




Rakentamisen hiilivarasto

Kirjoittajat: Sirje Vares, Tarja Häkkinen Terttu Vainio

Luottamuksellisuus: julkinen

Raportin nimi Rakentamisen hiilivarasto		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Ympäristöministeriö		Asiakkaan viite DNRO YM67/612/2017
Projektin nimi Rakentamisen hiilivarasto		Projektin numero/lyhytnimi 116104 - Rakentamisen hiilivarasto
Tiivistelmä <p>Tavoitteena oli suorittaa arvio suomalaisen rakennuskantaan sitoutuneen hiilen varastosta ja eri rakennustapojen vaikutuksesta hiilivaraston kehittymiseen. Arvion lähtökohtana oli lisäksi, että substituutiovaikutuksena otetaan huomioon päästöjen väheneminen korvattaessa betonirakennusratkaisuja samat toimivuusvaatimukset täyttävillä puurakenne-järjestelmillä.</p> <p>Tuloksien mukaan puukerrostalojen materiaali pohjaiset kasvihuonekaasupäästöt eri puurakennusjärjestelmillä ovat noin 156...170 kgCO₂e/br-m². Silloin kuin puukerrostalon ensimmäinen kerros on betonia ja muita kuin puumateriaaleja käytetään enemmän, puukerrostalojen hiilijalanjälki on lähellä 200 kgCO₂e/br-m².</p> <p>Suomen rakennuskannan hiilivaranto on 22 838 1000 tonnia C (ilman kiintokalusteita). Eniten hiilivarantoa on erillisissä pientaloissa (A01; 31 %) ja infrarakenteissa (16 %). Puukerrostalojen osuus valmistuneista kerrosneliöistä on ollut erittäin pieni, mutta potentiaali kasvattaa volyyymiä on suuri. Puukerrostalojen hiilisisältö, laskettuna CO₂:na, oli 149...298 kg CO₂/br-m².</p> <p>Kasvattamalla puukerrostalojen rakentamisen osuutta, esimerkiksi 130 000 m², voitaisiin kasvattaa väliaikaista hiilivarastoa noin 14 200 tonnia ... 33 600 tonnia (riippuen käytetystä puurakennejärjestelmästä).</p> <p>Puukerrostalojen substituutiovaikutuksena säästyisi kasvihuonekaasuja puurakennusjärjestelmästä riippuen 113...125 kg/m². Kasvihuonekaasupäästöjen säästöt olisivat 14 700 tonnia ... 16 300 tonnia, jos 130 000 k-m² betonirakentamista korvattaisiin puukerrostalojen rakentamisella.</p> <p>Talonrakennuskannan hiilivaranto on kasvanut vuodesta 2000 vuoteen 2016 noin 23 %. Samaan aikaan rakennuskannan kerrosala on kasvanut 30 %. Hiilivarannon hitaampi kasvu johtuu talonrakennustuotannon rakenteesta. Hiiltä paljon varastoitavien pientalojen sijaan on rakennettu kerrostaloja. Puun käyttö ympäristörakentamisessa (vähäiset rakennukset, piharakenteet, infrarakenteet) on kasvattanut suosiota ja hiilivaranto onkin näissä rakenteissa kasvanut 34 %.</p>		
Espoo, 25.9.2017 Laatija  Sirje Vares, erikoistutkija	Tarkastaja  Tarja Häkkinen, johtava tutkija	Hyväksyjä  Jari Shemeikka, tiimipäällikkö
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.		

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo	2
1 Johdanto	3
1.1 Tausta ja tavoitteet	3
2 Substituutiopotentiaali rakennustasolla uudisrakentamisessa	6
2.1 Johdanto	6
2.2 Lähtötiedot	6
2.2.1 Mallirakennus	6
2.2.2 Rakennejärjestelmät	8
2.2.3 Rakentaminen	15
2.2.4 Rakennuksen käyttö	15
2.3 Laskentatulokset	16
2.3.1 Kerrostalomateriaalien hiilijalanjälki ja hiilisisältö (A1-A4)	16
2.3.2 Kerrostalojen 50 vuoden käyttö	20
2.3.3 Kerrostalojen elinkaaren päätösvaihe (C3)	22
2.4 Johtopäätökset	23
3 Substituutiopotentiaali rakennustasolla korjausrakentamisessa	25
3.1 Johdanto	25
3.2 Lähtötiedot	25
3.3 Tulokset	26
3.4 Johtopäätökset	26
4 Hiilivarasto rakennuskannan tasolla	27
4.1 Johdanto	27
4.1.1 Talonrakennuskannan laajuus ja puisten rakennusosien määrä	27
4.1.2 Muut puurakenteet	29
4.1.3 Puiden rakennusosien hiilisisältö	29
4.2 Tulokset	29
4.3 Yhteenveto	35
5 Herkkyystarkastelut, merkityksen ja potentiaalien tarkastelu	37
5.1 Johdanto	37
5.2 Herkkyystarkastelut	37
6 Yhteenveto	42
Liitteet /Lähdeviitteet	43

1 Johdanto

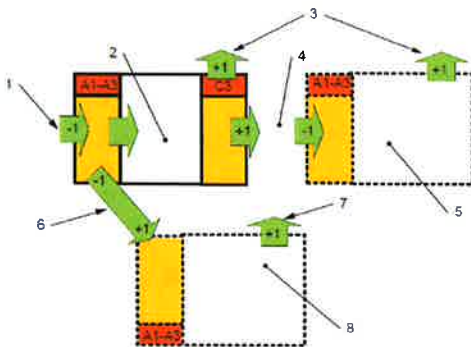
1.1 Tausta ja tavoitteet

Suomalaisten metsien arvioitu hakkuiden lisäys pienentää metsien hiilinielupotentiaalia. On tarpeen selvittää hiilen kiertoa metsästä tuotteisiin ja takaisin ilmakehään sekä tämän kierron aikana tapahtuvaa hiilen varastoitumista puukuidun eri hyödyntämisvaihtoehdoissa.

