

**Kim Pingoud & Anna-Leena Perälä**

# **Arvioita puurakentamisen kasvihuonevaikutuksesta**



# **Arvioita puurakentamisen kasvihuonevaikutuksesta**

- 1. Skenaariotarkastelu potentiaalisesta puunkäytöstä ja sen kasvihuonevaikutuksesta vuosien 1990 ja 1994 uudisrakentamisessa**
- 2. Rakennuskannan puutuotteiden hiilivaranto Suomessa: inventaariot vuosilta 1980, 1990 ja 1995**

Kim Pingoud  
VTT Energia

Anna-Leena Perälä  
VTT Rakennustekniikka



ISBN 951-38-5020-X (nid.)  
ISSN 1235-0613 (nid.)

ISBN 951-38-5021-8 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)  
ISSN 1455-0857 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 2000

#### JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Energia, Energiajärjestelmät, Tekniikantie 4 C, PL 1606, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 6538

VTT Energi, Energisystem, Teknikvägen 4 C, PB 1606, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 6538

VTT Energy, Energy Systems, Tekniikantie 4 C, P.O.Box 1606, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 6538

VTT Rakennustekniikka, Rakentaminen ja kiinteistönhallinta,  
Tekniikankatu 1, PL 1802, 33101 TAMPERE  
puh. vaihde (03) 316 3111, faksi (03) 316 3497, (03) 316 3445

VTT Byggnadsteknik, Byggnad och fastighetsförvaltning,  
Tekniikankatu 1, PB 1802, 33101 TAMMERFORS  
tel. växel (03) 316 3111, fax (03) 316 3497, (03) 316 3445

VTT Building Technology, Construction and Facility Management,  
Tekniikankatu 1, P.O.Box 1802, FIN-33101 TAMPERE, Finland  
phone internat. + 358 3 316 3111, fax + 358 3 316 3497, 358 3 316 3445

Tekninen toimitus Leena Uksskoski

Otamedia Oy, Espoo 2000

Pingoud, Kim & Perälä, Anna-Leena. Arvioita puurakentamisen kasvihuonevaikutuksesta. 1. Skenaariotarkastelu potentiaalisesta puunkäytöstä ja sen kasvihuonevaikutuksesta vuosien 1990 ja 1994 uudisrakentamisessa. 2. Rakennuskannan puutuotteiden hiilivaranto Suomessa: inventaariot vuosilta 1980, 1990 ja 1995 [Studies on greenhouse impacts of wood construction. 1. Scenario analysis of potential wood utilisation in Finnish new construction in 1990 and 1994. 2. Inventory of carbon stock of wood products in the Finnish building stock in 1980, 1990 and 1995]. Espoo 2000, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Julkaisuja - Publikationer 840. 58 s. + liitt. 14 s.

**Avainsanat** wood products, timber construction, construction materials, greenhouse effect, carbon balance, energy consumption, emissions, scenarios, carbon sinks

## Tiivistelmä

Julkaisussa käsitellään kahta erillistä tutkimusta: 1) skenaariotarkastelua puun käytön lisäämisestä Suomen uudisrakentamisessa ja sen kasvihuonevaikutuksesta, 2) inventaariota puurakenteiden hiilivarastosta Suomessa.

1) *Toteutunutta* uudisrakentamista Suomessa vuonna 1990 verrattiin *potentiaalisen puun käytön* skenaarioon, jossa sama rakentaminen olisi toteutettu maksimoimalla puun käyttö. Vertailun vuoksi samanlaiset laskelmat tehtiin myös vuoden 1994 uudisrakentamiselle. Skenaarioon tehtiin arvio puuperäisten tuotteiden realistisesta potentiaalisesta markkinaosuudesta kunkin talotyyppin eri rakennusosissa. Puun lisäkäyttö vähentää muiden rakennusmateriaalien tarvetta. Puuperäisten tuotteiden kokonaismäärää olisi voitu lisätä lähes 70 %, ja 1 kg:lla puumateriaaleja olisi voinut korvata 3,6 kg kivipohjaisia tuotteita, 0,12 kg metallituotteita ja 0,005 kg muita tuotteita. Arvioitu rakennusmateriaalien primaarienergiankulutus oli 8,8 TWh vuoden 1990 toteutuneessa uudisrakentamisessa. Potentiaalisen puunkäytön skenaariossa energiankulutus oli 7,7 TWh, ja fossiiliset hiilipäästöt olisivat olleet 0,17 Mt C (0,6 Mt CO<sub>2</sub>) alemmat kuin toteutuneessa rakentamisessa.

Puutuotteisiin sitoutuneen hiilen varastot olisivat kasvaneet 0,37 Mt C enemmän, mutta vastaavasti metsäbiomassaa olisi jouduttu kaatamaan 1,5 Mt C lisää verrattuna toteutuneeseen rakentamiseen. Myös bioenergiaa olisi enemmän käytettävissä, koska jätepuuta syntyisi enemmän. Korvattaessa sillä fossiilisia polttoaineita vähenisivät laskennalliset fossiiliset C-päästöt esim. kevyen polttoöljyn tapauksessa 0,24 Mt C (0,9 Mt CO<sub>2</sub>). Bioenergian hyödyntämisaste voisi kuitenkin olla paljon korkeampi. Teoriassa, jos puuston koko maanpäällinen biomassa käytettäisiin bioenergiana mukaan lukien käytöstä vähitellen poistuvat

puutuotteet, fossiilisten C-päästöjen vähennys voisi olla jopa 1,5 Mt C (5,5 Mt CO<sub>2</sub>).

Tutkimuksessa simuloitiin myös biomassan (metsien biomassan, hakkuutähtien, puutuotteiden, kaatopaikkajätteiden) ja ilmakehän hiilivarastojen dynaamisia, rakennusvuoden jälkeisiä muutoksia koko metsien oletetun kiertoajan (80 vuotta) yli. Potentiaalisen puunkäytön skenaario on ilmakehän hiilitaseen kannalta epäedullisempi alussa, jolloin hiilipäästöt ilmakehään ovat suuria. Toisaalta kiertoajan lopussa, vuonna 2070, kun metsien biomassa on taas uusiutunut ja sitonut hiiltä ilmakehästä, skenaario on selvästi parempi kuin toteutunut rakentaminen, koska siinä käytetään vähemmän fossiilisia polttoaineita.

Vuoden 1994 uudisrakennusvolyymi oli hieman alle puolet vuoden 1990 volyymin edustaan rakentamisessa lamavuotta. Suhteutettuna rakentamisen määrään vuoden 1994 skenaariolaskelmien tulokset olivat samankaltaisia kuin laskelmat vuodelle 1990.

2) Puutuotteiden hiilivarastoja talonrakennuskannassa sekä maa- ja vesirakenteissa arvioitiin kolmessa inventaariossa vuosilta 1980, 1990 ja 1995. Inventaariomenetelmä perustuu osittain Suomen rakennustilastoihin sekä erityiseen tietokantaan, jota kehitetään ja ylläpidetään VTT Rakennustekniikassa. Rakennusluptiedoista löytyvät tiedot rakennusten runko- ja pintamateriaaleista. Lisätietoa puutuotteiden käytöstä rakentamisessa on kerätty monilla kyselyillä. Rakennusmateriaalien käyttö on vaihdellut eri vuosikymmeninä. Rakennusmateriaalien määrät kunkin rakennustyyppin eri rakennusosissa arvioidaan kaikkien näiden käytettävissä olevien tietojen perusteella. Tämän lisäksi on arvioitu puutuotteiden varastot ei-luvanvaraisessa rakentamisessa ja maa- ja vesirakentamisessa vuodelta 1995. Hiilivaranto on laskettu puutuotteiden kuiva-ainemäärän perusteella.

Inventaarioiden mukaan Suomen talorakennuskannan sahatavaran ja puulevyjen sisältämä hiilivarasto oli vuonna 1980 8,7 Mt C, vuonna 1990 10,7 Mt C ja vuonna 1995 11,5 Mt C. Hiilivaraston keskimääräiset vuosikasvut olivat 1980-luvulla 0,20 Mt C /a ja vuosina 1990–1995 0,15 Mt C /a eli noin 1,3 % ja 0,8 % Suomen fossiilisista hiilipäästöistä vastaavina aikoina. Jos lasketaan mukaan ei-luvanvarainen rakentaminen ja maa- ja vesirakentaminen, hiilivaraston suuruudeksi vuonna 1995 arvioitiin 16,5 Mt C. Kolmannes hiilivarannosta muodostuu omakotitaloista. Hiilivaraston suuruus on noin 3,3 t C jokaista Suomen asukasta kohti ja 2,4 % Suomen metsien sisältämästä hiilivarastosta. Jos lasketaan mukaan vientituotteet, voi Suomen metsistä lähtöisin olevien puutuotteiden kokonaishiilivarasto (pois luettuna puujätteet ja paperituotteet) olla jopa 7 % metsien hiilivarastosta.

Pingoud, Kim & Perälä, Anna-Leena. Arvioita puurakentamisen kasvihuonevaikutuksesta. 1. Skenaariotarkastelu potentiaalisesta puunkäytöstä ja sen kasvihuonevaikutuksesta vuosien 1990 ja 1994 uudisrakentamisessa. 2. Rakennuskannan puutuotteiden hiilivaranto Suomessa: inventaariot vuosilta 1980, 1990 ja 1995 [Studies on greenhouse impacts of wood construction. 1. Scenario analysis of potential wood utilisation in Finnish new construction in 1990 and 1994. 2. Inventory of carbon stock of wood products in the Finnish building stock in 1980, 1990 and 1995]. Espoo 2000, Technical Research Centre of Finland, VTT Julkaisuja - Publikationer 840. 58 p. + app. 14 p.

**Keywords** wood products, timber construction, construction materials, greenhouse effect, carbon balance, energy consumption, emissions, scenarios, carbon sinks

## Abstract

This report presents two distinct studies: 1) a scenario analysis on greenhouse impacts of increasing wood use in Finnish new construction production, 2) an inventory of carbon stocks in Finnish wood products.

1) The *actual* new construction production in 1990 was compared with a *potential wood use* scenario in which the same production was materialised by maximising wood use. For comparison, similar calculations were also performed for new construction in 1994. For the scenario a realistic potential market share of wooden materials in each building part of each building type was assessed. The increased use of wood decreased the use of other construction materials. The amount of wood-based products could have been increased totally by nearly 70 %, and 1 kg of wooden materials could have replaced 3.6 kg of concrete, bricks and tiles, 0.12 kg of construction metals, and 0.005 kg of other products. The estimated primary energy consumption of building materials in actual new construction was 8.8 TWh in 1990. In the potential wood use scenario the energy consumption was 7.7 TWh, and the fossil carbon emissions would have been 0.17 Mt C (0,6 Mt CO<sub>2</sub>) less than in actual construction. The carbon stocks associated with wood products would have been 0.37 Mt C larger, but accordingly 1.5 Mt C more forest biomass would have had harvested. In addition, more bioenergy could be recovered in the potential scenario due to increased amount of wood waste. If fossil fuels were replaced by this energy, the calculatory emission reduction of e.g. light fuel oil could have been of the order of 0.24 Mt C (0.9 Mt CO<sub>2</sub>). The degree of utilisation of bioenergy could, however, be much higher. In theory, if all above-ground wood biomass, including also wood products after demolition, were used for bionergy, the fossil C emission reduction could be as much as 1.5 Mt C (5,5 Mt CO<sub>2</sub>).

The dynamic carbon balance of the biomass stocks (living forest biomass, harvesting residues, wood products, landfill waste) and the atmosphere was also simulated over the estimated rotation length of the forest, 80 years. The potential wood use scenario is less favourable in the beginning of the period when a lot of carbon is emitted into the atmosphere. However, at the end of the rotation, in 2070, when forest biomass has been regenerated, the scenario is clearly better for the atmosphere due to lower use of fossil energy.

The volume of new construction in 1994 was slightly less than half of that in 1990 representing a depression year in Finnish construction. However, in proportion to construction volume the scenario results of 1994 were very similar to those of 1990.

2) The carbon reservoir of wood products in Finnish construction and civil engineering was estimated by three inventories including the years 1980, 1990 and 1995. The inventory method is mainly based on the use of the statistics of Finnish building stock and on a special database developed and maintained at VTT Building Technology. Building permits include the materials of bearing frames and facades. More information about the use of wooden products in construction has been collected by many enquiries. The mix of construction materials has been changing during each decade. For each building type the use of different construction materials in different parts of buildings is estimated on the basis of all the collected information. In addition, the timber stocks in construction not subject to permission and those in civil engineering (e.g. bridges) were estimated. The carbon reservoir is calculated on the basis of the dry matter content of wooden construction materials.

According to the inventories the carbon pool in sawn wood and wood-based panels of Finnish building stock was 8.7 Mt C in 1980, 10.7 Mt C in 1990 and 11.5 Mt C in 1995. The mean annual increases, 0.20 Mt C /a from 1980 to 1990 and 0.15 Mt C /a from 1990 to 1995, are approximately 1.3 % and 0.8 % of the fossil fuel C emissions in Finland during the same periods. Taking into account also construction not subject to permission and civil engineering the estimated carbon stock of wood products in Finland was 16.5 Mt C in 1995. One third of the stock is in detached houses. The size of the stock is about 3.3 t C per capita and approximately 2.4 % of the carbon reservoir in Finnish forest biomass. The total C reservoir of wood products (excluding wood waste and paper products) originating in Finnish forests might be even 7 % of standing biomass if also exported wood products are included.

## Alkusanat

Ilmastopimus ja siihen liittyvä vuonna 1997 hyväksytty ns. Kioton pöytäkirja hiilidioksidipäästöjen rajoittamisesta ovat muuttamassa metsäsektoria ilmastopoliittikan yhdeksi apuvälineeksi. Metsien puumäärän lisäys sitoo hiiltä ilmakehästä ja voi osaltaan hillitä ilmastonmuutosta. Metsien ohella myös puutuotteet muodostavat hiilen varaston, jota voitaisiin samoin perustein kasvattaa. Puunkäyttöketjussa syntyvä jätepuu tarjoaa vuorostaan huomattavan uusiutuvan energiapotentiaalin, jolla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita ja siten välillisesti vähentää fossiilisia hiilidioksidipäästöjä ilmakehään. Tähän julkaisuun on koottu tuloksia muutamista viimeaikaisista tutkimuksista.

Raportissa tarkastellaan ensinnäkin, miten Suomessa puutuotteiden käytön lisääminen *uudisrakentamisessa* vaikuttaisi kaikkine kerrannaisvaikutuksineen ilmakehän hiilitaseeseen. Tämä skenaariotarkastelulle perustuva hanke *Hiilen sitoutuminen puutuotteiden elinkaareissa* tehtiin vuosina 1997–1999. Tarkastelun kohteena olivat esimerkkivuodet 1990 ja 1994. Kiitämme maa- ja metsätalousministeriötä hankkeen rahoituksesta.

Raportin toisessa osassa esitetään inventaariotulokset rakennuskannan puutuotemääristä ja niiden hiilisisällöstä vuosilta 1980, 1990 ja 1995. Vuoden 1980 ja 1990 inventaariot tehtiin vuosina 1994 ja 1995 Suomen Akatemian SILMU-tutkimusohjelmaan liittyneessä hankkeessa *Metsäteollisuuden kehitysvaihtoehtojen vaikutus hiilitaseeseen*. Aiemmin on julkaistu ainoastaan näiden inventaarioiden lopputulokset (Pingoud et al. 1996). Vuoden 1995 inventaario tehtiin vuonna 1999 Ympäristöklusteri-tutkimusohjelmaan kuuluvassa hankkeessa *Puuntuotannon, puutuotteiden valmistamisen ja käytön hiilitasevaikutus*, jonka koordinaattorina toimi Timo Karjalainen Euroopan metsäinstituutista (EFI) Joensuusta. Ympäristöklusterihankkeen rahoituksesta ovat vastanneet Ympäristöministeriö ja Tekes, joita haluamme kiittää.

Kolmen suoritetun inventaarion perusteella on mahdollista arvioida, miten puutuotteiden määrä ja hiilen sitoutuminen rakennuskantaan on muuttunut 15 vuoden kuluessa. Inventaariotulosten perusteella voidaan myös tehdä arvioita rakentamisessa käytettyjen puutuotteiden keskimääräisestä eliniästä ja käyttää tuloksia puutuotteiden hiilivarantomallin parametrien sovittamiseen. Nämä tulokset on



raportoitu toisaalla (Pingoud et al. 2000) eikä niitä käsitellä tässä raportissa. Ai-  
hetta käsittelevä artikkeli julkaistaneen kansainvälisessä aikakauslehdessä.

Kumpaakin osatutkimusta ovat lisäksi rahoittaneet kauppa- ja teollisuusministe-  
riö (KTM) sekä VTT omarahoitusosuudellaan. Haluamme erityisesti kiittää  
kauppa- ja teollisuusministeriötä, jolta olemme saaneet rahoitusta kansainväli-  
seen International Energy Agency (IEA) koordinoimaan, bioenergian kasvihuo-  
nevaikutuksia koskevaan tutkimusyhteistyöhön. Tämä yhteistyö on ollut erittäin  
hedelmällistä niin tieteellisen kritiikin ja uusien ideoiden saamisen kuin tutki-  
mustulosten julkistamisen kannalta. Julkaisun kummankin osan tuloksia on esi-  
teltty yhteistyöhankkeen kokouksissa Vancouverissa Kanadassa ja Gatlinburgissa  
Yhdysvalloissa.

Tässä julkaisussa raportoitava tutkimus on suoritettu VTT Energian (Kim Pin-  
goud) ja VTT Rakennustekniikan (Anna-Leena Perälä) välisenä yhteistyönä.

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	3	
Abstract.....	5	
Alkusanat .....	7	
Osa 1. Skenaariotarkastelu potentiaalisesta puunkäytöstä ja sen kasvihuonevaikutuksesta vuosien 1990 ja 1994 uudisrakentamisessa..... 11		
1. Johdanto.....	13	
2. Tutkimusmenetelmä .....	15	
2.1 Rakennusmateriaalien kulutus ja keskinäinen korvaavuus .....	15	
2.2 Vaikutus hiilitaseeseen rakennusvuonna.....	16	
2.3 Dynaaminen hiilitasevaikutus .....	16	
3. Puutuotteiden käyttö ja käyttöpotentiaali uudisrakentamisessa.....	17	
3.1 Puun määrä uudisrakentamisessa .....	17	
3.2 Puu rakenteissa.....	18	
3.3 Puutuotteet rakennusosissa.....	21	
4. Hiilitasetarkastelut .....	26	
4.1 Laskelmien perusoletukset .....	26	
4.2 Skenaariolaskelmien tulokset.....	32	
4.2.1 Vaikutukset kokonaishiilitaseeseen .....	32	
4.2.2 Yksikkökohtaiset vaikutukset hiilitaseeseen.....	35	
4.2.3 Sivuskenaario: maksimaalinen bioenergian käyttö.....	37	
4.3 Tulosten tarkastelua.....	39	
5. Yhteenveto.....	42	
Osa 2. Rakennuskannan puutuotteiden hiilivaranto Suomessa: Inventaariot vuosilta 1980, 1990 ja 1995 .....		45
1. Johdanto.....	47	
2. Rakennuskannan puutuotteiden inventointimenetelmä .....	48	
3. Puutuotteiden hiilivarastot rakennuskannassa .....	51	
4. Tulosten tarkastelua .....	54	

Lähdeluettelo .....	56
---------------------	----

#### LIITTEET

1. Toteutunut ja potentiaalinen uudisrakentaminen vuonna 1994
2. Rakennuskannan puutavaran ja puulevyjen määrä ja hiilivaranto vuonna 1980
3. Rakennuskannan puutavaran ja puulevyjen määrä ja hiilivaranto vuonna 1990
4. Rakennuskannan puutavaran ja puulevyjen määrä ja hiilivaranto vuonna 1995

**Osa 1. Skenaariotarkastelu  
potentiaalisesta puunkäytöstä ja sen  
kasvihuonevaikutuksesta vuosien 1990 ja  
1994 uudisrakentamisessa**



# 1. Johdanto

Kasvihuoneilmiön hillitseminen edellyttää lähivuosikymmeninä tiukkenevia päästörajoitustoimia, joihin kuuluu erityisesti fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen ja niiden korvaaminen uusiutuvalla energialla, kuten bioenergialla. Näiden ohella olisi huolehdittava biosfäärin tärkeimmistä hiilivarastoista (maaperästä ja metsistä) mm. torjumalla metsien hävittämistä, kasvattamalla uusia metsiä sekä lisäämällä metsien puuvarantoa mahdollisuuksien mukaan. Käytössä olevat puutuotteet on yksi, tosin suhteellisen pieni hiilivarasto, jota kasvattamalla voidaan myös sitoa ilmakehän hiiltä. Maailmassa käytössä olevista puutuotteista huomattavin osa lienee sitoutunut rakennuskantaan. Suomen rakennuskannan sisältämä hiilivarasto vuosina 1980, 1990 ja 1995 on arvioitu tämän julkaisun osassa 2, ja tulokset osoittavat sen jatkuvasti kasvaneen ja muodostaneen pienehkön hiilinielun.

