

Matti Alasaarela

# **HIRSISEINÄN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN LASKENTA ELINKAARITARKASTELUN AVULLA**

## Sisällysluettelo

ALKUSANAT.....	2
1 JOHDANTO .....	3
1.1 Tutkimuksen tausta .....	3
1.2 Tutkimusmenetelmä.....	4
2 TUTKIMUKSEN TAVOITE JA RAJAUS.....	4
2.1 Tavoite.....	4
2.2 Toiminnallinen yksikkö.....	5
2.3 Rajaus .....	5
2.4 Allokointi.....	11
2.5 Tietojen luotettavuus ja sovellettavuus .....	16
3 INVENTAARIOANALYYSI.....	17
3.1 Tietojen kerääminen .....	18
3.1.1 Puun hankinta .....	18
3.1.2 Hirsien valmistus tehtaalla .....	19
3.1.3 Kuljetus .....	24
3.1.4 Asennus.....	26
3.1.5 Kunnossapito .....	27
3.1.6 Seinän purku ja kierrätys, jätteiden hävitys.....	28
3.2 Tietojen laskeminen.....	29
3.2.1 Puun hankinta .....	30
3.2.2 Hirsien valmistus tehtaalla .....	31
3.2.3 Kuljetus .....	37
3.2.4 Asennus.....	38
3.2.5 Kunnossapito .....	39
3.2.6 Rakennuksen purku ja jätteiden kierrätys/hävitys.....	39
3.2.7 Käyttö.....	40
4 VAIKUTUSTEN ARVIOINTIA .....	41
4.1 Ilmaston lämpenemispotentiaali.....	42
4.2 Maaperän happamoitumispotentiaali.....	43
4.3 Energiankulutus .....	44
5 TULOSTEN TARKASTELUA .....	47
6 TUOTANTOKETJUN KRIITTINEN TARKASTELU .....	49
7 LOPUKSI.....	51
8 VIITTEET.....	52

## ALKUSANAT

Tämä tutkimus tehtiin Hirsitaloteollisuus Ry:n toimeksiannosta. Tutkimuksen taustalla on huoli hirsitaloteollisuuden toimintamahdollisuuksien säilymisestä rakennuksille asetettujen lämmöneristysvaatimusten tiukentuessa.

Tutkimuksella on tarkoitus lisätä tietoa hirsirakentamisen ympäristövaikutuksista, lähtien puunhankinnasta aina rakennuksen purkamiseen asti.

Tutkimustuloksia voidaan harkitusti käyttää vertailussa muilla materiaaleilla toteutettuihin rakenteisiin. Vertailussa tulee kuitenkin huomioida, että tutkimuksen rajaukset ovat yhtäläiset ja tutkimukset ovat muiltakin osiltaan vertailukelpoiset.

Tarkastelussa keskityttiin seinärakenteeseen, koska yleensä hirsitalon ala- ja yläpohja, samoin kuin ovet ja ikkunat, eivät poikkea muilla rakentamistavoilla tehdyistä rakennuksista.

Hirsitalon tunnusomaisin piirre on massiivinen umpipuinen seinä. Tämä rakentamistapa on vanha ja perinteinen tapa tehdä hirsirakennus. Lisäeristeet ovat tulleet mukaan myöhemmin, ja niiden vaikutus seinän rakentamisen ympäristövaikutuksiin lähentää ne runkorakenteista seinää vastaaviksi. Lisäeristetyssä hirsiseinässä hirren merkitys tulee kyseenalaiseksi.

Hirsitaloteollisuus Ry:ssä on 21 jäsenyritystä. Nämä yritykset valmistavat yli 80% kaikista Suomessa tehtävistä hirsitaloista. Lisäksi on lukuisia pieniä veistämöitä, jotka rakentavat muutamia taloja vuodessa lähes käsityönä. Hirsitaloteollisuudella on huomattava työllistävä merkitys Suomessa. Ala työllistää suoraan n. 2000 työntekijää ja välillisesti n. 14000 työntekijää. Lisäksi työpaikat sijaitsevat ympäri Suomea, alueilla joissa niiden työllistävä merkitys on erittäin suuri.

Suurimmat hirsitalotehtaat vievät hirsirakennuksia lähes joka puolelle maapalloa. Viennin osuus on kasvava, mutta ei riitä korvaamaan, jos kotimaan myynti vähenee rakentamismääräysten tiukentamisen myötä.

Tämän tutkimuksen tuotantoa koskevat lähtötiedot hankittiin Suomen suurimpiin kuuluvalta hirsitalotehtaalta Kontiotuote Oy:ltä Pudasjärveltä. Suurimmat hirsitalovalmistajat käyttävät pitkälti samaa tekniikkaa tuotannossaan. Päästöihin vaikuttavia eroja on lähinnä prosessijätteenä tulevan purun, hakkeen ja höylälastun jatkokäsittelyssä. Osa jätteestä toimitetaan massatehtaille sellun raaka-aineeksi ja osa energijätteenä poltettavaksi joko omassa lämpökeskuksessa tai lähialueen kaukolämpökeskuksessa.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Osana Euroopan Unionia, Suomi on sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasujen päästöjä 20% vuoteen 2020 mennessä. Koska rakennusten lämmittämiseen käytetyn energian päästöt ovat 30% kokonaispäästöistä, on ympäristöministeriö tiukentamassa rakentamismääräyksiä matalaenergiarakentamisen suuntaan. Ympäristöministeriö on esittänyt 30-40%:n tiukennuksia rakennusten energiatehokkuudelle vuodesta 2010 alkaen. Pidemmällä aikavälillä energiatehokkuutta on tarkoitus tiukentaa vielä tästäkin n. 30%.

Metsätilastollisen vuosikirjan 2007 mukaan 87% Suomen maapinta-alasta luokitellaan metsämaaksi. Puuston määrä on lisääntynyt miltei puolella (48%) 1960 luvun jälkeen ja poistuma on 1970 luvulta saakka ollut jatkuvasti kasvua pienempi. Nykyisellä metsien käyttöasteella puu on yli 100%:sesti uusiutuva luonnonvara, eikä metsien määrä vähene.

Ilman lisäeristystä rakennettavan massiivihirsiseinän lämmöneristyskyky on rajallinen. Tiukentuvien lämmöneristysvaatimusten täyttäminen hirsiseinän paksuutta kasvattamalla ei ole järkevää.

Vuoden 2010 alussa voimaan tulevassa Ympäristöministeriön asetuksessa C3 "Rakennusten lämmöneristys", hirsiseinän U-arvolle on asetettu vertailuarvoksi 0,4 W/(m<sup>2</sup>K) ja seinän lämmönläpäisykertoimen ehdottomaksi ylärajaksi 0,6 W/(m<sup>2</sup>K). Nämä määräykset mahdollistavat vielä talojen rakentamisen vähintään 180 mm:n vahvaisilla hirsiseinillä.

Toistaiseksi seinän huonompi lämmöneristyskyky on mahdollista kompensoida muiden rakenteiden paremmalla eristyskyvyllä, kuten lämmön talteenottoa tehostamalla ja rakennuksen vaipan tiiveyttä parantamalla. Jos seinien lämmönläpäisykertoimelle asetettua ehdotonta ylärajaa kiristetään hirsiseinien osalta, johtaa se käytännössä lisäeristämättömien massiivihirsitalojen rakentamisen loppumiseen.

Puutuoteteollisuus tuottaa sivutuotteena energiajätettä yleensä reilusti enemmän kuin se käyttää energiaa tuotantoonsa. Niin myös hirsitaloteollisuus. Puujäte on kokonaan uusiutuvaa energiaa. Ympäristörasitteiksi laskettavia päästöjä syntyy vain energiajätteen korjuun, käsittelyn ja kuljetuksen aiheuttamista päästöistä.

Puun käyttö rakentamisessa vaikuttaa ilmakehän hiilidioksidin määrään kahta eri kautta. Rakenteisiin pitkäaikaisesti sitoutuva puu muodostaa hiilen varaston ja määrän lisääntyessä muodostuu hiilinielu. Toisaalta puisten rakennus-

osien tuotannossa syntyvällä energijätteellä korvataan fossiilisten polttoainneiden käyttöä. Hiilinielun syntymisen edellytyksenä on kuitenkin että raaka-puu on hankittu kestävän kehityksen periaatteilla hoidetuista metsistä, joita uudistetaan sitä mukaa kuin vanhaa puustoa kaadetaan. Suomessa metsänuudistusvelvoite täyttyy.

## **1.2 Tutkimusmenetelmä**

Ympäristövaikutusten arviointi perustuu standardoidun elinkaariarvioinnin Life Cycle Assessment, LCA, ISO 14040 menetelmiin. Standardin ohjeet ovat yleisellä tasolla, ja niitä käytettiin tähän tutkimukseen vain soveltuvilta osiltaan.

Tiedonhankinnassa periaatteena oli käyttää mahdollisimman paljon valmista, yleisesti saatavilla olevaa tietoa. Tiedon luotettavuutta arvioitiin ennen sen käyttöönottoa. Ristiriitaisten tietojen ollessa kyseessä valinta tehtiin tietolähteen luotettavuuden ja tiedon tuoreuden perusteella. Jos lähteiden luotettavuuksissa ei ollut eroja, käytettiin uusinta tietoa.

## **2 TUTKIMUKSEN TAVOITE JA RAJAUS**

Kohteeksi valittiin 205 mm:n paksuinen hirsiseinä sillä perusteella, että se täyttää myös vuonna 2010 voimaan tulevat hirsiseinän lämmöneristysvaatimukset. Useimpien Hirsitaloteollisuus Ry:n jäsentehaiden tuotevalikoimassa 205 mm:n seinärakenne esiintyy.

Tutkimus kohdistui lamellihirsiseinän tuotantoketjuun ja käyttöön sen koko elinkaaren ajalla.

205 mm:n lamellihirsi on yleensä muodostettu kolmesta pystyasennossa olevasta mänty- tai kuusilankusta, jotka on liimattu yhteen.

### **2.1 Tavoite**

Tavoitteena oli saada luotettavaa tietoa hirsiseinän valmistuksen ja käytön ympäristövaikutusten arviointia varten.

Päämäärä saavutettiin selvittämällä tutkimuksen kohteena olevan seinän todelliseen tuotantoketjuun ja käyttöön sisältyvä energiankulutus ja ympäristökuormitukset.

Kulutuksesta selvitettiin energian käytön jakautuminen uusiutuviin ja uusiutumattomiin energialähteisiin.

Päästöistä selvitettiin hiilidioksidi- CO<sub>2</sub>, hiilimonoksidi- CO, typenoksidi- NO<sub>x</sub>, typpioksiduuli- N<sub>2</sub>O, rikkidioksidi- SO<sub>2</sub> ja metaani- CH<sub>4</sub> päästöt.

Hirsiseinän ekologisuutta testattiin laskemalla elinkaaren aikaiset päästöt myös lämmitykseen käytetty energia huomioiden. Skenaariotarkastelulla selvitettiin mihin saakka on mahdollista kompensoida hirsiseinän huonompi lämmön-eristyskyky, huomioimalla seinän hiilivarasto ja hiilinielu.

Tavoitteena oli myös selvittää hankinta- ja tuotantoketjusta ne kohdat, joita kehittämällä hirsitalon ekologisuutta voidaan parantaa vielä nykyisestään.

Tutkimuksen tulokset on tarkoitettu Hirsitaloteollisuus Ry:n jäsenyritysten käyttöön.

## **2.2 Toiminnallinen yksikkö**

Toiminnalliseksi yksiköksi valittiin 1 neliometri hirsiseinää. Puuntuotannon tehdasvalmistuksen ja kuljetusten aikaisena laskentayksikkönä käytettiin 1 kiinto-kuutiometriä valmiita hirsii. Päästöjen laskentaa varten arvot kerrottiin seinän paksuudella, jolloin saatiin toiminnalliseksi yksiköksi 1 seinäneliometri.

## **2.3 Rajaus**

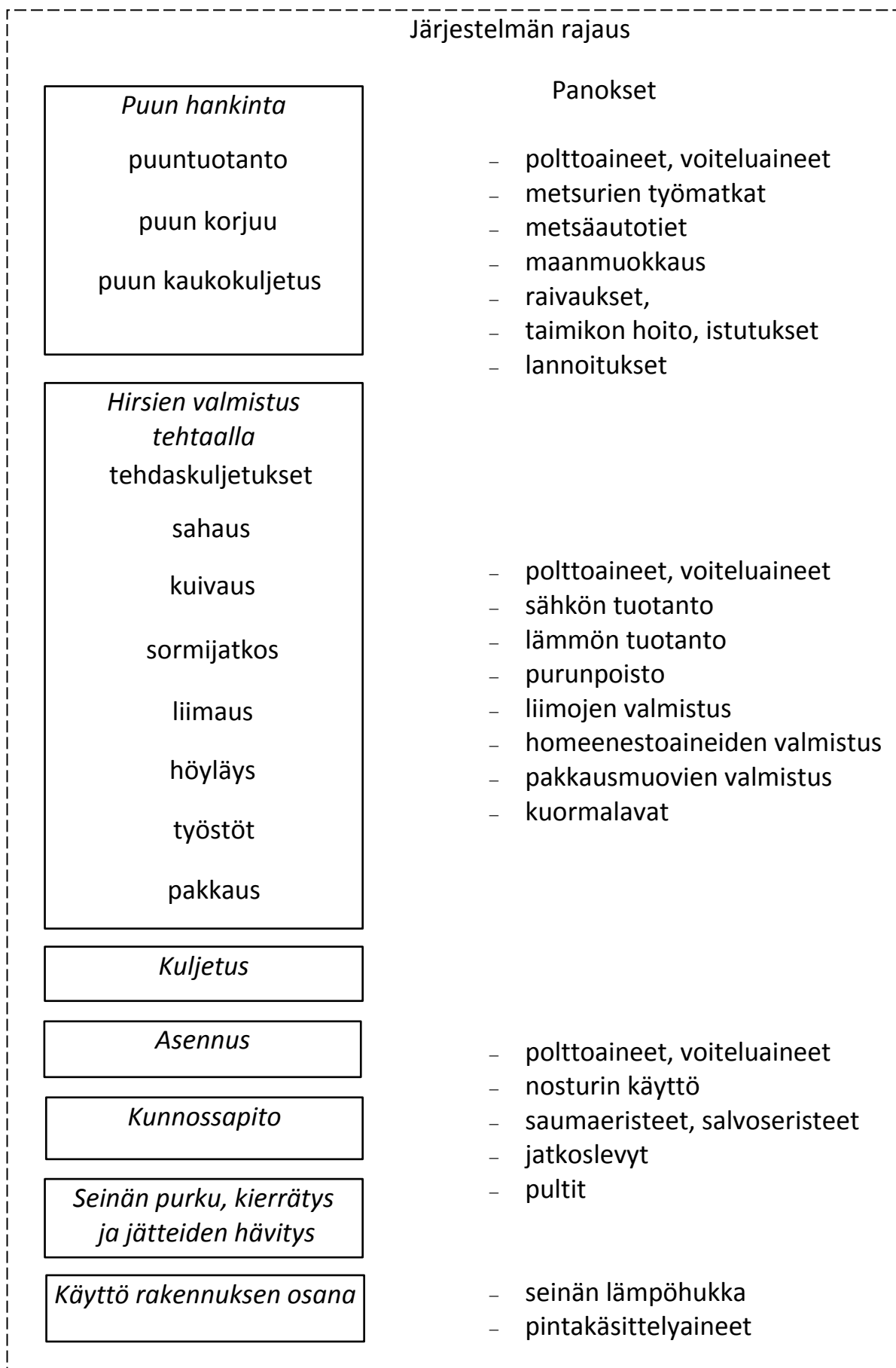
Tutkimuksen ulkopuolelle jätettiin Ihmistyö, koneiden ja laitteiden valmistus, rakennukset ja infrastruktuuri. Ulkopuolelle jätettiin myös käsityövälineiden valmistuksesta aiheutuvat päästöt niiden osuuden vähäisen määrän vuoksi. Yleensä käsityövälineet ovat pitkäikäisiä, joten yhden seinäneliömetrin osalle tulisi merkityksettömän pieni osuus kyseisen työvälineen valmistuksen ympäristörasitteista.

Tuotejärjestelmä on tässä tutkimuksessa jaettu kuuteen pääryhmään:

- *puun hankinta*
- *hirsien valmistus tehtaalla*
- *kuljetus*
- *asennus*
- *kunnossapito*
- *seinän purku ja kierrätys, jätteiden hävitys*

Lisäksi tarkastellaan hirsiseinää rakennuksen osana sen oletetun 50 vuoden käyttöiän aikana.

Järjestelmän tarkempi kuvaus on esitetty luvussa 3. Kuva 1 esittää lamellihirsiseinän elinkaarilaskennassa käytetyt rajaukset .



*Kuva 1 Järjestelmän rajaus*

## **Puun hankinta**

Puunhankinnan päästölaskelmat ja energiankulutus perustuvat Metsätehon raportissa no 124 (Jouko Örn 2001) esitettyyn laskentamenetelmään. Laskennan suoritti Arto Kariniemi Metsäteho Oy:llä. Lähtötietoina oli Metsätehon osakkailta vuosittain kerätty aineisto puuntuotannon, puunkorjuun ja kaukokuljetuksen suoritteista. Tilastotiedoista laskettiin puutavaralajikohtainen poltto- ja voiteluaineiden kulutus sekä päästöt suoriteyksikköä kohden. Laskentaan sisältyivät myös kalustojen siirrot sekä metsureiden ja kuljettajien työmatkat. Ihmistyö rajattiin tämän tutkimuksen ulkopuolelle.

Puuntuotanto sisältää metsänhoidon toimenpiteistä aiheutuvan kulutuksen ja päästöt, alkaen hakkuualueen raivauksesta korjuukypsään puustoon saakka:

- hakkuualueiden raivaus
- maanmuokkaus
- istutus
- taimikon hoito
- lannoitus
- ojitus
- metsäautotiet

Puunkorjuu sisältää puutavaran hakkuun ja metsäkuljetuksen kulutuksen ja päästöt. Hakkuiden koneellistamisaste on Metsätilastollisen vuosikirjan 2007 mukaan 98%. Suurin osa tukeista tulee päätehakkuista.