Puun sisältämä hiili on varastoitunut puutuotteisiin, puurakenteisiin ja puurakennuksiin koko tuotteen käyttöiän ajaksi. Standardi EN 16485¹ antaa ohjeet puutuotteisiin sitoutuneen hiilen huomioon ottamisesta elinkaarilaskennassa. Kun puutavara on hankittu kestävästi hoidetuista metsistä, tämä hiilisisältö huomioidaan elinkaarilaskennoissa miinus merkkisenä hiilidioksidina elinkaaren tuotevaiheessa (A1-A3) (EN 15978:2011)².

Kestävässä metsänhoidossa puuta kasvaa vuoden aikana enemmän kuin sitä hakataan ja kun puuston kasvu sitoo enemmän hiiltä kuin mitä hakkuut ja lahoaminen vapauttavat silloin metsät toimivat hiilinieluna. Kestävä metsähoito varmennetaan metsien sertifiointilla.

EN 15978 standardin mukaan elinkaaren päätösvaiheessa (puun käsittely ja poltto lämmöntuotannossa, vaihe C3) varastoitunut eloperäinen hiili palaa takaisin päästönä ilmastoon (Kuva 1). Kun puutuote siirtyy seuraavaan käyttökohteeseen (Kuva 1, tuotejärjestelmään 5), silloin tuotteen jatkokäytön mukana seuraa myös hiilivarasto.



Kuva 1. Eloperäisen hiilen huomioon ottaminen elinkaarilaskennassa, kun puutuotteet ovat hankittu kestävästi hoidetuista metsistä (EN 16485) (1 = eloperäisen hiilen siirtyminen puutuotteena järjestelmään, 2 = elinkaaren tuotevaihe (A1 - A3), 3 = eloperäisen hiilen poistuminen järjestelmästä päästönä (elinkaarivaihe C3), 4 = puutuotteen kierrätys, 5 = tuotejärjestelmä joka ottaa vastaan kierrätetyn puutuotteen, 6 = puutuotteiden rinnakkaistuote jota hyödynnetään järjestelmässä 8, 7 = järjestelmän 8 päästöt ympäristöön (EN 16485:2014).

Tämän selvityksen tavoitteena oli suorittaa arvio suomalaisen rakennuskantaan sitoutuneen hiilen varastosta ja eri rakennustapojen vaikutuksesta hiilivaraston kehittymiseen. Arvion lähtökohdaksi oli lisäksi, että substituutiovaikutuksena otetaan huomioon päästöjen väheneminen korvattaessa betonirakennetekniikoita samat toimivuusvaatimukset täyttävillä puurakennusjärjestelmillä.

¹ EN 16485:2014 Round and sawn timber - Environmental Product Declarations - Product category rules for wood and wood-based products for use in construction

² EN 15978:2011 Sustainability of construction works — Assessment of environmental performance of buildings — Calculation method.

Työ jakautui neljään osa-alueeseen, joissa selvitettiin:

- Puun käytön substituutiopotentiaali rakennustasolla uudisrakentamisessa,
- Puun käytön substituutiopotentiaali rakennustasolla korjausrakentamisessa,
- Rakennuskannan eloperäinen hiilivarasto
- Merkityksen ja potentiaalien tarkastelu sekä herkkyystarkastelut

Rakentamisessa käytettäviä puutuotteita ovat sahatavara, puupalkit ja pilarit, liimapuu, kertopuu, CLT, lastulevy, vaneri ja kuitulevy. Lisäksi rakentamisessa on perinteisesti käytetty eristeenä sahapurua ja nykyisin muita puupohjaisia eristeitä, kuten selluvillaa ja kierrätystuotteena valmistettua paperieristettä. Puuhun ja näin ollen myös puutuotteisiin on varastoitunut hiiltä puun kasvukauden aikana.

Toisaalta puutuotteiden valmistuksessa käytetään polttoaineita, jotka aiheuttavat fossiilisia hiilipäästöjä ympäristöön. Puurakentamisen kasvihuonekaasupäästöt selvitettiin ja tulos ilmoitettiin hiilijalanjälkiarvona:

*Hiilijalanjälki - tuotteen ja toiminnan aiheuttama ilmastokuorma
Hiilijalanjälkilaskennassa selvitetään kuinka paljon kasvihuonekaasuja
rakennusmateriaalien hankinnan ja rakentamisen aikana syntyy.*

Rakennustason laskenta toteutettiin rakennustuotteiden näkökulmasta elinkaaren tuote- ja kuljetusvaiheille A1 - A4 (EN 15978:2011)³. Erillisenä tarkasteluna otettiin mukaan rakentamisen muut elinkaaren vaiheet kuten rakentamisen vaihe A5 ja käyttövaiheen osat B2 (huolto), B4 (materiaalien vaihto) ja B6 (rakennuksen energiankulutus). Elinkaaren päätösvaihe C käsiteltiin tapauksessa, jossa puutuotteet käytöstä poiston jälkeen poltetaan ja näin ollen varastoitunut hiili palaa ilmakehän takaisin.

Puun käytön substituutiovaikutus rakennustasolla laskettiin siten, että betonirakentamisen kasvihuonekaasupäästöistä vähennettiin puurakentamisen kasvihuonekaasupäästöt.