Puu on Suomessa yleinen rakennusmateriaali, mutta sen osuutta suhteissa muihin materiaaleihin voitaisiin edelleenkin lisätä ja siten kasvattaa pitkäaikaisia hiilivarastoja. Lisäksi puisten rakennusmateriaalien käytöllä on välillisiä vaikutuksia, jotka vähentävät fossiilisia hiilipäästöjä.

Metsävarantoja ei voida loputtomasti lisätä ( $m^3/ha$ ), koska ikääntyvien metsien puuvaranto vähitellen kyllästyy luonnollisen poistuman lähetessä puuston kasvua. Puutuotteiden käytön ja niiden kokonaisvarastojen lisäykselle ei ole samantaisia luonnontieteellisiä tai teknisiä esteitä, joskin puutuotteiden käyttöikä on rajallinen. Puutuotteiden osuuden kasvattamisella on myös kerrannaisvaikutuksia nettohiilitaseeseen tuote- ja energiakorvaavuuden kautta. Esimerkiksi rakennusteräksen ja betonin valmistus aiheuttaa huomattavia fossiilisia hiilipäästöjä, joita voitaisiin vähentää käyttämällä korvaavia puuperäisiä tuotteita. Puun käyttöketjussa syntyvä jätetä puu voidaan lisäksi hyödyntää bioenergiana, jolla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita.

Puisten rakennusmateriaalien on arvioitu olevan ylivoimaisesti suurin käytössä olevien puutuotteiden varastoista Suomessa (Osa 2 sekä Pingoud et al. 1996 ja 2000) ja niihin liittyvät myös suurimmat hiilensidontapotentialit.

Tutkimuksen tavoitteena oli:

- arvioida kvantitatiivisesti, miten suuria hiilensidontapotentiaaleja sisältyy Suomen mekaanisen metsäsektorin puutuotteisiin ja erityisesti rakennustuotteisiin,
- arvioida päästöjen vähenemisenä syntyviä kerrannaisvaikutuksia, joita syntyy puun korvatta energiaintensiivisempiä tuotteita, kuten betonia, tiiltä ja terästä, sekä
- arvioida näiden eri tekijöiden suhteellista merkittävyyttä Suomen kasvihuonekaasujen taseessa sekä vaikutusten jakautumista ajan suhteen.

Rakennustuotteiden ympäristövaikutuksia tutkitaan eri osapuolien toimesta. Usein tulokset ovat luottamuksellisia, joten tässä tutkimuksessa on pitäydytty julkisesti saatavilla olevaan aineistoon. Tilanne tulee lähivuosina parantumaan, kun tuottajat ilmoittavat nykyistä laajemmin tuotteidensa ympäristövaikutukset.

Tässä julkaisussa arvioidaan mm. *hiilivirtoja* ilmakehästä pois ja takaisin ilmaan. Jos nämä halutaan esittää *hiilidioksidivirtoina*, ne on kerrottava luvulla  $44/12 \approx 3,67$ .

## 2. Tutkimusmenetelmä

Tutkimuksen laskennallinen osa perustuu dynaamisiin taselaskelmiin, joilla kuvataan rakentamisesta aiheutuvia hiilivarastojen muutoksia ajan funktiona. Tarkasteltavia hiilen varastoja ovat metsien biomassa, hakkuutähteet, puuperäiset rakennusmateriaalit, puujätteet kaatopaikoilla, fossiiliset hiilivarastot sekä kaatopaikkojen metaanipäästöjen vaikutus ilmakehän hiilitaseeseen ilmaistuna ns. GWP-ekvivalenttina. Laskemalla yhteen kaikkien em. hiilivarastojen taseet saadaan ilmakehän hiilitase, joka kuvaa rakentamisen kasvihuonevaikutusta. Vaikutuksia tarkastellaan sekä 1) mekaanisen metsäsektorin koko tuotannon tasolla että 2) yksikkötasolla, suhteessa käytettyyn puumateriaalimäärään.

Tarkastelun kohteena on *uudisrakentaminen* Suomessa yhden vuoden aikana. Tutkimuksessa verrataan kahta eri tapausta: 1) toteutunutta uudisrakentamista ja siinä käytettyjä materiaaleja verrataan 2) skenaarioon, jossa realistiset puumateriaalien käyttöpotentiaalit uudisrakentamisessa olisivat toteutuneet ottaen huomioon mm. rakennus- ja paloturvallisuusmääräykset. Tästä *potentiaalisen* puurakentamisen hiilitaseesta on vähennetty *toteutuneen* rakentamisen hiilitase, jolloin saadaan arvio siitä, mikä on *yhden vuoden aikana* vallinneen puunkäytön lisäyksen vaikutus kasvihuonekaasutaseeseen. Puunkäytön lisäys yhtenä vuonna vaikuttaa vuosikymmeniä eri varastojen hiilitaseeseen, mikä kuvataan dynaamisilla taselaskelmilla.

Tarkasteluvuosiksi laskelmissa valittiin 1990 ja 1994. Vuosi 1990 oli yksi uudisrakentamisen huippuvuosia Suomessa, ja taselaskelmat esitetään julkaisussa käyttäen vuotta 1990 esimerkivuotena. Vuonna 1994 uudisrakentamisessa oli syvä taantuma, joten rakennusmateriaalien kulutus oli poikkeuksellisen pieni. Vastaavat vuoden 1994 laskelmat taulukkoineen ja kuvineen esitetään erikseen liitteessä 1.

### 2.1 Rakennusmateriaalien kulutus ja keskinäinen korvaavuus

Julkaisussa kuvataan aluksi vuoden 1990 uudisrakentamisessa käytetyt rakennusmateriaalit sekä esitetään arvio rakennusmateriaalien kulutuksesta, jos puuperäisten materiaalien käyttöpotentiaali olisi hyödynnetty. Laskelmien yhtenä tu-



loksena on arvio rakennusmateriaalien korvautuvuudesta puuperäisillä tuotteilla eli se, miten paljon puisten materiaalien lisääntynyt kulutus olisi vähentänyt muiden rakennusmateriaalien kulutusta. Materiaalikorvaavuutta kuvataan myös yksikkötasolla: esimerkiksi se, miten paljon 1 kg puisia rakennusmateriaaleja voisi korvata betonia ja terästä sekä mitkä ovat tähän liittyvät yksikkökohtaiset kasvihuonevaikutukset.

## **2.2 Vaikutus hiilitaseeseen rakennusvuonna**

Rakennusmateriaalien valmistamisen ja rakentamisen fossiilisten hiilipäästöjen oletettiin tapahtuvan tarkasteltavana rakennusvuonna. Rakentamisessa käytettyjen puutuotteiden valmistukseen tarvittava runkopuun hakkuumäärä arvioitiin eri valmistusprosessien puun ominaiskulutusten perusteella. Runkopuumäärästä arvioitiin vuorostaan koko kaadettu puuaines määrä ja sen hiilisisältö. Hakkuiden seurauksena elävän puuston biomassavarasto vähenee ja metsiin syntyy hakkuutähteiden varasto. Uudisrakentamisesta syntyy käytössä olevien puurakenteiden varasto sekä rakennusjätepuun kaatopaikkavarasto. Rakentamisessa käytettyjen puutuotteiden valmistuksessa ja rakentamisessa syntyvää jätepuuta on osin oletettu hyödynnettävän bioenergiana, jonka on laskelmissa oletettu korvaavan kevyttä polttoöljyä aiheuttaen tätä kautta fossiilisten hiilipäästöjen vähennyksen rakennusvuonna.

## **2.3 Dynaaminen hiilitasevaikutus**

Rakennusvuoden hakkuista, puurakentamisesta ja puujätteistä syntyy ko. vuoden jälkeinen dynaaminen vaikutus hiilitaseeseen, joka myös on arvioitu laskelmissa: Hakuut aiheuttavat metsien hiilivarastoon vähennyksen, jonka on oletettu palautuvan metsän kiertoajassa. Hakuutähteet hajoavat suurelta osin ja palautuvat hiilidioksidina ilmakehään. Rakentamisessa käytetyt puutuotteet poistuvat käytöstä osan hajotessa aerobisesti ja osan joutuessa kaatopaikoille. Kaatopaikoilla rakentamisen puutuotteista osa hajoaa vähitellen metaaniksi ja hiilidioksidiksi. Näiden hiilivarastojen dynamiikasta seuraa, että yhtenä vuonna tapahtuneen puurakentamisen vaikutus ilmakehän hiilitaseeseen muuttuu ajan funktiona. Simuloinneilla kuvataan tätä kasvihuonevaikutuksen dynamiikkaa.

## 3. Puutuotteiden käyttö ja käyttöpotentiaali uudisrakentamisessa

### 3.1 Puun määrä uudisrakentamisessa

Rakentamisessa käytetään nykyisin vuosittain runsaat 130–140 miljoonaa tonnia (Mt) rakennusmateriaaleja, josta yli 130 Mt on erilaisia maamassoja (Perälä ja Nippala 1998). Maamassojen käytöstä Suomessa puuttuvat kattavat tilastot. Talonrakentamisen uudistuotannon määrä on vaihdellut voimakkaasti taloudellisten suhdanteiden mukaan. Huippusuhdannetta edustavaa vuotta 1990 tarkastellaan lähemmin seuraavassa. (Matala-suhdannevuodelle 1994 tehdyt vastaavat skenaariolaskelmat ovat liitteessä 1.)

Uudisrakennustuotannossa käytettiin vuonna 1990 yli 9 Mt rakennusmateriaaleja. Tämän lisäksi työmaalla käytettiin maamassoja ja työn aikaisia rakennusmateriaaleja muottirakenteissa. Uudistalonrakentamisen rakenteissa puupohjaisia tuotteita oli noin 1 Mt puun tilavuuspainolla  $500 \text{ kg/m}^3$  laskettuna. Puurakenteiden sisältämä hiilimäärä oli näin noin 0,5 Mt C.

Rakennusmateriaalien valmistamiseen kului vuonna 1990 noin 8,8 GWh primäärienergiaa (taulukko 2), josta kotimaisen energian osuus karkeasti arvioiden olisi yli 10 %, öljypohjaisten polttoaineiden osuus 60 % ja kivihiili- tai muiden energialähteiden osuus 30 %. Primäärienergia-arvio perustuu Perälän et al. (1995) tutkimukseen.

Puuta voitaisiin käyttää nykyistä huomattavasti enemmän. Esimerkiksi sahatavaran määrä olisi voitu potentiaalitasolla kaksinkertaistaa 0,9 Mt:sta 1,8 Mt:iin. Vastaavasti muiden materiaalien käyttö olisi vähentynyt. Puu voisi korvata nykyistä enemmän sisäpintoja sekä ala- ja välipohjan runkorakenteita. Myös asuinrakennusten julkisivuissa olisi lisäkäyttöä. Potentiaalitarkasteluissa *ei* ole lähdetty siitä, että kaikki mahdollinen rakentaminen tehtäisiin puusta. Kussakin tuoter ryhmässä tehtiin arvio siitä, miten suuri puuperäisten rakenteiden markkinaosuus olisi voinut realistisesti olla, kun otetaan lisäksi huomioon tuolloin vallinneet paloturvallisuusmääräykset. Tässä tarkastelussa ei esimerkiksi oletettu, että rakennettaisiin erityisen runsaasti puisia kerrostaloja. Uusien puukerrostalojen markkinaosuus on nykyisin noin 2–3 %. Vuonna 1990 sai rakentaa kaksikerrok-

sisia runkorakenteiltaan puisia kerrostaloja. Myöskään puun käyttöä piharakentamisessa ei ole tarkasteltu.

Potentiaalinen puun käyttö lisäisi jonkin verran kotimaisen energian käyttöä mutta vähentäisi erityisesti öljyn ja kivihiilen käyttöä. Laskelmissa tarkasteltiin karkeasti tätä suhdetta. Lisäksi, kun puurakenteet poistuvat käytöstä, voidaan niistä periaatteessa ottaa talteen niiden energiasisältö.

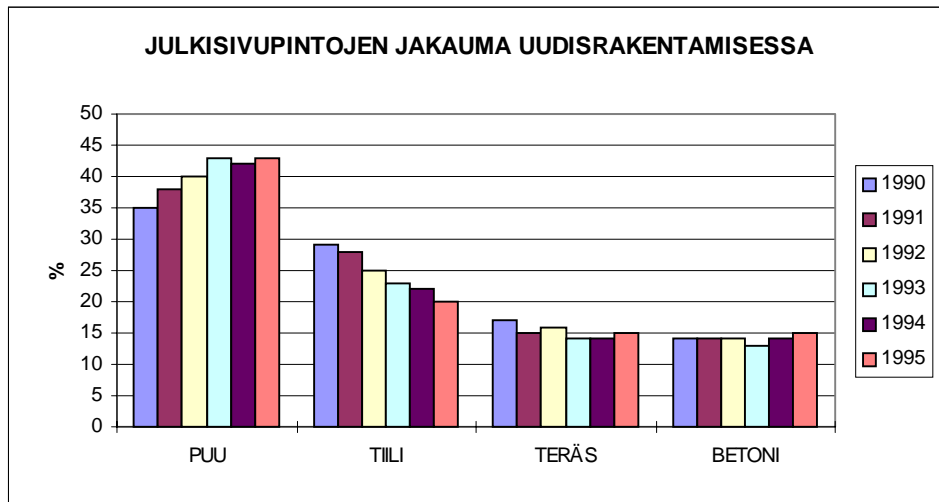
### 3.2 Puu rakenteissa

Kotimaan uudisrakentamisen sahatavaran käytöstä noin 70 % menee runkorakenteisiin ja 30 % pintoihin. Rakennustilastoista voidaan seurata runko- ja julkisivupintamateriaalien kehitystä.

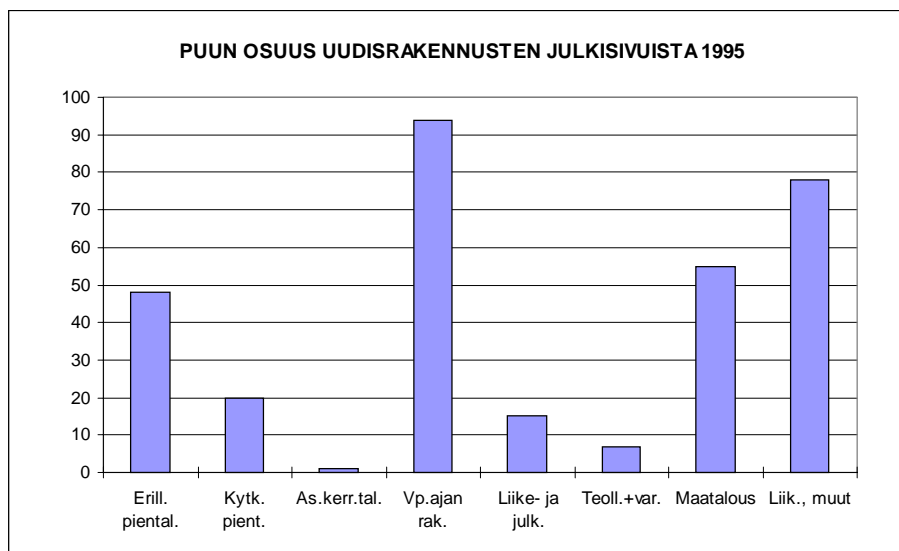
Uusien rakennusten ulkopintamateriaaleista puun osuus vuonna 1990 oli 35 % pintamäärästä (kuva 1). Nykyisin puun osuus ulkopinnoista on lähes 10 prosenttiyksikköä suurempi. Puun osuus julkisivupinnoista on erityisen suuri kesämökeissä, liikenteen rakennuksissa (autotalleissa) sekä muissa pienissä rakennuksissa. Seuraavina tärkeinä ryhminä tulevat maatalousrakennusten ja omakotitalojen julkisivut (kuva 2).

Puun osuus uusien rakennusten runkorakenteista oli vuonna 1990 46 % ja vuonna 1994 43 % rakennustilavuudella mitattuna (kuva 3). Talotyypeittäin tarkasteltuna puun osuus runkomateriaalina on erityisen suuri omakotitaloissa, kesämökeissä, pienissä autotalleissa, talousrakennuksissa ja varastoissa (liikenteen ja muut rakennukset). Puuta käytetään paljon myös rivitalojen ja maatalousrakennusten runkomateriaalina (kuva 4). Puuta käytetään tavallisesti alle 200 m<sup>2</sup>:n rakennuksissa ja puun jatkojalosteita (liimapuuta ja kertopuuta) hallimaisissa rakennusten rungoissa.

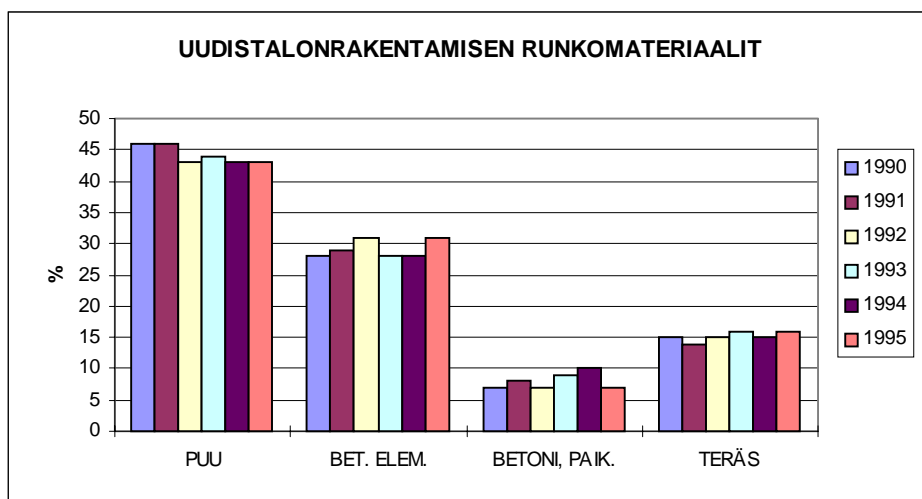
Muihin Euroopan maihin verrattuna puuta käytetään Suomessa runsaasti erilaisissa rakenteissa. Puutuotteiden lisäkäytölle suurimmat potentiaalit olisivat vientikohteissa.