Puun kaukokuljetuksen poltto- ja voiteluaineiden kulutus sekä päästöt ilmaan laskettiin Metsätehon raportista no 124 saatujen tilastojen perusteella. Kaukokuljetus tehtaalle tapahtuu maantiekuljetuksina. Keskimääräinen ajomatka saatiin Metlan vuositilastoista ja tehtaan omista tilastoista vuodelta 2007 . Kulutus ja päästöt selvitettiin laskentayksikköä (1 kiinto-m<sup>3</sup>) kohden.

## **Hirsien valmistus tehtaalla**

Tehtaalla raakapuu jalostetaan monessa eri työvaiheessa lopulliseksi tuotteeksi, joka tässä tutkimuksessa on lamellihirsi. Poltto- ja voiteluaineiden kulutus, sähkön ja kaukolämmön käyttö huomioitiin jokaisessa työvaiheessa erikseen.

Tuotantoprosessi alkaa sahauksesta. Lähes jokaisessa työvaiheessa syntyy sivutuotteita tai energijätettä. Kulutus ja päästöt allokoitiin tuotannossa syn-



tyville tuotteille. Allokointia on tarkasteltu perusteellisemmin seuraavassa luvussa 2.4.

Laskelmien lähtökohtana oli tehtaan vuoden 2007 energiankulutus. Kulutus-tiedot saatiin jokaisesta työstövaiheesta erikseen. Vuoden kokonaiskulutus ja-ettiin vuosituotannolla ja allokoitiin eri tuotteille kuten jäljempänä esitetään. Joidenkin työvaiheiden kulutus laskettiin laitteiden ottaman sähkötehon ja työsuoritteen avulla.

Puun lisäksi tuotannossa käytetään muita materiaaleja vähäisessä määrin. Liimoja kuluu sormijatkoksiin ja hirsiaihioiden liimaukseen. Hirret suojataan kevyellä käsittelyllä homehtumista vastaan tehtaalla. Liimojen ja homesuojan valmistuksen energiankulutus ja päästöt huomioitiin laskennassa.

Hirret pakataan tehtaalla puisille kuormalavoille ja suojataan muovipeitteillä. Kuormalavat valmistetaan tehtaalla. Kuormalavojen ja suojapeitteiden valmistuksen energia ja päästöt otettiin mukaan laskentaan.

Hirret merkitään hirren päähän kiinnitetyillä tarralapuilla. Näiden lappujen määrä on niin vähäinen että niiden valmistus rajattiin pois tarkastelusta.

Tuotantorakennusten ja infrastruktuurin rakentaminen ja kunnossapito rajattiin pois tässä tutkimuksessa. Sen sijaan rakennusten lämmitykseen käytetty energia on mukana laskelmissa. Suurelta osalta rakennusten lämmitysenergia tulee työstökoneiden käyttämästä sähköenergiasta. Loput tarpeesta täytetään kaukolämmön avulla.

Tehdasalueella tapahtuvien kuljetusten osalta laskentaan otettiin mukaan trukkien ja muiden siirtokoneiden poltto- ja voiteluaineiden kulutus. Laitteiden valmistuskuluja, renkaita ja huolloissa tarvittavia pientarvikkeita ei huomioitu.

### **Kuljetus**

Hirsien kuljetus asennuspaikalle tehdään kotimaassa aina autokuljetuksena. Tehtaalla suoritettavan kuorman lastauksen energiankulutus ja päästöt sisältyvät tehdaskuljetusten arvoihin. Laskennassa käytetty ajomatka on tehtaan ilmoittama keskimääräinen kuljetusmatka kotimaan kuljetuksissa. Autojen pa-luukuljetukset huomioitiin allokoinnin yhteydessä.

Jos samassa kuormassa on kaksi eri paikkakunnille menevää toimitusta, ajetaan osa matkasta vajaakuormalla. Kevyemmän kuorman vaikutus polttoaineen kulutukseen rajattiin pois tässä tutkimuksessa.

Kotimaassa kuorma puretaan lähes aina auton omalla nostimella. Purkuaika huomioitiin auton käyntiajassa. Joissakin jälkitoimituksissa purku voi tapahtua erillisellä nosturilla tai traktorilla. Jälkitoimitukset rajattiin pois laskennasta.

## **Asennus**

Hirsien asentaminen käsityönä on nykyään harvinaista, koska hirsiseinän paksuus on kasvanut. Hirsitalotehtaan toimittamissa asennuksissa hirret nostetaan aina nosturilla. Tehtaan ilmoituksen mukaan 90% asennuksista tehdään konetyönä. Nostoihin käytetään yleensä nosturilla varustettua kuorma-autoa.

Vaikeissa maasto-olosuhteissa tai ahtaissa kaupunkikortteleissa, joissa kuorma-auto ei pääse tarpeeksi lähelle seinää, nostoon voidaan käyttää autonosturia.

Tässä tutkimuksessa laskenta tehtiin nosturilla varustetun kuorma-auton kulutuksen ja päästöjen mukaan. Käsityö ja autonosturin käyttö rajattiin pois.

Hirsiseiniä asennustyössä ei ole tarvetta käyttää sähkö- tai polttomoottori-käyttöisiä työkoneita muuten kuin mahdollisten työstövirheiden korjaamisessa. Kehittyneen suunnittelu- ja tuotannonohjaustekniikan ansiosta työstövirheiden määrä on nykyään olematon. Näiden laitteiden käyttö rajattiin pois tässä laskennassa.

Hirsiseinän saumojen tiivistykseen käytetään mineraalivillaa, pellavaa tai solumuovieristenauhoja. Nurkkasalvosten tiivistämiseen tarvitaan paisuvaa solumuovinauhaa ja palanen mineraalivilla-, pellava tai solumuovieristettä. Seiniä sitomiseen käytetään kuumasinkittyjä kierretankoja. Näiden asennustarvikkeiden valmistuksen ja kuljetusten energiankulutus ja päästöt huomioitiin laskennassa.

Hirsien saumojen tiiveyttä ja homesienten ilmaantumista on testattu kaikilla yllämainituilla tiivistemateriaaleilla (Kontiotuote Oy v. 2005-2007). Mineraalivillapohjaiset tiivisteet pärjäävät edelleen hyvin sekä tiiveystesteissä että myös homeen torjunnassa. Mineraalivillatiivisteiden vastustus varsinkin Saksassa on kasvanut viime vuosina. Koska elinkaarianalyysi tehtiin kotimaan toimituksista, käytettiin saumatiivisteinä laskennassa Isoverin lasivillanauhoja.

Hirsiseinissä käytetään vaihtelevia määriä kierretankoja ja puisia vaarnatappeja. Hirsien jatkoksiin käytetään kuumasinkittyjä jatkosrautoja, jotka naulaataan kiinni jatkoskohtiin. Teräsosien valmistuksesta aiheutuvat päästöt ja energiankulutus huomioitiin laskennassa. Puiset vaarnatapit rajattiin pois laskennasta.

Kaikkiin muihin materiaalimääriin, paitsi hirteen, sisältyy asennushukka. Määrät laskettiin tehtaan työmaalle toimittamista materiaaleista, jolloin niissä on mukana suunnittelijan määrittelemä hukkavara.

Suunnittelun ja tuotannon kehittymisen myötä virheellisesti työstettyjä hirsiiä toimituksiin ei juuri sisälly. Kotimaan toimituksiin ei laiteta mukaan varahirsiä. Jos korjaamaton virhe kaikesta huolimatta löytyy asennuksen yhteydessä, toimitetaan varahirsi jälkitoimituksena työmaalle. Koska virheiden määrästä ei ole tilastoitua tietoa, rajattiin ne pois elinkaaritarkastelussa.

Kuormalavoja ja suojapeitteitä käytetään työmaalla rakennuksen valmistamiseen saakka. Sen jälkeen kuormalavat joko toimitetaan kiertoon tai energiajätteeksi. Pakkausmuovit toimitetaan lajiteltuina muovijätteinä kiertoon. Kuormalavojen ja pakkausmuovien kierrätys rajattiin pois.

### **Kunnossapito**

Hirsiseinän rakenne on yksinkertainen, eikä sen kunnossapito vaadi pintakäsittelyn uusimisen lisäksi juuri muita toimenpiteitä. Vanhoissa hirsirakennuksissa on alimpia hirsiiä jouduttu vaihtamaan lahoamisen vuoksi. Jos rakenteet on suunniteltu oikein, ei tällaista lahoamista pääse tapahtumaan. Tässä tutkimuksessa hirsien mahdollinen uusiminen on rajattu pois.

Ihmistyö ja työvälineet on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

### **Seinän purku ja kierrätys, jätteiden hävitys**

Rakennuksen käyttöä tarkastellaan 50 vuoden käyttöikäoletuksen pohjalta. Sen jälkeen hirsiseinän puumateriaali joko kierrätetään uuteen käyttöön hirsiseinä tai uudelleen sahattuna runkopuutavarana tai toimitetaan energiajätteenä poltettavaksi.

## 2.4 Allokointi

Energiankulutus ja päästöt jokaisen työvaiheen kohdalla kohdistettiin vain niille tuotteille, jotka menevät jatkokäsittelyyn. Energiajätteeksi polttoon menevälle osalle ympäristökuormitusta ei jaettu. Tästä syystä energiajäte on käyttäjälleen vapaa tuotannon aiheuttamista ympäristörasitteista.

### **Puun hankinta**

Puun hankinnan, korjuun ja kaukokuljetuksen käyttöaineiden kulutuksen ja päästöjen kohdistaminen eri puutavaralajeille on selostettu tarkemmin Metsätehon raportissa no124.

Puun hankinnan päästöt ja energiankulutus edellä esitetyn periaatteen mukaisesti kohdistettiin vain jatkokäsittelyyn meneville tukin jakeille. Kuoren ja sahanpurun osuus puunhankinnan ympäristörasitteista lisättiin sahauksen yhteydessä syntyviin tuotteisiin niiden kiintoainestilavuuksien suhteessa.

### **Hirsien valmistus tehtaalla**

Tehtaalla raakapuun käsittelyn yhteydessä syntyy lukuisia eri sivutuotteita ja energiajätettä. Kuva 2 esittää puumateriaalin virtaa tehdaskäsittelyssä.

Energiankulutus ja päästöt jokaisen työvaiheen kohdalla on kohdistettu vain niille tuotteille, jotka menevät jatkokäsittelyyn. Energiajätteeksi polttoon menevälle osalle ympäristökuormitusta ei jaeta.

Tuotantoprosessissa energiajätteitä syntyy seuraavasti: Sahauksen yhteydessä kuorta ja sahanpurua, sormijatkoksissa työstöjätettä ja päiden tasauksessa hukkapätkiä. Nämä jätteet menevät suoraan paikalliselle kaukolämpölaitokselle poltettavaksi.

Höylnlastut menevät jatkojalostukseen pellettitehtaalle, joten niiden osalle tuotannosta aiheutuvat ympäristörasitteet lasketaan, vaikka niiden loppukäyttö onkin energiantuotanto.

Jakaminen suoritetaan eri tuotteille niiden määrien suhteessa. Tämä allokointiperuste ei ole tarkka, koska esimerkiksi sahauksessa paksujen hirsiaihioiden sahaamiseen menee vähemmän energiaa kuin ohuiden lautojen sahaamiseen. Tarkka jakaminen on ongelmallista, koska sahatuotteiden valikoima on laaja. Toisaalta lamellihirren raaka-aineeksi sahataan massiivihirteen verrattuna suh-

teellisen ohuita soiroja, joka pienentää allokointivirhettä lamellihirren energi-ankulutusta laskettaessa.

Tehtaalla tapahtuvien siirtojen ympäristökuormituksen allokointi eri tuotteille tehdään myös tuotantomäärien suhteessa. Tarkempi jako vaatisi tehtaalla tapahtuvan vähintään vuoden mittaisen jakson seuranta.

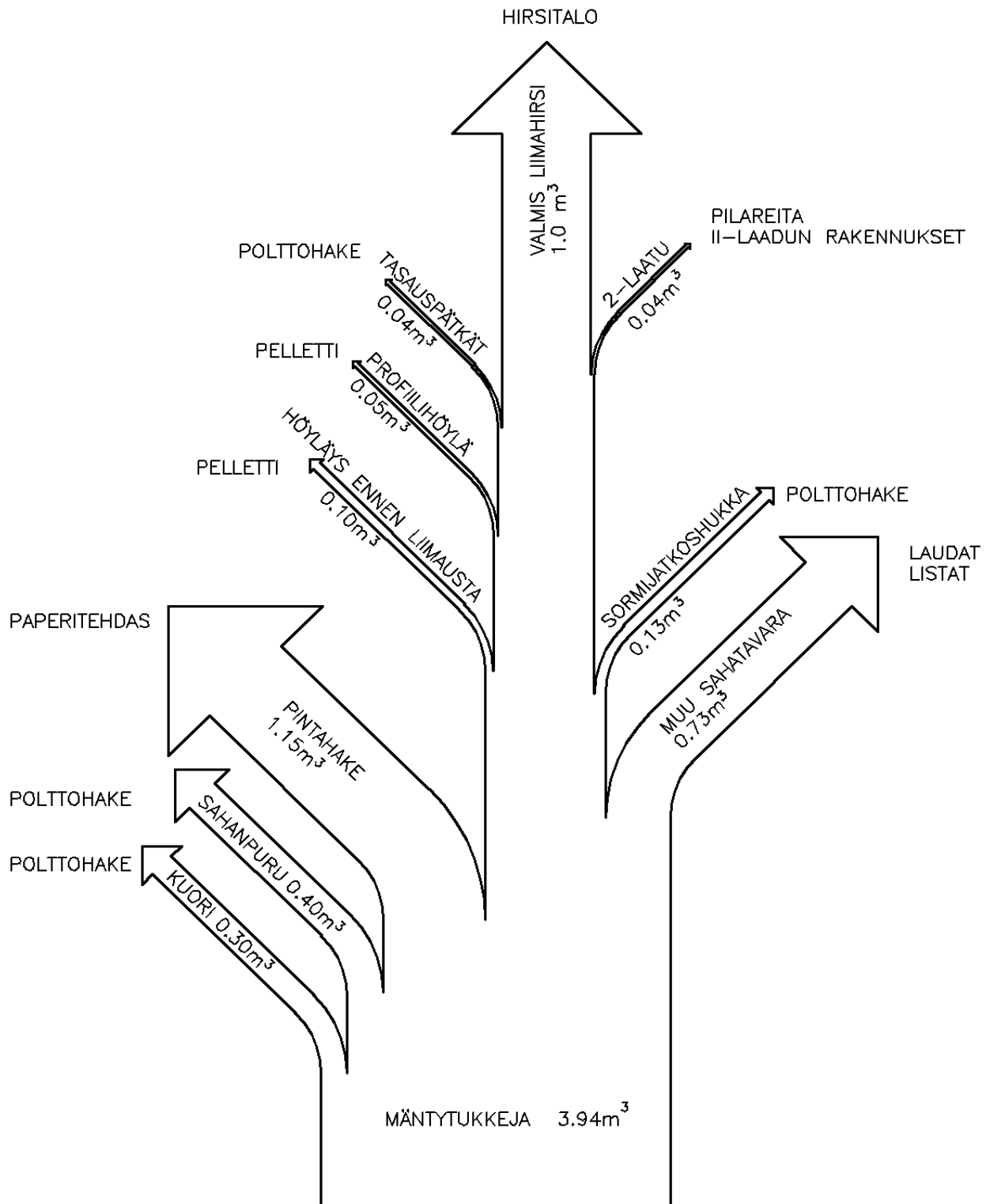
Liimojen ja homeenestoaineiden jakaminen eri tuotteille on tarkemmin hallittavissa, koska tiedetään mihin tuotteisiin käytetään sormijatkettua puuta ja mitkä tuotteet käsitellään homeenestoaineilla. Liimojen ja homeenestoaineiden kulutus saatiin tehtaalta.

Tehtaalle toimitetusta kaukolämmöstä suurin osa kuluu puutavaran kuivaukseen. Loput kulutuksesta menee rakennusten lämmittämiseen. Koska ylivoimaisesti suurin osa tehtaan rakennusten tilavuudesta on tuotantokäytössä, jaetaan myös rakennusten lämmitykseen käytetty osa kaukolämmön ympäristöarasteista tuotteille niiden määrien suhteessa.

Taulukossa 1 on esitetty tehtaalle hankitun tukin jakautuminen eri tuotteiksi ja energijätteeksi tuotantoprosessin aikana.

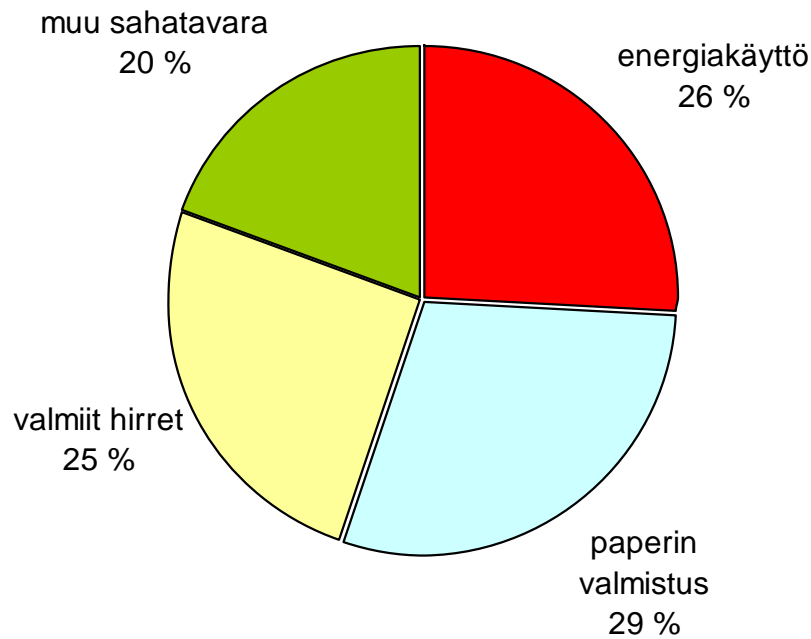
Jae	%	m3/tukki-m3	m3/hirsi-m3	Jakeen käyttö
kuori	7,6	0,076	0,30	polttohakkeeksi
sahanpuru	10,2	0,102	0,40	polttohakkeeksi
pintahake	29,2	0,292	1,15	sellun raaka-aineeksi
muu sahatavara	18,5	0,185	0,73	laudat, listat
sormijatkoshukka	3,3	0,033	0,13	polttohakkeeksi
höyläys ennen liimausta	2,5	0,025	0,10	pelletti tehtaalle
profiilihöyläys	1,3	0,013	0,05	pelletti tehtaalle
tasauspätkät ja työstöjäte	1,0	0,010	0,04	polttohakkeeksi
2-laatu	1,0	0,010	0,04	pilarit, 2-laadun myynti
valmis lamellihirsi	25,4	0,254	1,00	hirsiseiniin
mäntytukki	100,0	1,000	3,94	

*Taulukko 1 Tukin käyttö tehtaalla*



KUVA 2 Puuraaka-aineen materiaalivirta hirsitalotehtaalla. Kuten kuvasta voi lukea, valmista seinähirttä saadaan noin yksi kiintokuutiometri neljää tukki-kiintokuutiometriä kohden.