Substituutiovaikutus – kasvihuonepäästöjen erotus korvattaessa puulla muita materiaaleja tai energialähteitä.

Rakennuskannan hiilivarasto selvitettiin ottamalla huomioon puun sisältämä hiili. Kuivassa puussa on noin puolet hiiltä. Hiilisisältö voidaan ilmoittaa hiilenä, mutta myös hiilidioksidina. Moolipainojen avulla voidaan puutuotteiden hiili laskea CO₂:seksi kaavalla $C + O_2 = CO_2$ (EN 16449)⁴. Näin saadaan, että kuivan tukkipuun hiilisisältö on 1,83 kg CO₂ per 1 kg puuta.

*Hiilivarasto – puun kasvaessa sitoma hiili hiilidioksidina
Metsästä korjatun puun hiili säilyy puutuotteissa. Puutuotteiden käytön
päätyttyä puun polttaminen vapauttaa hiilen takaisin ilmakehään.*

Pitkäikäisissä tuotteissa hiilivarasto voidaan ottaa huomioon myös tase-arvona. Tässä tase lasketaan siten että tuotteen valmistuksen kasvihuonekaasupäästöistä vähennetään hiilidioksidi (hiilisisältö), joka on varastoitunut tuotteeseen. Toisaalta puutuotteiden rakennuskäytön jälkeinen hyödyntäminen energiana vapauttaa hiilen takaisin ympäristöön, joten rakennustason laskennassa hiilijalanjälki ja hiilivarasto on ilmoitettu erikseen.

³ EN 15978:2011 Sustainability of construction works — Assessment of environmental performance of buildings — Calculation method.

⁴ EN 16449 Round and sawn timber - Wood and wood-based products – Calculation of the biogenic carbon content of wood and conversion to carbon dioxide.

Taulukko 1 esittää puumateriaalien tilavuuspainon, hiilisisällön (C -> CO₂) sekä hiilijalanjäljen (uusin tietolähde on CLT:n EPD, 2017, valmistajan parantanut tuotteen valmistuksen päästöjä).

Taulukko 1. Puutuotteiden tiheydet, hiilisisällöt ja hiilijalanjälki. (Hiilijalanjälki on laskettu elinkaaren vaiheille A1 – A4, sisältäen kuljetukset sekä hukan).

Puutuoteryhmä	Tiheys ⁵ , kg/m ³	Hiilisisältö, (laskettuna CO ₂ :ksi) kg/kg	Hiilijalanjälki* CO ₂ e, kg/kg (elinkaaren vaihe A1-A4)	Lähde
Sahatavara	450	1,55	0,09	VTT Ilmari /Puufon EPD
Hirsi	450	1,55	0,12	VTT/Ilmari
Liimapuu	470	1,62	0,36	VTT/Ilmari
CLT	470	1,55	0,21	(Stora Enso EPD ⁶) (hyväksytty 2017-06-01)
Lastulevy	630	1,06	0,61	VTT/Ilmari
Vaneri (kuusi)	460	1,64	0,28	MetsäWood, EPD ⁷
Kuitulevy	300	1,53	0,46	VTT/Ilmari. Suomen kuitulevyn EPD (RT YS 28.1 ⁸)

*sisältää keskimääräisen kuljetuksen käyttökohteeseen sekä hukan

⁵ Kuivamassa per tilavuus käyttökosteudessa

⁶ EPD, CLT by Stora Enso <http://assets.storaenso.com/se/buildingandliving/Documents/EPD%20-%20CLT%20by%20Stora%20Enso%202017.pdf>

⁷ Environmental product declaration. Metsä Wood Spruce Plywood. Uncoated. Validity until January, 2019. <http://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/MetsaWood-Spruce-Environmental-declaration.pdf>

⁸ Leijonalevy, Suomen Kuitulevy Oy Pihlavan tehdas, RT YS 28.1 (Voimassa 17.4.2013 saakka).

2 Substituutiopotentiaali rakennustasolla uudisrakentamisessa

2.1 Johdanto

Tässä selvityksessä substituutiopotentiaalia arvioitiin rakennustasolla vertaamalla puurakenteisen asuinkerrostalon hiilijalanjälkeä vastaavaan betonielementtirakenteiseen rakennukseen.

Substituutio (erotus) lasketaan siten, että betonikerrostalon kasvihuonekaasupäästöistä vähennetään puukerrostalon kasvihuonekaasupäästöt.

Rakennustason laskelma käsittää viisi eri puurakennejärjestelmällä rakennettua puukerrostaloa (A-E) ja yhden betonielementtirakennuksen (F):

- puupilari-palkki-runko (A),
- CLT-rakenteiset suurelementit (B),
- puurankarakenteiset tilaelementit (C),
- puurankarakenteiset suurelementit (D),
- CLT-rakenteiset tilaelementit (E),
- betonielementtirakennus (F).

2.2 Lähtötiedot

2.2.1 Mallirakennus

Laskennan lähtökohtana on 4 kerroksinen asuintalo⁹ (Kuva 2, Kuva 3 ja Taulukko 2Taulukko 1). Rakennuksen huonejako ja malli perustuvat Puuinfo mallikerrostaloon. Puurakennusratkaisussa mallikerrostalossa ensimmäinen kerros oli betonia; tässä peruslaskennassa on oletettu, että kaikki 4 kerrosta ovat puurakenteiset ja betonirakennuksessa vastaavasti kaikki neljä kerrosta ovat betonirakenteisia.