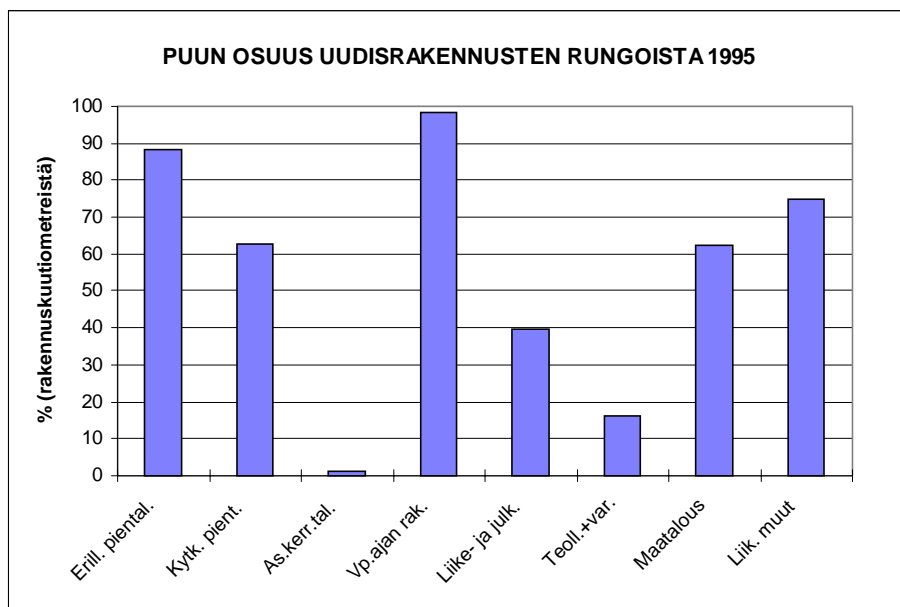
*Kuva 1. Puun osuus uudisrakennusten julkisivupinnoista (m<sup>2</sup>) oli 35–44 % 1990-luvun alkupuoliskolla (arvioitu VTT Rakennustekniikassa viitteen Tilastokeskus 1996b perusteella).*



*Kuva 2. Puuta käytetään paljon pienten rakennusten julkisivupinnoissa, kuten liikenteen rakennuksissa, talousrakennuksissa ja vapaa-ajan asuinrakennuksissa (arvioitu VTT Rakennustekniikassa viitteen Tilastokeskus 1996b perusteella).*



Kuva 3. Vajaa puolet uusien rakennusten runkorakenteista oli puuta 1990-luvun alkupuoliskolla. Puun osuuteen vaikuttavat uudistalonrakentamisen rakenne sekä puun osuus kantavista runkorakenteista ( Tilastokeskus 1996a).



Kuva 4. Puurunkojen osuus on suuri omakoti- ja rivitaloissa, lomarakennuksissa sekä maatalous- ja talousrakennuksissa (Tilastokeskus 1996a).

Kaikkein vahvin asema puulla on rakennusten yläpohjarakenteissa. Sen osuutta ei ole kovin helppo enää nostaa. Tosin kattorakenteiden monimuotoistuminen sekä puuta suosivat rakenneratkaisut lisääisivät jonkin verran puun käyttöä.

Rakennusten kerrosluku ja palovaatimukset asettavat omat vaatimuksensa puutuotteiden käyttömahdollisuuksille tulevaisuudessa. Palomääräyksiä on nyt muutettu siten, että alle viisikerroksisten asuinrakennusten tekeminen on mahdollista puurunkoisena ilman poikkeuslupia.

Vuonna 1993 asuinkerrostalon keskikorkeus oli 3,1 kerrosta. Yli nelikerroksisten kerrostalojen osuus on ollut vain 10 % kerrostalotuotannosta. Aikaisemmin keskimääräinen kerrosluku oli lähempänä neljää. Siten jatkossa valtaosa kerrostalotuotannosta voisi kuulua potentiaalisiin markkinoihin. Nyt tehdyissä potentiaalilaskelmissa on käytetty kuitenkin noin 60 %:n tasoa. Puu soveltuu aluerakentamiseen, mutta aivan kaikissa suurien kaupunkien kohteissa ei liene potentiaalisia markkinoita.

Uusista rakennuksista rakennetaan nykyisin noin 70 % kaavoitetuille alueille ja 30 % maaseudun haja-asutusalueille. Rakennusten koko, kerrosluku ja palovaatimukset asettavat rajoituksia puun käytölle rakennusosissa.

### **3.3 Puutuotteet rakennusosissa**

Puuta voisi käyttää nykyistä enemmän rakennusten rungoissa, ulkoseinissä, välipohjissa, alapohjissa, väliseinissä, julkisivupinnoissa sekä sisäverhousmateriaalina. Aivan kaikkeen rakentamiseen ei voi käyttää puuta. Potentiaalitarkasteluissa monen rakennusosan kohdalla on potentiaalitasona noin 60 % koko rakennusosan markkinoista. Taulukosta 1 voi arvioida rakennusosittain sahatavaran käytön mahdollisuuksia uudistalorakentamisessa. Puu korvaisi osaa betonituotteista, tiilituotteista, kipsilevystä ja metallituotteista.

Puutuotteiden uudistalonrakentamisen potentiaalilaskelma vuodelle 1990 perustuu valmistuneiden uudisrakennusten määrään, rakenteiden määrään 13 eri talotyyppissä ja 12 rakenneosassa, sahatavaran ja puulevyjen käyttömääriin rakennusosissa sekä sahatavaran käytön mahdollisuuksiin rakennesosittain.

Puutuotteiden käytön lisäämismahdollisuudet vaihtelevat eri rakenneosissa. Puulla on jo suuri markkinaosuus vesikaton ja yläpohjan runkorakenteissa, yli 80 % rakenteiden määrästä. Potentiaalitasoksi on arvioitu vajaan 90 % yläpohjarakenteiden määrästä. Ulkoseinien ja väliseinien runkorakenteissa sahatavaran osuus oli vuonna 1990 48–56 % näiden rakenteiden kokonaismäärästä ja potentiaalisen käytön on arvioitu olevan 62–64 %. Väliseinäpinnoissa ja sisäkattorakenteissa sahatavaran käyttömahdollisuuden on arvioitu olevan saman suuruisen. Ulkoseinien ulkopinnoista noin 40 % on puuta ja potentiaalitasoksi on arvioitu 90 %. Välipohjien ja alapohjien runkorakenteissa sahatavaran käytön potentiaali on arvioitu kolmannes, kun puun osuus vuonna 1990 oli alle 5 %. Edellä käytetyt puutavaran potentiaalitasot on muodostettu nykyisten palomääräysten, rakennusten tyyppien sekä rakennusten kokoluokan perusteella.

Vuonna 1990 valmistuneiden uudisrakennusten rakennustilavuudesta erillisten pientalojen osuus oli 21 %, kytkettyjen pientalojen 8 %, asuinkerrostalojen 9 %, vapaa-ajan asuinrakennusten 2 %, liike- ja julkisten rakennusten 17 %, teollisuus- ja varastorakennusten 25 %, maatalousrakennusten 9 % sekä muiden rakennusten 9 %. Tässä on huomattava, että yhden rakennustyyppin muuttaminen täysin puurakenteiseksi, esimerkiksi asuinkerrostalojen muuttaminen täysin puurakenteiseksi, ei vielä kovin paljon lisää puun kokonaiskäyttöä, vaan puun markkinaosuuden pitäisi kasvaa *kaikkien* rakennustyyppien rakenteissa.

Edellä suoritetun arvion perusteella sahatavaran potentiaalinen lisäkäyttö Suomen vuoden 1990 uudistalonrakentamisessa olisi voinut ollut lähes 0,9 milj. tonnia eli 1,8 miljoonaa m<sup>3</sup>, mikä merkitsee lähes kaksinkertaista käyttöä. Voidaan olettaa yleisemminkin, että puun käytön uudisrakentamisessa voisi lähes kaksinkertaistaa nykytasosta. Suuria uusia käyttökohteita olisivat väliseinäpinnat, julkisivupinnat sekä alapohja- ja välipohjarakenteet. Jos lasketaan mukaan kaikki puuperäiset tuotteet, kuten muu puutavara ja puulevyt, olisi kokonaiskäyttö lisääntynyt 1,2 miljoonasta tonnista 2,1 miljoonaan tonniin.

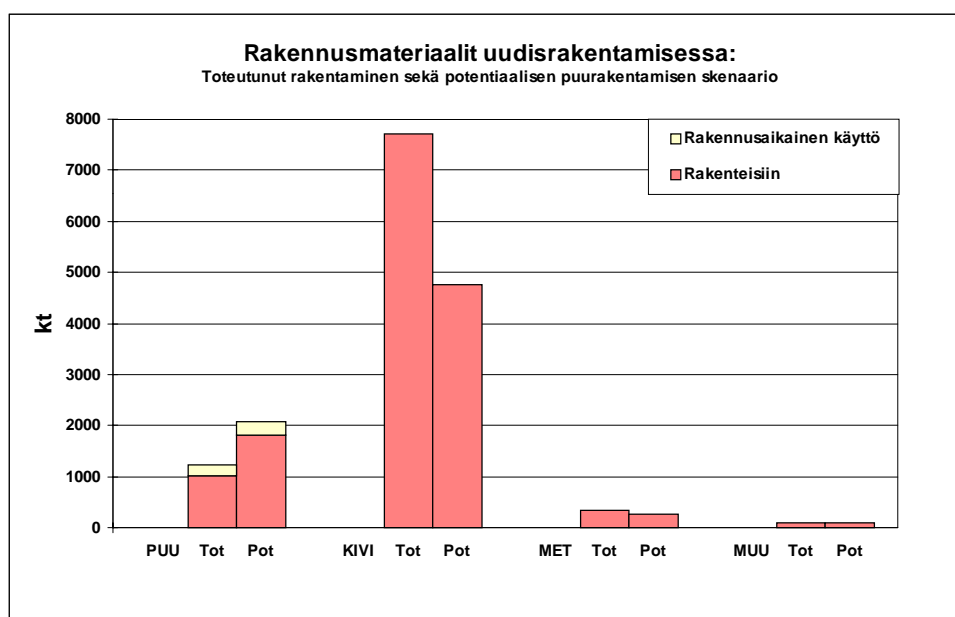
*Taulukko 1. Puutuotteiden toteutunut ja potentiaalinen käyttö uudisrakentamisessa vuonna 1990.*

Rakennusosat/Puutuotteet	Käyttö 1990 kt	%-osuus 1990 %	Potentiaalinen käyttö v.1990 kt
Vesikaton katealusta	210	22	235
Yläpohjan runkorakenne	250	25	270
Välipohjan runkorakenne	5	0	35
Alapohjan runkorakenne	12	1	100
Väliseinän runkorakenne	60	6	80
Ulkoseinän runkorakenne	185	19	215
Ulkoseinän sisäpinta	30	3	145
Ulkoseinän ulkopinta	110	11	250
Aluslattia	40	4	70
Sisäkatto	60	6	150
Väliseinäpinnat	30	3	250
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>992</b>	<b>100</b>	<b>1800</b>

Puun lisäkäyttö merkitsisi sitä, että vastaavasti kivipohjaisia tuotteita käytettäisiin vähemmän. Vuonna 1990 rakennustuotteita käytettiin uudisrakentamisessa yli 9,4 Mt. Tästä puupohjaisia tuotteita oli yli 1,2 Mt, kivipohjaisia tuotteita 7,7 Mt, metallipohjaisia tuotteita 0,35 Mt ja muita tuotteita 0,1 Mt (kuva 5). Maa-massat eivät olleet tarkastelussa mukana.

Puun potentiaalinen käyttö olisi merkinnyt sitä, että puuta olisi käytetty 0,9 Mt enemmän uudisrakentamisessa ja muiden materiaalien käyttö olisi vähentynyt noin 2,3 Mt.





*Kuva 5. Puun potentiaalinen käyttö olisi vähentänyt muiden materiaalien käyttöä yhden vuoden uudisrakentamisessa yli 3 miljoonaa tonnia eli 8,2 miljoonaa tonnista 5,0 miljoonaan tonniin.*

Kun vuoden 1990 rakentamista tarkastellaan yksikkötasolla, olisi yksi kilo puupohjaisia tuotteita voinut korvata 3,6 kg kivipohjaisia tuotteita, 0,12 kg metallituotteita ja 0,005 kg muita tuotteita.

Materiaalien tuottamiseen kuluva primäärienergiaa arvioitiin vuoden 1990 toteutuneessa uudisrakentamisessa käytetyn 8 800 GWh (taulukko 2), kun taas potentiaalisella puun käytöllä primäärienergiatarve olisi ollut 7 700 GWh. Luvut on laskettu eri rakennusmateriaalien energian ominaiskulutuksista, jotka on arvioitu Perälän et al. (1995) julkaisussa. Kyseisestä julkaisusta löytyy myös primäärienergian ominaiskulutusten jakautuminen eri energialähteisiin. Taulukosta 2 havaitaan muun muassa, että kivi-, metalli- ja muiden tuotteiden muutamien päätuoteryhmien ominaisenergiapanokset eivät ole samoja toteutuneessa rakentamisessa ja potentiaalisen puurakentamisen skenaariossa. Tämä on seurausta

siitä, että päätuoteryhmien sisällä yksittäisten tuoteryhmien keskinäinen osuus muuttuu, kun puun osuutta lisätään.

*Taulukko 2. Rakennusmateriaalien arvioitu primäärienergian kulutus kahdessa uudisrakentamisen skenaariossa (primäärienergiasisällöt kWh/kg viitteestä: Perälä et al. 1995).*

	TOTEUTUNUT 1990		POTENTIAALINEN	
	Energia- sisältö	Primääri- energia yhteensä	Energia- sisältö	Primääri- energia yhteensä
	kWh/kg	GWh	kWh/kg	GWh
<b><u>PUUTUOTTEET</u></b>				
Sahatavara	1,0	896	1,0	1 790
Muu puutavara	0,65	106	0,65	106
Vaneri	5,4	146	5,4	117
Lastulevy	3,4	383	3,4	192
Kuitulevy	5,7	255	5,7	215
Paperi ja kartonki	15	15	15	15
<b><u>KIVITUOTTEET</u></b>				
Betonituotteet	0,39	2 632	0,43	1 873
Tiilet, laatat	0,68	520	1,2	203
Muut kivipohjaiset	3,0	741	3,6	450
<b><u>METALLITUOTTEET</u></b>				
Betoniteräs	3,0	414	3,0	207
Teräsrakent., ohutlevyt	6,5	1 032	6,5	929
Muut metallituotteet	6,6	330	6,8	270
<b><u>MUUT TUOTTEET</u></b>				
Muoviputket	17	153	17	153
Pintamateriaalit	10	686	11	662
Muut muovituotteet	19	475	19	475
<b>YHTEENSÄ</b>	GWh	<b>8 784</b>		<b>7 655</b>
	PJ	<b>32</b>		<b>27</b>

## 4. Hiilitasetarkastelut

### 4.1 Laskelmien perusoletukset

Rakennustuotteiden valmistuksen kasvihuonevaikutusten arviointi perustuu em. Perälän et al. (1995) selvitykseen niiden valmistuksen primäärienergiapanoksista (taulukko 2) ja niiden jakautumisesta eri energialähteisiin (öljy, hiili, kotimainen, muut) vuonna 1990. Vuoden 1990 kotimaisen energian käytön jakautuminen eri energialähteisiin on tilastoitu energiatilastoihin (Tilastokeskus 1998). Öljyn ja hiilen arvioitujen osuuksien sekä kotimaisen energian käytön keskimääräi-

*Taulukko 3. Arvioidut energiaperäiset fossiilisen hiilen ja hiilidioksidin päästökertoimet rakennustuotteista vuoden 1990 toteutuneessa uudisrakentamisessa.*

	kg C /kg	kg CO <sub>2</sub> /kg
<b><u>PUUTUOTTEET</u></b>		
Sahatavara	0,029	0,11
Muu puutavara	0,024	0,09
Vaneri	0,31	1,1
Lastulevy	0,21	0,79
Kuitulevy	0,37	1,3
Paperi ja kartonki	0,83	3,0
<b><u>KIVITUOTTEET</u></b>		
Betonituotteet	0,031	0,11
Tiilet, laatat	0,048	0,18
Muut kivipohjaiset	0,21	0,78
<b><u>METALLITUOTTEET</u></b>		
Betoniteräs	0,23	0,84
Teräsrakent., ohutlevyt	0,48	1,7
Muut metallituotteet	0,49	1,8
<b><u>MUUT TUOTTEET</u></b>		
Muoviputket	1,23	4,5
Pintamateriaalit	0,75	2,7
Muut muovituotteet	1,38	5,0

sen jakautuman perusteella laskettiin ominaispäästökertoimet kunkin tuoteryhmän valmistuksessa syntyville energiaperäisille fossiilisille päästöille ilmaistuna hiilenä ja hiilidioksidina massayksikköä kohti (taulukko 3). Fossiilisille polttoaineille käytettiin tässä IPCC:n (1996) suosittelemia hiilen ominaispäästökertoimia. Sahatavaran energiasisällölle ja hiilen ominaispäästökertoimelle oli lisäksi käytettävissä tuorempia arvioita (Rakennustietosäätiö 1999).

Fossiilisten polttoaineiden päästöjen lisäksi sementinvalmistuksessa syntyy ei-energiaperäisiä hiilidioksidipäästöjä, jotka olivat vuonna 1990 0,5 kg CO<sub>2</sub> / kg sementtiä Boströmin et al. (1992) arvioiden mukaan. Kun 1 kg:n betonia arvioitiin sisältävän keskimäärin 0,140 kg sementtiä, saatiin betonin ei-energiaperäiseksi päästökertoimeksi 0,019 kg C eli 0,07 kg CO<sub>2</sub> / kg betonia. (On kuitenkin huomattava, että pitkällä aikavälillä sementinvalmistuksessa vapautunut hiilidioksidi sitoutuu takaisin betoniin, mitä ei huomioitu tehdyissä laskelmissa.)

Toinen osa rakentamisen kasvihuonevaikutuksista on seurausta uusiutuvien, puumassaan sitoutuneiden hiilivarastojen taseista suhteessa ilmakehään. Tästä aiheutuu dynaaminen ja palautuva vaikutus ilmakehän hiilitaseeseen.

Puurakentamisen kasvihuonevaikutusten arvioinnissa otettiin huomioon koko puun käyttöketju metsistä rakentamisessa käytettyjen puutuotteiden valmistuksen kautta niiden käyttöön ja käytöstä poistuvien tuotteiden kaatopaikkasijoitukseen saakka. Puuaines- ja hiilivirtojen arvioinnissa tarvittavia muuntokertoimia on esitetty mm. Seppälän ja Siekkisen (1993) raportissa.

Laskelmien lähtökohtana oli rakentamisessa käytettyjen puutuotteiden kysyntä vuoden 1990 uudisrakentamisessa. Tämän perusteella laskettiin raakapuun kulu- tus tuotteiden valmistuksessa sekä sitä vastaava runkopuun hakkuupoistuma. Hakkuupoistuman perusteella arvioitiin puuston kokonaispoistuma, syntynyt hakkuutähteiden määrä ja näitä vastaavat hiilivaraston muutokset. Biomassavarastojen taseiden laskennassa käytetyt muuntokertoimet esitetään taulukoissa 4 ja 5.

Taulukko 4. Puuston kuiva-aines- ja hiilikertoimet sekä puuaineksen jakautuminen.

Puulaji	Mänty	Kuusi	Koivu
Kuiva-ainepitoisuus (t/m <sup>3</sup> )*	0,409	0,387	0,488
Hiilisisältö (t C / t ka)**	0,519	0,519	0,505
Sahatukin runko-osuus kuorineen***	67 %	53 %	65 %
Oksaston + neulasten/lehtien osuus***	13 %	26 %	13 %
Juuriston osuus***	20 %	21 %	23 %
*Hakkila 1966; **Karjalainen ja Kellomäki 1996, ***Kauppi et al. 1995 perusteella arvioitu			

Taulukko 5. Mallissa oletettu raakapuun jakautuminen lopputuotteeseen ja jäämiin.