Tukin loppukäyttö jakautuu neljään lähes yhtä suureen osaan. Kuva 3 esittää tehtaalle tuodun tukin päättymisen eri käyttötarkoituksiin.



*Kuva 3. Tukista saatavan raaka-aineen loppukäyttö*

*Tehtaalle tuodusta tukista menee energiakäyttöön suurin piirtein sama määrä kuin valmiisiin seinähirsiin. Paperinvalmistukseen menevä osuus on suuri johtuen sahausmenetelmästä, jossa tukit pelkataan hakkurilla pintalautojen sahaamisen asemasta.*

## **Kuljetus**

Hirsitalopaketti kuljetetaan maanteitse perävaunullisella rekka-autolla työmaalle. Yleensä samassa kuormassa menevät ne talotoimitukseen sisältyvät materiaalit, jotka valmistetaan hirsitalotehtaalla. Alihankintamateriaalit voivat tulla erillisenä toimituksena rakennuspaikalle.

Pieniä hirsimökkitoimituksia voidaan yhdistää kaksi tai kolme samaan kuljetukseen. Tällöin auton reitti valitaan niin että kuljetusmatka jää mahdollisimman lyhyeksi. Yleensä hirsitalotehtaalta toimitettavat materiaalit mahtuvat yhteen rekkakuormaan.

Hirsiseinien osuus kuormasta laskettiin vuoden 2008 rahtikirjoista. Vaihteluväli on suuri riippuen toimituksen laajuudesta. Satunnaisotannalla valitusta 32 toimituksesta laskettu hirsien osuus kuorman painosta on 43%. Tämä osuus kuljetuksen kulutuksesta ja päästöistä kohdistettiin hirsille.

Paluukuljetusten käyttö vähentää hirsikuormalle kuljetuksesta kohdistuvia ympäristörasituksia. Kuljetusyrittäjän ilmoituksen mukaan paluukuormia on n.1/3 osassa hirsitalotehtaan kuljetuksista. Vuoden 2008 rahtikirjoista laskettu paluukuormien määrä vahvisti kuljetusyrittäjän antaman tiedon. Osa paluukuormista on tehtaan omaan käyttöön tulevien materiaalien kuljetuksia, ja osa kuljetusyrittäjän hankkimia ulkopuolisia kuljetuksia. Kuljetuksen kulutus ja päästöt kohdistettiin hirsille vain niiltä osilta jolloin paluumatkalla ei ollut kuormaa. Näitä kuljetuksia oli 66% kaikista kuljetuksista.

### **Asennus**

Hirsikehän asennus tehdään yleensä yhtäjaksoisesti alusta loppuun saakka. Kun hirsikehä on valmis, nostetaan sen päälle kattopalkit tai ristikot. Nosturia käytetään myös muihin materiaalinostoihin ja järjestelyihin työmaalla. Tehtaan asentajien ilmoittama nosturin käyttöaika ei sisältänyt näitä muihin materiaaleihin liittyviä nostoja.

### **Kunnossapito**

Hirsiseinän ensimmäisen pintakäsittelyn ympäristövaikutukset kohdistettiin seinän asennusvaiheeseen. Kunnossapitotoimenpiteet laskettiin 50 vuoden käyttöikäoletuksen ajalta hirsiseinän sisä- ja ulkopuolelta.

### **Seinän purku ja kierrätys, jätteiden hävitys**

Hirsiseinän puiset purkujätteet laskettiin kokonaan energijätteeksi. Teräsoista laskettiin 90% kierrätettäväksi romuraudaksi (Rautaruukki Oyj Ympäristöseloste no:9/2008). Mineraalivillaeristeiden katsottiin päätyvän sekajätteenä kaatopaikalle.



## 2.5 Tietojen luotettavuus ja sovellettavuus

Tiedot tehtaan tuotantoprosessin energiankulutuksesta ja sen jakautumisesta eri tuotantovaiheisiin ovat vuodelta 2007. Tiedot on saatu kirjallisena tehtaan tuotantopäälliköltä Eero Lauhikarilta. Tiedot ovat luotettavia, koska ne perustuvat todellisiin mitattuihin polttoaineiden, materiaalien ja sähkön kulutusarvoihin sekä laitteiden käyttämiin sähkötehoihin.

Saadut energiankulutus ja päästöarvot ovat yhden, Suomen suurimpiin lukeutuvan hirsitalotehtaan tietoja. Ne eivät sellaisenaan sovi pienempien, toisesta tekniikkaa käyttävien tehtaiden tuotannon ympäristökuormituksen arviointiin.

Lähtötietojen hankinnassa tutkittiin järjestelmärajojen sisälle kuuluvien kaikkien toimintojen syöte- ja tuotostiedot mahdollisimman kattavasti.

Hirsiseinän tuotannossa puun lisäksi käytettävien muiden aineiden energiankulutus ja päästötiedot saatiin suoraan aineiden valmistajilta.

Laskenta suoritettiin liimatuista hirsistä tehdylle 205 mm:n vahvuiselle seinärakenteelle. Tulokset eivät suoraan sovellu muille hirsiseinätyypeille.

Tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää erilaisten seinärakenteiden vertailuun vain jos vertailtavien seinien elinkaaritutkimus on tehty tätä tutkimusta vastaavilla rajauksilla ja vertailukelpoisia lähtötietoja käyttäen.

Tutkimusta varten laadittua Excel-pohjaista laskentataulukkoa käytettiin hyväksi tarkasteltaessa jonkin osatekijän vaikutusta kokonaisuuteen. Esimerkiksi joidenkin sivumateriaalien kuljetuksen aiheuttamien päästöjen määrästä voitiin saada suuruusluokkatieto nopeasti. Jos sen vaikutus kokonaisuuteen havaittiin suuruusluokaltaan hyvin pieneksi (alle 1%), eikä päästöjen laskemiseen ollut saatavissa luotettavia lähtötietoja, voitiin tämä tekijä jättää pois tarkastelusta.

### 3 INVENTAARIOANALYYSI

Inventaarioanalyysissä tarkasteltiin seuraavia ympäristövaikutuksia:

- energiankulutus
  - uusiutumattoman energian käyttö
  - uusiutuvan energian käyttö
  
- kasvihuonekaasujen päästöt
  - hiilidioksidi CO<sub>2</sub>
  - typpioksiduuli N<sub>2</sub>O
  - metaani CH<sub>4</sub>
  
- happamoitumiseen vaikuttavat päästöt
  - rikkidioksidi SO<sub>2</sub>
  - typen oksidit NO<sub>x</sub>

Otsonikatoa ja rehevöitymistä aiheuttaville päästöille ei suoritettu vaikutusten arviointia. Otsonikatoon vaikuttavista päästöistä laskennassa mukana oli hiilimonoksidi CO ja metaani CH<sub>4</sub>. Päästötietojen luotettavuus ei kuitenkaan ole niin hyvä kuin esimerkiksi CO<sub>2</sub> ja SO<sub>2</sub> päästöillä. Volyymiinsä verrattuna talonrakennuksen vaikutus rehevöitymiseen on vähäistä ja otsonikatoa aiheuttavia ponnekaasuja ei suomalaisessa rakentamisessa käytetä (Tarja Häkkinen & al 1997). Myös terveydelle haitallisten ja ympäristölle myrkyllisten ilma- ja vesistöpäästöjen (VAC ja COD) tarkastelu on jätetty pois.

Pölypäästöjen laskentaa ei ole suoritettu, koska käytettyjen sivutuotteiden valmistuksesta ei ole kaikilta osilta saatavilla kyseisiä tietoja. Tuotannon jätteet on inventoitu niiltä osilta kuin tietoja saatiin tehtaalta. Puunhankinnan ja kaukokuljetuksen osalta jätteiden määrää ei inventoitu.

Tuotantoon käytetyn sähköenergian primäärienergiakulutuksen määränä käytettiin 7,2 MJ/ kWh, josta uusiutumattomien energialähteiden osuus oli 3,46 MJ/kWh (48%) ja uusiutuvien osuus 3,74 MJ/kWh (52%).

Rakennusten lämmitykseen käytetyn kaukolämmön primäärienergiakulutuksen määräksi laskettiin 5,0 MJ/kWh. Uusiutumattomien energialähteiden osuus oli 4,45 MJ/kWh (89%) ja uusiutuvien 0,55 MJ/kWh (11%).

### **3.1 Tietojen kerääminen**

Laskentayksikkönä käytettiin yhtä kiintokuutiometriä valmiita hirsyä. Kaikkien syötteiden määrät laskettiin suhteessa laskentayksikköön. Myös tarkasteltujen jätteiden määrät tarkasteltiin laskentayksikköä kohden.

#### **3.1.1 Puun hankinta**

Metsätehon raportin 124 mukaisen laskentamenetelmän yksi pääkäyttötarkoitus on metsäteollisuustuotteiden elinkaarilaskenta. Menetelmään sisältyy puuntuotannon, puunkorjuun ja kaukokuljetuksen poltto- ja käyttöaineiden, teräketju- ja hydraulisöljyjen, sähkön ja energian kulutuksen sekä ilmaan menevien päästöjen laskenta.

Tehtaan vuotuinen tukkipuun tarve oli 130 000 m<sup>3</sup>. Metsänparannuksen ja metsänhoitotöiden määrästä laskelmaan otettiin tämä osuus vuoden 2006 markkinahakkuiden kokonaismäärästä 50 823 000m<sup>3</sup> (130 000/50 823 000) (Metsätilastollinen vuosikirja 2006). Eri työlajien tuottavuus ja työkoneiden polttoaineenkulutus saatiin Metsäteho Oy:n tietokannoista ja työsuoritteet vuoden 2006 Metsätilastollisesta vuosikirjasta.

Puuntuotannon, -korjuun ja kaukokuljetuksen energiankulutus ja päästötulokset kohdistettiin eri puutavaralajeille saantojen suhteessa. Lopuksi eri vaiheiden tulokset laskettiin yhteen jolloin saatiin raakapuun hankinnan päästöt ja energiankulutus.

#### **Puuntuotanto**

Puuntuotannossa on mukana puun kasvuvaiheen koko elinkaari, alkaen hakkuualueen raivauksesta korjuukypsään puustoon saakka. Siihen sisältyvät kaikki metsänhoitotoimenpiteet, kuten maanmuokkaus, istutukset, taimikon hoito, lannoitukset, ojitukset ja metsäautoteiden rakentaminen.

Menetelmään ei sisälly kylvö eikä pystykarsinta. Nämä työvaiheet tehdään pääosin käsityönä, joten polttoaineen kulutuksesta johtuvia päästöjä ei synny. Myös taimien tuotanto rajattiin pois tarkastelusta, mutta taimien kuljetuksesta aiheutuvat päästöt laskettiin mukaan.

## **Puunkorjuu**

Puunkorjuun toimintoja ovat hakkuu, metsäkuljetukset, koneiden siirrot ja henkilöstön työmatkat. Korjuu sisältää puutavaran hakkuun ja metsäkuljetuksen kulutuksen ja päästöt.

Rungon keskijäreys tehtaan tilastoinnin mukaan on 200 dm<sup>2</sup>. Leimikon keskikoko on 350 m<sup>3</sup> ja Lähikuljetuksen ajomatka on päätehakkuissa 250m.

## **Puun kaukokuljetus**

Puun kaukokuljetus tehtaille tapahtuu maantiekuljetuksina. Keskimääräinen ajomatka oli Metsätehon raportin mukaan 107 km, joka vastaa hyvin tehtaan ilmoittamaa 100 km.

### **3.1.2 Hirsien valmistus tehtaalla**

#### **Tuotantoprosessin kuvaus**

Tehtaille toimitettu raakapuu varastoidaan kentälle, josta se nostetaan trukilla sahalle menevälle kuljettimelle. Ennen sahausta tukki mitataan ja sahataan optimoiden niin, että sahatuotteita syntyy mahdollisimman pienellä hukalla oikeassa suhteessa tarpeeseen nähden. Sahauksen yhteydessä syntynyt kuori ja sahanpuru toimitetaan kaukolämpölaitokselle poltettavaksi energijätteenä. Tukin pelkkauksen yhteydessä syntynyt pintahake toimitetaan massanvalmistukseen sellutehtaalle. Laudat hirsiaihiot ja lankut rimoitetaan sahauksen jälkeen kuivaamo varten. Rimoitettu puutavara siirretään kamarikuivaamoon. Kuivauksen jälkeen rimat palautetaan kiertoon sahalle. Kuivaamon jälkeen eri puutavaralajit haarautuvat tuotannossa eri linjoille. Lamellihirsiaihiot siirtyvät sormijatkoslinjalle ja sieltä liimauksen jälkeen oikohöylättäväksi. Oikohöyläyksen jälkeen aihiot liimataan yhteen korkeataajuuspuristimissa. Sieltä ne siirtyvät hirsihöylälle, jossa hirsi saa lopullisen poikkileikkausmuotonsa. Höyläyksen jälkeen hirsi saa ruiskuttamalla kevyen homesuojauksen. Välivarastoinnin jälkeen lamellihirsi siirtyy salvoslinjalle. Siellä hirsi katkaistaan oikeaan pituuteen ja siihen tehdään tarvittavat salvostyöstöt, vaarnatappien reiät, karaurat jne. Hirteen kiinnitetään asentajaa varten tunnustarra. Linjalta lähtevä hirsi on asennusvalmis tuote. Valmiit hirret pakataan trukkilavoille ja suojataan muovipeitteellä. Pakkaukset siirretään kentälle odottamaan kuljetusta. Pakkaukset nostetaan rekkakuorman trukilla.

## Tehdaskuljetukset

Tähän osioon on kerätty kaikkien tehdasalueella tapahtuvien siirtojen poltto- ja voiteluaineiden kulutukset ja päästöt. Vuonna 2007 tehtaalla käytettiin 161 116 litraa dieselpolttoaineita ja 3800 kg voiteluaineita. Voiteluaineiden määrään sisältyvät myös tuotantolaitteiden ja kuljettimien voiteluun käytetyt rasvat. Energiajäte siirtyy tuotantoprosessista putkia pitkin varastosäiliöihin ja sieltä jatkokäsittelyyn. Tästä johtuen kuljetuksista syntyvät päästöt ja kulutus kohdistettiin vain hakkeelle, sahatavaralle ja hirsiaihoille. Vuosituotanto oli 94464 m<sup>3</sup>. Hirsiaihioiden osuus tuotannosta oli 39651 m<sup>3</sup>.

syötteet			
dieselpolttoaine	1,7	l/m <sup>3</sup>	
voiteluaineet	0,04	kg/m <sup>3</sup>	

jätteet			käsittely
jäteöljy	0,04	kg/m <sup>3</sup>	ongelmajätelaitos
kiinteä öljyinen jäte	0,0016	kg/m <sup>3</sup>	ongelmajätelaitos

## Sahaus

Sahaus osioon liitettiin myös pelkkahakkureiden sekä sahauksen jälkeen tehtävän rimoituksen energiankulutus. Saha ja muut tämän tuotantovaiheen laitteet toimivat sähköllä. Vuoden 2007 sähkönkulutus sahauksessa oli yhteensä 1021 MWh. Vuoden aikana sahattiin yhteensä 39651 m<sup>3</sup> hirsiaihoita, 21284 m<sup>3</sup> muuta sahatavaraa. Sivutuotteena syntyi 33529 m<sup>3</sup> pintahaketta joka meni jatkojalostukseen sellutehtaalle. Energiajätettä syntyi yhteensä 20409 m<sup>3</sup>. Kun syntynyt energiajäte allokoidaan hyötytuotteille, syntyi sitä 0,23 m<sup>3</sup> jokaista hirsiaihiokuutiota kohden. Kaikki määrät ovat kiintokuutiometreinä. Tämän vaiheen energiankulutus jaettiin pintahakkeelle, hirsiaihoille ja sahatavaralle niiden määrien suhteessa. Energiajätteelle ei kulutusta kohdistettu.

syötteet			
sähkö	10,8	kWh/m <sup>3</sup>	

jätteet			käsittely
kuori ja puru	0,23	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	poltto, energiakäyttö

## Kuivaus

Puutavaran kuivaus tapahtui pääasiassa kaukolämmön avulla. Kuivaamossa kului kuitenkin myös sähköä mm ilmaa kierrättäviin puhaltimiin ja kosteudenpoistojärjestelmään. Kaukolämpö kuivaamoihin tuli Pudasjärven kaupungin omistamalta kaukolämpölaitokselta. Kaukolämpölaitos sijaitsee tehtaan tontin vieressä.

Yhden panoksen kuivaamiseen meni 7,92 MWh sähköenergiaa. Panoksen koko oli 110 m<sup>3</sup>.