Perusratkaisussa rakennuksen julkisivussa on puupaneeli, rakennuksen alapohja on betonilaatta ja lämmityksenä käytetään vesikiertoista lattialämmitystä, jonka takia myös puukerrostalojen lattiassa on betonikerros. Rakennuksen huoneistojen väliset seinät ovat kantavia ja rakennuksissa käytetään 4-lasisia puu-alumiini ikkunoita.

Kaikki rakennukset täyttävät samat keskeiset rakennusmääräykset (U -arvo $< 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, $R'w > 55 \text{ dB}$). Puurakennuksien ulkoseinien sekä osastoivien seinien paloluokka on REI 60 (palokesto aika 60 minuuttia) ja suojaverhous täyttää $K_210/E115$ -vaatimukset. Nämä mitoittamalla saavutettavat ominaisuudet ovat P2-paloluokan asuinrakennuksen osalta riittävät, kun puukerroksia on 4. Betonirakennus, jossa ulkoseinän sisäkuori on kantava (150 mm), palonkesto aika on parempi; REI on 90 (90 minuuttia).

Kaikilla vertailtavilla rakennuksilla on sama tilaratkaisu. Tämän takia puukerrostalon seinärakennusratkaisujen kerrospaksuudet on valittu samoiksi. Tilaratkaisun takia myös betonirakenteiden tilavaraus on pyritty pitämään samana. Tätä varten betonirakennuksen

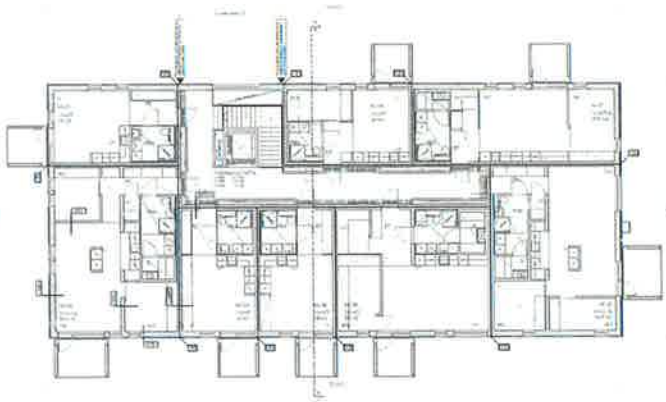
⁹ Lähde: Puuinfo, Mallikerrostalo.

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/runkopes-20/rakennuslupapiirustukset.pdf> (haettu 7.7.2017)

alaa on pienennetty 2 %, johtuen puu- ja betonirakennuksissa käytettyjen seinäratkaisujen sisä- ja ulkoseinien kerrospaksuuksien eroista.



Kuva 2. Mallikerrostalo. Lähde: Puuinfo (arviossa kuitenkin myös ensimmäinen kerros on puurakenteinen vain herkkyytarkastelussa betonirakenteinen. Laskenta ei sisällä parvekkeiden päällä olevia katoksia).



Kuva 3. Mallikerrostalon pohjapiirustus. Lähde: Puuinfo.

Taulukko 2. Tarkasteltavan kerrostalon laajuustiedot.

Rakennustyyppi	Asuinkerrostalo
Kerrosten lukumäärä	4 krs
Bruttoala	1922 m ²
Huoneistoala	1402 m ²
Asuntojen lukumäärä	32 kpl

Taulukko 3. Kerrostalon rakennusosien määrät (Seinistä ja pohjista on vähennetty aukotukset).

Rakennusosa	Määrä
Ulkoseinät	1101 m ²
Kantavat huoneistojen väliset seinät	873 m ²
Ei kantavat väliseinät	495 m ²
Porras ja hissikuilun seinät	90 m ²
Alapohja	480 m ²
Välipohja	1395 m ²
Yläpohja	480 m ²
Vesikatto	533 m ²
Porraselementti (välitasanteella)	3 kpl (1 per kerros)
Ovet	281 m ²
Ikkunat	190 m ²
Parvekkeet	161 m ²
Parvekkeiden seinät	307 m ²
Alakatot	540 m ²
Perustus	Betoniperustus
Hormit	Kevytrakenteiset

2.2.2 Rakennejärjestelmät

Rakennuksen laskenta sisältää seuraavat päärakenteet: ulkoseinät, yläpohja, alapohja ja välipohjat, kattoristikot, vesikatteet, kevyet ja kantavat väliseinät, parvekkeet, portaat, ikkunat ja ovet, hissikuilu ja perustus.

Rakennusaikainen hukka ja kuljetus on otettu laskennoissa huomioon keskimääräisinä (kuljetus materiaalikuljetuksena, elementtien ja moduulien kuljetusta ei tutkittu). Rakennuksissa käytetyt päärakenteet ja ominaisuudet esitetään seuraavissa taulukoissa: Taulukko 4, Taulukko 5, Taulukko 6, Taulukko 7 ja Taulukko 8.

Rakennerratkaisun tase on laskettu siten että rakenteen hiilisisällöstä on vähennetty hiilijalanjälki (hiilisisältö on laskettu CO₂:sena).