	Lopputuote	Hake ja puru	Kuori
Sahatavara	44 %	47 %	9 %
Hirsi / muu puutavara	91 %	0 %	9 %
Vaneri	49 %	42 %	9 %

Puuperäisten hiilivarastojen dynamiikka kuvattiin skenaariolaskelmissa seuraavalla yksinkertaisella mallilla: Metsän kiertoajaksi on oletettu 80 vuotta, missä ajassa hakatun puuston on oletettu palautuvan ennalleen. Puutuotteiden keskimääräisen eliniän arvioinnissa (K = 35 a) käytettiin tuloksia Pingoud et al. (2000) tutkimuksesta, joka perustui tämän raportin Osan 2 inventointituloksille. Kaatopaikoille joutuvista puujätteistä valtaosan, 70 %, on oletettu muodostavan hajoamattoman varaston; hajoavan osion (30 %) aikavakioksi on oletettu 100 vuotta (ks. esim. Bingemer ja Crutzen, 1987). Hajoamistuotteena on oletettu

syntyvän kaatopaikkakaasua, joka sisältää puolet metaania ja puolet hiilidioksidia. Laskelmissa käytetty varastojen dynamiikka on esitetään taulukossa 6.

*Taulukko 6. Puuperäisten hiilivarastojen dynamiikka skenaariolaskelmissa.*

	Kasvu- tai hajoamislaki	Aika- vakio K (a)	Hiilivaraston dynamiikka
Metsät	Kasvua approksimoitu kosinifunktiolla ( $0 \leq t-t_0 \leq 80$ a)	80	$V(t) = V_{in} \cdot (1 - \cos(\pi(t-t_0)/K))/2$
Hakkuutähteet	Eksponentiaalinen hajoaminen	20	$dV/dt = -(1/K)V$
Puurakenteet	Eksponentiaalinen hajoaminen	35	$dV/dt = -(1/K)V$
Puujäte kaatopaikoilla, pysyvä varasto	Kasvunopeus = input		$dV/dt = F_{in}(t)$
Puujäte kaatopaikoilla, hajoava varasto	Eksponentiaalinen hajoaminen	100	$dV/dt = F_{in}(t) - (1/K)V$

Laskelmissa oletettu puuraaka-aineen jakautuminen lopputuotteeseen ja jäämiin puutuotteiden valmistuksessa esitetään taulukossa 5. Lähtökohtana parametrien valinnalle skenaariolaskelmissa oli Puuainestilinpito (Tilastokeskus, 1992) sekä Seppälän ja Siekkisen (1993) raportti. Itse rakentamisessa osa puutuotteista on ainoastaan rakennusaikaisessa käytössä (valumuotit, betonilaudoitukset, rakennustelineet ym.) ja näin sen oletetaan poistuvan jätteinä jo rakennusvuonna. Lyhytaikaisen käytön arvioitu osuus eri puutuoteryhmissä esitetään taulukossa 7.

*Taulukko 7. Rakentamisessa käytettyjen puutuotteiden arvioitu jäteosuus ensimmäisenä käyttövuonna (VTT Rakennustekniikan arvio).*

Sahatavara	5 %
Muu puutavara	70 %
Vaneri	94 %
Lastulevy	38 %
Kuitulevy	10 %

Rakentamisessa käytettyjen puutuotteiden valmistusketjussa ja rakentamisessa syntyvät jäämät ja jätteet hyödynnetään suurimmalta osin bioenergiana sekä puutuotteiden valmistusprosesseissa että ulkopuolisissa kattiloissa, osa hyödynnetään massanvalmistuksen raaka-aineena. Se osuus, joka todellisuudessa käytetään massanvalmistuksen raaka-aineena, on näissä mallilaskelmissa yksinkertaisuuden vuoksi muunnettu vastaavaksi bioenergiapanokseksi. Lisäksi rakentamisessa syntyvästä jätetuusta osa hyödynnetään bioenergiana.

Tässä käytettävät arviot bioenergian hyödyntämistäasteesta ovat kokonaisuudessaan melko konservatiivisia. Esimerkiksi käytöstä poistuvia puutuotteita ei ole oletettu lainkaan hyödynnettävän bioenergiana, vaikka nykyisin tilanne onkin jo toinen ja tulevaisuudessa hyödyntämistäaste todennäköisesti vielä kasvaa. Vuoden 1990 uudisrakennusten puutuotteet alkavat skenaariolaskelmissa vähitellen poistua käytöstä, jolloin 30 %:n syntyvästä jätevirrasta on oletettu joutuvan kaatopaikoille ja lopun hajoavan aerobisesti ilman energiakäyttöä. Taulukossa 8 ovat puuainejäämille käytetyt parametrit.

Taulukko 8. Puuainesjäämille käytetyt parametrit mallissa (toteutunut ja potentiaalinen rakentaminen).

	Kosteus	Tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa kuiva-ainetta kohti	Energia-käyttöön	Kaato-paikalle
		GJ/t		
Hakkuutähteet	50 %	16,7	0 %	0 %
Rakentamisen puutuotteiden valmistuksen jäämät ja jätteet				
- hake ja puru*	50 %	16,7	80 %	0 %
- kuori	60 %	15,5	50 %	0 %
Rakennuspuujätteet rakentamisesta	15 %	18,7	50 %	50 %
Puurakenteiden käytöstä poistuminen	15 %	18,7	0 %	30 %
* tästä vähennetty se osa, joka käytetty puulevytuotteiden raaka-aineena				

Puuainesjäämien arvioidusta poltossa hyödynnetystä energiasta (taulukko 8) on vähennetty edellä Perälän et al. (1995) perusteella arvioitu kaikkien rakennusmateriaalien valmistuksen sisältämä puuperäinen energia, jolloin on saatu uudisrakentamisen puunkäyttöketjussa syntynyt bioenergian 'nettoylijäämä'. Bioenergiaylijäämä on muunnettu vastaavan primäärienergiasisällön omaavaksi määräksi kevyttä polttoöljyä, jolloin on saatu se laskennallinen fossiilinen energiapanos, jonka puuenergia korvaa. (Tässä on karkeasti oletettu, että puun ja polttoöljyn polton kattilahiötysuhde olisi sama.)



## 4.2 Skenaariolaskelmien tulokset

### 4.2.1 Vaikutukset kokonaishiilitaseeseen

Skenaariolaskelmissa on arvioitu vuoden 1990 *toteutuneen* ja *potentiaalisen* uudisrakentamisen vaikutus ilmakehän hiilitaseeseen sekä laskettu näiden erotus. Kummassakin skenaariossa on käytetty samoja kohdassa 4.1 esitettyjä parametreja ja päästökertoimia. Vuodelle 1990 ajoittuvat hiilitasevaikutukset esitetään taulukossa 9.

*Potentiaalisen* ja *toteutuneen* rakentamisen kasvihuonevaikutusten erotus kuvaa vaikutusta hiilitaseeseen, jonka puurakentamisen lisäys yhden vuoden aikana olisi saanut aikaan. Potentiaalinen puurakentaminen olisi lisännyt puutuotteiden hiilivarastoa 0,37 Mt C enemmän kuin toteutuneessa rakentamisessa sitoutui. Toisaalta metsien kokonaisbiomassa vähenee suhteessa huomattavasti enemmän, 1,5 Mt C, koska puusta valmistettuihin lopputuotteisiin sitoutuu vain pieni osa kaadetusta puusta. Hakkuutähteitä syntyy enemmän kuin rakentamisessa käytettyjä puutuotteita, joista vielä osa on ainoastaan rakennusaikaisessa käytössä (kuva 5). Puun hiilen tase on *potentiaalisessa* skenaariossa 0,54 Mt C 'huonompi' kuin *toteutuneessa* skenaariossa, eli tämän verran enemmän puuperäistä hiiltä joutuu tarkasteluvuoden aikana ilmakehään puunpolton tai aerobisen hajoamisen seurauksena. Puuperäinen ilmakehän hiili sitoutuu kuitenkin uudetaan puustoon metsien kasvun seurauksena, jota havainnollistaa kuva 6. Lisäksi on huomattava, että metsän kiertoaikaa ei voi loputtomasti kasvattaa vaan se lisäpuuvaranto, joka *potentiaalisessa* skenaariossa hyödynnetään, joutuu myös *toteutuneessa* skenaariossa ennemmin tai myöhemmin hakkuiden kohteeksi. Toinen vaihtoehto on, että puuston sallitaan lahota metsiin, jolloin sitä ei voida hyödyntää tuotteina eikä bioenergiana.

Taulukko 9. Vuoden 1990 hiilitaseet toteutuneessa rakentamisessa ja potentiaalisessa puurakentamisessa sekä näiden erotus.

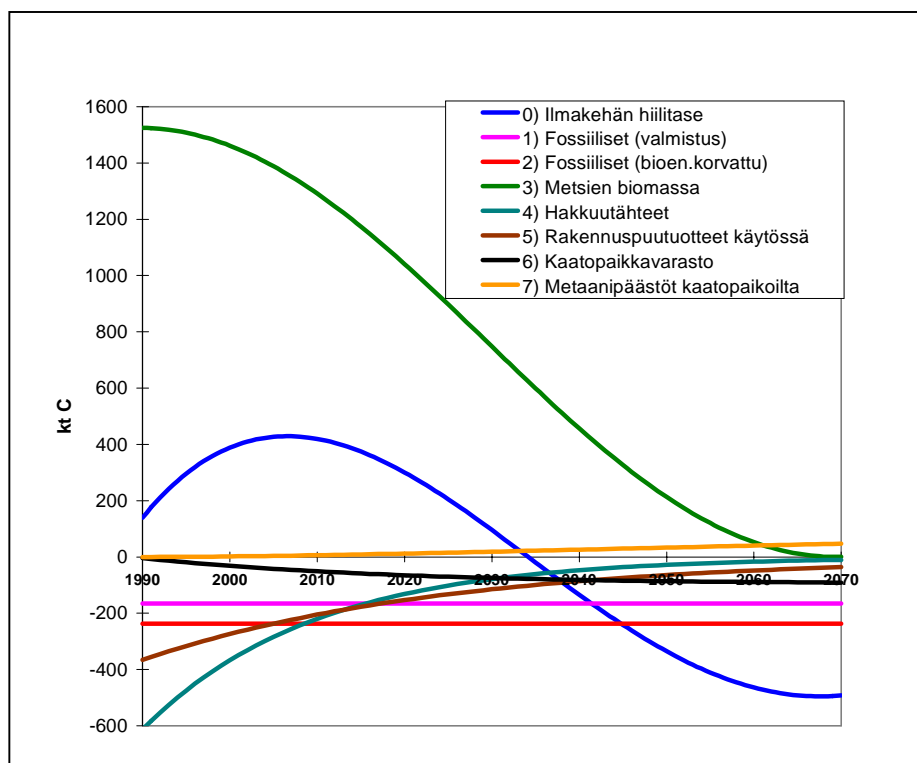
	<i>Toteutunut rakentaminen</i>	<i>Potentiaalinen rakentaminen</i>	<i>Potentiaalinen – toteutunut</i>
<b>Vaikutus ilmakehän hiilitaseeseen*</b>	kt C	kt C	kt C
<b><i>Puuperäiset hiilivarastot</i></b>			
Puurakenteiden lisäys (pitkäaik. v.)	-452	-818	-366
Puubiomassan väheneminen	1 700	3 225	1 526
Hakkuutähteen muodostuminen	-683	-1 296	-613
Uudisrakennusjätteet kaatopaikoille	-49	-53	-4
<b><i>Puun hiilen tase</i></b>	<b>516</b>	<b>1 058</b>	<b>542</b>
<b><i>Fossiilisen hiilen päästöt rakennusmateriaalien valmistuksesta</i></b>			
Puuperäiset tuotteet (energia)	79	89	9
Kivituotteet (energia)	297	196	-101
Kivituotteet (sementinvalmistus)	128	84	-44
Metallituotteet (energia)	133	105	-28
Muut tuotteet (energia)	95	93	-2
<i>Valmistuksen fossiiliset C-päästöt yhteensä</i>	732	566	-165
<b><i>Puuainesjäämien polton korvaama fossiilinen energia (rak.teoll.ylij.)</i></b>			
<i>Fossiilisten C-päästöjen vähennys</i>	-184	-422	-237
<b><i>Fossiilisen hiilen tase</i></b>	<b>547</b>	<b>145</b>	<b>-403</b>
<b><i>Kokonaishiilitase</i></b>	<b>1 064</b>	<b>1 203</b>	<b>140</b>
* positiivinen = kasvihuonevaikutusta lisäävä, negatiivinen = kh-vaikutusta vähentävä			

Fossiilisen hiilen taseesta huomataan, että puutuotteiden käytön lisääminen uudisrakentamisessa vähentää selvästi rakennusmateriaalien valmistuksessa synty-

viä fossiilisperäisiä hiilipäästöjä. Suurin vähennys syntyy kivituotteiden korvautumisesta puutuotteilla. Toinen hiilipäästöjä vähentävä tekijä on rakentamisessa käytettyjen puutuotteiden valmistuksessa syntyvien jäämien poltto, jolla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita. Potentiaalisen rakentamisen skenaariossa, jossa puutuotteita käytetään lähes kaksin verroin, syntyy myös huomattavasti enemmän poltettavia puuainejäämiä. On huomattava, että skenaarioissa jäämien poltto-osuus on suhteellisen alhainen (taulukko 8), ja sille on olemassa selvä lisäpotentiaali tulevaisuudessa. Jo mallissa käytetyillä parametreilla jäämien *bioenergiasta* saatava päästönvähennys, joka syntyy fossiilisten polttoaineiden korvaamisesta (0,24 Mt C / 0,9 Mt CO<sub>2</sub>), on arvioitu suuremmaksi kuin vähennys itse rakennustuotteiden valmistuksessa (0,17 Mt C / 0,6 Mt CO<sub>2</sub>).

Kuvassa 6 on esitetty arvio hiilitaseen *erotuksen* (eli *potentiaalinen – toteutunut* rakentaminen) kehittymisestä vuoden 1990 jälkeen. Kuvan 6 alkutilanne vastaa taulukkoa 9. Lisättäessä uusiutuvan biomassan käyttöä kasvihuonevaikutuksen vähenemisestä saatava hyöty saavutetaan viiveellä. Potentiaalisen rakentamisen skenaariossa kulutetaan huomattavasti enemmän tukkipuuta, josta aiheutuu lisävähennys metsäbiomassan hiilivarastoon. Ilmakehän hiilitase saavuttaa maksiminsa laskelmien mukaan vuosina 2006–2007 (0,43 Mt C / 1,6 Mt CO<sub>2</sub>), mutta vuonna 2040 tase on jo negatiivinen eli kasvihuonevaikutusta alentava. Lopputilanteessa vuonna 2070, jossa ollaan taas metsien päätehakkuvaiheessa, on saavutettu koko hyöty fossiilisten polttoaineiden päästöjen vähenemisestä.

Metsää kaadettaessa puretaan potentiaalisessa puurakentamisessa välittömästi huomattavasti suurempi hiilivarasto kuin toteutuneessa rakentamisessa. Tästä rakentamisessa käytettyihin puutuotteisiin jää suhteellisen pieni osa suuremman osan muuttuessa hakkuutähteiksi tai hajotessa jo alkutilanteessa (1990) ilmakehään osin puunpolton kautta. Puunpolton vaikutus nähdään alkutilanteessa fossiilisten polttoaineiden korvautumisena. Puisten rakennusmateriaalien käytön lisääminen vuorostaan aiheuttaa välittömän fossiilisten hiilipäästöjen vähennyksen rakennusmateriaalien valmistuksessa. (Nämä kaksi tekijää näkyvät kuvan 6 dynaamisessa hiilitaseessa vakiokäyrinä.) Metsäjätöpuun varasto hajoaa nopeammin kuin puurakenteiden varasto. Puun kaatopaikkajätteet muodostavat suhteellisen pysyvän hiilivaraston pienen osan hajotessa anaerobisesti metaaniksi ja hiilidioksidiksi.



Kuva 6. Potentiaalisen puurakentamisen lisävaikutukset dynaamiseen hiilitaseeseen vuoden 1990 jälkeen (eli potentiaalisen rakentamisen hiilitase vähennettyinä toteutuneen rakentamisen hiilitaseesta).

#### 4.2.2 Yksikkökohtaiset vaikutukset hiilitaseeseen

Puutuotteiden käytön lisäämisen yksikkökohtaisia vaikutuksia vuonna 1990 havainnollistaa taulukko 10. Jakamalla *potentiaalisen* skenaarion lisävaikutukset (eli *potentiaalisen* ja *toteutuneen* erotus) puumateriaalin lisäkulutuksella saadaan hiilitaseen muutos jokaista kulutettua puuyksikköä kohti. Taulukossa 10 on kuvattu vaikutukset *rakennustuotteiden valmistuksen fossiilisiin hiilipäästöihin*. Kun 1 t puutuotteita korvaa 3,6 t kivit tuotteita, 0,12 t metallituotteita ja 0,005 t muita tuotteita, syntyy itse puutuotteiden valmistuksesta fossiilisia hiilipäästöjä (0,011 t C / 0,04 t CO<sub>2</sub>), mutta rakennusmateriaalien valmistuksen *kokonais-*

*päästöt vähenevät* kuitenkin 0,2 t C eli 0,7 t CO<sub>2</sub>, koska korvautuneiden rakennusmateriaalien päästöt ovat suurempia. Taulukon 10 kolmannessa sarakkeessa tarkastellaan päästönvähennyksiä suhteessa metsän kokonaisbiomassaan, joka joudutaan kaatamaan puutuotteiden valmistamiseksi. Havaitaan, että jokaista metsästä poistunutta hiilitonnia kohti saavutetaan rakennustuotteiden valmistuksen fossiilisissa hiilipäästöissä runsaan 0,1 hiilitonnin eli 0,4 hiilidioksiditonnin vähennys. Vastaavalla tavalla voitaisiin tarkastella myös valmistusketjun *puuainesten* polton korvaamaa fossiilista energiaa.

*Taulukko 10. Yksikkökohtaiset arvioidut päästönvähennykset rakennustuotteiden valmistuksessa vuonna 1990, jos puuperäiset materiaalit olisivat korvanneet muita. Korvaavuussuhde sekä valmistuksen fossiilisten hiilipäästöjen väheneminen suhteessa puutuotemäärään ja suhteessa kaadetun puubiomassan hiilisisältöön.*

	<b>Korvaavuussuhde</b>	<b>C-päästön vähennys valmistuksessa puutuotetonna kohti</b>	<b>C-päästön vähennys valmistuksessa metsän kokonaispoistumaa kohti</b>
	<b>t tuotteita / t puutuotteita</b>	<b>t C / t puutuotteita</b>	<b>t C / t C biomassaa</b>
Puutuotteet	-	-0,011	-0,006
Kivituotteet	3,6	0,175	0,095
Metallituotteet	0,12	0,034	0,018
Muut tuotteet	0,005	0,002	0,001
<b><i>Yhteensä</i></b>		<b><i>0,200</i></b>	<b><i>0,108</i></b>

### 4.2.3 Sivuskenaario: maksimaalinen bioenergian käyttö

Edellä esitetyissä *toteutuneen* ja *potentiaalisen* puurakentamisen skenaarioissa oletettiin puuainesjäämien energiakäytön olevan suunnilleen nykyisellä tasolla. Seuraavassa tarkastellaan teoreettisia maksimipotentiaaleja bioenergian käytölle. Taulukossa 11 esitetään puutuotteiden valmistus- ja käyttöketjun eri osissa syntyvät puuainesmäärät kummassakin skenaariossa. Jos ketjun koko puuaines voitaisiin hyödyntää, olisi bioenergian hyödyntämisaste ja fossiilisten polttoaineiden korvaaminen toista luokkaa kuin esitetyissä perusskenaarioissa. Hakkuissa syntyvät ketjun suurimmat jäämät, joista teoriassa voitaisiin hyödyntää bioenergiana ainakin puuston maanpäälliset osat (latvus, oksat, ym.). Valmistusketjun jäämien lämpöarvo kokonaisuudessaan ilman juuristoa on noin 32 PJ *toteutuneessa* rakentamisessa, kun edellä esitetyssä skenaariossa siitä hyödynnettiin vain 13 PJ eli noin 40 %. *Potentiaalisen* puurakentamisen tapauksessa se olisi ollut 62 PJ, josta lasketussa skenaariossa oletettiin hyödynnettävän 26 PJ eli noin 41 %. Käytöstä poistuvien puutuotteiden kohdalla kummassakin skenaariossa oletettiin, ettei energiakäyttöä tapahdu lainkaan, mikä oli varsin konservatiivinen oletus. Jos kaikki rakenteista poistuvat puutuotteet käytettäisiin energiaksi, olisi näiden arvioitu energiasisältö luokkaa 16 PJ *toteutuneessa* rakentamisessa ja 29 PJ *potentiaalisessa* puurakentamisessa.