Lämpöenergian tarve hirsiaihioiden kuivauksessa on kuivaamon toimittajan ilmoituksen mukaan 200 kWh/m<sup>3</sup>. Lämpöenergian vuosikulutuksesta ja samana aikana kuivatun puutavaran määrästä laskettuna saatiin lämpöenergian kulutukseksi 250 kWh/m<sup>3</sup>. Kohdassa 2.4 esitettyä allokointiperiaatetta noudattaen perustettiin laskelmat jälkimmäiseen, suurempaan kulutusarvoon.

syötteen			
sähkö	72	kWh/m <sup>3</sup>	
kaukolämpö	250	kWh/m <sup>3</sup>	

## Sormijatkos

Sormijatkosten teon yhteydessä syntyy työstöjätettä, joka toimitetaan polttohakkeeksi. Työstöjätteen määrä on noin 10% työstettävistä hirsiaihiosta. Sähkökulutusta ei kohdisteta energiajätteeksi toimitettavalle työstöjätteelle. Tämän työvaiheen sähkötehtäminen oli 114 kW. Tunnin valmistusmäärä oli 5 m<sup>3</sup>. Sormijatkoksien teossa tarvitaan sähköenergian lisäksi liimaa. Liimaukseen käytettiin lämmön avulla kovetettavaa Cascon valmistamaa liimaa 1247. Liiman valmistuksen päästöt ja energiankulutustiedot saatiin liiman valmistajalta.

syötteen			
sähkö	23	kWh/m <sup>3</sup>	
liima	0,33	kg/m <sup>3</sup>	

jätteet		käsittely	
työstöjäte	0,10	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	poltto, energiakäyttö
liimajäte	0,0002	kg/m <sup>3</sup>	ongelmajätelaitos
pesujäte	0,0079	kg/m <sup>3</sup>	ongelmajätelaitos

## Liimaus

Ennen liimausta hirsiaihiot oikohöylätään. Höyläyksessä syntyy lastua noin 8,0% höylättävien hirsiaihioiden määrästä. Tämä lastu toimitetaan jatkojalostukseen pellettitehtaalle. Kulutukset ja päästöt allokoidaan molemmille jakeille, vaikka pellettien loppukäyttö onkin energiantuotanto. Oikohöyläyksen energiankulutus sisältyy tähän osioon. Samoin höyläyksen purunpoiston ja puristimien kulutus. Liima kovetetaan infrapunalämmittimillä, joiden sähkönkulutus on myös mukana laskelmassa. Liima on sama kuin sormijatkoksissa. Työvaiheen tehontarve oli yhteensä 213 kW. Tunnin suorite oli 6 m<sup>3</sup>. Liiman valmistuksen tiedot saatiin liimantoimittajalta.

syötteet			
sähkö	36	kWh/m <sup>3</sup>	
liima	2,31	kg/m <sup>3</sup>	

jätteet			käsittely
liimajäte	0,0016	kg/m <sup>3</sup>	ongelmajätelaitos
pesujäte	0,0554	kg/m <sup>3</sup>	ongelmajätelaitos

## Höyläys

Hirren profiili höylätään tässä työvaiheessa. Höylänlastu toimitetaan pellettitehtaalle. Lastua syntyy noin 4,4% höylättävän puun määrästä. Allokointi tehdään kuten liimauksen yhteydessä. Höyläyslinjan kuljettimet ja purunpoisto kuluttavat myös sähköenergiaa. Höyläyksen jälkeen hirsi ruiskutetaan Teknogrund 353 homeenestoaineella. Sähkötehontarve kohteessa oli yhteensä 195 kW. Tunnin työsuorite oli 23 m<sup>3</sup>.

syötteet			
sähkö	8	kWh/m <sup>3</sup>	
homeenestoaine	0,126	kg/m <sup>3</sup>	

jätteet			käsittely
liuotinjäte	0,0025	kg/m <sup>3</sup>	ongelmajätelaitos

## Työstöt

Työstövaiheessa hirsi saa lopullisen muotonsa. Työstöjen yhteydessä syntyy energijätettä noin 3.7% käsitellystä puusta. Tämä jätepuu toimitetaan polttoon kaukolämpölaitokselle. Katkaisu, rei'itys ja salvosten teko veivät sähkötehoa yhteensä 123 kW. Lukuarvoon sisältyy myös purunpoiston ja pakkauskoneiden kuluttama sähkö. Tunnissa valmiita hirsia syntyi 6 m<sup>3</sup>.

syötteet			
sähkö	21	kWh/m <sup>3</sup>	

jätteet			käsittely
työstöjäte, tasauspätkät	0,04	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	poltto, energiakäyttö

## Pakkaus

Hirsipakettien keskikoko laskettiin vuoden 2008 toimituksista. Laskentaa varten selvitettiin 32 eri toimituksen pakettien koot ja laskettiin niiden keskiarvo. Myös toimituksiin sisältyvien hirsipakettien määrä selvitettiin.

Yhden hirsipaketin keskimääräiseksi hirsisisällöksi saatiin 2,66 m<sup>3</sup>. Pakettiin käytettiin keskimäärin 20 m<sup>2</sup> pakkausmuovia ja 12 m kiristysvanteita. Muovikalvon paksuus on 0,1 mm ja paino 94g/m<sup>2</sup>.

Yhden paketin kuormalavaan sisältyi 0,2 m<sup>3</sup> puuta ja 1,0 kg nauloja.

Pakkausmuovin ja siteiden energiatiedot ja päästöt saatiin Euroopan muovinvalmistajien yhdistyksen kotisivuilta [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org).

syötteet			
pakkausmuovi HDPE	0,71	kg/m <sup>3</sup>	
pakkausvanteet PE	0,05	kg/m <sup>3</sup>	
puutavara	0,08	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	
naulat ja ruuvit	0,38	kg/m <sup>3</sup>	



## Yhteenveto

Tehdastyövaiheen energiankulutus ja materiaalien käyttö yhteensä yhtä valmistusta hirsikuutiometriä kohden:

syötteen			
sähkö	171	kWh/m <sup>3</sup>	
kaukolämpö	250	kWh/m <sup>3</sup>	
dieselpolttoaine	1,70	l/m <sup>3</sup>	
voiteluöljyt	0,04	kg/m <sup>3</sup>	
puutavara	0,08	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	
naulat ja ruuvit	0,38	kg/m <sup>3</sup>	
liima	2,64	kg/m <sup>3</sup>	
homeenestoaaine	0,13	kg/m <sup>3</sup>	
pakkausmuovi	0,71	kg/m <sup>3</sup>	
pakkausvanteet	0,05	kg/m <sup>3</sup>	

jätteen			käsittely
puujäte	0,3700	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	poltto, energiakäyttö
jäteöljy	0,0400	kg/m <sup>3</sup>	ongelmajätelaitos
kiinteä öljyinen jäte	0,0016	kg/m <sup>3</sup>	ongelmajätelaitos
liuotinjäte	0,0025	kg/m <sup>3</sup>	ongelmajätelaitos
liimajäte	0,0018	kg/m <sup>3</sup>	ongelmajätelaitos
pesujäte	0,0633	kg/m <sup>3</sup>	ongelmajätelaitos

### 3.1.3 Kuljetus

Kuljetukseen liittyvät lähtötiedot selvitettiin tehtaallaan kuljetuksista vastaavien henkilöiden kanssa. Autojen paluukyydeistä saatiin tietoja kuljetusyrittäjiltä.

Rekkojen täyttöasteita on tilastoitu tehtaalla vuosina 2004 ja 2005. Lisäksi tutkimusta varten selvitettiin 32 kuljetuksen tiedot vuodelta 2008. Täyttöaste on pysynyt lähes samana koko tutkittuna aikana. Keskimäärin yhdessä rekkakuormassa oli 62,9 m<sup>3</sup> tavaraa ja kuorman keskipaino oli 27 t.

Hirsitalotoimituksessa rekkakuormassa on myös muuta tavaraa kuin seinähirsisiä. Hirsien osuus kuormasta laskettiin vuonna 2008 toteutettujen 32 kuljetuksen rahtikirjojen avulla. Hirsien osuus kuorman painosta oli keskimäärin 42,9%. Hirsiiä kuormassa oli keskimäärin 26,2 m<sup>3</sup> ja niiden paino oli 11,6 t /kuorma.

Tavarat lastataan tehtaalla autoon trukilla. Trukin käyttöaineiden kulutus ja päästöt sisältyvät tehdaskuljetukset osioon.

Tehtaan tilastojen mukaan keskimääräinen kuljetusmatka yhteen suuntaan kotimaan kuljetuksissa oli 491 km. Jos samassa kuormassa on kaksi tai kolme eri paikkakunnille menevää toimitusta, ajetaan osa matkasta vajaakuormalla.

Kotimaassa kuorma puretaan auton omalla nostimella. Usein tontille ei voi ajaa täysperävaunullisella ajoneuvolla, jolloin peräkärri jätetään sopivaan paikkaan, joskus jopa kilometrien etäisyydelle tontista. Nuppikuorma puretaan ensin rakennuspaikalle, jonka jälkeen auto ajaa takaisin peräkärryn viereen, lastaa peräkärryn kuorman nuppiin ja käy purkamassa sen tontille. Kuljettajien ilmoittamassa kuorman purkuajassa on mukana myös kuorman juonto. Purku-aikaan sisältyy siis ajoa tyhjällä kuormalla, ajoa täydellä nuppikuormalla, tyhjäkäyntiä ja auton nosturin käyttöä. Polttoaineenkulutuksen laskennassa oletettiin puolet purkuajasta auton käyvän tyhjäkäynnillä (nostoaika) ja toinen puoli ajasta auton olevan liikkeessä 50% kuormattuna keskinopeudella 20km/h. Keskimääräinen kuorman purku-aika oli 2,6 h. Hirsiseinien osuus tästä ajasta oli 1,1 h.

Paluukuormien määrä kotimaan kuljetuksissa oli 34%. Rekan paluumatkan ympäristörasituksia ei laskettu hirsitalotoimitukselle niillä paluumatkoilla, jolloin kuljetusyrittäjä oli saanut hankittua paluumatkalle kuormaa. Niiltä osilta jolloin rekka palasi tyhjänä lähtöpaikkakunnalle, laskettiin käyttöaineiden kulutus ja päästöt hirsitalotoimituksen rasitteeksi. Laskelmissa otettiin huomioon tyhjän auton pienempi polttoaineenkulutus.

Polttoaineenkulutus ja päästöt laskettiin VTT:n LIISA-mallin yksikköpäästöjen avulla. Päästöt laskettiin euro 3 moottorilla varustetun perävaunullisen kuorma-auton mukaan.

Kuljetuksen ja kuorman purkamisen ajoaineiden kulutus yhtä hirsikuutiometriä kohden oli 6,37 l.

syötteet			
diesel polttoaine	6,37	l/m <sup>3</sup>	

### 3.1.4 Asennus

Hirsien asentaminen käsityönä on nykyään harvinaista, koska hirsiseinän paksuus on kasvanut Hirsitalotehtaan toimittamissa asennuksissa hirret nostetaan aina nosturilla. Tehtaan ilmoituksen mukaan yli 90% asennuksista tehdään koneityönä. Tässä tutkimuksessa laskenta tehtiin nosturilla varustetun kuormauton kulutuksen ja päästöjen mukaan. Vuoden 2008 otoksen mukaan hirsitalotoimituksessa oli keskimäärin 26,2 m<sup>3</sup> hirsiiä. Asentajien mukaan tällaisen talon hirsikehikon pystytykseen kuluu aikaa noin 2-4 työpäivää olosuhteista riippuen. Nosturia käytetään alle 50% työajasta. Nostoauton polttoaineenkulutus laskettiin edellisten tietojen perusteella.

Hirsiseinän saumojen tiivistykseen käytetään mineraalivillaa, pellavaa tai solumuovieristenuhoja. Nurkkasalvosten tiivistämiseen tarvitaan paisuvaa solumuovinauhaa ja palanen mineraalivilla-, pellava tai solumuovieristettä. Tutkimuksessa käytettiin saumaeristeinä Isoverin toimittamia lasivillasta valmistettuja eristenuhoja.

Hirsiseinissä käytetään vaihtelevia määriä kierretankoja ja puisia vaarnatappeja. Hirsien jatkoksiin käytetään kuumasinkittyjä jatkosrautoja, jotka nauhlataan kiinni jatkoskohtiin. Pulttien määrä laskettiin 32 toimituksen keskiarvona vuodelta 2008. Teräsosien valmistuksesta aiheutuvat päästöt ja energiankulutus huomioidaan laskennassa. Puiset vaarnatapit rajattiin pois laskennasta.

Kuormalavoja ja suojapeitteitä käytetään työmaalla rakennuksen valmistamiseen saakka. Sen jälkeen kuormalavat joko toimitetaan kiertoon tai energijätteenä. Pakkausmuovit toimitetaan lajiteltuina muovijätteenä kiertoon.

Hirsiseinän sisä- ja ulkopuolen pintakäsittelyn ympäristöarvot laskettiin mukaan tähän osioon.

Ulkopuolen maalaus- ja käsittely-yhdistelmäksi valittiin vesiohenteinen alkydikuullotemaalaukset. Pohjakäsittely vesiohenteisella pohjustuspuunsuojalla ja pintamaalaus kahteen kertaan vesiohenteisellä alkydipohjaisella kuullotteella. VTT:n julkaisun 834/ Tarja Häkkinen, Pirjo Ahola ym. mukaan laskettu maalimenekki on pohjustuksen osalta 200 ml/m<sup>2</sup> ja pintamaalauksen osalta 2x150 ml/m<sup>2</sup>.

Sisäpuolen maalaus- ja käsittelyksi valittiin myös vesiohenteinen alkydipohjainen kuultomaalaus. pohjakäsittely vesiohenteisellä pohjustuspuunsuojalla ja pin-

takäsittely vesiohenteisella alkydipohjaisella kuullotteella. Maalimenekki oli pohjusteella 200 ml/m<sup>2</sup> ja pintamaalilla 150 ml/m<sup>2</sup>. Maalin ominaispainoksi otettiin laskelmissa 1,3 kg/dm<sup>3</sup>

syötteet			
dieselpolttoaine	1,6	l/m <sup>3</sup>	
lasivilla	1,7	kg/m <sup>3</sup>	
kuumasinkitty teräs	5,7	kg/m <sup>3</sup>	
vesiohenteinen puunsuoja	2,5	kg/m <sup>3</sup>	
vesiohenteinen kuullote	2,8	kg/m <sup>3</sup>	
jätteet			käsittely
jätepuu	0,08	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	poltto, energiakäyttö
pakkausmuovijäte	0,76	kg/m <sup>3</sup>	poltto, energiakäyttö

### 3.1.5 Kunnossapito

Yksinkertaisen rakenteensa ansiosta hirsiseinän kunnossapito vaatii vain pintakäsittelyn uusinnan määräväleihin. Ensimmäisten vuosien aikana seinän läpi meneviä pultteja joudutaan kiristämään määräväleihin hirsiseinän painumisen mukaan. Tämä toimenpide tehdään käsityönä.

Pintakäsittelyn uusinnan ympäristövaikutusten arvioinnissa käytettiin Tarja Häkkinen & al, 1999 tekemää tutkimusta ”Pintakäsittelyn ulkoeristyslaudoituksen ympäristövaikutukset käyttöönsä aikana” Uudempiä selvityksiä maalien ja kuullotekäsittelyaineiden valmistuksen ja käytön ympäristövaikutuksista ei ollut saatavissa.

Tarkasteluun valitun pintakäsittelyn uusintajaksoksi edellä mainitussa tutkimuksessa on määritelty 5 vuotta. Huoltomaalauksen tarve etelä- ja länsisivuilla voi olla lyhyempi, mutta vastaavasti itä- ja pohjoissivuilla pitempi. Seinän sisäpinnan huoltomaalausväliksi valittiin 10 vuotta.

50 vuoden käyttöönsä aikana huoltomaalaus seinän ulkopuolelle tehdään 9 ja sisäpuolelle 4 kertaa. Maalimenekki huoltomaalauksessa vastaa ensimaalauksen yhtä käsittelykertaa. Sisäpuolen huoltomaalaus oletettiin tehtäväksi samalla vesiohenteisella alkydipohjaisella kuullotteella mitä käytettiin ensimaalauksessa. Kuullotteen menekiksi laskettiin 150 ml/m<sup>2</sup>.

Ulkopuolen huoltomaalaukseen sisällytettiin vanhan maalipinnan pesu hypokloriitilla mahdollisilta homehtuneilta alueilta. Näiden määräksi arvioitiin 10% seinäpinnasta. Hypokloriittia arvioitiin kuluvan 20 ml toiminnallista yksikköä

kohden. Seinän ulkopuolen huoltomaalaus laskettiin tehtäväksi vesiohenteisella alkydimaalilla, jonka menekiksi oletettiin 150 ml/m<sup>2</sup>.

syötteen		
hypokloriitti	0,88	kg/m <sup>3</sup>
vesiohenteinen alkydimaali	2,93	kg/m <sup>3</sup>
vesiohenteinen kuullote	6,59	kg/m <sup>3</sup>

### 3.1.6 Seinän purku ja kierrätys, jätteen hävitys

Rakennuksen käyttöä tarkasteltiin 50 vuoden käyttöikäoletuksen pohjalta. Sen jälkeen hirsiseinän puumateriaali joko kierrätetään uuteen käyttöön hirsiseinänä tai uudelleen sahattuna runkopuutavarana tai toimitetaan energiajätteenä poltettavaksi. Hirsiseinän puiset purkujätteet laskettiin kokonaan energiajätteeksi. Tällöin seinään varastoitunut energia saadaan käyttöön uusiutuvana energiana.

Poltosta syntyviä hiilidioksidipäästöjä ei laskettu mukaan ympäristövaikutusten arviointiin. Puun suojauksiin käytetyn maalin ja muiden pintakäsittelyainesten poltosta syntyvät päästöt ovat lähinnä vesihöyryä ja hiilidioksidia. Pigmenttien ja muiden lisäaineiden poltosta syntyy vähäisiä määriä raskasmetallipäästöjä. Kaiken kaikkiaan pintakäsittelyaineiden määrät energiajätteen poltossa ovat tämän tutkimuksen kannalta merkityksettömän pieniä.

Teräsosista laskettiin 90% kierrätettäväksi romuraudaksi (Rautaruukki Oyj Ympäristöseloste no:9/2008).

Mineraalivillaeristeiden oletettiin päätyvän sekajätteenä kaatopaikalle.

Purkujätteen kuljetus kaatopaikalle tai poltettavaksi laskettiin mukaan elinkaariarvioon. Kuljetusmatkan pituudeksi oletettiin 50 km. Kuljetus oletettiin tapahtuvaksi 15 t kuorma-autolla.

syötteen		
dieselpolttoaine	1,13	l/m <sup>3</sup>
jätteet		käsittely
jätepuu	1,00	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> poltto energiajätteenä tai uusiokäyttö
lasivilla	1,70	kg/m <sup>3</sup> kaatopaikalle
romuteräs	0,57	kg/m <sup>3</sup> kaatopaikalle
romuteräs	5,13	kg/m <sup>3</sup> kiertoon terästehtaalalle

### **3.2 Tietojen laskeminen**

Tulokset on esitetty toiminnallista yksikköä, yhden neliömetrin suuruista seinäpintaa kohden. Päästölaskelmat on esitetty erikseen kutakin tuotejärjestelmän vaihetta kohden. Päästökertoimien tietolähteet on esitetty aina sen vaiheen yhteydessä, jolloin kerroin tulee ensimmäisen kerran esille. Inventaarioanalyysin lopussa on kaikkien vaiheiden ympäristövaikutukset yhdistetty.

