-kerroksiselle hirsitalolle n. 2700 kg CO₂ eq. ja kaksikerroksiselle talolle n. 3700 kg CO₂ eq. Valmistusvaiheen aikana vapautuneet päästöt ovat noin kymmenesosa siitä hiilimäärästä, joka on sitoutuneena hirsitalon puumateriaaleihin.

Vapaa-ajan käytössä olevien rakennuksien energiankulutus vaihtelee käyttöasteen ja hirren paksuuden mukaan. Tässä työssä tarkasteltu tapaus perustui valmistajan antamiin tietoihin, joiden mukaan käyttövaiheen energiankulutus oli 130mm hirrestä valmistetulle vapaa-ajan rakennukselle n.25 % pienempi kuin vertailukohtana olevan ympärivuotisessa käytössä olevan talon energiankulutus. Koska käyttövaiheen aikana vapautuneet kasvihuonekaasupäästöt ovat suoraan verrannollisia käyttövaiheen energiankulutukseen, myös päästöt pienenevät vertailutapaukseen nähden n.25 %.

180mm hirrestä valmistetun vapaa-ajan asunnon energiankulutus oli valmistajan mukaan n.44% pienempi kuin vertailutalon. Täten myös päästöt pienenevät vertailutapaukseen nähden n.44 %.

Taulukko 18 kuvaa vapaa-ajan käytössä olevien hirsitalojen puumateriaalien valmistuksen ja käyttövaiheen hiilitaseen PAS 2050 -ohjeistuksen huomioiden. Sama asia on kuvattu myös bruttoneliötä kohden (Taulukko 19). Käyttövaiheen tulokset vapaa-ajan käytössä olevien hirsitalojen tapauksissa perustuvat yhdistetyn sähkö- ja takkalämmityksen päästökertoimiin (Taulukko 9). PAS 2050 -ohjeistuksen huomiointi vähentää vapaa-ajan käytössä olevien hirsitalojen valmistuksen ja käyttövaiheen yhteisestä hiilijalanjäljestä 13-22 %. Jos koko talon hiilisisältö huomioidaan PAS 2050:n ulkopuolella, muutokseksi tulee 25-44 %.

Taulukko 20 kuvaa vapaa-ajan asunnon hiilisisällön suhdetta vuosittaisiin lämmitysenergian tuotannosta johtuviin päästöihin. Taulukkoon on siis laskettu se aika, jonka kuluessa hirsitalon valmistuksesta ja sitä käytettäessä kulutetun lämmitysenergian tuotannosta vapautuvien kasvihuonekaasupäästöjen määrä ylittää taloon sitoutuneen hiilen kokonaismäärän. Sähkö- ja takkalämmityksen yhdistelmäkäytöllä ja vähemmästä rakennuksen asutuksesta johtuvilla pienennetyillä energiankulutuksilla talon hiilisisältöä vastaava päästö määrä aiheutuu 12 vuoden kuluessa 130mm hirsistä rakennetun talon tapauksessa ja vasta 21 vuoden kuluessa 180mm hirsistä rakennetun talon kohdalla. Tarkastelussa ei ole huomioitu talon käyttöikää eikä PAS 2050:n painokerrointa.

Taulukko 18. Vapaa-ajan käytössä olevan hirsitalon puumateriaalien valmistuksen ja hirsitalon käytön hiilijalanjälki yhdistettyä sähkö- ja takkalämmitystä käytettäessä. Vertailuna ympärivuotisessa käytössä oleva 180mm hirrestä rakennettu talo sähkö + takkalämmityksellä. Taulukko tarkastelee muutosta PAS2050-ohjeistuksen avulla ja sen ulkopuolella. Vihreällä fontilla kuvattu sarake kuvaa kokonaishiilijalanjäljen PAS2050:n mukaan laskettuna. Käyttövaiheen tulokset perustuvat valmistajan toimittamiin energiankulutuslukuihin.