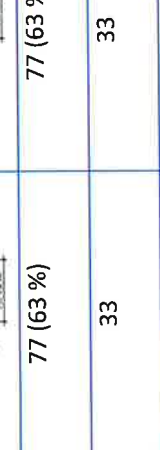

Rakenteiden erityispiirteitä:

- Laskennan lähtökohtana olleiden puurakennerratkaisujen perustiedot perustuvat RunkoPes2¹⁰ ohjerakenteisiin, paitsi 2 välipohjaratkaisua (C ja E), joitten vahvuutta on kasvatettu (jänneväli 7,5 m).
- Betonirakennerratkaisut perustuvat RT ohjetiedoissa esitettyihin betonirakennerratkaisuihin

¹⁰ RunkoPes 2.0 - <http://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/runkopes-20> (haettu 7.7.2017)

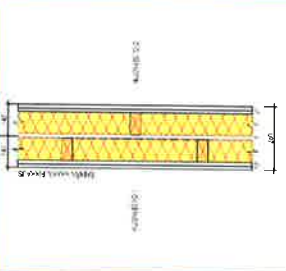
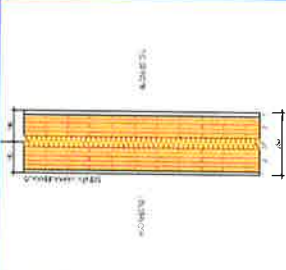
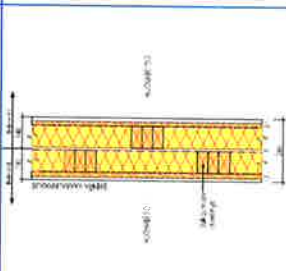
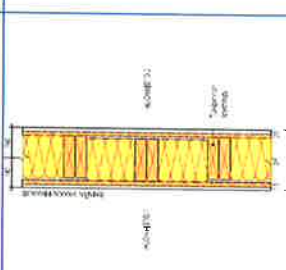
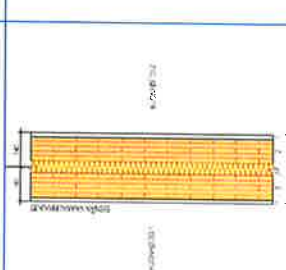
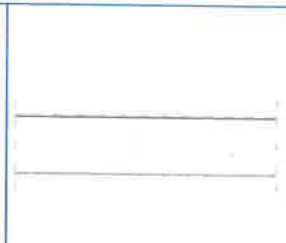
- Puurakennejärjestelmien ulkoseinien kerrospaksuus on 365 mm, tämän mukaan seinän U-arvo on alle 0,17 W/m²K. Betonielementin rakennekerroksen paksuus on 460 mm, josta kantava betoninen sisäkuori on 150 mm, ulkokuori 70mm ja villakerros 240mm.
- Kantavien puuväliseinäratkaisujen kerrospaksuus on 280 mm. Betoniratkaisun kerrospaksuus RT ohjetiedoston mukaan voi olla 80...240mm. Tässä kerrospaksuudeksi on valittu 150 mm, jotta täytyisi kantavuus ja ääneneristävyysvaatimus. Toisaalta rakennepaksuudella on vaikutusta myös rakenteen paloluokkaan; tämä on nyt korkeampi kuin puuratkaisulla (REI 90), mutta paloturvallisuutta puurakenteisissa kerrostaloissa parantaa vesi- tai sumusammutusjärjestelmä. Betonirakenteen pienempi kerrospaksuus on kompensoitu siten että asuntojen koot ja tilaratkaisu eivät muutu.
- Betonielementtikerrostalon seinärakenteiden eri paksuus on laskennallisesti otettu huomioon siten, että tilaratkaisu ja asuntojen koot pysyvät kaikissa vaihtoehdoissa samoina (tämän mukaan betonielementtirakennuksen ulkoseinä on 1 % pienempi ja alapohja sekä välipohjat ovat 2 % pienempiä kuin vastaavat puukerrostalon rakenteet).
- Kaikissa ratkaisuissa lattiapintana on käytetty parkettia. Lattialämmityksen takia kaikissa välipohjaratkaisuissa on myös betonikerros, johon on upotettu lämmitysputket (putket eivät sisälly laskentaan).
- Kattorakenteena kaikissa rakennusratkaisussa on käytetty naulalevyristikkoja. Vesikatteena on aluskatteellinen bitumikermi (2-kerroskate).

Taulukko 4. Ulkoseinäratkaisut (rakenteen lisäksi puurakenteet sisältävät myös ylä- ja alasidepuuliitokset) (Tase: hiilisältö – hiilijalanjälki).

Ratkaisu	A	B	C	D	E	F
Tyyppi	Pilari-palkki runko	CLT -rakenteinen suurelementti	Rankarakenteinen tilaelementti	Rankarakenteinen suurelementti	CLT-rakenteinen tilaelementti	Betonielementti
Lähde	RunkoPes 2.0, US401ER (ei kantava rankarakenne)	RunkoPes 2.0, US401KM (kantava massiivipuu)	RunkoPes 2.0, US401KR (kantava rankarakenne)	RunkoPes 2.0, US401KR (kantava rankarakenne)	RunkoPes 2.0, US401KM (kantava massiivipuu)	RT 82-11006 ¹¹ , US 405
Ominaisuus	REI 60 U-arvo < 0,17 W/m ² K	REI 60, U-arvo < 0,17 W/m ² K	REI 60, U-arvo < 0,17 W/m ² K	REI 60, U-arvo < 0,17 W/m ² K	REI 60, u-arvo < 0,17 W/m ² K	REI 90, U-arvo = 0,16 W/m ² K
Rakenne						
Paino, kg/m ² (puutuote-%)	72 (60 %)	97 (76 %)	77 (63 %)	77 (63 %)	97 (76 %)	549 (0 %)
Hiilijalanjälki, kg CO ₂ /m ²	32	30	33	33	30	120
Hiilisältö, kgCO ₂ /m ²	66	115	78	78	115	0
Tase, kgCO ₂ /m ²	34	84	44	44	84	-120

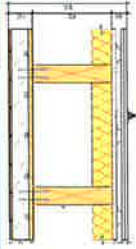
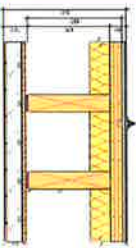

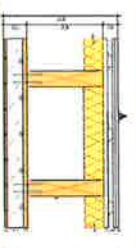
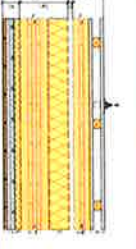

¹¹ RT 82-11006. 2010. Ulkoseinärakenteita. Ohjeet, lokakuu 2010, 32 sivua.