Tutkimuksen syötetiedoista, käytettyjen materiaalien ja energialähteiden päästökertoimista laadittiin Excel – taulukkolaskentaan perustuva malli, jonka avulla eri päästökertoimien ja materiaalimäärien vaikutusta hirsiseinän elinkaaren aikaisiin päästöihin voitiin testata. Taulukkolaskentapohjalla voitiin myös testata elinkaariarvion herkkyyttä eri syötteiden ja päästökertoimien muutoksille.

### 3.2.1 Puun hankinta

Tämän osan laskelmat teki Arto Kariniemi Metsäteho Oy:ltä. Laskentatulokset ovat liitteessä 1.

Puun hankinnan päästöt ja energiankulutus on kohdassa 2.4 esitetyn periaatteen mukaisesti kohdistettu vain jatkokäsittelyyn menevälle tukin osalle. Kuoren ja sahanpurun osuus puunhankinnan ympäristörasitteista on lisätty sahaoksen yhteydessä syntyviin tuotteisiin niiden kiintoainestilavuuksien suhteessa.

Lähteet:

VTT, TYKO 2006, "Työkoneiden päästömalli"

Kari S. Mäkelä (Hakkuukone ja kuormatraktori)

VTT, LIISA 2006, tieliikenne

Metsätehon raportti nro 8: "Koneellisen hakkuun tuottavuus harvennuksessa"

Metsätehon raportti nro 123: "Puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekki"

Metsätehon raportti nro 148: "Metsäkoneiden polttoaineen kulutuksen mittaaminen"

Metsätehon raportti nro 166: "Puutavara-autojen polttoaineen kulutus"

METLA: "Metsätilastollinen vuosikirja 2006"

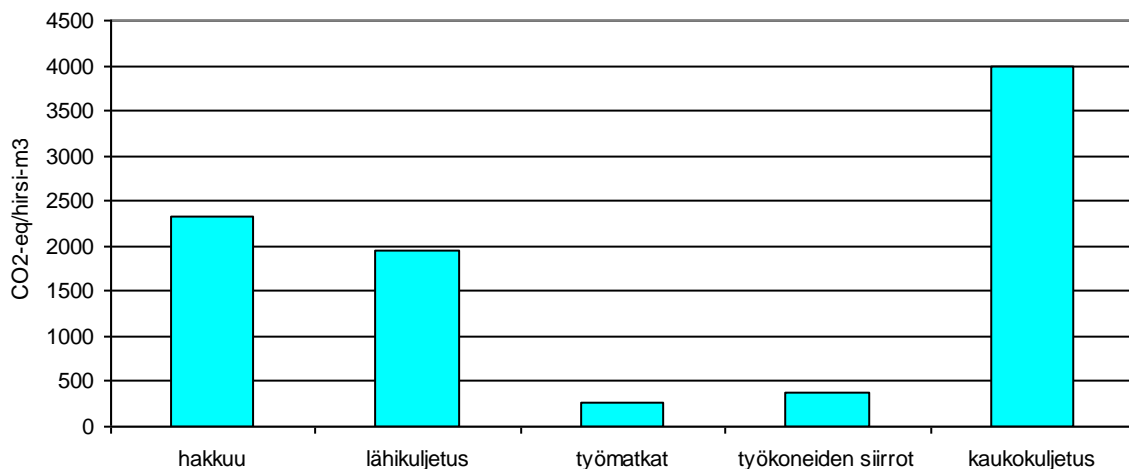
Kontiotuote Oy: Tukkien vuosittainen hankintamäärä

polttoaineet		kg/m <sup>2</sup>
diesel		0,607
benssiini		0,032

energia		MJ/m <sup>2</sup>
uusiutumaton		27
uusiutuva		0

päästöt		g/m <sup>2</sup>
hiilimonoksidi	CO	8,659
hiilidioksidi	CO <sub>2</sub>	2014
Metaani	CH <sub>4</sub>	0,122
typpioksiduli	N <sub>2</sub> O	0,045
	<b>CO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>2030</b>
typen oksidit	NO <sub>x</sub>	20,19
Rikkidioksidi	SO <sub>2</sub>	0,018
	<b>SO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>14,15</b>

Taulukko 2. Puun hankinta



Kuva 4. Kasvihuonekaasupäästöjen jakaantuminen puunhankinnan eri työvaiheille

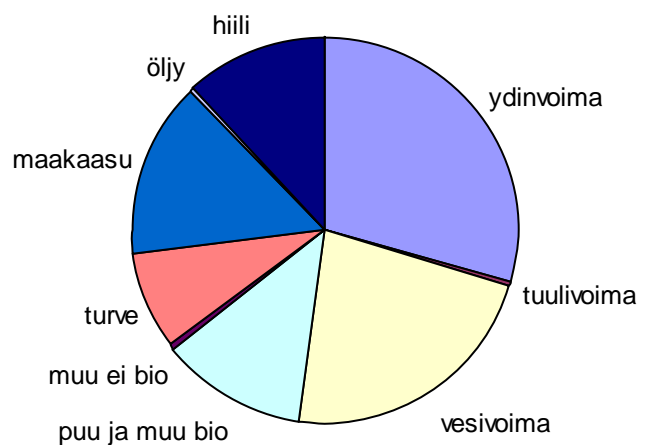
### 3.2.2 Hirsien valmistus tehtaalla

Tehtaan käyttämän sähkön toimittaja Fortum Oyj. Pohjoisessa Fortum ostaa sähkön Energiapolar Oy:ltä. Suurin osa Energiapolarin sähköstä on hankittu Nord Pool sähköpörssistä. Fortumin kotisivuilta löytyvät kuukausittaiset tilastot sähköntuotannon polttoaineiden käytöstä ja jakautumasta eri primäärienergiälähteille. Tätä laskentaa varten käytettiin marrakuusta 2008 taaksepäin 12 viimeisen kuukauden keskimääräistä primäärienergiälähdejakaumaa. Tiedot saatiin internetistä sivulta:

[www.energia.fi/fi/tilastot/pikatilasto/sahkon\\_tuotannon\\_kk\\_polttoaineet.pdf](http://www.energia.fi/fi/tilastot/pikatilasto/sahkon_tuotannon_kk_polttoaineet.pdf) .

Sähköntuotanto energialähteittäin oli seuraava:

- ydinvoima	29,3 %
- tuulivoima	0,4 %
- vesivoima	22,3 %
- puu ja muu bio	12,1 %
- muu ei bio	0,8 %
- turve	8,1 %
- maakaasu	14,7 %
- öljy	0,4 %
- hiili	11,9 %



Kuva 5. Sähkö energialähteittäin

Polttoainekohtaiset päästökertoimet saatiin julkaisusta ”Eper päästökisterin vaikutukset energia-alalla” Johanna Kara 2001. Sähkön päästökertoimet saatiin laskemalla polttoainekohtaisista kertoimista painottamalla niitä niiden osuuden suhteessa sähkön tuotannossa. Sähkön primäärienergisällöksi oletettiin 7.2 MJ/kWh, josta uusiutumattomien energialähteiden osuus oli 48%.

Sähkön päästökertoimet	g/kWh
hiilimonoksidi CO	0,107
hiilidioksidi CO2	153
Metaani CH4	0,018
typpioksiduuli N2O	0,003
typen oksidit NOx	0,325
Rikkidioksidi SO2	0,160

Taulukko 3. Markkinasähkön päästökertoimet



### Tehdaskuljetukset

polttoaineet		kg/m <sup>2</sup>
diesel		0,294
voiteluöljy		0,008

energia		MJ/m <sup>2</sup>
uusiutumaton		12,6
uusiutuva		0,0

päästöt		g/m <sup>2</sup>
hiilimonoksidi	CO	3,612
hiilidioksidi	CO <sub>2</sub>	1128
Metaani	CH <sub>4</sub>	0,061
typpioksiduuli	N <sub>2</sub> O	0,030
	<b>CO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>1138</b>
typen oksidit	NO <sub>x</sub>	11,26
Rikkidioksidi	SO <sub>2</sub>	0,007
	<b>SO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>7,89</b>

jätteet		g/m <sup>2</sup>
jäteöljy		8,20
kiinteä öljyinen jäte		0,33

Taulukko 4.

### Sahaus

energiankulutus		kWh/m <sup>2</sup>
sähkö		2,214

energia		MJ/m <sup>2</sup>
uusiutumaton		7,652
uusiutuva		8,289

päästöt		g/m <sup>2</sup>
hiilimonoksidi	CO	0,236
hiilidioksidi	CO <sub>2</sub>	339
Metaani	CH <sub>4</sub>	0,040
typpioksiduuli	N <sub>2</sub> O	0,006
	<b>CO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>342</b>
typen oksidit	NO <sub>x</sub>	0,72
Rikkidioksidi	SO <sub>2</sub>	0,354
	<b>SO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>0,86</b>

jätteet		kg/m <sup>2</sup>
jätepuu		21,22

Taulukko 5.

Päästöt laskettiin VTT, TYKO 2007 "Työkoneiden päästömalli" kotisivulta <http://lipasto.vtt.fi/tyko/malli.htm> saatujen päästökertoimien avulla.

Laskenta tehtiin dieselkäyttöisen teholtaan 88 kW:n haarukkatrukin päästöillä. Polttoaineenkulutus saatiin Kontiotuotteen tehtaan polttoaineiden vuosikulutuksesta laskemalla.

Voiteluaineiden kulutus oli 2,4% polttoaineiden kulutuksesta. Voiteluaineiden määrä lisättiin laskennassa polttoaineisiin.

Sahausten päästöt laskettiin tehtaan tuotannossa sahalla kulutetusta sähköstä. Sähkönkulutus jaettiin jatkokäsittelyyn toimitetuille sahaustuotteille niiden kiintokuutiometrimäärän suhteessa. Kuorelle ja sahanpuruille sähkönkulutusta ei kohdistettu.

Sähkön päästökertoimet laskettiin Nord Pool-markkinasähkön primäärienergiälähdejakauman pohjalta vuodelta 2008 marraskuun tilastoista.

### Kuivaus

energiankulutus		kWh/m <sup>2</sup>
sähkö		14,76
kaukolämpö		51,25

energia		MJ/m <sup>2</sup>
uusiutumaton		115
uusiutuva		247

päästöt		g/m <sup>2</sup>
hiilimonoksidi	CO	6,18
hiilidioksidi	CO <sub>2</sub>	2258
Metaani	CH <sub>4</sub>	1,111
typpioksiduuli	N <sub>2</sub> O	0,177
	<b>CO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>2336</b>
typen oksidit	NO <sub>x</sub>	16,27
Rikkidioksidi	SO <sub>2</sub>	12,07
	<b>SO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>23,46</b>

Taulukko 6.

### Sormijatkos

energiankulutus		kWh/m <sup>2</sup>
sähkö		4,715

materiaali	kg/m <sup>2</sup>	
liima	0,068	

energia		MJ/m <sup>2</sup>
uusiutumaton		16,4
uusiutuva		17,7

päästöt		g/m <sup>2</sup>
hiilimonoksidi	CO	0,503
hiilidioksidi	CO <sub>2</sub>	728
Metaani	CH <sub>4</sub>	0,086
typpioksiduuli	N <sub>2</sub> O	0,014
	<b>CO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>734</b>
typen oksidit	NO <sub>x</sub>	1,55
Rikkidioksidi	SO <sub>2</sub>	0,826
	<b>SO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>1,91</b>

jätteet		kg/m <sup>2</sup>
jätepuu		21,22
ongelmajäte		0,0017

Taulukko 7.

Kaukolämpökeskus sijaitsee tehtaan välittömässä läheisyydessä. Jätepuu menee keskuksen putkia pitkin.

Kaukolämpökeskuksen polttoainejakuma saatiin Pudasjärven kaupungin energiainsinööri Pentti Partaselta:

raskas polttoöljy	5%
palaturve	20%
puu ja kuori	75%

Päästöt laskettiin käyttäen EPER:in päästökertoimia. Hiilidioksidipäästöjä puun ja kuoren osalta ei huomioitu.

Liiman päästökertoimet saatiin sähköpostilla AKZO NOBEL yhtiöltä Helena Anderssonilta 21.4.2008.

Liiman päästöt sisältävät kuljetuksen Helsingistä tehtaalle autokuljetuksena. Kuljetuksen osuus liiman päästöissä oli alle 1%.

Sähkönkulutus laskettiin koneiden ottamasta sähkötehosta ja työvaiheen yhden tunnin työsuoritteesta. Poltettavaksi menevälle työstöjätteelle energiankulutusta ei kohdistettu.

Sähkön päästökertoimet laskettiin Nord Pool-markkinasähkön primäärienergiälähdejakauman pohjalta vuodelta 2008 marraskuun tilastoista.

**Liimaus**

energiankulutus		kWh/m <sup>2</sup>
sähkö		7,380

materiaali	kg/m <sup>2</sup>	
liima	0,47	

energia		MJ/m <sup>2</sup>
uusiutumaton		26,1
uusiutuva		27,9

päästöt		g/m <sup>2</sup>
hiilimonoksidi	CO	0,789
hiilidioksidi	CO <sub>2</sub>	1175
Metaani	CH <sub>4</sub>	0,134
typpioksiduuli	N <sub>2</sub> O	0,022
	<b>CO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>1184</b>
typen oksidit	NO <sub>x</sub>	2,50
Rikkidioksidi	SO <sub>2</sub>	1,690
	<b>SO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>3,44</b>

jätteet		kg/m <sup>2</sup>
ongelmajäte		0,012

Taulukko 8.

**Höyläys**

energiankulutus		kWh/m <sup>2</sup>
sähkö		1,640

materiaali	kg/m <sup>2</sup>	
kylläste	0,026	

energia		MJ/m <sup>2</sup>
uusiutumaton		5,8
uusiutuva		6,2

päästöt		g/m <sup>2</sup>
hiilimonoksidi	CO	0,175
hiilidioksidi	CO <sub>2</sub>	262
Metaani	CH <sub>4</sub>	0,047
typpioksiduuli	N <sub>2</sub> O	0,005
	<b>CO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>264</b>
typen oksidit	NO <sub>x</sub>	0,57
Rikkidioksidi	SO <sub>2</sub>	0,301
	<b>SO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>0,70</b>

jätteet		kg/m <sup>2</sup>
ongelmajäte		0,0005

Taulukko 9.

Tähän työvaiheeseen sisältyy aihoiden oikohöyläys ennen liimausta. Höyläyslastu toimitetaan jatkojalostettavaksi pellettitehtaalle, joten valitun allokointiperiaatteen mukaan jakeen mukainen osa höyläyksen energiankulutuksesta ja päästöistä kohdistettiin höylänlastuille.

Liiman valmistuksen ja kuljetuksen päästöt laskettiin kuten sormijatkosten tekemisen yhteydessä on kerrottu.

Sähkökulutus laskettiin koneiden tehosta ja yhden tunnin työsuoritteesta.

Hirren profiilin höyläyksestä syntyvä höyläyslastu toimitetaan myös pelletti-tehtaalle. Sähkön kulutuksen allokointi tehtiin kuten edellisessä työvaiheessa on esitetty.

Kontiotuote Oy:n käyttämästä Teknogund 353 homeenestoaineesta ei saatu valmistuksen päästötietoja. Koska aineen menekki on vain 26 grammaa seinäneliometriä kohden, laskettiin päästöt yleisen liuotinhenteisen puunsuoja-aineen mukaan. Puunsuoja-aineen osuus tämän työvaiheen kasvihuonekaasupäästöistä on noin 4%. Päästökertoimet saatiin VTT:n julkaisusta no 834 Tarja Häkkinen & al "Pintakäsittelyn ulkoverhouslaudan ympäristövaikutukset käyttöiän aikana"

## Työstöt

energiankulutus		kWh/m <sup>2</sup>
sähkö		4,305

energia		MJ/m <sup>2</sup>
uusiutumaton		14,9
uusiutuva		16,1

päästöt		g/m <sup>2</sup>
hiilimonoksidi	CO	0,459
hiilidioksidi	CO <sub>2</sub>	659
Metaani	CH <sub>4</sub>	0,078
typpioksiduuli	N <sub>2</sub> O	0,013
	<b>CO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>664</b>
typen oksidit	NO <sub>x</sub>	1,40
Rikkidioksidi	SO <sub>2</sub>	0,688
	<b>SO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>1,67</b>

jätteet		kg/m <sup>2</sup>
jätepuu		3,69

Taulukko 10.

## Pakkaus

materiaalit	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>
HDPE muovi		0,155
puutavara	0,0164	
naulat ja ruuvit		0,078

energia		MJ/m <sup>2</sup>
uusiutumaton		18,6
uusiutuva		1,2

päästöt		g/m <sup>2</sup>
hiilimonoksidi	CO	2,231
hiilidioksidi	CO <sub>2</sub>	625
Metaani	CH <sub>4</sub>	3,094
typpioksiduuli	N <sub>2</sub> O	0,007
	<b>CO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>699</b>
typen oksidit	NO <sub>x</sub>	3,17
Rikkidioksidi	SO <sub>2</sub>	1,491
	<b>SO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>3,71</b>

Taulukko 11.

Sähkönkulutus laskettiin koneiden ottamasta sähkötehosta ja työvaiheen yhden tunnin työsuoritteesta. Poltettavaksi menevälle työstöjätteelle energiankulutusta ei kohdistettu.

Muovin päästökertoimet ja energiatiedot: Association of Plastics Manufactures in Europe [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org)  
Muovin kuljetuksen päästöt huomioitiin Helsingistä tehtaalle. Nauloihin ei liitetty kuljetuksen aiheuttamia päästöjä.

Teräksen päästökertoimet ja energiatiedot:

Rautaruukki Oyj, RT ympäristöseloste no 30 "Kuumasinkityt teräksiset rakennustuotteet"

Kuormalavoihin käytetyn puutavaran valmistuksen energiankulutus ja päästöt saatiin tämän tutkimuksen alkuosasta. Päästöt huomioitiin sahaukseen saakka.