Tuloksista voidaan mm. havaita, että *potentiaalisessa* skenaariossa jo pelkästään tuotteiden puuaineksen energiasisältö (29 PJ) on suurempi kuin koko rakennusmateriaalien valmistuksen primäärienergiasisältö 27 PJ (taulukko 2). Pitkäikäisiin puurakenteisiin (tilapäisesti) sitoutunut hiilimäärä (taulukko 9) on kummassakin skenaariossa (450 kt C ja 820 kt C) vain vajaat puolet siitä teoreettisesta fossiilisten hiilipäästöjen vähennyksestä, joka saavutettaisiin, jos koko puuaines elinkaarensa aikana voitaisiin hyödyntää fossiilisia polttoaineita korvaavana bionenergiana (980 kt C *toteutuneessa* ja 1 850 kt C *potentiaalisessa* rakentamisessa, jotka hiilidioksidiksi muutettuina ovat 3,6 Mt CO<sub>2</sub> ja 6,8 Mt CO<sub>2</sub>). Vaikka edellinen esimerkki on teoreettinen ja todellisia käytännön bioenergiapotentiaaleja yliarvioiva, kuvastaa se puun energiakäytön tehostamisen merkitystä, kun pyrkimyksenä on kasvihuonevaikutuksen vähentäminen.

Taulukko 11. Toteutuneen ja potentiaalisen rakentamisen jätepuumäärät kuiva-aineena, jättepuun lämpöarvot sekä laskennalliset päästövähennykset bioenergiasta.

UUDISRAKENTAMINEN V. 1990	Toteutunut		Potentiaalinen	
	Kuiva-ainemäärä		Kuiva-ainemäärä	
	kt	osuus	kt	osuus
Hakkuutähteet				
- maanpäälliset osat	650	37 %	1 232	37 %
- juuristo	667		1 265	
Rakentamisessa käytettyjen puutuotteiden valmistuksen jäämät ja jätteet				
- hake ja puru	724	42 %	1 602	47 %
- kuori	176	10 %	335	10 %
Uudisrakentamisen puujätteet	188	11 %	205	6 %
<b>Ka yhteensä (ilman juuristoa)</b>	<b>1 738</b>	<b>100 %</b>	<b>3 374</b>	<b>100 %</b>
<b>Puujätteiden lämpöarvo yhteensä (ilman juuristoa)*</b>	<b>32 PJ</b>		<b>62 PJ</b>	
<b>Teor. foss. C-päästöjen vähennys**</b>	<b>650 kt C</b>		<b>1 261 kt C</b>	
<b>PUURAKENTEIDEN POISTUMINEN KÄYTÖSTÄ V. 1990 JÄLKEEN</b>				
	Kuiva-ainemäärä		Kuiva-ainemäärä	
	kt		kt	
Puurakenteet	887		1 586	
<b>Puujätteiden lämpöarvo yhteensä*</b>	<b>16 PJ</b>		<b>29 PJ</b>	
<b>Teor. foss. C-päästöjen vähennys**</b>	<b>331 kt C</b>		<b>593 kt C</b>	
* Oletus: Tehollinen lämpöarvo kuiva-ainetta kohti (GJ/t) =			18,5	
** Oletus: Bioenergia korvaa kevyttä polttoöljyä, päästökerroin (kg C /GJ) =			20,2	

### 4.3 Tulosten tarkastelua

Tuloksista voidaan havaita, että puurakentamisen suurin potentiaali kasvihuonevaikutusten vähentämisessä perustuu enemmän fossiilisten hiilipäästöjen vähentämiseen kuin hiilen pitkäaikaiseen varastointiin puutuotteisiin, kun puutuotteet korvaavat muita tuotteita tai puuainesejämien poltto korvaa fossiilisia polttoaineita. Puutuotteissa pitkäikäisiin lopputuotteisiin sitoutuu suhteellisen pieni osa prosessissa hyödynnetystä puuaineksesta samalla, kun sivutuotteina syntyviin puuainesejämiin sekä käytöstä poistuviin lopputuotteisiin sisältyy huomattava bioenergiapotentiaali. *Potentiaalisen* puurakentamisen skenaariossa puurakenteisiin sitoutuu 0,37 Mt enemmän hiiltä ja rakennustuotteiden valmistuksen fossiilisen hiilen päästöt ilmakehään vähenevät 0,17 Mt eli 0,6 Mt CO<sub>2</sub>. Sekä *toteutuneessa* rakentamisessa että *potentiaalisen* puurakentamisen skenaariossa bioenergian hyödyntämistä oletettiin samaksi (taulukko 8). Jos kuitenkin *potentiaalisessa* skenaariossa voitaisiin hyödyntää jäämiin ja jätteisiin sisältyvä *koko* bioenergia lukuun ottamatta juuristoa, olisi teoriassa mahdollista korvata fossiilista energiaa niin paljon, että siitä aiheutuvat hiilipäästöt alenisivat jopa 1,6 Mt C (5,7 Mt CO<sub>2</sub>) suhteessa *toteutuneeseen* rakentamiseen, jossa bioenergiaa hyödynnettiin suhteellisen vähän (taulukot 8 ja 11). Vaikka hakkuutähteitä ei hyödynnettäisi lainkaan, olisi fossiilisten polttoaineiden korvaamisesta saavutettu päästönvähennys 1,2 Mt C (4,2 Mt CO<sub>2</sub>).

Suoritettujen mallilaskelmien tarkkuutta olisi mahdollista parantaa. Arvio eri rakennusmateriaalien primäärienergiasisällöstä ja erityisesti sen jakautumisesta fossiilisiin ja ei-fossiilisiin energialähteisiin perustui osin vanhoihin ja puutteellisiin tutkimustuloksiin, mikä heikentää käytettyjen hiilen ominaispäästökerrointen luotettavuutta. Lähteenä käytetyssä, rakennustuotteiden energiasisältöä käsittelevässä tutkimuksessa oli arvioitu *kotimaisen* energian osuus jakamatta sitä eri energialähteisiin. Kotimainen energia jaettiin tässä tutkimuksessa eri osiin sen mukaan, miten se Suomessa kyseisenä vuonna jakautui. Mekaanisessa metsäteollisuudessa jakautuma on erilainen, ja on todennäköistä, että esimerkiksi fossiiliseksi polttoaineeksi luokitellun turpeen osuutta on näin yliarvioitu. Tämän seurauksena puutuotteiden CO<sub>2</sub>-päästökertoimet saattavat olla liian korkeita laskelmissa.



Tuotteiden markkinointi alkaa nykyisin edellyttää niiden ympäristövaikutusten selvittämistä, ja niinpä viime vuosina on julkaistu tarkempaa tutkimustietoa – myös rakennustuotteiden valmistajien toimesta – eri rakennusmateriaalien energiasällöstä ja päästökertoimista. Sahatavaran osalta tässä tutkimuksessa tukeuduttiin näihin tuoreempiin päästöarvioihin, mutta muista rakennustuotteiden tuoteryhmistä ei vielä löytynyt kattavia tietoja.

Verrattaessa tuloksia Suomen kokonaispäästöihin vuonna 1990, jotka olivat noin 54 Mt CO<sub>2</sub> (15 Mt C), oli toteutuneen uudisrakentamisen fossiilisten hiilidioksidipäästöjen arvioitu osuus, 2,7 Mt CO<sub>2</sub> (0,7 Mt C), suhteellisen pieni. Tämä päästökään ei kokonaisuudessaan tapahtunut kotimaassa tuontipanoksista johdettuna. Puun käytön lisäämisellä voisi kuitenkin olla huomattavia kerrannaisvaikutuksia fossiilisiin hiilipäästöihin. Jos puun käyttöketjun huomattavia biomassavirtoja voitaisiin tehokkaammin hyödyntää bioenergiana ja korvaamaan fossiilisia polttoaineita, olisi puutuotteiden käytöstä saatava hyöty paljon suurempi.

Dynaamisten hiilitaselaskelmien (1990–2070) realistisuutta olisi mahdollista parantaa. Esimerkiksi metsäjätteille ja puutuotteille oletettu eksponentiaalinen hajoamislaki on suhteellisen karkea approksimaatio. Todellisuudessa rakentamisen puutuotteiden hajoaminen on alussa vähäisempää ja lisäksi tuotteet jakautuvat käyttöikänsä toisistaan erottuviin ryhmiin, kuten runko- ja pintamateriaaleihin. Hakkuutähteistä osa, erityisesti juuristo, saattaa muodostaa hyvinkin pitkäikäisen hiilivaraston, joka muuttuu osaksi maaperän hiilivarastoa. Eräiden viimeaikaisien arvioiden mukaan (Micales ja Skog, 1997) esimerkiksi puutavara ei käytännöllisesti katsoen lainkaan hajoaisi kaatopaikan hapettomissa olosuhteissa, joten laskelmissa oletetut pienet kaatopaikkapäästöt saattavat nekin olla yliarvioita.

Rakentamisen päästöjä voidaan verrata myös rakennusten lämmityksestä aiheutuviin päästöihin. Rakennusten lämmityksen päästöt lukuun ottamatta maatalous- ja teollisuusrakennuksia olivat noin 15 Mt CO<sub>2</sub> (4 Mt C) eli 27 % Suomen kokonaispäästöistä vuonna 1990 (Lehtilä 1999). Rakentamisen ja rakennustuotteiden valmistuksen hiilidioksidipäästöt, 2,7 Mt CO<sub>2</sub>, olivat lämmityksen päästöistä vain noin 18 %. Jos tarkastellaan pelkästään vuoden 1990 uudisrakennuskantaa, joka oli tilavuudeltaan 3,6 % koko rakennuskannasta, voidaan karkeasti arvioida, että rakentaminen vastaa noin viiden vuoden lämmityksen päästöjä.

Voidaankin todeta, että rakennusten lämmityksestä aiheutuvien päästöjen vähentäminen on keskeinen tekijä kokonaispäästöjen alentamisessa.

## 5. Yhteenveto

Puun käyttöä suomalaisessa uudisrakentamisessa on mahdollista lisätä huomattavasti – kasvattamatta edes rakennusmääriä. Tarkastellun poikkileikkausvuoden 1990 uudisrakenteissa olisi voitu lisätä puun osuutta 1 miljoonasta kuiva-ainetonnista 1,8 miljoonaan kuiva-ainetoniin. Potentiaalinen puun käyttö uudistalonrakentamisessa merkitsisi sahatavarana 3,6 miljoonaa m<sup>3</sup>. Uudisrakentamisessa käytettiin yli 9,2 miljoonaa tonnia erilaisia rakennusmateriaaleja. Potentiaalinen puun käyttö olisi vähentänyt rakennusmateriaalien kokonaiskäytön 7 miljoonaa tonniin. Yksikkötasolla tarkasteltuna 1 kg puupohjaisia tuotteita olisi voinut korvata 3,6 kg kivipohjaisia tuotteita, 0,12 kg metallituotteita ja 0,005 kg muita tuotteita vuonna 1990. Puutuotteiden potentiaalinen käyttö uudisrakentamisessa olisi merkinnyt sitä, että hiiltä olisi sitoutunut puurakenteisiin 0,82 miljoonaa tonnia, kun sitä toteutuneessa rakentamisessa sitoutui 0,45 miljoonaa tonnia. Uudisrakennustuotannossa primäärienergiaa kului ao. vuoden rakennusmateriaalien valmistamiseen ja kuljettamiseen noin 8 800 MWh. Puun potentiaalisella käytöllä primäärienergiaa olisi kulunut arviolta 7 700 MWh eli vajaat 13 % vähemmän kuin toteutuneella käytöllä.

Puun käytön lisäämisen *välittömät* vaikutukset ilmakehän hiilitaseeseen ovat aina negatiivisia: metsien biomassaan sitounut hiili vähenee paljon enemmän kuin mitä puutuotteisiin sitoutuu ja näin ilmakehän hiilivarasto kasvaa. Epäsuorat vaikutukset parantavat kuitenkin hieman välitöntä hiilitasetta: rakentamisessa käytettyjen puutuotteiden valmistus kuluttaa pääosin vähemmän energiaa ja aiheuttaa vähemmän fossiilisia hiilipäästöjä kuin kilpailevien rakennusmateriaalien valmistus. Lisäksi puunkäyttökettujen jäämien energiakäytöllä voidaan korvata fossiilisia polttoaineita.

*Pidemmillä aikavälillä* hiilitase ilmakehän kannalta paranee potentiaalisessa puunkäytössä, kun metsäbiomassan uusiutuminen sitoo hakkuiden ja puutuotteiden valmistuksessa vapautunutta hiiltä ilmakehästä. Metsän kiertoajan puolivälissä hiilitase on samalla tasolla kuin toteutuneessa puunkäytössä. Kun uudelleen ollaan metsien päätehakkuvaiheessa, on ilmakehän hiilitase selvästi edullisempi potentiaalisessa puunkäytössä kuin toteutuneessa. Biomassavarastot ovat nyt palautuneet ennalleen, mutta fossiilisia polttoaineita on kuitenkin käytetty selvästi vähemmän metsän kiertoajan kuluessa. Tämä merkitsee sitä, että pysyvistä hiilivarastoista siirtyy vähemmän hiiltä ilmakehään potentiaalisen puunkäytön

skenaariossa. Rakentamisessa käytettyjen puutuotteiden hiilivaraston vaikutus on suhteellisen pieni suurimman osan palautuessa ilmakehään metsän kiertoajan kuluessa.

Toteutuneessa puunkäytössä ja potentiaalisen puunkäytön skenaariossa oletettiin kummassakin sama puuainejäämien sisältämän bioenergian hyödyntämisaste. Tällöin olisi potentiaalisella skenaariossa vuonna 1990 voitu ylimääräisten jäämien energiakäytöllä korvata fossiilisia polttoaineita niin, että niistä aiheutuneet päästöt olisivat vähentyneet 0,24 Mt C (0,9 Mt CO<sub>2</sub>). Vastaavasti rakennustuotteiden valmistuksen päästöt olisivat alentuneet 0,17 Mt C (0,6 Mt CO<sub>2</sub>) ja puutuotteisiin olisi sitoutunut 0,37 Mt C enemmän potentiaalisessa skenaariossa. Toisaalta metsien hiilivarastoa olisi jouduttu purkamaan 1,5 Mt C enemmän ja hakkuutähteiden varasto olisi kasvanut 0,6 Mt C enemmän. Jos bionergian hyödyntämisastetta olisi nostettu potentiaalisessa skenaariossa, olisi fossiilisten polttoaineiden korvaamisesta saatu teoreettinen päästönvähennys suhteessa toteutuneeseen ollut yksittäisistä kasvihuonevaikutustekijöistä merkittävin, jopa runsaat 1,5 Mt C (5,5 Mt CO<sub>2</sub>) edellyttäen tällöin myös käytöstä vähitellen poistuvien puurakenteiden täydellistä energiakäyttöä. Edellä mainittujen päästönvähennyksen toteutuminen Suomen hiilidioksiditaseessa edellyttäisi luonnollisesti, että bioenergia käytännössä todella *korvaisi* fossiilisia polttoaineita eikä esimerkiksi rakentamisen volyyymi samalla kasvaisi. Samoin on huomattava, että päästönvähennykset, jotka syntyvät korvattaessa puulla ulkomailla valmistettavia rakennustuotteita, eivät vaikuta Suomen hiilidioksiditaseeseen.

Suomen rakennuskannan puutuotteiden inventaariotulosten perusteella tehty karkea arvio (Pingoud et al. 2000) osoitti, että puutuotteiden keskimääräinen elinikä olisi noin 35 vuotta, mitä arvoa on käytetty myös tämän tutkimuksen skenaariolaskelmissa. Vaikka rakentamisen puutuotteiden keskimääräinen elinkaari olisi-kin pidempi, on kyseessä aina tilapäinen hiilivarasto, joka palautuu suhteellisen nopeasti ilmakehään lukuun ottamatta ehkä kaatopaikoille sijoitettuja puujätteitä. Fossiilisten päästöjen tapauksessa on taas kyse lähes pysyvän hiilivaraston purkamisesta ilmakehään ja biosfääriin. Jos ilmastopolitiikan perustavoitteena pidetään ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden *tasapainottamista* turvalliseksi arvioidulle tasolle, on fossiilisten hiilipäästöjen vähentäminen etusijalla. Metsäsektorilla tämä voisi merkitä mm. bioenergian käytön maksimointia pitkällä aikavälillä sekä vähemmän energiantensiivisten tuotteiden, kuten sahatavaran, ja niihin liittyvien jatkojalostusketjujen suosimista.



**Osa 2. Rakennuskannan puutuotteiden  
hiilivaranto Suomessa: Inventaariot  
vuosilta 1980, 1990 ja 1995**



# 1. Johdanto

Tässä julkaisun osassa 2 arvioidaan olemassa olevan rakennuskannan hiilivaran-  
toa kolmelta poikkileikkausvuodelta. Rakennuskannan puutuotteiden hiilivaras-  
toa Suomessa tarkasteltiin vuosilta 1980, 1990 ja 1995. Puutuotteiden käyttöä ar-  
vioitiin rakennustyypeittäin ja ikäluokittain. Vuoden 1995 poikkileikkauksen tar-  
kasteluun arvioitiin myös ei-luvanvaraisen puurakentamisen määriä sekä maa- ja  
vesirakentamisen merkitystä sahatavaran osalta, joten uusin arvio on kattavampi  
kuin aikaisemmat arviot.

Muu puutavaran kulutus, kuten työmaakäyttö tai materiaalihukat työmaalla tai  
jalostusvaiheissa, eivät olleet mukana rakennuskannan puun käytön varastoissa.  
Laskentamallin muissa osissa on arvioitu näidenkin vaikutuksia puun hiilivaras-  
ton muutoksiin.

Vuosien 1980 ja 1990 arvioinnit tehtiin Suomen Akatemian SILMU-ohjelmaan  
liittyneessä hankkeessa *Metsäteollisuuden kehitysvaihtoehtojen vaikutus hiilita-  
seeseen*. Näitä perusteellisempi vuoden 1995 arviointi tehtiin vuonna 1999 Ym-  
päristöklusteri-tutkimusohjelmaan kuuluvassa hankkeessa *Puuntuotannon, puu-  
tuotteiden valmistamisen ja käytön hiilitasevaikutus*.



## 2. Rakennuskannan puutuotteiden inventointimenetelmä

Rakennuskannan hiilivarastojen arvioinnissa käytettiin hyväksi vuosien 1980, 1990 ja 1995 talonrakennuskantatilastoja. Rakennuskanta-aineistoon (Tilastokeskus 1997a) lisättiin siitä puuttuvia rakennustyyppisiä, kuten vapaa-ajan asuinrakennukset, maatalousrakennukset sekä talousrakennukset. Laskennassa mukana olevat talotyypit olivat erilliset pientalot, kytketyt pientalot, asuinkerrostalot, vapaa-ajan asuinrakennukset, liike- ja julkiset rakennukset, teollisuus- ja varastorakennukset sekä maatalous- ja muut rakennukset. Rakennuskantatilasto on kerrosalapohjainen aineisto, joka muokattiin rakennustilavuudeksi keskimääräisiä kerroskorkeuksia hyväksi käyttäen.