Taulukko 5. Huoneistojen kantavat väliseinäratkaisut (palo-osastoivat rakenneosat) (rakenteen lisäksi puurakenteet sisältävät myös ylä- ja alasidepuuiliitokset) (Tase: hiilisältö – hiilijalanjälki).

Ratkaisu	A	B	C	D	E	F
Tyyppi	Pilari-palkki runko	CLT -rakenteinen suurelementti	Rankarakenteinen tilaelementti	Rankarakenteinen suurelementti	CLT-rakenteinen tilaelementti	Betonielementti
Lähde	RunkoPes 2.0, HVS401ER (ei kantava rankarakenne)	RunkoPes 2.0, HVS401KM (kantava massiivipuu)	RunkoPes 2.0, THVS401KR (kantava rankarakenne)	RunkoPes 2.0, HVS401KR (kantava rankarakenne)	RunkoPes 2.0, THVS401KM, (kantava massiivipuu)	RT 82-10903 ¹² , VS 401
Ominaisuus	REI 60	REI 60	REI 60, R'W > 55db	REI 60, R'W > 55db	REI 60	REI 90 R'w = 55db
Rakenne						
Paino, kg/m ² (puutuote-%)	62 (19 %)	121 (81 %)	80 (63 %)	79 (62 %)	121 (83 %)	364 (0 %)
Hiilijalanjälki, kg CO ₂ e/m ²	34	32	37	37	32	73
Hiilisältö, kgCO ₂ /m ²	18	152	83	81	152	0
Tase, kgCO ₂ /m ²	-16	119	45	44	120	-73


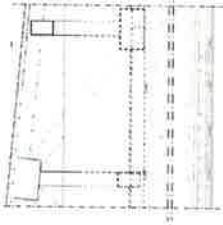



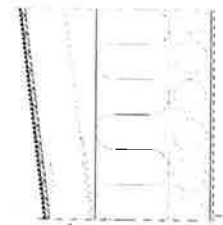
¹² RT 82-10903. Väliseinärakenteita. Ohjetiedosto, syyskuu 2007, 38 sivua.

Taulukko 6. Välipohjaratkaisut (Tase: hiilisisältö – hiilijalanjälki).



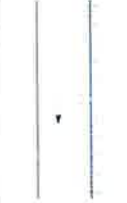
Ratkaisu	A	B	C	D	E	F
Tyyppi	Pilari-palkki runko	CLT -rakenteinen suurelementti	Rankarakenteinen tilaelementti	Rankarakenteinen suurelementti	CLT-rakenteinen tilaelementti	Betonielementti
Lähde	RunkoPes 2.0, VP802BRL	RunkoPes 2.0, VP802KRL	RunkoPes 2.0, TVP801R pohjalta, ratkaisua vahvennettu	RunkoPes 2.0, VP802BRL	RunkoPes 2.0, TVP801M pohjalta. Ratkaisua vahvennettiin	RT 83-10902 ¹³ US 401, ontelolaatta
Ominaisuus	REI 60 R'w>55, L'n,w<53, Jänneväli L<7,5 m Suojaverhous EI30	REI 60 R'w>55, L'n,w<53, jänneväli L<7,5 m suojaverhous EI30	REI 60 R'w>55, L'n,w<53 Oletettu että täyttää vaatimukset >7,5m Suojaverhous EI30	REI 60 R'w>55, L'n,w<53, Jänneväli L<7,5 m Suojaverhous EI30	REI 60 R'w>55, L'n,w<53 Suojaverhous EI30 Oletettu että täyttää vaatimukset >7,5m	REI 60 R'w>55, L'n,w<53 Suojaverhous EI30
Rakenne						
Paino, kg/m ² (puutuote-%)	282 (15 %)	285 (26 %)	175 (25 %)	282 (15 %)	269 (51 %)	555 (2 %)
Hiilijalanjälki, kg CO ₂ e/m ²	74	78	55	74	70	101
Hiilisisältö, kgCO ₂ /m ²	56	109	59	56	202	9
Tase, kgCO ₂ /m ²	-18	31	4	-18	131	-92

¹³ RT 83-10902. Välipohjarakenteita. Ohjetiedosto, elokuu 2007, 36 sivua.

Taulukko 7. Yläpohjaratkaisut (Tase: hiilisisältö – hiilijalanjälki).

Ratkaisu	A	B	C	D	E	F
Tyyppi	Pilari-palkki runko	CLT -rakenteinen suurelementti	Rankarakenteinen tilaelementti	Rankarakenteinen suurelementti	CLT-rakenteinen tilaelementti	Betonielementti
Lähde	RunkoPes 2.0, YP801NR	HEKA Eskolantie, Talo A (rakennetyyppi YP1, KPM-Engineering)	RunkoPes 2.0, YP801NR	RunkoPes 2.0, YP801NR	Eskolantie	Kuninkaantammi, Helen
Ominaisuus	REI 60, U-arvo < 0,09 W/m ² K, Suojaverhous EI30	REI 60, U-arvo < 0,07 W/m ² K, Suojaverhous EI30	REI 60, U-arvo < 0,09 W/m ² K, Suojaverhous EI30	REI 60, U-arvo < 0,09 W/m ² K, Suojaverhous EI30	REI 60, U-arvo < 0,07 W/m ² K, Suojaverhous EI30	REI 60, U-arvo < 0,09 W/m ² K
Rakenne						
Paino, kg/m ² (puutuote-%)	97 (46 %)	129 (73 %)	97 (46 %)	97 (46 %)	129 (61 %)	437 (9 %)
Hiilijalanjälki, kg CO ₂ e/m ²	61	53	61	61	53	127
Hiilisisältö, kgCO ₂ /m ²	73	129	73	73	129	62
Tase, kgCO ₂ /m ²	12	76	12	12	76	-66

Taulukko 8. Muut rakenneratkaisut (kevyt väliseinä, alapohja) (Tase: hiilisisältö – hiilijalanjälki).