## Hirren valmistuksen sivutuotteena syntynyt energiajäte

Valmistuksen yhteydessä syntyi sivutuotteena jätettä puuta ja kuorta yhteensä 37 kg/seinä-m<sup>2</sup>. Tämä jätettä puu on päästövapaata, koska sen tuottamisessa syntyneet päästöt allokoitiin jatkokäsittelyyn meneville tuotteille. Tuotannon sivutuotteena pelletointilaitokselle toimitettiin lisäksi 13 kg/seinä-m<sup>2</sup> kuivaa höylänlastua. Puunkorjuun yhteydessä syntyi myös hakkuutähdettä noin 8 kg/seinä-m<sup>2</sup>. Hakkuutähteestä seinähirrelle allokoitiin vain sen kiintoainestilavuutta vastaava osuus hakkuun tuotoksesta.

Sivutuotteena syntyvän jätettä puun teholliset lämpöarvot (Motiva.fi)

Päästövapaa jätettä puu	629 MJ	175 kWh/seinä-m <sup>2</sup>
Pelletointiin menevä jätettä puu	259 MJ	72 kWh/seinä-m <sup>2</sup>
Hakkuutähteet	166 MJ	46 kWh/seinä-m <sup>2</sup>

Jos seinähirret poltetaan energiajätteenä rakennuksen purkamisen yhteydessä, on tämän puumäärän tehollinen lämpöarvo 1560 MJ (434 kWh)/seinä-m<sup>2</sup>.

## Hirren valmistus tehtaalla, yhteenveto

energia		MJ/m <sup>2</sup>
uusiotumaton		217
uusiotuva		325
energia yhteensä		542

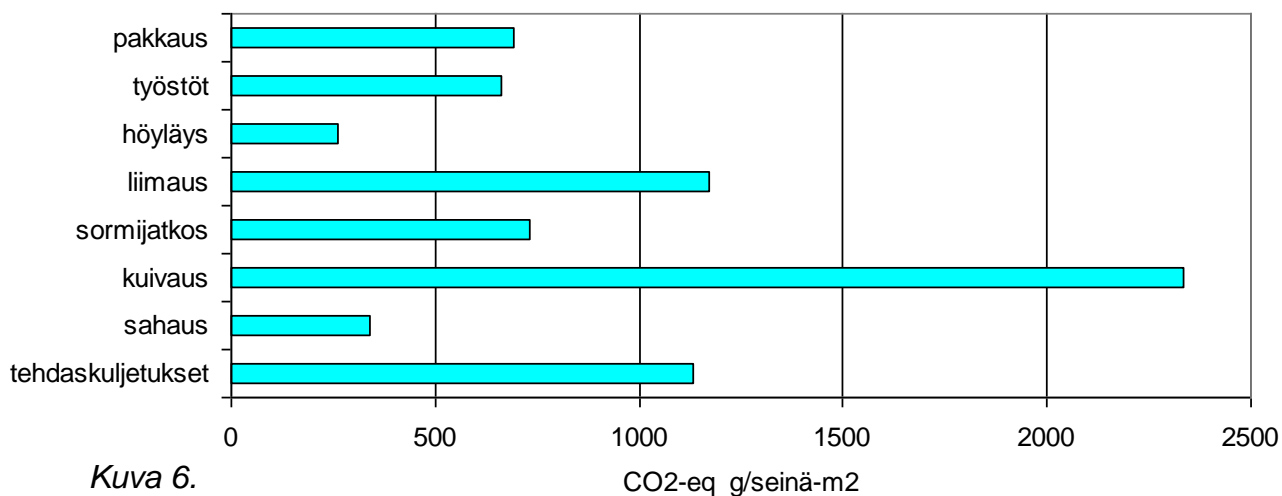
päästöt		g/m <sup>2</sup>
hiilimonoksidi	CO	14,2
hiilidioksidi	CO <sub>2</sub>	7173
Metaani	CH <sub>4</sub>	4,7
typpioksiduuli	N <sub>2</sub> O	0,3
	<b>CO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>7361</b>
typen oksidit	NO <sub>x</sub>	37,5
Rikkidioksidi	SO <sub>2</sub>	17,4
	<b>SO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>43,6</b>

Sekä energiankulutukseen että päästöihin eniten vaikuttava työvaihe on puutarvan kuivaus. Kuivauksen osuus työvaiheen energian kokonaiskulutuksesta on 70% ja kasvihuonekaasupäästöistä 32%.

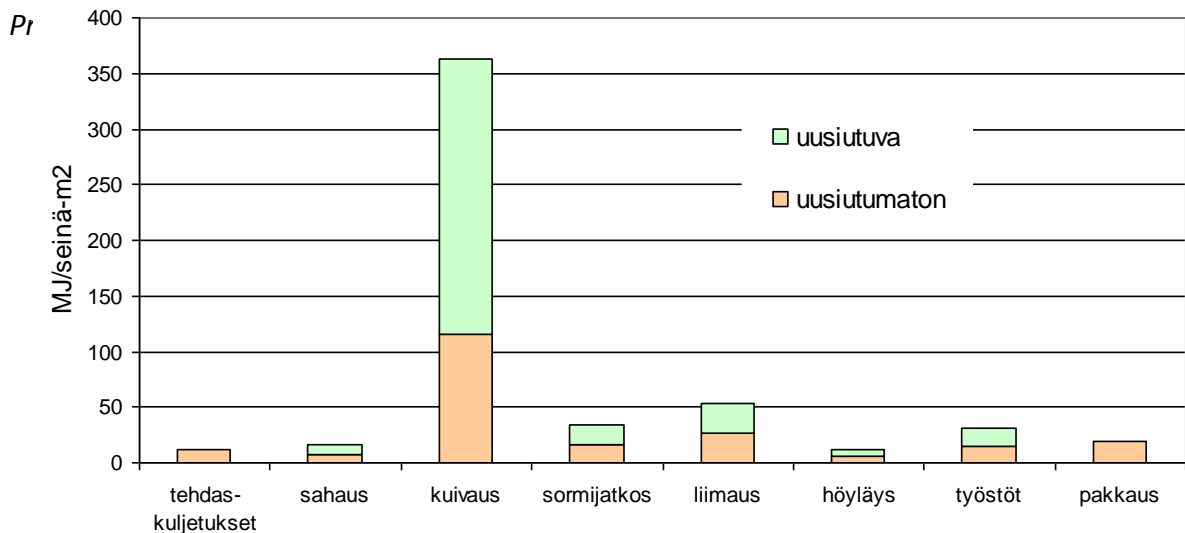
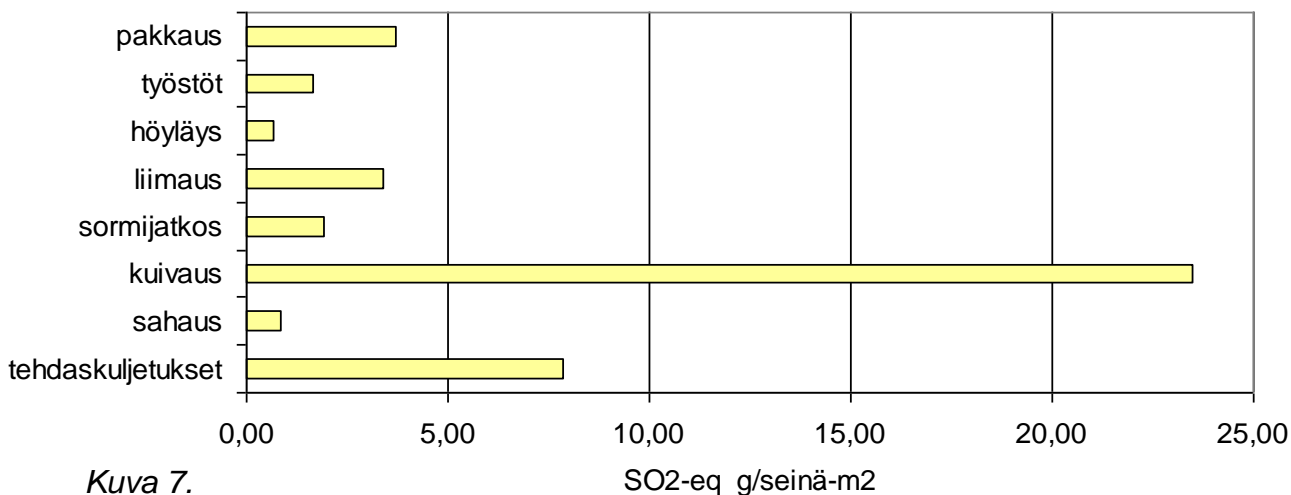
Hirsiäihion liimauksen yhteydessä tapahtuva höyläys kuluttaa yli neljä kertaa niin paljon sähköä kuin hirren profiilin höyläys. Tästä johtuvat seuraavan sivun kaavioissa näkyvät liimausosion suuret päästöt.

Taulukko 12.

*Ilmaston lämpenemiseen vaikuttavat päästöt hirren valmistuksesta (CO<sub>2</sub>-eq)*



*Happamoitumiseen vaikuttavat päästöt hirren valmistuksesta (SO<sub>2</sub>-eq)*



Kuva 8.

### 3.2.3 Kuljetus

polttoaineet		kg/m <sup>2</sup>
diesel		1,103

energia		MJ/m <sup>2</sup>
uusiutumaton		45,8
uusiutuva		0,0

päästöt		g/m <sup>2</sup>
hiilimonoksidi	CO:	0,624
hiilidioksidi	CO <sub>2</sub> :	3474
Metaani	CH <sub>4</sub> :	0,035
typpioksiduuli	N <sub>2</sub> O:	0,094
	<b>CO<sub>2</sub>-eq:</b>	<b>3502</b>
typen oksidit	NO <sub>x</sub> :	24,03
Rikkidioksidi	SO <sub>2</sub> :	0,033
	<b>SO<sub>2</sub>-eq:</b>	<b>16,86</b>

Taulukko 13.

### 3.2.4 Asennus

polttoaineet		kg/m <sup>2</sup>
diesel		0,277

materiaalit		
lasivilla		0,349
kuumasink. teräs		1,169
vesioh. puunsuoja		0,513
vesioh. kuullote		0,574

energia		MJ/m <sup>2</sup>
uusiutumaton		47,5
uusiutuva		7,9

päästöt		g/m <sup>2</sup>
hiilimonoksidi	CO:	14,570
hiilidioksidi	CO <sub>2</sub> :	2738
Metaani	CH <sub>4</sub> :	2,009
typpioksiduuli	N <sub>2</sub> O:	0,040
	<b>CO<sub>2</sub>-eq:</b>	<b>2795</b>
typen oksidit	NO <sub>x</sub> :	10,95
Rikkidioksidi	SO <sub>2</sub> :	6,530
	<b>SO<sub>2</sub>-eq:</b>	<b>14,20</b>

Taulukko 14.

Päästöt laskettiin VTT, LIPASTO, "liikennevälineiden yksikköpäästöt" avulla.

Kuorman keskipainona käytettiin 27 tonnia ja matkan keskipituutena 491 km, josta 5% kaupunkiajoa. Hirsien osuus kuorman purkuajasta oli 1,1 tuntia sisältäen myös tarvittavan juonnon. Tyhjänä ajettujen paluumatkojen osuudeksi laskettiin keskimäärin 324 km kuormaa kohden.

Laskelmassa huomioitiin myös kierretankojen ja saumavillojen osuus kuorman painosta.

Lähtötiedot saatiin Kontiotuote Oy:n vuonna 2008 toteutettujen kuljetusten rahtikirjoista.

Asentamiseen kuluva aika saatiin Kontiotuote Oy:n asennustyönjohdolta. Nostoauton polttoaineen kulutustiedot saatiin Kuljetusliike Luokkanen Oy:ltä.

Teräksen päästökertoimet ja energiatiedot: Rautaruukki Oyj, RT ympäristöseloste 30 "Kuumasinkityt teräksiset rakennustuotteet"

Lasivillan tiedot: Sähköpostiviesti 10.12.2008 Janne Vainio/ Isover-Gobain

Vesiohenteisten puusuojan ja kuullotteen tiedot: VTT:n julkaisu no 834 Tarja Häkkinen & al "Pintakäsitellyn ulkoverhouslaudan ympäristövaikutukset käyttöikänsä aikana"

Tähän työvaiheeseen sisältyi myös seinän sisä- ja ulkopuolen pintakäsittely.

### 3.2.5 Kunnossapito

materiaalit		kg/m <sup>2</sup>
maalipesu hypokloriitti		0,180
vesioh. alkydimaali		0,600
vesioh. alkydikuullote		1,350

energia		MJ/m <sup>2</sup>
uusiutumaton		37,7
uusiutuva		16,6

päästöt		g/m <sup>2</sup>
hiilimonoksidi	CO	0,000
hiilidioksidi	CO <sub>2</sub>	1572
Metaani	CH <sub>4</sub>	1,859
typpioksiduuli	N <sub>2</sub> O	0,000
	<b>CO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>1614</b>
typen oksidit	NO <sub>x</sub>	6,020
Rikkidioksidi	SO <sub>2</sub>	8,816
	<b>SO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>13,03</b>

Taulukko 15.

50 vuoden elinkaaren aikana huolto-maalaukseen oletettiin tehtäväksi seinän sisäpuolelle 4 kertaa ja ulkopuolelle 9 kertaa.

Huoltomaalauksen tiedot:

VTT:n julkaisu no 834 Tarja Häkkinen & al "Pintakäsitellyn ulkoeristyslaudoituksen ympäristövaikutukset käyttöikänsä aikana"

Kuullotteen päästöjen laskentaan sisältyy myös kuljetuksesta aiheutuvat päästöt 50 km:n kuljetusetäisyyden mukaan laskettuna.

### 3.2.6 Rakennuksen purku ja jätteiden kierrätys/hävitys

polttoaineet		kg/m <sup>2</sup>
diesel		0,196

energia		MJ/m <sup>2</sup>
uusiutumaton		8,129
uusiutuva		0,000

päästöt		g/m <sup>2</sup>
hiilimonoksidi	CO	0,353
hiilidioksidi	CO <sub>2</sub>	618
Metaani	CH <sub>4</sub>	0,010
typpioksiduuli	N <sub>2</sub> O	0,038
	<b>CO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>630</b>
typen oksidit	NO <sub>x</sub>	3,53
Rikkidioksidi	SO <sub>2</sub>	0,059
	<b>SO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>2,53</b>

Taulukko 16.

Purkujätteiden kuljetusmatkaksi oletettiin 50 km.

Päästöt laskettiin VTT, LIPASTO, "liikennevälineiden yksikköpäästöt" avulla. Kuljetus 15 t kuorma-autolla 50% täytöasteella.



### 3.2.7 Käyttö

Rakennuksen käyttöikäksi tässä elinkaarianalyysissä valittiin 50 vuotta. Todennäköisesti hirsitalo on 50 vuoden päässä vielä käyttökunnossa mutta ehkä peruskorjauksen tarpeessa. Massiivihirsiseinä kestää huomattavasti pitempäänkin ilman peruskorjausta. 50 vuoden tarkastelujaksoon päädyttiin koska sitä on yleisesti käytetty elinkaaritarkasteluissa, mm RT ympäristöselosteissa (Arto Saari 2001, Rakennusten ja rakennusosien ympäristöselosteet).

Käytön aikaiseksi energiankulutukseksi laskettiin seinän toiminnallisen yksikön ( $=1 \text{ m}^2$ ) läpi vuotavan lämpöenergian määrä rakennuksen käyttöiän ajalta. Tarkasteluun valitun 205 mm:n vahvuisen lamellihirsiseinän U-arvo on  $0,53 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Massiivinen hirsiseinä seuraa ulkolämpötilan vaihteluja viiveellä, mikä tasaa lämpötilaeroja. Tampereen teknillisen korkeakoulun tekemissä tutkimuksissa tämä massiivirakenteen lämmöntasausominaisuus vaikuttaa energiankulutusta vähentävästi. Kesällä helteisinä päivinä lämpövirta voi olla jopa päinvastaiseen suuntaan. Tarkkaa tutkittua tietoa ja lukuarvoja seinän massiivisuuden vaikutuksesta ei ole saatavissa. Energiankulutuksessa tätä vaikutusta ei otettu huomioon.

Rakennuksen lämmitystarveluvuksi valittiin 5000 astevuorokautta. Luku perustuu Ilmatieteen laitoksen vertailuarvoihin vuosilta 1971-2000. Suomessa valittu astepäiväluvun esiintyy Jyväskylän - Kuopion korkeudella.

Vuonna 2006 Energiateollisuus Ry:n tilastojen mukaan kaukolämmön osuus rakennusten lämmitysenergian markkinoista oli 48,3%. Sähkön osuus oli 17,5%, puun 11,4%, öljyn 15,4% ja muita polttoaineita oli käytetty lämmön tuottamiseen 7,4%.

Käytön aikaiseksi lämpöenergiaksi valittiin kaukolämpö. Tilastokeskuksen mukaan 67% polttoaineiden käytöstä kohdistui v. 2007 sähkön ja lämmön yhteistuotantoon ([www.tilastokeskus.fi/til/salatuo/2007/salatuo\\_2007\\_2008-09-26\\_kuv011.html](http://www.tilastokeskus.fi/til/salatuo/2007/salatuo_2007_2008-09-26_kuv011.html)).

Uusin saatavilla ollut tieto kaukolämmön tuotannon energialähdejakaumasta oli vuodelta 2007 (Energiateollisuus Ry)

Kaukolämmön primäärienergiasisältönä käytettiin 5,0 MJ/kWh, josta uusiutumaton energiaa oli 89%.

Lähtöarvot		HIRSISEINÄ		NORMISEINÄ		EROTUS	
U-arvo W/(m <sup>2</sup> K)		0,53		0,24		0,29	
Lämmitystarveluku		1-vuosi	50-vuotta	1-vuosi	50-vuotta	1-vuosi	50-vuotta
astevuorokautta	5000	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
lämpöhukka		64	3180	29	1440	35	1740

Energia	%	MJ	MJ	MJ	MJ	MJ	MJ
uusiutumaton	89	283	14151	128	6408	155	7743
uusiutuva	11	35	1749	16	792	19	957

Päästöt		Hirsiseinä 205mm		Normiseinä		Erotus	
		1-vuosi	50-vuotta	1-vuosi	50-vuotta	1-vuosi	50-vuotta
		g	g	g	g	g	g
hiilimonoksidi CO	CO	8,30	415	3,76	188	4,54	227
hiilidioksidi CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	18862	943094	8541	427062	10321	516033
Metaani CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>	1,60	80	0,73	36	0,88	44
typpioksidili N <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> O	0,38	19	0,17	9	0,21	10
	CO <sub>2</sub> -eq	19011	950561	8609	430443	10402	520118
typen oksidit NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	44,75	2237	20,26	1013	24,49	1224
Rikkidioksidi SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	27,91	1396	12,64	632	15,27	764
	SO <sub>2</sub> -eq	59,24	2962	26,82	1341	32,41	1621

Taulukko 18. 205 mm:n lamellihirsiseinän lämmönläpäisy ja päästöt verrattuna voimassa olevan Rakentamismääräyskokoelman lämmöneristysvaatimuksen täyttävän seinän (Normiseinä) lämmönläpäisyyn.