Talo- tyyppi	Hirren koko [mm]	Väliseinät	Valmistuksen päästöt [kg CO ₂ eq.]	Käyttövaiheen päästöt 50v. aikana [kg CO ₂ eq.]	Valmistuksen ja käyttövaiheen päästöt yhteensä 50v. aikana [kg CO ₂ eq.]	Taloon sitoutunut hiili [kg CO ₂ eq.]	PAS-hyvitys hiilijalan- jäljestä 50v. aikana [kg CO ₂ eq.]	Valmistuksen ja 50v. käytön päästöt yhteensä PAS- hyvityksen jälkeen [kg CO ₂ eq.]	Muutos PAS- hyvityksen myötä [%]	Valmistuksen ja käytön päästöt koko hiilisisällön huomioiden [kg CO ₂ eq.]	Muutos koko hiilisisällön huomioiden [%]
Ympäri- vuotinen	180	Hirsi: 180mm	3 452	149 900	153 352	38 311	-19 156	134 196	-13 %	115 041	-25 %
Vapaa- ajan talo	130	Hirsi: 130mm	2 748	113 400	116 148	30 403	-15 202	100 946	-13 %	85 745	-26 %
Vapaa- ajan talo	180	Hirsi: 180mm	3 452	83 600	87 052	38 311	-19 156	67 896	-22 %	48 741	-44 %

Taulukko 19. Vapaa-ajan käytössä olevan hirsitalon puumateriaalien valmistuksen ja hirsitalon käytön hiilijalanjälki yhdistettyä sähkö- ja takkalämmitystä käytettäessä bruttoneliötä kohti. Vertailuna ympärivuotisessa käytössä oleva 180mm hirrestä rakennettu talo sähkö + takkalämmityksellä. Taulukko tarkastelee muutosta PAS2050-ohjeistuksen avulla ja sen ulkopuolella. Vihreällä fontilla kuvattu sarake kuvaa kokonaishiilijalanjäljen bruttoneliötä kohti PAS2050:n mukaan laskettuna. Käyttövaiheen tulokset perustuvat valmistajan toimittamiin energiankulutuslukuihin.

Talo- tyyppi	Hirren koko [mm]	Väliseinät	Valmistuksen päästöt [kg CO ₂ eq.]	Käyttövaiheen päästöt 50v. aikana [kg CO ₂ eq.]	Valmistuksen ja käyttövaiheen päästöt yhteensä 50v. aikana [kg CO ₂ eq.]	Taloon sitoutunut hiili [kg CO ₂ eq.]	PAS-hyvitys hiilijalan- jäljestä 50v. aikana [kg CO ₂ eq.]	Valmistuksen ja 50v. käytön päästöt yhteensä PAS- hyvityksen jälkeen [kg CO ₂ eq.]	Muutos PAS- hyvityksen myötä [%]	Valmistuksen ja käytön päästöt koko hiilisisällön huomioiden [kg CO ₂ eq.]	Muutos koko hiilisisällön huomioiden [%]
Ympäri- vuotinen	180	Hirsi: 180mm	21	925	947	236	-118	828	-13 %	710	-25 %
Vapaa- ajan talo	130	Hirsi: 130mm	17	700	717	188	-94	623	-13 %	529	-26 %
Vapaa- ajan talo	180	Hirsi: 180mm	21	516	537	236	-118	419	-22 %	301	-44 %

Taulukko 20. Vapaa-ajan rakennuksena olevien hirsitalojen puumateriaalien valmistuksen ja käyttövaiheen hiilijalanjälkivertailu yhdistettyä sähkö- ja takkalämmitystä käytettäessä. Vertailuna ympärivuotisessa käytössä oleva 180mm hirrestä rakennettu talo sähkö + takkalämmityksellä. Vihreällä fontilla kuvattu sarake kuvaa aikaa, joka taloa voidaan käyttää ennen kuin talon valmistuksen ja lämmityksen aiheuttamien fossiilisten kasvihuonekaasupäästöjen määrä ylittää taloon sitoutuneen hiilen määrän. Taulukossa ei huomioida talon käyttöikää eikä PAS 2050 ohjeistusta vaan tarkastellaan talon koko hiilisisältöä. Käyttövaiheen tulokset perustuvat valmistajan toimittamiin energiankulutuslukuihin.