Ratkaisu	Kevyt väliseinä	Alapohja	Alas laskettu katto	Portaat	Hormit ja hissikuilu
Tyyppi	Puuranka puurakennuksissa ja teräsranka betonirakennuksessa	Betonirakenteinen alapohja	Kaikissa 2 rakennetyyppiä: puu- ja kipsilevyverhous	Puuportaat puurakennuksissa ja betoniportaat betonirakennus	Kaikissa rakennuksissa kevytrakenteiset hormit Kaikissa rakennuksissa betoninen hissikuilu
Lähde	RunkoPes 2.0, VS801ER, (ei kantava rankarakenne)	RT 83-11009, AP 417			
Ominaisuus		U-arvo = 0,16 W/m ² K,			
Ratkaisu				Porraselementti: 1200 mm, yksivartinen, välitasanteella	
Paino, (puutuote-%)	24 kg/m ² (13 %) (puuranka) 22 (0 %) (teräsranka)	905 kg/m ² (1 %)	10 kg/m ² (99%) (puupaneli), 12 kg/m ² (27 %) (kipsilevy verhous)	1161 kg/kerros (99 %) (puuporras), 3600 kg/kerros (0 %) (betoniporras)	Hormit: 5660 kg/rakennus (22 %) Hissikuilu: 40 500 kg/rakennus (0%)
Hiilijalanjälki	12 / 14 kg CO ₂ e/m ² (puuranka / teräsranka)	89 kg CO ₂ e/m ²	1 / 4 kg CO ₂ e/m ² (puupaneli / kipsilevy verhous)	260/ 729 kg CO ₂ e/kerros (puu-/ betoniporras)	Hormit: 2735 kgCO ₂ e/rakennus, Hissikuilu: 7753 kgCO ₂ e/rakennus
Hiilisisältö	5 / 0 kg CO ₂ /m ²	9 kg CO ₂ /m ²	15 / 5 kg CO ₂ /m ²	1847 / 0 per kerros	Hormit: 1950 kg CO ₂ e/rakennus Hissikuilu: 0 kgCO ₂ e/rakennus
Tase	-7 / -14 kg CO ₂ /m ²	-80 kg CO ₂ /m ²	14 / 1 kg CO ₂ /m ²	1587 / -729 per kerros	Hormit: -789 kg/rakennus Hissikuilu: - 7753 kg/rakennus

2.2.3 Rakentaminen

Rakentamisaikainen energiankulutus perustuu LeanWood projektin selvitykseen (Taulukko 9)¹⁴. Tämän pohjalta rakentamisen hiilijalanjälki voidaan arvioida rakennustyyppistä riippumattomasti ja on suuruusluokalta noin 14 kWh/rak-m³.

Taulukko 9. Rakentamisen aikainen energiankulutus (energiankulutuksen luvut perustuvat Rakennusliike Reponen Oy:n rakentamien kohteiden työmaanaikaisiin energialaskuihin).

Rakennuksen tyyppi	Kohteen koko	Sähkö	Kauko-lämpö	Polttoöljy	Yhteensä
	m ³	kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/m ³
Bet-1	6 400	12	0	5,3	17
Bet-2	37 410	7	5,2	2,0	14
Bet-3	5 570	9	0	3,2	12
Bet-4	28 340	11	2,4	0	14
Betonirakennus keskiarvo					14,4
Puu-1	4 687	14	0	0	14
Puu-A	59 986	8	6,6	1,2	16
Puu-2	30 045	7	3,2	0	10
Puurakennus keskiarvo					13,7

2.2.4 Rakennuksen käyttö

Rakennuksen käyttö on laskettu 50 vuoden käyttöajalle:

- Puurakennusten käytönaikainen hoito sisältää julkisivujen hoitomaalauksen. Käyttöajan aikana maalataan julkisivuja 2 kertaa. Betonijulkisivujen osalta on oletettu, että saumojen uusimisia eikä muita huoltoja tarvita.
- Käyttöajan aikana rakennuksien ikkunat vaihdetaan kerran.

Rakennusten käytönaikaisen energiankulutuksen täytyy täyttää E-lukuvaatimukset. Rakennusmääräysten mukaan uudisrakennetulle kerrostalolle E-luku ei saa ylittää arvoa 130 kWh_E/m². Kaikki tässä tarkasteltavat rakennukset täyttävät nykyiset energiamääräykset ja ovat hyvin energiatehokkaita. Laskenta ei ota kantaa millä tekniikoilla tähän energiatehokkaaseen rakentamiseen päätytään. Vuotuinen sähkön, lämmön ja käyttöveden kulutus on oletettu olevan alle 100 kWh/m² (sähkö 45 kWh/m², lämmitys 35 kWh/m² ja käyttövesi 20 kWh/m²) ja näin ollen E-luku vaatimus on täytetty (E-luku 115 kWh_E/m² < 130 kWh_E/m²).