Toisena lähtötietoaineistona oli uudistalonrakentamisen valmistuneiden rakennusten määrä runkomateriaalien mukaan jaoteltuna vuodesta 1952. Rakennusten ryhmittely on muuttunut vuosikymmenien aikana, mutta puurunkoisten rakennusten kehittymistä voitiin seurata aineistosta. Uudisrakentamisen määrän kehittymisen aikasarjoja on esitetty mm. lähteessä (Tilastokeskus 1997b). Uusien rakennusten julkisivupinnan päämateriaali on tilastoitu vuodesta 1980 ja aineistoa on käytetty myös laskennassa.

Tämän lisäksi käytettiin VTT Rakennustekniikan neljän vuoden välein keräämiä kyselytutkimuksia uudistalonrakentamisen eri talotyyppien rakenteiden ja pintamateriaalien muutoksista vuodesta 1980. Aineistosta haettiin nimenomaan puutuotteiden käyttöä eri-ikäisissä rakennuksissa ja rakennusosissa.

Näin muodostettiin eri vuosikymmenien rakennuskannan talotyypeille puutuotteiden käyttö rakennustilavuutta kohti ja tehtiin arviot puutuotteiden loppukäytöstä. Tällöin mitkään puutuotteiden materiaalihukat tai työmaa-aikainen käyttö eivät ole mukana laskelmissa vaan pitkäaikainen puutuotteiden loppukäyttö. Puutuotteiden käyttö arvioitiin m<sup>3</sup>-yksikköinä käyttökosteudessa, muunnettiin puun kuivapainoksi ja siitä edelleen puun hiilimääräksi.

Rakennuskannan hiilivaraston laskeminen perustuu siis rakennuskannan määrään, puutuotteiden loppukäyttöön erilaisissa rakennuksissa sekä puutuotteiden hiilimäärään. Puutuotteiden hiilimäärää arvioitaessa on käytetty arviota, että

puutuotteen kuivapainosta puolet on hiiltä. Rakennuskannan hiilivaranto laske-  
taan kaavalla

$$C = \sum_{ij} [A_{ij}(S_{ij} + P_{ij})],$$

jossa

C on kokonaishiilivarasto rakennuskannan puutuotteissa (t C),

$A_{ij}$  on rakennuskanta rakennustyyppissä i eri vuosikymmeninä j ( $r \cdot m^3$ ),

$S_{ij}$  on hiilen määrä sahatavara- ja hirsirakenteissa rakennustyyppissä i ikäluokassa j ( $t C/r \cdot m^3$ ) ja

$P_{ij}$  on hiilen määrä puulevyissä rakennustyyppissä i ikäluokassa j ( $t C/r \cdot m^3$ ).

Vuosien 1980 ja 1990 rakennuskannan laskelmissa arvioitiin rakennusten lisäksi pihoihin käytettyjen sahattujen puurakenteiden määriä. Vuoden 1995 rakennuskannan laskentaan arvioitiin edellisten loppukäyttökohteiden lisäksi sellaiset pienet puurakenteet, jotka eivät tarvitse rakennuslupaa (ei-luvanvaraiset rakennukset), sekä maa- ja vesirakentamisessa käytettyjä sahatavaran määriä. Siten vuoden 1995 rakennuskannan arviointi on kattavampi kuin vanhemmat arviot.

Rakennusten piharakenteiden sisältämän sahatun puutavaran hiilivarastoa talotyypeittäin arvioitiin muodostamalla sahatavaran ominaiskäyttö rakennustilavuutta kohti 12 talotyypistä. Piharakenteiden arvioinnissa olivat yhtenä lähtötietona rakenteiden yksikkökustannustiedot (Haahtela ja Kiiras 1995).

Maa- ja vesirakentamisessa sahatavaran käyttöä arvioitiin silloissa, satamissa, puistoissa ja aidoissa tuotannon arvoon sidottuna karkeana puun ominaiskäyttölukuna. Pyöreä puu (esim. pylväissä) ei ole mukana näissä laskelmissa. Maa- ja vesirakentamisen pääsektorit ovat tie- ja katuverkko, rataverkko, tietoliikenne- ja energiaverkko, vesi- ja ympäristötyöt sekä muut kohteet (MANK 1996).

Laskelmien tarkkuudeksi arvioitiin talonrakentamisessa  $\pm 10$  % sekä maa- ja vesirakentamisessa  $\pm 15$  %. Talonrakennusten osalta tarkkuus on hieman parempi

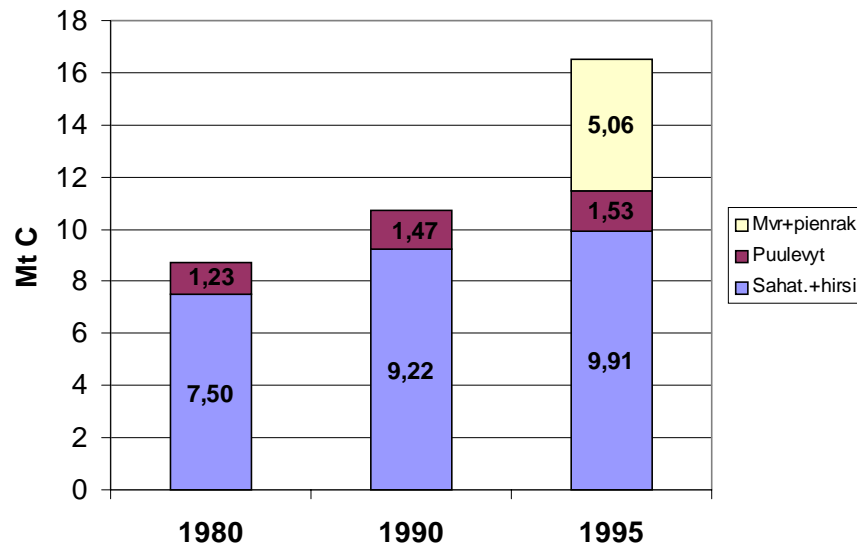
kuin ei-luvanvaraisten rakennusten tai maa- ja vesirakennusten arvioissa, sillä tilastoaineistoja on huomattavasti laajemmin käytettävissä talonrakentamisesta.

Laskelmissa eivät ole mukana hiilivarastot huonekaluissa, paperituotteissa tai rakennusalan vientituotteissa eivätkä käytöstä poistetut ja kaatopaikoille vietyt puutuotteet.

### 3. Puutuotteiden hiilivarastot rakennuskannassa

Suomen rakennuskannan puutuotteiden hiilivarastot ovat kasvaneet viime vuosikymmeninä. Rakennuskannan puutuotteiden hiilivarasto talonrakentamisessa oli laskelmien mukaan vuonna 1980 8,7 Mt C, vuonna 1990 10,7 Mt C ja vuonna 1995 11,5 Mt C (kuva 7). Keskimääräinen hiilivaraston kasvuprosentti 1980-luvulla oli noin 2 % vuodessa ja 1,4 % vuosina 1990–1995. Tämän mukaan varasto kasvoi 1980-luvulla keskimäärin 0,2 Mt C /a ja vuosina 1990–1995 0,15 Mt C /a, jolloin hiilivaraston nettolisäys oli noin 1,3 % ja 0,8 % fossiilisten polttoaineiden hiilipäästöistä Suomessa samoina ajanjaksoina.

Kun lasketaan mukaan talonrakennusten lisäksi ei-luvanvaraisen rakentamisen sekä maa- ja vesirakentamisen sahatavaran arviot, oli rakennuskannan hiilivarasto vuonna 1995 16,5 Mt C. Tällöin puupylväät eivät ole mukana arvioissa.



Kuva 7. Puutuotteiden hiilivaranto Suomen rakennuskannassa vuosien 1980, 1990 ja 1995 arviointien mukaan. Kaikki arviot sisältävät sahatavaran, hirsirakenteet ja puulevyjen käytön rakennuksissa. Vuoden 1995 arvioinnissa oli lisäksi mukana ei-luvanvaraisen rakentamisen sekä maa- ja vesirakentamisen sisältämä hiilivaranto.

Vuoden 1995 rakennuskannan tilavuus oli yli 1,6 mrd m<sup>3</sup>. Tästä noin 40 % muodostui asuinrakennuksista, 35 % tuotantorakennuksista ja 25 % palvelualan rakennuksista. Rakennuskannasta noin 60 % on rakennettu vuoden 1970 jälkeen (VTT 1997). Suomen rakennukset ovat melko uusia verrattuna moniin muihin Euroopan maihin.

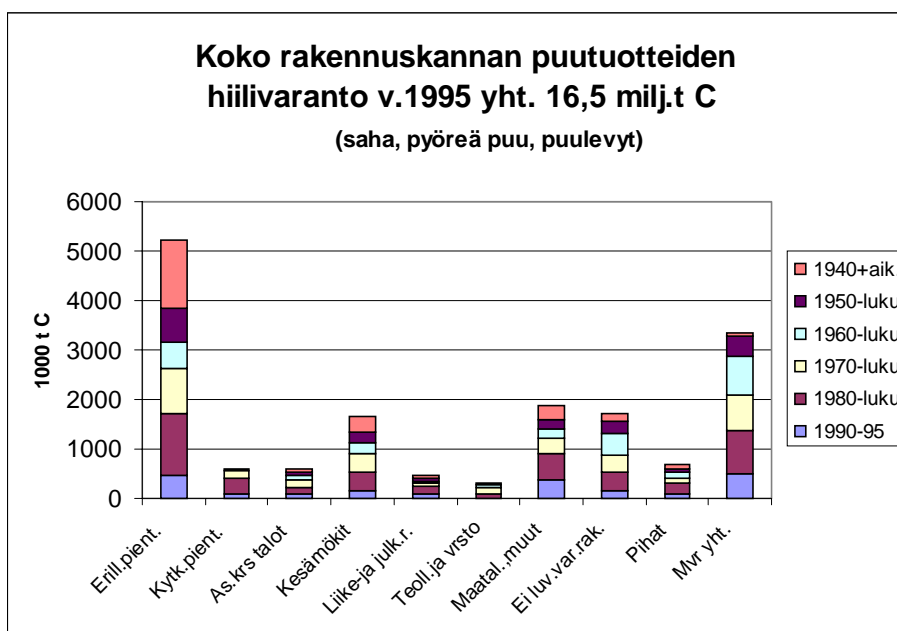
Vuoden 1995 koko rakennuskannan puutuotteiden hiilivarastot ikäluokittain ja talotyypeittäin esitetään kuvassa 8. Merkittäviä hiilivarastoja on omakotitaloissa (5,2 Mt C), kesämökeissä (1,7 Mt C), maatalous- ja muissa rakennuksissa (1,9 Mt C) sekä maa- ja vesirakentamisessa (3,3 Mt C). Tarkemmat laskelmat vuosilta 1980, 1990 ja 1995 ovat liitteissä 2, 3 ja 4.

Puutuotteiden hiilivarasto vuoden 1995 rakennuskannassa merkitsee noin 3,3 t hiiltä jokaista suomalaista kohti ja varasto on noin 2,4 % Suomen metsien biomassan hiilivarastosta. Suomesta viedään kuitenkin puutuotteita runsaasti ja jos vientituotteidenkin hiilivarastot laskettaisiin mukaan, kasvaisi osuus 7 %:iin. Tämä arvio edellyttää luonnollisesti, että vientipuutavaralla olisi samanlainen elinkaari kuin kotimaassa kulutetulla.

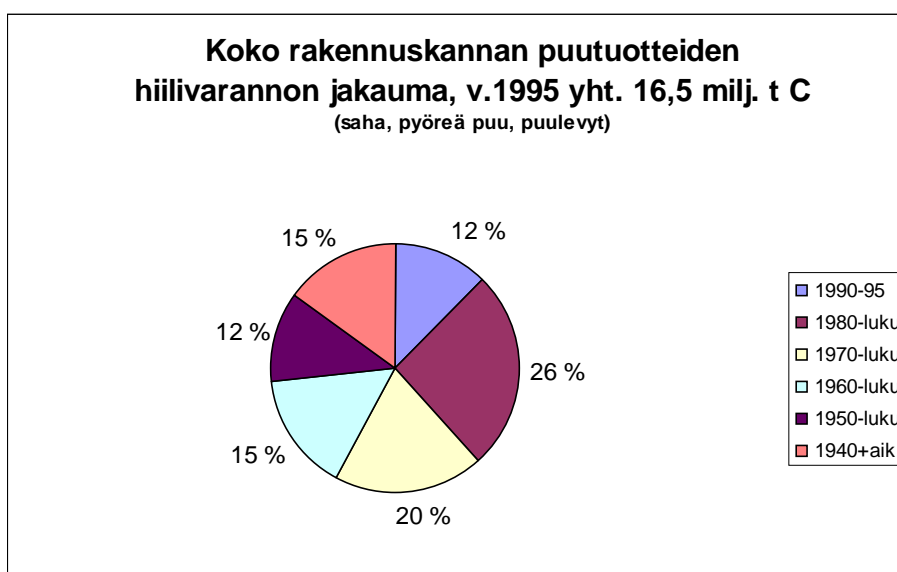
Puutuotteiden hiilivarannosta muodostui yli 60 % vuoden 1970 jälkeen rakennetuista kohteista. Puuta käytetään paljon pienehköissä kohteissa ja varastot muodostuvat pääosin niistä. Noin kolmannes hiilivarastosta muodostuu omakotitaloista. Talonrakennusten puutuotteiden hiilivarastosta noin 87 % muodostuu sahataravaraista ja hirsirakenteista ja noin 13 % puupohjaisista levyistä.

Eri vuosikymmenien rakennuskannan aineistoa käsiteltäessä on huomattava, että ajan mittaan vanha rakennus voi vaihtua eri talotyyppiä, jolloin aikasarjat eivät ole täysin identtisiä talotyyppitasolla. Esimerkiksi vuoden 1980 rakennuskannassa ollut omakotitalo voi muuttua varastorakennukseksi vuoden 1995 rakennuskannassa, ja siten sen hiilivarastokin siirtyi varastorakennuksiin.

Myöskään pienemmät korjaustoimenpiteet eivät näy arvioinnissa. Rakennuksen runkorakenteet ovat pitkäikäisiä, mutta pintarakenteita uusitaan rakennuksen elinkaaren aikana. Alkuperäisen rakennusosan sisältämä puutuote saattoi korjauksen aikana jäädä varsinkin vanhemmissa rakennuksissa rakenteeseen edelleen hiilivarastoksi tai se poistettiin kokonaan ja korvattiin uusilla rakenteilla.



Kuva 8. Rakennuskannan puutuotteiden hiilivaranto vuonna 1995. Suurin hiilivaranto on erillisissä pientaloissa ja muissa pienehköissä rakennuksissa.



Kuva 9. Rakennuskannan puutuotteiden hiilivarannon jakautuminen eri-ikäisiin rakennuksiin.

## 4. Tulosten tarkastelua

Ilmastopimus ja pyrkimykset ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvun hillitsemiseksi ovat tehneet ajankohtaisiksi mm. selvitykset biosfäärin hiilivarastoista ja niiden muutoksista. Puutuotteet muodostavat yhden, tosin esimerkiksi metsiin verrattuna suhteellisen pienen hiilivaraston, jonka muutokset vaikuttavat ilmakehän hiilitaseeseen. Arviot puutuotevarastoista ja niiden dynamiikasta ovat toistaiseksi olleet varsin heikolla tieteellisellä perustalla. Varastoja on pääosin arvioitu epäsuorasti dynaamisten puutuotteiden hiilitaseen simulointimallien avulla. Käyttämällä mallien syötteinä tilastoituja puutuotteiden tuotantomääriä ja olettamalla puutuotteille tiettyjä hypoteettisia elinikäjakaumia on simuloimalla laskettu arvioita puutuotevarastoille ja niiden muutoksille. Toinen tapa, jossa ei tukeuduta epävarmoihin arvauksiin puutuotteiden eliniästä, on tehdä suoria varastoja koskevia inventaarioita, kuten tässä tutkimuksessa. Nämä ovat kuitenkin varsin harvinaisia, vastaavanlainen, joskin karkeampi arvio on tehty ainakin Norjan puutuotevarastoista (Gjesdal et al. 1996).

Rakennuskanta muodostaa tärkeimmän *käytössä olevien* puutuotteiden hiilivaraston Suomessa. (Kaatopaikoille saattaa olla kertynyt huomattavasti suurempi puujätteen varasto, mutta sen tarkempi arviointi on toistaiseksi hyvin epävarmaa.) Rakennuskannan puutuotteiden määrän suhteellisen luotettavan arvioinnin Suomessa mahdollistavat käytettävissä olevat tilastot rakennuksista ja rakentamisesta. VTT Rakennustekniikassa on näiden tilastojen pohjalta ja niitä täydentämällä laadittu oma tietokanta, josta ilmenevät mm. käytössä olevat rakennusmateriaalit eri rakennusosissa ja ikäryhmissä sekä materiaalien suhteelliset markkinaosuudet rakentamisessa. (Tätä tietoa sovellettiin raportin 1. osassa.) Inventointimenetelmä on ilmeisen luotettava ja sen virhemarginaaliksi arvioitiin ainoastaan  $\pm 10\%$  talonrakentamisessa. Vielä ei ole arvioitu, olisiko vastaavankaltaisia inventaarioita mahdollista suorittaa myös muissa teollistuneissa, puuta rakentamisessa käytävissä maissa, ja erityisesti millaisia rajoituksia rakennustilastojen puutteellisuudet asettavat kyseisissä maissa.

Tulokset Suomesta osoittavat, että jo pelkästään puuperäisiin, käytössä oleviin rakennusmateriaaleihin sitoutunut hiilimäärä vuonna 1995 oli noin 2,4 % metsien biomassaan sitoutuneesta hiilestä. Jos Suomen metsissä tuotetut, vientimarkkinoilla käytössä olevat puutuotteet lasketaan mukaan, on mahdollista, että puutuotteisiin voi olla varastoituneena peräti 7 % metsien hiilisisällöstä. Puu-

tuotteiden kaatopaikkajätteet mukaan lukien tämä osuus on vielä huomattavasti suurempi. Muutokset näissä varastoissa voivat olla niin merkittäviä, että ne on syytä ottaa huomioon arvioitaessa metsäsektorin kasvihuonevaikutuksia.

Suorittamalla inventaarioita eri vuosilta on mahdollista arvioida puutuotevarastojen muutosnopeuksia sekä niihin sitoutuneen tai vapautuneen hiilen määrää. Peräkkäisten inventaarioiden tulosten perusteella voidaan tehdä luotettavampia arvioita puutuotteiden todellisesta eliniästä, mitä tietoa voidaan käyttää em. dynaamisten simulointimallien parametrien valinnassa (Pingoud et al. 2000). Tässä julkaisussa esiteltyä inventointimenetelmää on vielä mahdollista tarkentaa ja, kun tulevaisuudessa on käytössä tulokset useammasta peräkkäisestä inventaariosta pidemmältä aikaväliltä, myös arviot puutuotteiden keskimääräisestä eliniästä tarkentuvat.

Jos ilmastopimuksen Kioton pöytäkirjan piiriin otettaisiin mukaan yhtenä hiilen nieluna myös puutuotevarastojen kasvattaminen, vastaavankaltaista inventointimenetelmää olisi kenties mahdollista soveltaa myös kansainvälisesti nielujen todentamiseen. On kuitenkin muistettava, että rakennusten puutuotteiden määrän kasvu ei todennäköisesti missään muodosta suhteessa fossiilisiin hiilidioksidipäästöihin erityisen merkittävää hiilen nielua. Esimerkiksi Suomen kasvihuonekaasujen taseessa talonrakennuskannan puutuotevaraston kasvun nieluvaikutus on vain noin prosentti hiilidioksidin kokonaispäästöistä.



## Lähdeluettelo

Bingemer, H. G. ja Crutzen, P. J. 1987. The production of methane from solid wastes. *Journal of Geophysical Research* 92(D2), s. 2181–2187.

Boström, S., Backman, R. ja Hupa, M. 1992. Greenhouse gas emissions in Finland 1988 and 1990. Energy, industrial and transport activities. Insinööritoimisto Prosessikemia, Prepared for Ministry of Trade and Industry and Ministry of the Environment. 62 s.