Talotyyppi	Hirren koko [mm]	Väliseinät	Valmistuksen päästöt [kg CO ₂ eq.]	Taloon sitoutunut hiili [kg CO ₂ eq.]	Käyttövaiheen päästöt per vuosi sähköllä ja takalla [kg CO ₂ eq.]	Käyttöaika sähkö- ja takkalämmityksellä "ilman päästöjä" [vuosina]
Ympärivuotinen	180	Hirsi: 180mm	3 452	38 311	2 998	12
Vapaa-ajan talo	130	Hirsi: 130mm	2 748	30 403	2 268	12
Vapaa-ajan talo	180	Hirsi: 180mm	3 452	38 311	1 672	21

6 Hirren U-arvotarkastelu

Tämän työn lopuksi mallinnettiin hirsitalon seinäneliön hiilinielua verrattuna hirren U-arvoon eli seinän hiilinielun avulla hyvitetiin hirren U-arvoa. Taulukko 21 kuvaa U-arvon kompensointia hirsiseinän hiilinielun perusteella. Laskelma huomioi hirsiseinäneliön hiilimäärän PAS 2050-ohjeistuksen mukaisesti. PAS2050:n ohjeiden mukaan taloon sisältyneestä hiilestä voidaan huomioda vain oletetun käyttöiän mukainen osuus, eli 100 vuoden käyttöikä on PAS2050:n mukaan se aika, jolloin koko hiilimäärä voidaan laskelmissa hyvittää. Taulukossa on kuvattu seinäneliömetrin hiilisisältöä vastaavan hiilidioksidiekvivalenttipäästön tuottaminen kaukolämmöllä, eli se määrä lämpöä, joka voidaan tuottaa ennen kuin energiantuotannon päästöt ylittävät seinään sisältyneen hiilen määrän. Tämä ”päästötön” energiamäärä on jaettu tarkasteltavalle aikajaksolle ja kuvattu se osuus, jonka ”päästötön” energia kattaa koko energiankulutuksesta. Tällä prosenttiosuudella on kompensoitu hirren U-arvoa. Tällöin U-arvon muutos pysyy vakiona (5-17 %) hirren paksuudesta riippuen mutta tarkastelun aikajänteestä riippumatta.

Taulukko 22 ei ota kantaa talon käyttöikään, vaan jakaa hirsiseinäneliön kokonaishiilisisällön tiettyjen aikajänteiden energiankulutukselle. Laskenta ei noudata PAS 2050 ohjeistusta, mutta auttaa hahmottamaan hirsitaloon sisältyvän hiilen merkitysvyyttä käyttövaiheen energiatalouden kannalta. U-arvon voidaan mallintaa ”pienenevän” 50v aikajänteellä 9-37 % hirren paksuudesta riippuen.

Taulukko 21. U-arvon hyvitys hirsiseinäneliön PAS 2050 ohjeistuksen mukaisen hiilisisällön huomioiden.

Hirren koko	U-Arvo	Hiilisisältö	PAS-hyvitys hiilisisällöstä			Lämmönhukka seinän läpi				Hiilinielua vastaava päästö kaukolämmöllä tuotettuna			Hiilinielua vastaavan päästömäärän tuottaminen kaukolämmöllä						Kompensoitu U-arvo		
			30v	50v	100v	1v	30v	50v	100v	30v	50v	100v	30v	50v	100v	30v	50v	100v	30v	50v	100v
[mm]	[W/m ² K]	[kg CO ₂ /m ²]	[kg CO ₂ /m ²]	[kg CO ₂ /m ²]	[kg CO ₂ /m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh lämpöä]	[kWh lämpöä]	[kWh lämpöä]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	%	%	%	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]
130	0,79	97,7	29,3	48,9	97,7	102,5	3074	5124	10248	140	233	465	5	5	5	4,5	4,5	4,5	0,75	0,75	0,75
180	0,60	135,3	40,6	67,7	135,3	79,5	2384	3973	7947	193	322	644	6	6	6	8,1	8,1	8,1	0,55	0,55	0,55
205	0,53	154,1	46,2	77,0	154,1	70,7	2120	3533	7065	220	367	734	7	7	7	10,4	10,4	10,4	0,47	0,47	0,47
270	0,40	203,0	60,9	101,5	203,0	53,0	1590	2651	5301	290	483	966	10	10	10	18,2	18,2	18,2	0,33	0,33	0,33

Taulukko 22. U-arvon hyvitys hirsiseinäneliön hiilisisällön huomioiden. TAULUKOSSA EI NOUDATETA PAS 2050 -OHJEISTUSTA!