Tässä tutkimuksessa *normiseinällä* tarkoitetaan v 2008 voimassa olevan Rakentamismääräyskokoelman mukaisesti lämpöeristettyä seinää, jonka U-arvo on 0,24 W/(m<sup>2</sup>K)

#### 4 VAIKUTUSTEN ARVIOINTIA

Tutkimuksen rajauksen mukaisesti vaikutuksista arvioitiin ilmaston lämpenemispotentiaali, maaperän happamoitumispotentiaali ja energiankulutus. Energiankulutus tarkasteltiin energialähteittäin sähkön ja kaukolämmön tuotannossa, jaettuna uusiutumattomiin ja uusiutuviin energialähteisiin. Kuljetusten käyttämät polttoaineet oletettiin olevan kokonaan uusiutumattomista energialähteistä lähtöisin.

## 4.1 Ilmaston lämpenemispotentiaali

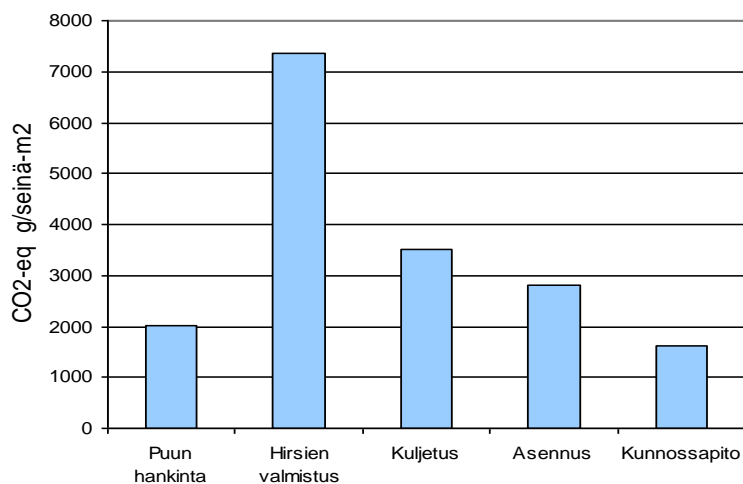
Ilmaston lämpenemiseen vaikuttavista päästöistä on huomioitu vain ns. suorat kasvihuonekaasupäästöt eli hiilidioksidi CO<sub>2</sub>, typpioksiduuli N<sub>2</sub>O ja metaani CH<sub>4</sub>. Halogeeniyhdisteitä ei ole huomioitu niiden vähäisen määrän vuoksi. Ilmaston lämpenemispotentiaalin laskennassa käytettiin seuraavia karaktisointikertoimia:

- hiilidioksidi CO <sub>2</sub>	1
- metaani CH <sub>4</sub>	23
- typpioksiduuli N <sub>2</sub> O	296

Kuvassa 9 on esitetty tarkastellun tuotejärjestelmän kasvihuonekaasupäästöt työvaiheittain. Kuvassa 6 on esitetty kasvihuonekaasupäästöjen muodostuminen hirsien tehdasvalmistuksen eri työvaiheissa. Hirsiseinäneliometriä kohden kasvihuonekaasupäästöjen määrä koko tuotantoketjusta ja 50 vuoden kunnossapidosta on noin 17 kg. Normaalikokoisessa n. 180 m<sup>2</sup> omakotitalossa on ulkoseiniä noin 150 m<sup>2</sup>. Tällaisen hirsitalon ulkoseinien valmistuksen ja kunnossapidon kasvihuonekaasupäästöt 50 vuoden aikana ovat yhteensä n. 2,5 tonnia.

Määrän havainnollistamiseksi sitä voidaan verrata keskikokoisen henkilöauton päästöihin (160g/km). Saman verran päästöjä kertyy silloin kun autolla ajaa vajaan kilometrin päivässä (318 km/vuosi).

Rakennuksen käytön aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä tulee lämmitykseen käytettävästä kaukolämpöenergiasta vuoden aikana 26 kg/m<sup>2</sup>. Normiseinän, jonka U-arvo on 0,24 W/(m<sup>2</sup>K) vastaava päästö on 12 kg/m<sup>2</sup>. Erotus on 14,4 kg/m<sup>2</sup> vuodessa. 50 vuoden käyttöiän aikana erotus on n.720 kg.



Kuva 9. kasvihuonekaasupäästöt

Hirsien valmistuksen yhteydessä eniten kasvihuonekaasupäästöjä tulee puutavaran kuivaamisesta (yli 30%).

Yli 40% asennusvaiheen kasvihuonekaasupäästöistä tulee kierrepulttien valmistuksesta.

## 4.2 Maaperän happamoitumispotentialiaali

Tutkimuksessa tarkasteltiin luonnon happamoitumiseen vaikuttavista päästöistä typen oksidit  $\text{NO}_x$  ja rikkidioksidi  $\text{SO}_2$ . Muut happamoittavat päästöt, kuten ammoniakki  $\text{NH}_3$  ja suolahappo  $\text{HCl}$  jätettiin tarkastelun ulkopuolelle koska hirsiseinän tuotannossa kyseisten päästöjen määrä jäi hyvin pieneksi. Happamoitumispotentialiaali laskettiin  $\text{SO}_2$ -ekvivalentin avulla, jossa karakterisointikertoimina käytettiin:

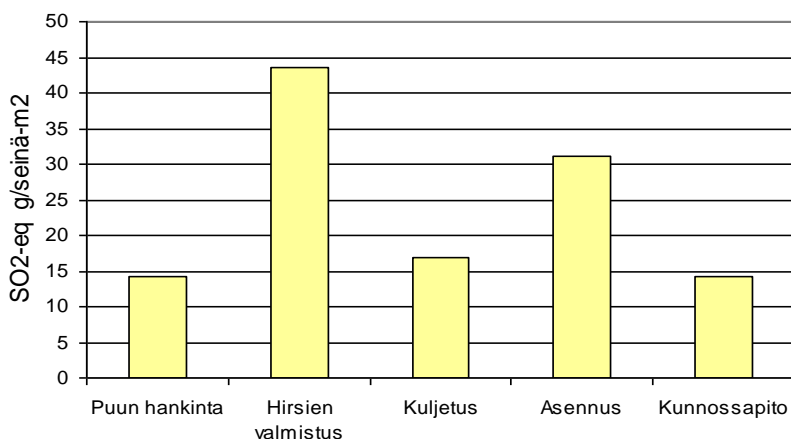
- rikkidioksidi  $\text{SO}_2$       1
- typen oksidit  $\text{NO}_x$     0,7

Kuvassa 9 on esitetty tarkastellun tuotejärjestelmän happamoittavat päästöt vaiheittain. Kuvassa 7 on esitetty happamoittavien päästöjen muodostuminen hirsien tehdasvalmistuksen eri työvaiheissa. Yli puolet happamoittavista päästöistä hirsien valmistuksen yhteydessä tulee puutavaran kuivaamisesta. 35% asennusvaiheen happamoittavista päästöistä syntyy kierrepulttien valmistuksesta. Typen oksideja syntyy kuljetuksissa

Tuotantoketjun ja 50 vuoden kunnossapidon happamoitumista aiheuttavat päästöt ( $\text{SO}_2$ -eq) olivat yhteensä  $116 \text{ g/seinä-m}^2$ . 50 vuodelle jaettuna siitä tulee vain  $2,3 \text{ g/vuosi}$ .

Lämmitykseen käytettävän energian aiheuttamat happamoittavat päästöt 50 vuoden aikana olivat hirsiseinällä  $4,1 \text{ kg}$ . Se on  $2,25 \text{ kg}$  enemmän seinäneliötä kohden normiseinään verrattuna.

Valmistuksen aiheuttamilla happamoittavilla päästöillä on vain vähäinen merkitys (n.1%) hirsiseinän koko elinkaaren aikaisiin päästöihin verrattuna.



Yli puolet happamoittavista päästöistä hirsien valmistuksen yhteydessä tulee puutavaran kuivaamisesta.

35% asennusvaiheen happamoittavista päästöistä tulee kierrepulttien valmistuksesta.

### 4.3 Energiankulutus

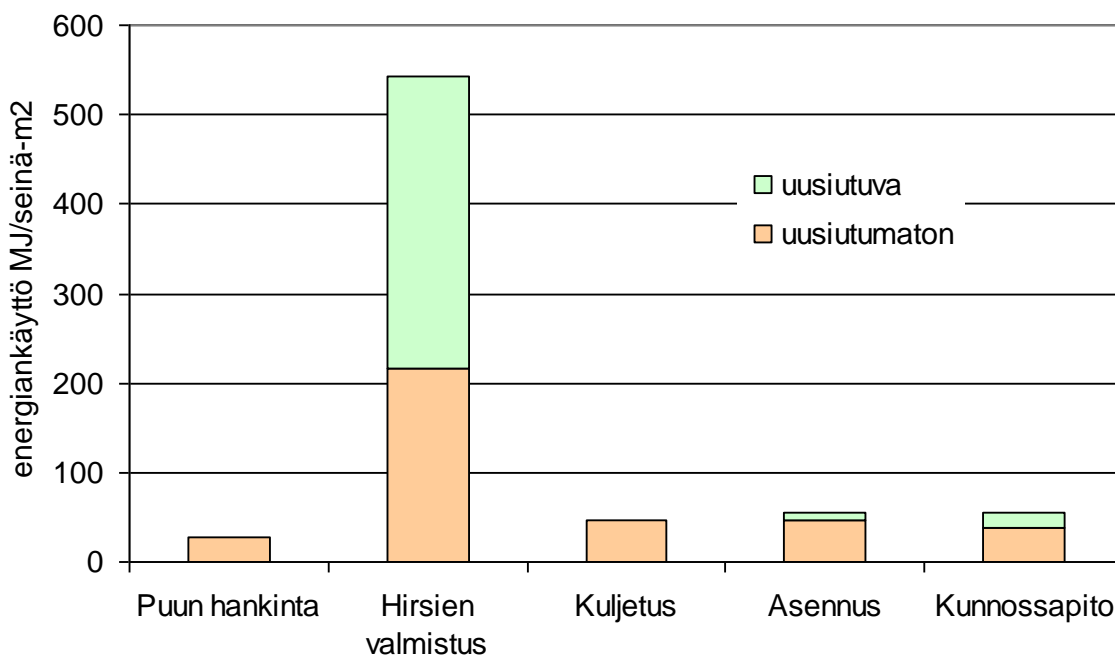
Hirsiseinän tuotantoketjun ja 50 vuoden kunnossapidon primäärienergiankulutus oli yhteensä 718 MJ/seinä-m<sup>2</sup>. Uusiutumattoman energian osuus oli hieman yli puolet (51,4%) kokonaiskulutuksesta.

Tuotantoketjun kokonaisenergian kulutuksesta noin puolet (50,4%) vie hirsien kuivaus.

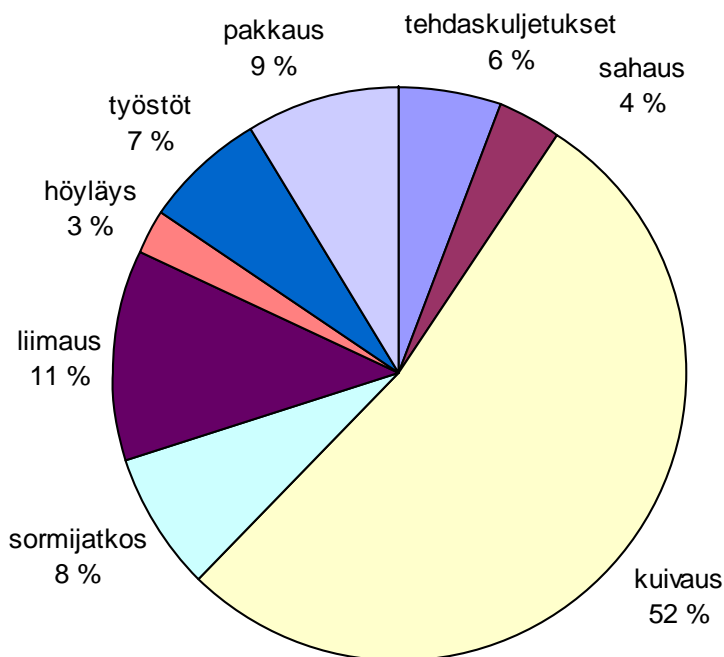
50 vuoden aikaisen kunnossapidon osuus koko energiankulutuksesta on vain 7,6%.

Työvaiheet	Energia		yht	Päästöt	
	uusiutumaton	uusiutuva		CO <sub>2</sub> -eq	SO <sub>2</sub> -eq
	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>
Puun hankinta	26,6	0,0	26,6	2030	14,2
Hirsien valmistus	217	325	541,9	7361	43,6
Kuljetus	45,8	0,0	45,8	3502	16,9
Asennus	47,5	7,9	55,4	2795	31,1
Kunnossapito	37,7	16,6	54,3	1614	14,2
yhteensä	375	349	724	17303	120

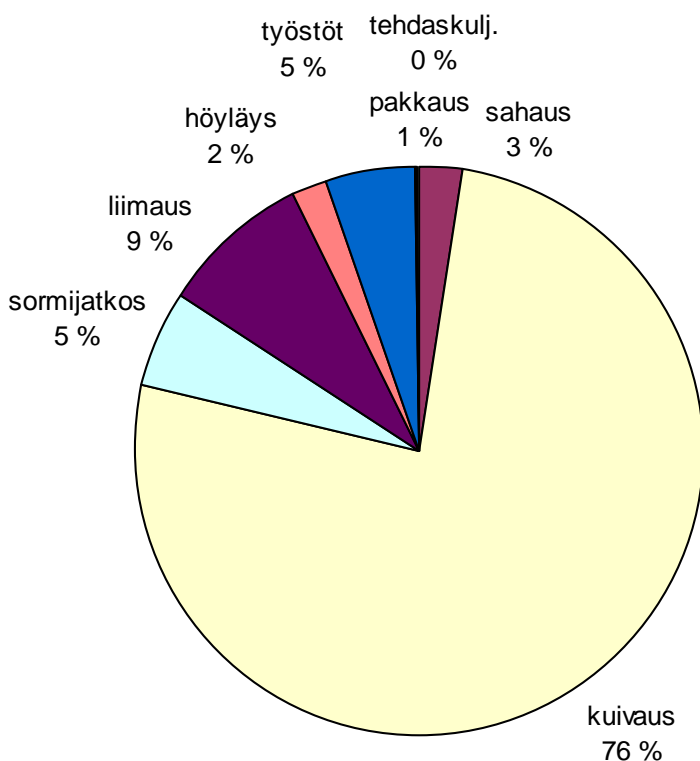
Taulukko 19. Tuotannon ja kunnossapidon energiankulutus ja päästöt yhteensä



Kuva 11. Tuotannon ja kunnossapidon energiankäyttö



Kuva 12. Uusiutumattoman energiankulutuksen jakautuminen hirren tuotannossa



Kuva 13. Uusiutuvan energiankulutuksen jakautuminen hirren tuotannossa

Pakkauksen osuudesta suurin osa tulee muovin valmistuksesta.

Liimausvaiheessa oikohöyläyksen sähkönkulutus on suurin tekijä. Sama koskee sormijatkosten tekemistä.

Ylivoimaisesti suurin uusiutuvaa energiaa käyttävä työvaihe on puutavaran kuivaus. Muiden työvaiheiden uusiutuvan energian käyttö määräytyy sähkön tuotantoon käytettyjen uusiutuvien energialähteiden osuudesta. Pakkaus ja tehdaskuljetusvaiheissa lähes kaikki käytetty energia on lähtöisin fossiilista polttoaineista.

Tarkastelunalaisen hirsiseinän U-arvo on 0,53 W/(m<sup>2</sup>K). Normiseinän vastaava arvo on 0,24 W/(m<sup>2</sup>K). Lämmönhukka hirsiseinän läpi on 64 kWh/m<sup>2</sup> vuosi. Normiseinän vastaava lämmönhukka on 29 kWh/m<sup>2</sup> vuosi. Erotus on 35 kWh/seinä-m<sup>2</sup> vuodessa.

Koko elinkaaren aikainen lämmitykseen käytettävän energian hukka on hirsiseinässä yhteensä 3,18 MWh. Normiseinän lämmitysenergian hukka vastaavana aikana on 1,44 MWh. Erotus on 1,74 MWh seinäneliometriä kohden.

Lämmitykseen käytetyn kaukolämmön primäärienergiankulutus on hirsiseinässä 318 MJ/vuosi. Normiseinän lämmityksen primäärienergiankulutus on 144 MJ/vuosi. Erotus on 174 MJ/vuosi yhtä seinäneliometriä kohden.

Kaukolämmön energiasisällöstä vain 11% oli peräisin uusiutuvista energialähteistä. Tieto on vuodelta 2007 (Energiateollisuus Ry).