Gjesdal, S. F. T., Flugsrud, K., Mykkelbost, T. C. ja Rypdal, K. 1996. A balance of use of wood products in Norway. Norwegian Pollution Control Authority SFT, Report 96:04. 54 s.

Haahtela, Y. ja Kiiras, J. 1995. Talonrakennusten kustannustieto 1995. Rakennustietosäätiö. Helsinki. 539 s.

Hakkila, P. 1966. Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 61(5), s. 1–98.

IPCC 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. Table 1-1. S. 1–13.

Karjalainen, T. ja Kellomäki, S. 1996. Greenhouse gas inventory for land use change and forestry in Finland based on international guidelines. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 1, s. 51–71.

Kauppi, P. E., Tomppo, E. ja Ferm, A. 1995. C and N storage in living trees within Finland since 1950s. *Plant and Soil* 168–169, s. 633–638.

Lehtilä, A. 1999. VTT Energia, henkilökohtainen tiedonanto 31.12.1999.

MANK 1996. Maa- ja vesirakennusalan suhdanteet. VTT Rakennustekniikka. Tampere 1996. 25 s.

Micales, J. A. ja Skog, K. E. 1997. The decomposition of forest products in landfills, *International Biodeterioration & Biodegradation* 39(2), s. 145–158.

Perälä, A.-L., Niemi, O. ja Kontuniemi, P. 1995. Rakennusten energiasisältö. TTKK Rakentamistalouden julkaisuja 10/1995. 96 s. + liitt. 140 s.

Perälä, A.-L. ja Nippala E. 1998. Rakentamisen jätteet ja niiden hyötykäyttö. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1936. 67 s. + liitt. 20 s.

Pingoud, K., Savolainen, I. ja Seppälä, H. 1996. Greenhouse impact of the Finnish forest sector including forest products and waste management. *Ambio* 25(5), s. 318–326.

Pingoud, K., Perälä, A.-L. ja Pussinen, A. 2000. Inventorying and modelling of carbon dynamics in wood products. Julkaisussa: Robertson, K. A. ja Schlamadinger, B. (toim.). Proceedings of the IEA Bioenergy Task 25 workshop "Bioenergy for mitigation of CO<sub>2</sub> emissions: the power, transportation, and industrial sectors", 27–30 September 1999, Gatlinburg, Tennessee, USA. Joanneum Research, Graz. S. 125–140.

Rakennustietosäätiö 1999. Rakennustuotteiden ja tarvikkeiden RT-ympäristöselosteet. <http://www.rts.fi/ymparistoselosteet/>

Seppälä, H. ja Siekkinen, V. 1993. Puun käyttö ja hiilitasapaino. Tutkimus puun käytön vaikutuksesta hiilen kiertokulkuun Suomessa 1990. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 473. 51 s. + liitt. 3 s.

Tilastokeskus 1992. Luonnonvaratilinpito. Natural Resource Accounts 1980–1990. Puuainestilinpito. Wood Material Accounting. Suomen virallinen tilasto SVT, Ympäristö 1992:3. 93 s.

Tilastokeskus 1996a. Talonrakennustilasto, Taulu 441, julkaisematon lähde.

Tilastokeskus 1996b. Talonrakennustilasto, Taulu 441 J, julkaisematon lähde.

Tilastokeskus 1997a. Rakennukset, asunnot ja asuinolot 1995. Asuminen 1997:7. Helsinki 1997. 268 s.

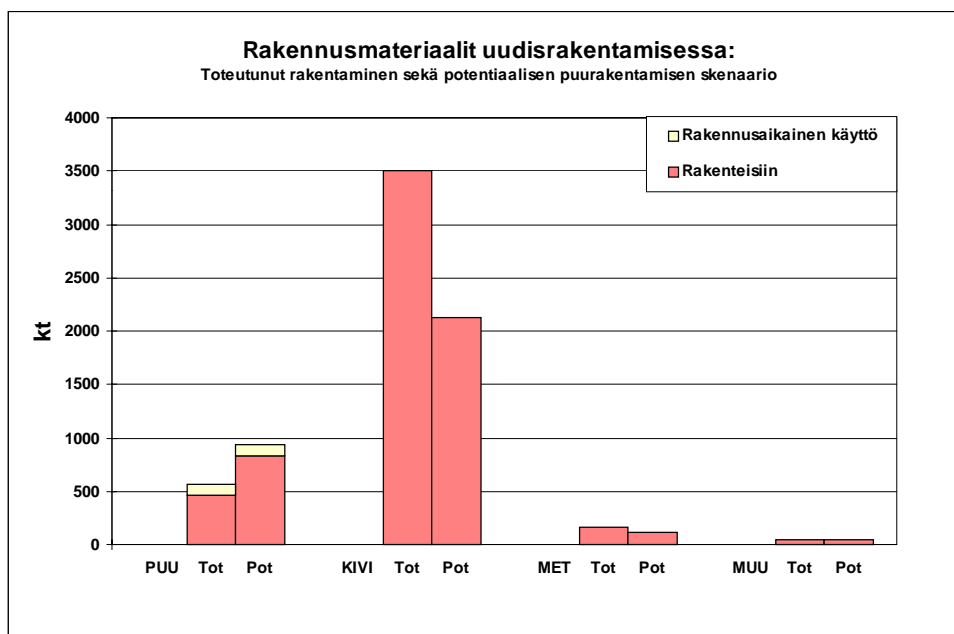
Tilastokeskus 1997b. Rakentaminen ja asuminen. Vuosikirja 1997. Rakentaminen 1997:24. Helsinki. 207 s.

Tilastokeskus 1998. Energiatilastot 1997. Suomen virallinen tilasto SVT, Energia 1998:1. 141 s.

VTT 1997. Rakentamalla hyvinvointia 1997. VTT Rakennustekniikka. Tampere. 32 s.

## Liite 1. Toteutunut ja potentiaalinen uudisrakentaminen vuonna 1994

Vuosi 1994 oli uudisrakentamisessa taantumavuosi, joten rakennusmateriaalien kulutus oli olennaisesti alempi kuin vuonna 1990. Eri rakennusmateriaalien suhteellisessa markkinaosuudessa ei kuitenkaan arvioitu tapahtuneen olennaista siirtymää neljässä vuodessa. Samoin potentiaalisen puunkäytön skenaariossa vuodelle 1994 käytettiin samoja suhteellisia markkinaosuuksia eri tuoteryhmissä kuin vuodelle 1990. Seuraavassa esitetään vuodelle 1994 vastaavat taulukot kuin päätekstissä vuodelle 1990. Koska toteutuneen ja potentiaalisen rakentamisen materiaalisuhteissa ei tapahtunut olennaisia muutoksia, ovat vuosien 1990 ja 1994 laskentatulokset samankaltaisia keskenään, ja ne eroavat toisistaan vain materiaalikulutuksen kokonaismäärissä.



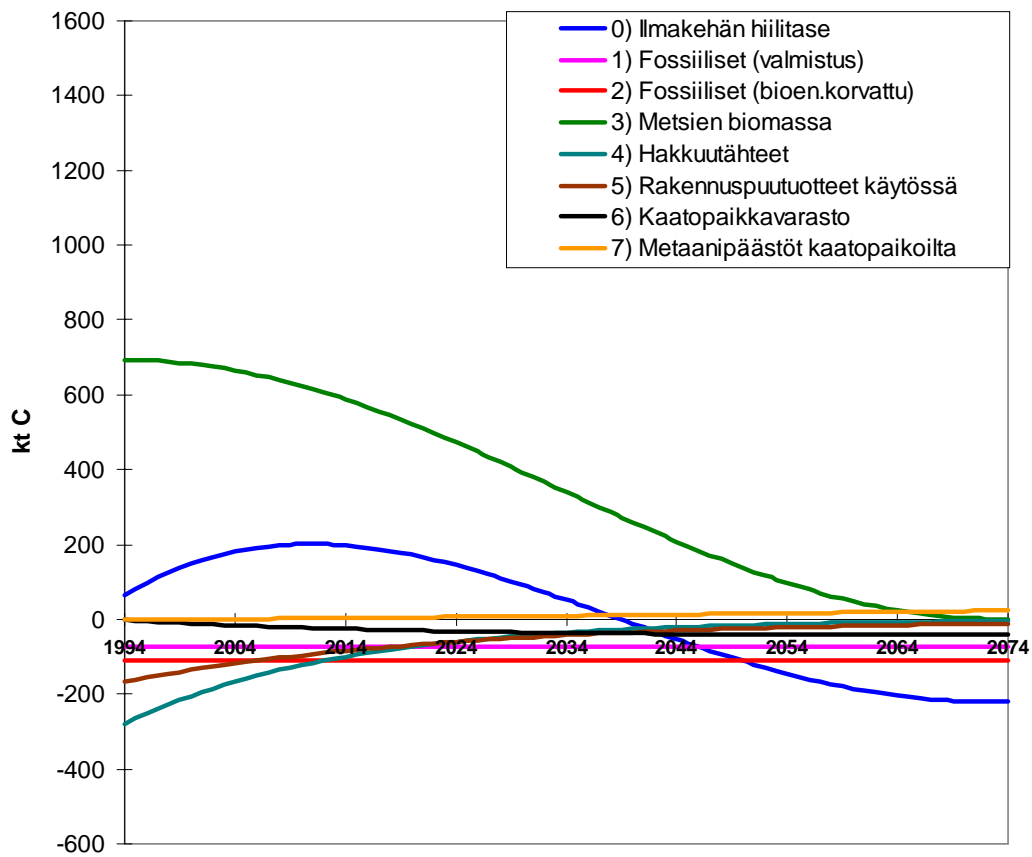
Kuva 1-1. Puun potentiaalinen käyttö olisi vähentänyt muiden materiaalien käyttöä yhden vuoden uudisrakentamisessa vajaat miljoona tonnia eli 4,2 miljoonasta tonnista 3,2 miljoonaan tonniin vuonna 1994.

Taulukko1-1. Rakennusmateriaalien arvioitu primäärienergian kulutus kahdessa skenaariossa.(Primäärienergiasisällöt kWh/kg, Perälä et al. 1995).

	TOTEUTUNUT 1994		POTENTIAALINEN	
	Energia- sisältö	Primääri- energia yhteensä	Energia- sisältö	Primääri- energia yhteensä
	kWh/kg	GWh	kWh/kg	GWh
<u>PUUTUOTTEET</u>				
Sahatavara	1,0	408	1,0	814
Muu puutavara	0,65	48	0,65	48
Vaneri	5,4	66	5,4	53
Lastulevy	3,4	174	3,4	87
Kuitulevy	5,7	116	5,7	98
Paperi ja kartonki	15	7	15	7
<u>KIVITUOTTEET</u>				
Betonituotteet	0,39	1 198	0,43	852
Tiilet, laatat	0,68	237	1,2	92
Muut kivipohjaiset	3,0	337	3,6	205
<u>METALLITUOTTEET</u>				
Betoniteräs	3,0	189	3,0	94
Teräsrakent., ohutlevyt	6,5	470	6,5	423
Muut metallituotteet	6,6	150	6,8	123
<u>MUUT TUOTTEET</u>				
Muoviputket	17	70	17	70
Pintamateriaalit	10	312	11	301
Muut muovituotteet	19	216	19	216
<b>YHTEENSÄ</b>	GWh	<b>3 997</b>		<b>3 483</b>
	PJ	<b>14</b>		<b>13</b>

Taulukko1-2. Vuoden 1994 hiilitaseet kahdessa skenaariossa ja näiden erotus.

	<i>Toteutunut rakentaminen</i>	<i>Potentiaalinen rakentaminen</i>	<i>Potentiaalinen – toteutunut</i>
<b>Vaikutus ilmakehän hiilitaseeseen*</b>	kt C	kt C	kt C
<b><i>Puuperäiset hiilivarastot</i></b>			
Puurakenteiden lisäys	-205	-372	-166
Puubiomassan väheneminen	773	1 468	694
Hakkuutähteiden muodostuminen	-311	-590	-279
Rakennusjätteet kaatopaikoille	-22	-24	-2
<b><i>Puun hiilen tase</i></b>	<b>235</b>	<b>482</b>	<b>247</b>
<b><i>Fossiilisen hiilen päästöt rakennusmateriaalien valmistuksesta</i></b>			
Puuperäiset tuotteet (energia)	36	41	4
Kivituotteet (energia)	135	89	-46
Kivituotteet (sementinvalmistus)	58	38	-20
Metallituotteet (energia)	60	48	-13
Muut tuotteet (energia)	43	43	-1
<i>Valmistuksen fossiiliset C- päästöt yhteensä</i>	333	258	-75
<b><i>Puuainesjäämien polton korvaama fossiilinen energia</i></b>			
<i>Fossiilisten C-päästöjen vähennys</i>	-83	-191	-108
<b><i>Fossiilisen hiilen tase</i></b>	<b>250</b>	<b>67</b>	<b>-183</b>
<b><i>Kokonaishiilitase</i></b>	<b>485</b>	<b>548</b>	<b>64</b>
* positiivinen = kasviuonevaikutusta lisäävä, negatiivinen = kh-vaikutusta vähentävä			



Kuva 1-2. Potentiaalisen puurakentamisen lisävaikutukset hiilitaseeseen vuoden 1994 jälkeen (eli potentiaalisen rakentamisen hiilitase vähennettynä toteutuneen rakentamisen hiilitaseesta).

Taulukko 1-3. Toteutuneen ja potentiaalisen rakentamisen jätetuumäärät kuiva-aineena, jätetuum lämpöarvot sekä laskennalliset päästövähennykset bioenergiasta.

UUDISRAKENTAMINEN V. 1994	Toteutunut		Potentiaalinen	
	Kuiva-ainemäärä		Kuiva-ainemäärä	
	kt	osuus	kt	osuus
Hakkuutähteet/metsäjätetuum				
- maanpäälliset osat	296	37 %	561	37 %
- juuristo	303		576	
Rakentamisessa käytettyjen puutuotteiden valmistuksen jäämät ja jätetuet				
- hake ja puru	329	42 %	729	47 %
- kuori	80	10 %	152	10 %
Uudisrakentamisen puujätetuet	86	11 %	93	6 %
<b>Ka yhteensä (ilman juuristoa)</b>	<b>791</b>	<b>100 %</b>	<b>1 535</b>	<b>100 %</b>
<b>Puujätetuiden lämpöarvo yhteensä (ilman juuristoa)*</b>	<b>15 PJ</b>		<b>28 PJ</b>	
<b>Teor. foss. C-päästöjen vähennys**</b>	<b>296 kt C</b>		<b>574 kt C</b>	
<b>PUURAKENTEIDEN POISTUMINEN KÄYTÖSTÄ V. 1994 JÄLKEEN</b>				
	Kuiva-ainemäärä		Kuiva-ainemäärä	
	kt		kt	
Puurakenteet	403		721	
<b>Puujätetuiden lämpöarvo yhteensä*</b>	<b>7 PJ</b>		<b>13 PJ</b>	
<b>Teor. foss. C-päästöjen vähennys**</b>	<b>151 kt C</b>		<b>270 kt C</b>	
*Oletus: Tehollinen lämpöarvo kuiva-ainetta kohti (GJ/t) =			18,5	
**Oletus: Bioenergia korvaa kevyttä polttoöljyä, päästökerroin (kg C /GJ) =			20,2	



## Liite 2. Rakennuskannan puutavaran ja puulevyjen määrä ja hiilivaranto vuonna 1980

*Taulukko 2-1. Rakennuskannan puutavaran määrä vuonna 1980 (sahatavara, hirsi, kuivapaino).*

	1990-95	1980-luku	1970-luku	1960-luku	1950-luku	1940+aik.	Yhteensä
kt (kuivapaino)	kt	kt	kt	kt	kt	kt	kt
<b>Rakennustyyppit</b>							
Erilliset pientalot	0	0	1 665	1 147	1 561	2 349	6 722
Kytkeytyt pientalot	0	0	245	78	24	34	381
Asuinkerrostalot	0	0	517	420	238	274	1 449
Kesämököt	0	0	1 040	831	566	932	3 369
Liike- ja julkiset rak.	0	0	156	59	60	107	382
Teoll.- ja var. rak.	0	0	118	76	22	43	260
Maatalous ja muut	0	0	313	182	158	425	1 078
Ei-luvanvar. rak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
Pihat	0	0	210	220	140	210	780
Maa- ja vesirak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
<b>Yhteensä</b>	0	0	4 264	3 014	2 770	4 373	<b>14 422</b>
Yhteensä %	0	0	30	21	19	30	<b>100</b>
Huom. 1) Ei mukana v. 1980 laskelmissa							

Taulukko 2-2. Rakennuskannan puutavaran hiilivaranto vuonna 1980.

kt C	1990-95	1980-luku	1970-luku	1960-luku	1950-luku	1940 + aik.	Yhteensä
	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C
Erilliset pientalot	0	0	866	597	812	1 221	3 496
Kytkeytyt pientalot	0	0	127	41	13	18	198
Asuinkerrostalot	0	0	269	218	124	143	753
Kesämökkit	0	0	541	432	294	485	1 752
Liike- ja julkiset rak.	0	0	81	31	31	55	199
Teoll.- ja var.rak.	0	0	62	40	12	22	135
Maatalous ja muut	0	0	163	95	82	221	561
Ei-luvanvar. rak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
Pihat	0	0	109	114	73	109	406
Maa- ja vesirak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
<b>Yhteensä</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2217</b>	<b>1567</b>	<b>1440</b>	<b>2274</b>	<b>7499</b>
Yhteensä %	0	0	30	21	19	30	<b>100</b>
Huom. 1) Ei mukana v. 1980 laskelmissa							

Taulukko 2-3. Rakennuskannan puulevyjen määrä vuonna 1980.

kt (kuivapaino)	1990-95	1980-luku	1970-luku	1960-luku	1950-luku	1940 + aik.	Yhteensä
	kt	kt	kt	kt	kt	kt	kt
Erilliset pientalot	0	0	425	293	398	599	1 715
Kytkeytyt pientalot	0	0	35	11	3	5	54
Asuinkerrostalot	0	0	140	114	64	74	393
Kesämökkit	0	0	21	17	11	19	68
Liike- ja julkiset rak.	0	0	40	14	13	23	90
Teoll.- ja var.rak.	0	0	13	8	2	4	27
Maatalous ja muut	0	0	8	4	4	9	25
Ei-luvanvar. rak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
Pihat 1)	0	0	0	0	0	0	0
Maa- ja vesirak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
<b>Yhteensä</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>681</b>	<b>461</b>	<b>497</b>	<b>734</b>	<b>2 373</b>
Yhteensä %	0	0	29	19	21	31	<b>100</b>
Huom. 1) Ei mukana v. 1980 laskelmissa							

*Taulukko 2-4. Rakennuskannan puulevyjen hiilivaranto vuonna 1980.*

	1990-95	1980-luku	1970-luku	1960-luku	1950-luku	1940 + aik.	Yhteensä
kt C	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C
Erilliset pientalot	0	0	221	152	207	312	892
Kytetyt pientalot	0	0	18	6	2	2	28
Asuinkerrostalot	0	0	73	59	34	39	204
Kesämökki	0	0	11	9	6	10	35
Liike- ja julkiset rak.	0	0	21	7	7	12	47
Teoll.- ja var.rak.	0	0	7	4	1	2	14
Maatalous ja muut	0	0	4	2	2	5	13
Ei-luvanvar. rak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
Pihat 1)	0	0	0	0	0	0	0
Maa- ja vesirak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
<b>Yhteensä</b>	0	0	354	240	258	382	<b>1 234</b>
Yhteensä %	0	0	29	19	21	31	<b>100</b>
Huom. 1) Ei mukana v. 1980 laskelmissa							VTT/RTE-94

## Liite 3. Rakennuskannan puutavaran ja puulevyjen määrä ja hiilivaranto vuonna 1990

*Taulukko 3-1. Rakennuskannan puutavaran määrä vuonna 1990 (sahatavara, hirsi, kuivapaino).*

	1990-95	1980-luku	1970-luku	1960-luku	1950-luku	1940 + aik.	Yhteensä
kt (kuivapaino)	kt	kt	kt	kt	kt	kt	kt
<b>Rakennustyytit</b>							
Erilliset pientalot	0	1 845	1 40	996	1 241	2 168	7 790
Kytkeytyt pientalot	0	694	207	75	22	29	1 027
Asuinkerrostalot	0	362	405	333	174	188	1 462
Kesämökit	0	950	998	711	544	836	4 039
Liike- ja julkiset rak.	0	284	126	46	50	89	595
Teoll.- ja var.rak.	0	177	110	71	21	35	414
Maatalous ja muut	0	556	272	129	131	244	1 332
Ei-luvanvar. rak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
Pihat	0	400	200	200	120	200	1 120
Maa- ja vesirak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
<b>Yhteensä</b>	<b>0</b>	<b>5 268</b>	<b>3 858</b>	<b>2 561</b>	<b>2 303</b>	<b>3 789</b>	<b>17 779</b>
Yhteensä %	0	30	22	14	13	21	<b>100</b>
Huom. 1) Ei mukana v. 1990 laskelmissa							

Taulukko 3-2. Rakennuskannan puutavaran hiilivaranto vuonna 1990.