Hirren koko	U-Arvo	Hiilisisältö	Energiankulutus				Hiilinielua vastaava päästö kaukolämmöllä tuotettuna	Hiilinielua vastaavan päästömäärän tuottaminen kaukolämmöllä						Kompensoitu U-arvo		
			1v	30v	50v	100v		30v	50v	100v	30v	50v	100v	30v	50v	100v
[mm]	[W/m ² K]	kg CO ₂ /m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	[kWh lämpöä]	kWh/a	kWh/a	kWh/a	%	%	%	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]
130	0,79	97,7	102,5	3074,3	5123,9	10247,7	465	16	9	5	15,1	9,1	4,5	0,67	0,72	0,75
180	0,60	135,3	79,5	2384,0	3973,3	7946,6	644	21	13	6	27,0	16,2	8,1	0,44	0,50	0,55
205	0,53	154,1	70,7	2119,6	3532,6	7065,2	734	24	15	7	34,6	20,8	10,4	0,35	0,42	0,47
270	0,40	203,0	53,0	1590,4	2650,7	5301,3	966	32	19	10	60,8	36,5	18,2	0,16	0,25	0,33

7 Johtopäätökset

Hirsitalojen eko- ja energiatehokkuuden kehittämisessä on tärkeää ottaa huomioon, että vuoden 2012 määräysten lähestymistapa tulee perustumaan kokonaisenergiatarkasteluun. Tällöin yksittäisten rakennusosien merkitys vähenee. Kokonaisenergiatarkastelu ei velvoita U-arvovaatimusten täyttämiseen vaan koko rakennuksen energiantarvevaatimuksen täyttämiseen, ja näin ollen pääperiaatteena tulee aina olla talon käsittely kokonaisuutena.

Elinkaariarvioinnin perusteella voidaan osoittaa, että puu on ympäristövaikutuksiltaan hyvin edullinen materiaali erityisesti kasvihuonekaasupäästöjen perusteella tarkasteltuna. Tehtyjen laskelmien pohjalta hirsitalon puumateriaalien valmistusvaiheessa syntyneisiin kasvihuonekaasupäästöihin verrattuna hirsitaloon sitoutuu noin kymmenkertainen määrä hiiltä CO₂:na laskettuna. Luvun suuruutta voidaan konkretisoida myös vertaamalla sitä esimerkiksi talon lämmityksen aiheuttamiin vuosittaisiin kasvihuonepäästöihin. Suhdeluku vaihtelee lämmitystavan mukaan, mutta esimerkiksi keskimääräisen kaukolämmön perusteella laskettuna se on suuruusluokkaa 10 - 20.

Hirsitalon puumateriaalien valmistuksessa syntyvien sivutuotteiden osuus päästöistä laskettiin massa-allokoinnin avulla tuloksista ulos. Sivutuotteet käytetään kuitenkin tyypillisesti energiantuotantoon. Syntyneiden sivutuotteiden energiasisällöllä voitaisiin lämmittää hirsitaloa käyttövaiheessa noin kolme vuotta.

Puu on uusiutuva materiaali, mutta uusiutuvuuden kuvaamiseen ei ole toistaiseksi olemassa yksiselitteistä indikaattoria. Tällä hetkellä uusiutuvuuden hyöty huomioidaan elinkaarilaskelmissa siten, että uusiutuvista polttoaineista aiheutuvat hiilidioksidipäästöt jätetään laskelmista huomiotta. Uusien indikaattorien kehittäminen on kuitenkin tärkeää, jotta puun uusiutuvuus ja erinomaisuus materiaalina etenkin pitkäikäisten tuotteiden käytössä saataisiin mahdollisimman tehokkaasti esiin tulevaisuudessa.