Lähtöarvot		HIRSISEINÄ		NORMISEINÄ		EROTUS	
U-arvo W/(m <sup>2</sup> K)		0,53		0,24		0,29	
Lämmitystarveluku		1-vuosi	50-vuotta	1-vuosi	50-vuotta	1-vuosi	50-vuotta
astevuorokautta	5000	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
lämpöhukka		64	3180	29	1440	35	1740

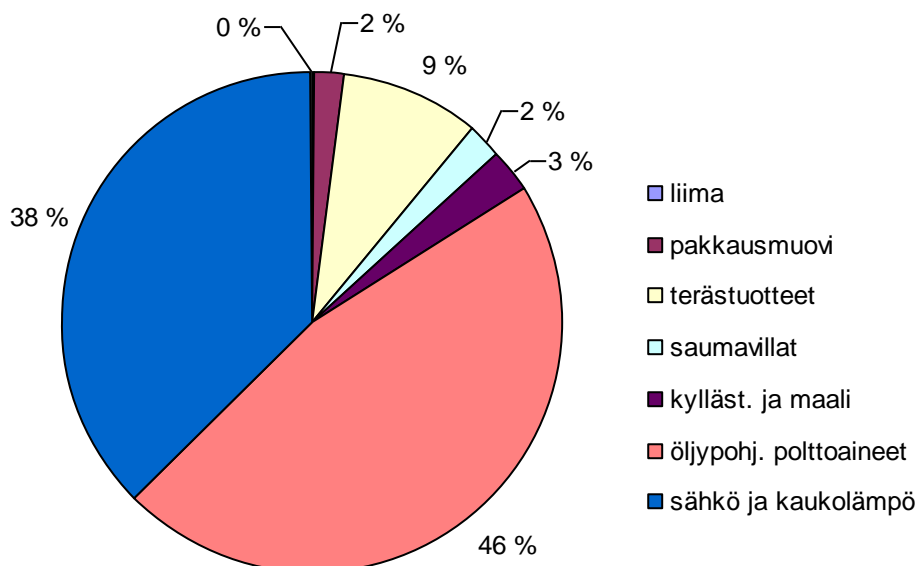
Energia	%	MJ	MJ	MJ	MJ	MJ	MJ
uusiutumaton	89	283	14151	128	6408	155	7743
uusiutuva	11	35	1749	16	792	19	957

Taulukko 20. lämmitysenergian kulutus

Keskikokoisessa n. 180 m<sup>2</sup> omakotitalossa on ulkoseiniä noin 150 m<sup>2</sup>. Yleensä osalle hirsiseinistä tulee sisäpuolelle lisäeristys, esimerkiksi saunan ja kosteiden tilojen ulkoseinille. Näiden määräksi voidaan arvioida 10% ulkoseinistä. Esimerkin mukaisessa hirsitalossa 2,5 m:n huonekorkeudella ja 10% ikkunapinta-alalla eristämättömien hirsiseinien sisäpinta-ala on n. 115 m<sup>2</sup>. Vuodessa lämmitysenergian hukka seinien läpi on 7,36 MWh, joka on 4,03 MWh enemmän kuin normiseinällä varustetussa talossa. Tämä määrä tulee kompensoida esimerkiksi ilmanvaihdon hyötysuhdetta parantamalla, sekä katon, lattian ja ikkunoiden paremmalla eristyskyvyllä.

## 5 TULOSTEN TARKASTELUA

Kuvasta 14 selviää eri syötteiden vaikutus hirsiseinän valmistuksen ja kunnossapidon hiilidioksidipäästöihin. Muiden syötteiden kuin energian osuus hirren valmistuksessa on vähäinen. Rakennuksen lämmittämiseen käytetyn kaukolämmön päästöt eivät sisälly kuvioon.



Kuva 14. Materiaali- ja energiasyötteiden vaikutus hiilidioksidipäästöihin hirsiseinän valmistuksen ja kunnossapidon yhteydessä

Eri tekijöiden vaikutusta päästöihin tutkittiin herkkyysanalyysin avulla.

Energiasyötteiden osuus hiilidioksidipäästöjen muodostumisessa on yhteensä 84%. Muiden syötteiden päästöistä suurimman osan saa aikaan teräksen valmistus, joka tuottaa 9% kasvihuonekaasupäästöistä. Yllättäen pakkausmuovin osuus päästöistä on samaa suuruusluokkaa kuin rakennukseen käytettyjen pintakäsittelyaineiden osuus 50 vuoden aikana. Muovin ympäristövaikutuksia parantaa siihen sisältyvä energia joka vapautuu hyötykäyttöön jos muovi poltetaan energiajätteenä. Vain puujätteen energiakäyttö huomioitiin tässä tutkimuksessa.

Sähkön ja kaukolämmön päästökertoimilla on ylivoimaisesti suurin vaikutus hirren koko elinkaaren aikaisiin päästöihin.

Esimerkiksi, jos tuotantoon käytetään Fortum Oyj:n omaa sähköä, jonka hiilidioksidin päästökerroin on 64 g/kWh, laskee tuotantovaiheen päästöjen määrä 40%. Kasvihuonekaasujen määrä (CO<sub>2</sub>-eq) vähenisi 7,4:stä 4,2:een kg/seinä-



m<sup>2</sup>. Edellä kuvatun keskivertotalon valmistuksessa syntyisi 480 kg vähemmän hiilidioksidia.

Vielä suurempi vaikutus on rakennuksen lämmittämiseen käytetyn energian päästökertoimilla. Laskelmissa kaukolämmön päästökertoimena käytettiin 297 g/kWh CO<sub>2</sub>. Jos kaukolämmön asemasta käytettäisiin edellä esitettyä Fortumin sähköä, jonka päästökerroin on 64 g/kWh, vähenisi lämmityksestä aiheutuva päästö lähes 80%. Hiilidioksidin määrä putoaisi 950:sta 210:aan kg/seinä-m<sup>2</sup> 50 vuoden aikana. Keskivertotalon elinaikaiset päästöt vähenisivät 85 tonnia (CO<sub>2</sub>-eq).

Esimerkkinä käytetyn keskivertotalon hirsiseinien valmistus ja 50 vuoden kunnossapito tuottaa yhteensä 2,5 tonnia hiilidioksidia. Määrä on mitätön jos sitä verrataan lämmitykseen käytetyn energian aiheuttamiin päästöihin joka oli 109 t CO<sub>2</sub>-eq.

Hirsiseinään varastoituneen hiilen nielu on 160 kg/m<sup>2</sup> CO<sub>2</sub>. Hirsiseinän valmistuksen yhteydessä syntyi päästöistä vapaata energiajätettä yhteensä 37 kg/seinä-m<sup>2</sup>. Tämän jättepuun polttoarvo on 175 kWh (Motiva.fi-Biopolttoaineiden lämpöarvoja). Vastaava hiilidioksidipäästömäärä on 52 kg. Kun huomioidaan vielä pellettien ja hakkuutähteiden energiasisältö, voidaan niillä hyvitää N. 35 kg hiilidioksidipäästöjä seinäneliötä kohden.

Jos hiilinieluvaikutus ja jättepuun poltto huomioidaan hirsiseinän eduksi, erotukseksi vertailuseinään 50 vuoden ajalta jää vielä 273 kg/seinä-m<sup>2</sup>.

Kun hirsiseinän alempi lämmöneristyskyky on kompensoitu muiden rakenteiden lämmöneristystä parantamalla, on hirsitalo käytön aikaisessa energiankulutuksessa samalla tasolla muista materiaaleista tehtyjen talojen kanssa. Tällöin lisäeristykseen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt tulee laskea hirsiseinän rasitteeksi.

Hirsiseinän valmistus ja kunnossapito aiheuttaa vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin muista materiaaleista tehty seinä. Tarkastellun hirsiseinän päästö oli n. 17 kg CO<sub>2</sub>. RTS-ympäristöselosteen mukaan esimerkiksi täystiiliseinän CO<sub>2</sub>-päästö on 82 kg. Arvot eivät ole suoraan vertailukelpoisia, koska kaukolämmön tuotannon kasvihuonekaasupäästöt ovat muuttuneet RTS-ympäristöselosteiden laatimisen jälkeen.

## 6 TUOTANTOKETJUN KRIITTINEN TARKASTELU

Elinkaarianalyysin tulosten avulla hirsiseinän valmistusta voidaan arvioida vaiheittain. Analyysin tuloksista saadaan selville, minkä verran energiaa kuluu ja päästöjä syntyy missäkin tuotannon vaiheessa. Säästöjen etsintä kannattaa keskittää eniten päästöjä tuottaviin vaiheisiin.

### **Puunhankinta**

Puunhankinnan päästöihin hirsitalotehtailla ei ole paljon vaikutusmahdollisuuksia. Lähes kaikki raakapuu ostetaan metsäyhtiöiltä tai metsänomistajilta tehtaalle toimitettuna. Tukin keskimääräisiin kuljetusmatkoihin ei voida vaikuttaa. Puun mies- ja hevosvoimin tapahtuvaan korjuuseen ei ole paluuta.

Korjuukoneiden ja puutavara-autojen moottoritekniikan kehittyminen vähentää päästöjä vähitellen. EU:n asettamat päästörajat pakottavat korjuu- ja kuljetusyrittäjät pitämään kalustonsa uudenaikaisina. Vähitellen tapahtuva biopolttoaineisiin siirtyminen vähentää puunhankinnan päästöjä tehokkaimmin.

### **Hirsien valmistus tehtaalla**

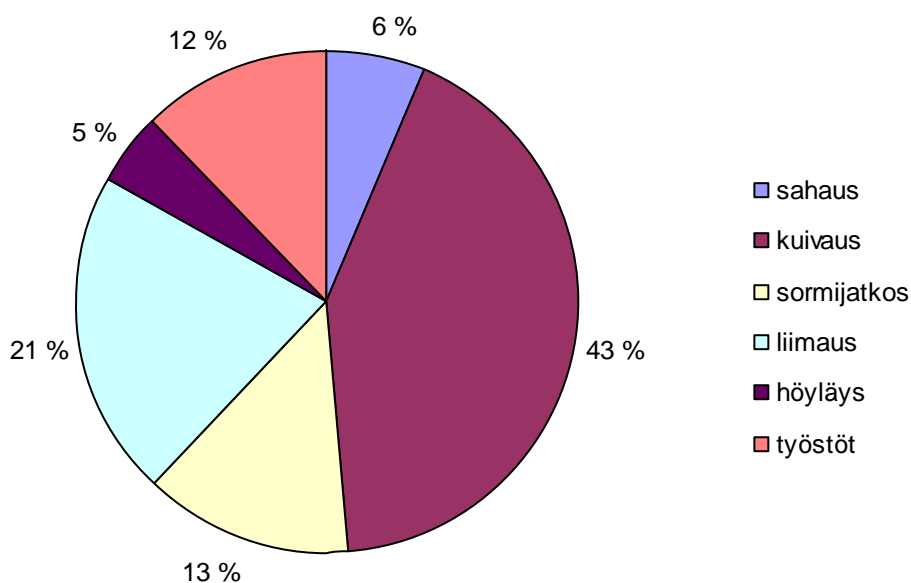
Tehdasalueella tapahtuvat kuljetukset tehdään dieselkäyttöisillä trukeilla. Trukkien liikkeiden ja kulkureittien systemaattisella seurannalla ja saatujen tietojen perusteella tehtävällä sisäisten siirtojen suunnittelulla polttoaineiden kulutusta voitaisiin luultavasti vähentää. Säästön määrää on mahdotonta arvioida ennen nykyisen käytännön kartoitusta.

Siirtymällä sähkökäyttöisiin trukkeihin niissä työpisteissä, missä se on mahdollista, voitaisiin kasvihuonekaasujen päästöjä vähentää.

Puutavaran kuivauksessa kuluu kaukolämmön lisäksi paljon sähköä. Sen osuus koko tehdasvalmistuksen sähkönkulutuksesta on 43%. Paikallisessa kaukolämpökeskuksessa tuotettu lämpö on ympäristöystävällistä, koska sen energialähteistä 75% on biopolttoaineita.

Kuivauksen päästöjä voitaisiin vähentää supistamalla sähkön osuutta kuivamiseen käytettävästä energiasta, ja lämmön talteenottoa tehostamalla.

Kuva 15 esittää sähkönkulutuksen jakautumista tuotannon eri vaiheisiin.



Kuva 15. Sähkölukituksen jakautuminen valmistuksen eri vaiheisiin tehtaalla.

Muiden kuin muovipohjaisten pakkausmateriaalien käyttö saattaisi parantaa hirsien ympäristötasetta. Nykyisin käytössä olevan pakkausmuovin ohentaminen ei ole mahdollista vaarantamatta pakkausten vesitiiveyttä. Kyllästettyjen paperipohjaisten peitteiden elinkaarianalyysistä ei ollut saatavilla. Niiden kestävydestä hirsipakettien peitteinä saattaa joillakin tehtailla olla kokemusta.

### Kuljetus

Kuljetuksen päästöihin vaikuttavat samat keinot kuin puunhankinnan yhteydessä on esitetty.

### Asennus

Hiilidioksidipäästöjen määrä asennusvaiheessa riippuu hyvin paljon teräsosien käytöstä. Turhien kierretankojen käyttämisestä tulisi välttää. Kokemuksen mukaan liimahirsiseinässä ei pultteja tarvita niin paljon kuin massiivisista höylä- tai pyöröhirsistä tehdyissä seinissä. Pultteja ei kannata asentaa kaiken varalta.

## 7 LOPUKSI

Ympäristöklusterin tutkimusohjelman ”Puu ilmastonmuutoksen hillitsijänä” loppuraportissa v. 2006 esitetään seuraavat johtopäätökset:

Ilmakehän hiilitaseen kannalta on edullista jos:

- 1. puutuotteen valmistusprosessin energiapanokset ovat pieniä, jolloin kulutetaan vähemmän fossiilisia polttoaineita tai bioenergiaa säästyy muihin kohteisiin*
- 2. puutuotteella uusiokäyttöineen on pitkä elinkaari, johon sitoutuu enemmän hiiltä*
- 3. tuote voidaan kierrättää bioenergiaksi elinkaarensa lopussa, jolloin puuhun sitoutunut aurinkoenergia saadaan hyödynnettyä*
- 4. puulla voidaan korvata erityisen päästöintensiivisiä tuotteita, jolloin epäsuorasti vähennetään fossiilisten polttoaineiden käyttöä*

Tämän tutkimuksen mukaan hirsiseinä täyttää kaikki edellä esitetyt vaatimukset.

## 8 VIITTEET

EN ISO 14040 *Environmental management-Life Cycle Assessment-Principles and framework (ISO 14040:2006)*

Örn Jouko 2001, *Puuntuotannon, puunkorjuun ja kaukokuljetuksen energian ja käyttöaineiden kulutuksen sekä päästöjen laskentamenetelmä*, Metsätehon raportti 124

Rautaruukki Oyj, *Ympäristöseloste no:9/2008*

Lauhikari Eero, Kirjallinen tiedote Kontiotuote Oy:n hirsitalotehtaan tuotantoprosessin energiankulutuksesta ja sen jakautumisesta eri tuotantovaiheisiin vuodelta 2007.

Häkkinen Tarja & al, 1997, *Rakennusmateriaalien ja – tuotteiden ympäristövaikutukset ja niiden arviointiperusteet*, VTT:n julkaisu no 1836

Metla, *Metsätilastollinen vuosikirja 2006*

Melta, *Metsätilastollinen vuosikirja 2007*

VTT, LIPASTO, *Liikennevälineiden yksikköpäästöt*  
[www.vtt.fi/yksikköpäästöt/](http://www.vtt.fi/yksikköpäästöt/)

Häkkinen Tarja & al, 1999, *Pintakäsitellyn julkisivuverhouslaudan ympäristövaikutukset käyttöiän aikana*, VTT:n julkaisu no 834

Kariniemi Arto, Metsäteho 2008, Puunhankinnan päästölaskelmat liite 1,

VTT, TYKO 2006, *”Työkoneiden päästömalli”*  
<http://lipasto.vtt.fi/tyko/malli.htm>

Mäkelä Kari S. (Hakkuukone ja kuormatraktori)

VTT, LIISA 2006, tieliikenne

Metsätehon raportti nro 8: *”Koneellisen hakkuun tuottavuus harvennuksessa”*

Metsätehon raportti nro 123: *”Puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekki”*

Metsätehon raportti nro 148: *"Metsäkoneiden polttoaineen kulutuksen mitaaminen"*

Metsätehon raportti nro 166: *"Puutavara-autojen polttoaineen kulutus"*

Lauhikari Eero, Kontiotuote Oy: Tukkien vuosittainen hankintamäärä, sähköpostiviesti

[www.energia.fi/fi/tilastot/pikatilasto/sähköntuotannon\\_kk\\_polttoaineet.pdf](http://www.energia.fi/fi/tilastot/pikatilasto/sähköntuotannon_kk_polttoaineet.pdf)

Kara Johanna 2001 *"Eper päästörekisterin vaikutukset energia-alalla"*.

Partanen Pentti: Kaukolämpökeskuksen polttoainejakauma Pudasjärven kaupungin kaukolämpölaitoksella. Suullinen ilmoitus.

Andersson Helena, AKZO NOBEL. Liiman päästökertoimet, sähköpostiviesti 21.4.2008

Association of Plastics Manufactures in Europe: Muovin valmistuksen päästötiedot, [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org)

Rautaruukki Oyj, RT ympäristöseloste 30 *"Kuumasinkityt teräksiset rakennustuotteet"*

Luokkanen Paavo: Suullinen ilmoitus paluukuormien määrä Kontiotuotteen kuljetuksissa.

Rautaruukki Oyj, RT ympäristöseloste 30 *"Kuumasinkityt teräksiset rakennustuotteet"*

Janne Vainio, Isover-Gobain, Lasivillaeristenauhan päästötiedot, sähköpostiviesti 10.12.2008

Motiva Oy: Sivutuotteena syntyvän jätepuun teholliset lämpöarvot, [www.motiva.fi/fi/toiminta/uusiutuva-energia/bioenergia](http://www.motiva.fi/fi/toiminta/uusiutuva-energia/bioenergia)

Suomen Rakennusmääräyskokoelma D5 säätietoliitteen taulukko 1. Ilmasto-  
vyöhyke III (Jyväskylä - Luonetjärvi).

Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatodistuksesta  
765/2007,

Energiateollisuus Ry, Kaukolämmön tuotannon energialähdejakauma v. 2007:  
[www.tilastokeskus.fi/til/salatuo/2007/salatuo\\_2007\\_2008-09-26\\_kuv011.html](http://www.tilastokeskus.fi/til/salatuo/2007/salatuo_2007_2008-09-26_kuv011.html) .

Saari Arto, Rakennustietosäätiö 2001, *"Rakennusten ja rakennusosien ympäristöselosteet"*

Ympäristöklusterin tutkimusohjelma *"Puu ilmastonmuutoksen hillitsijänä"*  
loppuraportti v. 2006

Ilmatieteen laitoksen kotisivut, [www.fmi/saa/tilastot\\_148.html](http://www.fmi/saa/tilastot_148.html)