	1990-95	1980-luku	1970-luku	1960-luku	1950-luku	1940 + aik.	Yhteensä
<b>kt C</b>	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C
Erilliset pientalot	0	960	801	518	645	1 128	4 052
Kytkeytyt pientalot	0	361	108	39	11	15	534
Asuinkerrostalot	0	188	211	173	90	98	760
Kesämökkit	0	494	519	370	283	435	2 101
Liike- ja julkiset rak.	0	148	66	24	26	45	309
Teoll.- ja var.rak.	0	92	57	37	11	18	215
Maatalous ja muut	0	289	140	67	65	119	680
Ei-luvanvar. rak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
Pihat	0	208	104	104	60	96	572
Maa- ja vesirak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
<b>Yhteensä</b>	0	2 740	2 006	1 332	1 191	1 954	<b>9 223</b>
Yhteensä %	0	30	22	14	13	21	<b>100</b>
Huom. 1) Ei mukana v. 1990 laskelmissa							

Taulukko 3-3. Rakennuskannan puulevyjen määrä vuonna 1990.

	1990-95	1980-luku	1970-luku	1960-luku	1950-luku	1940 + aik.	Yhteensä
<b>kt (kuivapaino)</b>	kt	kt	kt	kt	kt	kt	kt
Erilliset pientalot	0	471	393	254	316	553	1 987
Kytkeytyt pientalot	0	99	29	11	3	4	146
Asuinkerrostalot	0	98	110	90	47	51	396
Kesämökkit	0	19	20	14	11	17	81
Liike- ja julkiset rak.	0	70	32	11	11	16	140
Teoll.- ja var.rak.	0	17	12	7	2	4	42
Maatalous ja muut	0	15	7	3	3	4	32
Ei-luvanvar. rak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
Pihat 1)	0	0	0	0	0	0	0
Maa- ja vesirak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
<b>Yhteensä</b>	0	789	603	390	393	649	<b>2 824</b>
Yhteensä %	0	28	21	14	14	23	<b>100</b>
Huom. 1) Ei mukana v. 1990 laskelmissa							

*Taulukko 3-4. Rakennuskannan puulevyjen hiilivaranto vuonna 1990.*

	1990-95	1980-luku	1970-luku	1960-luku	1950-luku	1940 + aik.	Yhteensä
kt C	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C
Erilliset pientalot	0	245	204	131	165	288	1 033
Kytkeytyt pientalot	0	51	15	6	2	2	76
Asuinkerrostalot	0	51	57	47	24	26	205
Kesämökkit	0	10	10	7	6	9	42
Liike- ja julkiset rak.	0	36	17	6	6	10	75
Teoll.- ja var.rak.	0	9	6	4	1	1	21
Maatalous ja muut	0	8	4	2	2	3	19
Ei-luvanvar. rak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
Pihat 1)	0	0	0	0	0	0	0
Maa- ja vesirak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
<b>Yhteensä</b>	0	410	313	203	206	339	<b>1 471</b>
Yhteensä %	0	28	21	14	14	23	<b>100</b>
Huom. 1) Ei mukana v.1990 laskelmissa						VTT/RTE-94	

## Liite 4. Rakennuskannan puutavaran ja puulevyjen määrä ja hiilivaranto vuonna 1995

*Taulukko 4-1. Rakennuskannan puutavaran määrä vuonna 1995 (sahatavara, hirsi, kuivapaino).*

	1990--95	1980-luku	1970-luku	1960-luku	1950-luku	1940 + aik.	Yhteensä
kt (kuivapaino)	kt	kt	kt	kt	kt	kt	kt
<b>Rakennustyytit</b>							
Erilliset pientalot	705	1 958	1 352	779	1 001	2 132	7 926
Kytkeytyt pientalot	146	502	249	56	16	21	990
Asuinkerrostalot	104	166	184	142	68	82	745
Kesämökkit	304	674	687	458	385	593	3 102
Liike- ja julkiset rak.	158	281	110	82	75	121	827
Teoll.- ja var.rak.	22	128	237	130	42	31	590
Maatalous ja muut	683	1 043	601	343	363	529	3 562
Ei-luvanvar. rak.	300	700	700	800	500	300	3 300
Pihat	200	400	200	200	120	200	1 320
Maa- ja vesirak. 1)	944	1 676	1 416	1 508	740	150	6 434
<b>Yhteensä</b>	<b>3 567</b>	<b>7 528</b>	<b>5 736</b>	<b>4 498</b>	<b>3 310</b>	<b>4 158</b>	<b>28 796</b>
Yhteensä %	12	26	20	16	11	14	<b>100</b>
Huom. 1) Pyöreä puu ei mukana v.1995 laskelmissa							

Taulukko 4-2. Rakennuskannan puutavaran hiilivaranto vuonna 1995.

	1990-95	1980-luku	1970-luku	1960-luku	1950-luku	1940 + aik.	Yhteensä
<b>kt C</b>	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C
Erilliset pientalot	367	1 018	703	405	520	1 109	4 122
Kytkeytyt pientalot	76	261	129	29	8	11	515
Asuinkerrostalot	54	86	96	74	35	42	388
Kesämökkit	158	350	357	238	200	308	1 613
Liike- ja julkiset rak.	82	146	57	43	39	63	430
Teoll.- ja var.rak.	12	67	123	68	22	16	307
Maatalous ja muut	355	543	312	179	189	275	1 853
Ei-luvanvar.rak.	156	364	364	416	260	156	1 716
Pihat	104	208	104	104	62	104	686
Maa- ja vesirak. 1)	491	872	736	784	385	78	3 346
<b>Yhteensä</b>	<b>1 855</b>	<b>3 915</b>	<b>2 982</b>	<b>2 340</b>	<b>1 721</b>	<b>2 162</b>	<b>14 975</b>
Yhteensä %	12	26	20	16	11	14	<b>100</b>

Huom. 1) Pyöreä puu ei mukana v.1995 laskelmissa

Taulukko 4-3. Rakennuskannan puulevyjen määrä vuonna 1995.

	1990-95	1980-luku	1970-luku	1960-luku	1950-luku	1940 + aik.	Yhteensä
<b>kt (kuivapaino)</b>	kt	kt	kt	kt	kt	kt	kt
Erilliset pientalot	176	480	385	251	312	523	2 127
Kytkeytyt pientalot	27	100	28	10	3	4	172
Asuinkerrostalot	53	91	103	84	43	45	419
Kesämökkit	9	19	20	14	11	17	91
Liike- ja julkiset rak.	31	64	30	10	10	18	164
Teoll.- ja var.rak.	1	4	1	1	0	0	8
Maatalous ja muut	9	13	6	3	3	4	38
Ei-luvanvar.rak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
Pihat 1)	0	0	0	0	0	0	0
Maa- ja vesirak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
<b>Yhteensä</b>	<b>307</b>	<b>771</b>	<b>573</b>	<b>374</b>	<b>382</b>	<b>611</b>	<b>3 020</b>
Yhteensä %	10	26	19	12	13	20	<b>100</b>

Huom. 1) Ei mukana v.1995 laskelmissa



*Taulukko 4-4. Rakennuskannan puulevyjen hiilivaranto vuonna 1995.*

	1990-95	1980-luku	1970-luku	1960-luku	1950-luku	1940 + aik.	Yhteensä
kt C	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C	kt C
Erilliset pientalot	92	250	200	131	162	272	1 106
Kytkeytyt pientalot	14	52	15	5	2	2	89
Asuinkerrostalot	28	48	53	44	22	23	218
Kesämökkit	5	10	10	7	6	9	47
Liike- ja julkiset rak.	6	13	6	2	2	2	32
Teoll.- ja var.rak.	2	3	1	1	0	1	8
Maatalous ja muut	5	12	6	2	2	4	31
Ei-luvanvar.rak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
Pihat 1)	0	0	0	0	0	0	0
Maa- ja vesirak. 1)	0	0	0	0	0	0	0
<b>Yhteensä</b>	<b>152</b>	<b>387</b>	<b>292</b>	<b>192</b>	<b>196</b>	<b>313</b>	<b>1 532</b>
Yhteensä %	10	25	19	13	13	20	<b>100</b>
Huom. 1) Ei mukana v. 1995 laskelmissa							VTT/RTE-99

Julkaisija



Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
Puh. (09) 4561  
Faksi (09) 456 4374

Julkaisun sarja, numero ja  
raporttikoodi

VTT Julkaisuja 840  
VTT-JULK-840

Tekijä(t) Pingoud, Kim & Perälä, Anna-Leena			
Nimeke <b>Arvioita puurakentamisen kasvihuonevaikutuksesta</b> <b>1. Skenaariotarkastelu potentiaalisesta puunkäytöstä ja sen kasvihuonevaikutuksesta vuosien 1990 ja 1994 uudisrakentamisessa</b> <b>2. Rakennuskannan puutuotteiden hiilivaranto Suomessa: inventaariot vuosilta 1980, 1990 ja 1995</b>			
Tiivistelmä 1) <i>Toteutunutta</i> uudisrakentamista Suomessa vuonna 1990 ja 1994 verrattiin <i>potentiaalisen puun käytön</i> skenaarioon, jossa sama rakentaminen olisi toteutettu maksimoimalla puun käyttö. Skenaarioon tehtiin arvio puuperäisten tuotteiden realistisesta potentiaalisesta markkinaosuudesta kunkin talotyyppin eri rakennusosissa. Puun lisäkäyttö vähentää muiden rakennusmateriaalien tarvetta. Puuperäisten tuotteiden kokonaismäärää olisi voitu lisätä lähes 70 %, ja 1 kg:lla puumateriaaleja olisi voinut korvata 3,6 kg kivipohjaisia tuotteita, 0,12 kg metallituotteita ja 0,005 kg muita tuotteita. Arvioitu rakennusmateriaalien primaarienergiankulutus oli 8,8 TWh vuoden 1990 toteutuneessa uudisrakentamisessa. Potentiaalisen puunkäytön skenaariossa energiankulutus oli 7,7 TWh, ja fossiiliset hiilipäästöt olisivat olleet 0,17 Mt C (0,6 Mt CO <sub>2</sub> ) alemmat kuin toteutuneessa rakentamisessa. Puutuotteisiin sitoutuneen hiilen varastot olisivat kasvaneet 0,37 Mt C enemmän, mutta vastaavasti metsäbiomassaa olisi jouduttu kaatamaan 1,5 Mt C lisää verrattuna toteutuneeseen rakentamiseen. Myös bioenergiaa olisi enemmän käytettävissä, koska jättepuuta syntyisi enemmän. Korvattaessa sillä fossiilisia polttoaineita vähensivät laskennalliset fossiiliset C-päästöt esim. kevyen polttoöljyn tapauksessa 0,24 Mt C (0,9 Mt CO <sub>2</sub> ). Bioenergian hyödyntämisaste voisi kuitenkin olla paljon korkeampi. Teoriassa, jos puuston koko maanpäällinen biomassa käytettäisiin bioenergiana mukaan lukien käytöstä vähitellen poistuvat puutuotteet, fossiilisten C-päästöjen vähennys voisi olla jopa 1,5 Mt C (5,5 Mt CO <sub>2</sub> ). Tutkimuksessa simuloitiin myös ilmakehän sekä puuperäisten hiilivarastojen dynaamisia, rakennusvuoden jälkeisiä muutoksia koko metsien oletetun kiertoajan (80 vuotta) yli. Potentiaalisen puunkäytön skenaario on ilmakehän hiilitaseen kannalta epäedullisempi alussa, jolloin hiilipäästöt ilmakehään ovat suuria. Toisaalta kiertoajan lopussa, kun metsien biomassaa on taas uusiutunut ja sitonut hiiltä ilmakehästä, skenaario on selvästi parempi kuin toteutunut rakentaminen, koska siinä käytetään vähemmän fossiilisia polttoaineita. 2) Puutuotteiden hiilivarastoja talonrakennuskannassa sekä maa- ja vesirakenteissa arvioitiin kolmessa inventaariossa vuosilta 1980, 1990 ja 1995. Inventaariomenetelmä perustuu osittain Suomen rakennustilastoihin sekä erityiseen tietokantaan, jota kehitetään ja ylläpidetään VTT Rakennustekniikassa. Inventaarioiden mukaan Suomen talonrakennuskannan sahatavaran ja puulevyjen sisältämä hiilivarasto oli vuonna 1980 8,7 Mt C, vuonna 1990 10,7 Mt C ja vuonna 1995 11,5 Mt C. Hiilivaraston keskimääräiset vuosikasvut olivat 1980-luvulla 0,20 Mt C /a ja vuosina 1990–1995 0,15 Mt C /a eli noin 1,3 % ja 0,8 % Suomen fossiilisista hiilipäästöistä vastaavina aikoina. Jos lasketaan mukaan ei-luvanvarainen rakentaminen ja maa- ja vesirakentaminen, hiilivaraston suuruudeksi vuonna 1995 arvioitiin 16,5 Mt C. Kolmannes hiilivarannosta muodostuu omakotitaloista. Hiilivaraston suuruus on noin 3,3 t C jokaista Suomen asukasta kohti ja 2,4 % Suomen metsien sisältämästä hiilivarastosta. Jos lasketaan mukaan vientituotteet, voi Suomen metsistä lähtöisin olevien puutuotteiden kokonaishiilivarasto (pois luettuna puujätteet ja paperituotteet) olla jopa 7 % metsien hiilivarastosta.			
Avainsanat wood products, timber construction, construction materials, greenhouse effect, carbon balance, energy consumption, emissions, scenarios, carbon sinks			
Toimintayksikkö VTT Energia, Energiajärjestelmät, Tekniikantie 4 C, PL 1606,02044 VTT			
ISBN 951-38-5020-X (nid.) 951-38-5021-8 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Projektinumero	
Julkaisuaika Kesäkuu 2000	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivuja 58 s. + liitt. 14 s.	Hinta B
Projektin nimi Hiilen sitoutuminen puutuotteiden elinkaareessa, Metsäteollisuuden kehitysvaihtoehtojen vaikutus hiilitaseeseen, Puuntuotannon, puutuotteiden valmistamisen ja käytön hiilitasevaikutus		Toimeksiantaja(t) Maa- ja metsätalousministeriö, Suomen Akatemia (SILMU), ympäristöministeriö, Tekes, kauppa- ja teollisuusministeriö, VTT	
Avainnimeke ja ISSN VTT Julkaisuja – Publikationer 1235-0613 (nid.) 1455-0857 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Myynti VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	

Published by



Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland  
Phone internat. +358 9 4561  
Fax +358 9 456 4374

Series title, number and  
report code of publication

VTT Julkaisuja 840  
VTT-JULK-840

Author(s) Pingoud, Kim & Perälä, Anna-Leena			
Title <b>Studies on greenhouse impacts of wood construction</b> <b>1. Scenario analysis of potential wood utilisation in Finnish new construction in 1990 and 1994</b> <b>2. Inventory of carbon stock of wood products in the Finnish building stock in 1980, 1990 and 1995</b>			
Abstract 1) The <i>actual</i> new construction production in 1990 and 1994 was compared with a <i>potential wood use</i> scenario in which the same production was materialised by maximising wood use. For the scenario a realistic potential market share of wooden materials in each building part of each building type was assessed. The increased use of wood decreased the use of other construction materials. The amount of wood-based products could have been increased totally by nearly 70 %, and 1 kg of wooden materials could have replaced 3.6 kg of concrete, bricks and tiles, 0.12 kg of construction metals, and 0.005 kg of other products. The estimated primary energy consumption of building materials in actual new construction was 8.8 TWh in 1990. In the potential wood use scenario the energy consumption was 7.7 TWh, and the fossil carbon emissions would have been 0.17 Mt C (0,6 Mt CO <sub>2</sub> ) less than in actual construction. The carbon stocks associated with wood products would have been 0.37 Mt C larger, but accordingly 1.5 Mt C more forest biomass would have had harvested. In addition, more bioenergy could be recovered in the potential scenario due to increased amount of wood waste. If fossil fuels were replaced by this energy, the calculatory emission reduction of e.g. light fuel oil could have been of the order of 0.24 Mt C (0.9 Mt CO <sub>2</sub> ). The degree of utilisation of bioenergy could, however, be much higher. In theory, if all above-ground wood biomass, including also wood products after demolition, were used for bionergy, the fossil C emission reduction could be as much as 1.5 Mt C (5,5 Mt CO <sub>2</sub> ). The dynamic carbon balance of the atmosphere and wood-based stocks was also simulated over the estimated rotation length of the forest, 80 years. The potential wood use scenario is less favourable in the beginning of the period when a lot of carbon is emitted into the atmosphere. However, at the end of the rotation, in 2070, when forest biomass has been regenerated, the scenario is clearly better for the atmosphere due to lower use of fossil energy. 2) The carbon reservoir of wood products in Finnish construction and civil engineering was estimated by three inventories including the years 1980, 1990 and 1995. The inventory method is mainly based on the use of the statistics of Finnish building stock and on a special database developed and maintained at VTT Building Technology. According to the inventories the carbon pool in sawn wood and wood-based panels of Finnish building stock was 8.7 Mt C in 1980, 10.7 Mt C in 1990 and 11.5 Mt C in 1995. The mean annual increases, 0.20 Mt C /a from 1980 to 1990 and 0.15 Mt C /a from 1990 to 1995, are approximately 1.3 % and 0.8 % of the fossil fuel C emissions in Finland during the same periods. Taking into account also construction not subject to permission and civil engineering the estimated carbon stock of wood products in Finland was 16.5 Mt C in 1995. One third of the stock is in detached houses. The size of the stock is about 3.3 t C per capita and approximately 2.4 % of the carbon reservoir in Finnish forest biomass. The total C reservoir of wood products (excluding wood waste and paper products) originating in Finnish forests might be even 7 % of standing biomass if also exported wood products are included.			
Keywords wood products, timber construction, construction materials, greenhouse effect, carbon balance, energy consumption, emissions, scenarios, carbon sinks			
Activity unit VTT Energy, Energy Systems, Tekniikantie 4 C, P.O.Box 1606, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-5020-X (soft back ed.) 951-38-5021-8 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Project number	
Date June 2000	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 58 p. + app. 14 p.	Price B
Name of project Hiilen sitoutuminen puutuotteiden elinkaareissa, Metsäteollisuuden kehitysvaihtoehtojen vaikutus hiilitaseeseen, Puuntuotannon, puutuotteiden valmistamisen ja käytön hiilitasevaikutus		Commissioned by Ministry of Agriculture and Forestry, The Academy of Finland (SILMU), Technology Development Centre of Finland (Tekes), Ministry of Trade and Industry, Technical Research Centre of Finland (VTT)	
Series title and ISSN VTT Julkaisuja – Publikationer 1235-0613 (soft back ed.) 1455-0857 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	