Suomen energiateollisuuden mukaan alhaisin sähkötuotannon CO₂ päästö oli vuonna 2015 (0,097 kg/kWh)¹⁵. Vuonna 2016 sähkötuotannon päästö oli 0,105 kg CO₂/kWh. Tässä

¹⁴ Nykänen, E., Häkkinen, T., Kiviniemi, A., Lahdenperä, P., Pulakka, S., Ruuska, A., Saari, M., Vares, S., Cronhjort, Y., Heikkinen, P., Tulamo, T., Tidwell, P. 2017. Puurakentaminen Euroopassa. LeanWood. VTT Technology 297. ISBN 978-951-38-8534-2 (URL: <http://www.vtt.fi/julkaisut>)

¹⁵ Enegiateollisuus. Sähkötilasto 2016.

https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/tilastot/sahkotilastot (26.8.2017)

laskennassa käytettiin ostosähkölle hiilijalanjälki arvoa 0,116 kg CO₂/kWh (sisältää jakelu ja siirtohäviöt).

Myös Suomen kaukolämpöteollisuus on vähentänyt runsaasti tuotannon yksikköpäästöjä (Energiateollisuus. Kaukolämpötilasto). Kun vuonna 2005 keskimääräinen Suomen kaukolämpötuotannon päästö oli 0,200 kg CO₂/kWh, niin vuonna 2015 tämä oli vain 0,150 kg CO₂/kWh. Vuonna 2016 kaukolämpötuotannon päästö kuitenkin kasvoi, ja oli 0,163 kg/kWh¹⁶. Myös kaukolämmön jakelussa tapahtuu siirtohäviöitä. Tässä laskennassa kerrostaloon toimitetun lämmön hiilijalanjälki-arvona on käytetty arvoa 0,168 kg CO₂e/kWh. Toisaalta, kaukolämpö on tuotettu useassa kunnassa biopohjaisilla polttoaineilla ja näin ollen valmistuksen fossiiliset hiilipäästöt ovat lähellä 0 g/kWh. Herkkyystarkastelussa on oletettu, että sähkön ja lämmöntuotannon päästöt putoavat puoleen tai sähkö ja lämpö on tuotettu kokonaan uusiutuvilla energialähteillä.

2.3 Laskentatulokset

Laskennan perusoletuksena on, että puukerrostalon kaikki kerrokset rakennetaan puurunkoisina ja betonikerrostalossa kaikki betonirunkoisena. Betonikerrostalossa on kuitenkin samanlainen ristikkorakenteinen katto kuin puukerrostaloissa. Lisäksi betonikerrostalossa hormirakenteet on toteutettu myös kevytrakenteisina (samaa kuin puukerrostalossa). Kaikissa rakennuksissa lattiapäällystyksenä on käytetty parkettia.

2.3.1 Kerrostalojen rakennusmateriaalien tarve, materiaalien hiilijalanjälki ja hiilisisältö (A1-A4)

Kerrostalojen rakennusmateriaalien käyttötarve, puupohjaisten materiaalien käyttötarve sekä puupohjaisten materiaalien osuus koko rakenteesta ja rakennuksesta on esitetty taulukoissa Taulukko 10, Taulukko 11 ja Taulukko 12.

Taulukko 13 esittää puukerrostalorakennuksien (A-E) ja betonielementtikerrostalon (F) hiilijalanjäljen (kg CO₂e) ja Taulukko 14 hiilisisällön (kg CO₂) rakennetyypeittäin, elinkaaren vaiheille A1-A4 (hiilisisältö perustuu EN 16485, kohta 6.3.4.2, kestävästi hoidetut metsät).

¹⁶ Energiateollisuus. Kaukolämpötilasto. 2016.

https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/tilastot/kaukolampotilastot (26.8.2017)

Taulukko 10. Kerrostalorakenteiden materiaalitarve (tonneja) rakennetyypeissä ja rakennuksissa (Puukerrostalot A – E rakennejärjestelmillä ja F betonikerrostalo).

Rakennus	A	B	C	D	E	F
Rakennusmateriaalien tarve						
US, t	85	112	89	89	112	599
Kevyt VS, t	13	13	13	13	13	13
Kantava HVS, t	57	109	74	73	109	327
VP, t	419	422	262	419	395	776
AP, t	448	448	448	448	448	439
YP*, t	50	66	50	50	66	208
Perustus, t	165	165	165	165	165	184
Parvekkeet, t	31	31	31	31	31	177
Ovet ja ikkunat, t	25	25	25	25	25	25
Muut **, t	62	52	52	52	52	60
Yhteensä, t	1 355	1 444	1 210	1 365	1 417	2 808
Yhteensä, kg / br-m ²	705	751	630	710	737	1 461

* YP =yläpohjan lisäksi ristikot, vesikate, räystäs

** Muut = Kevytrakenteiset hormit, portaat, betoninen hissikuilu, A rakennuksen pilarit ja palkit.

Taulukko 11. Kerrostalorakenteiden puumateriaalien tarve (tonneja) rakennetyypeissä ja rakennuksissa (Puukerrostalot A – E rakennejärjestelmillä ja F betonikerrostalo).

Rakennus	A	B	C	D	E	F
Puumateriaalien tarve						
US, t	51	86	57	57	86	0
Kevyt VS, t	4	4	4	4	4	4
Kantava HVS, t	11	88	47	46	88	0
VP, t	65	113	68	65	199	22
AP, t	7	7	7	7	7	6
YP*, t	24	42	24	24	42	20
Perustus, t	0	0	0	0	0	0
Parvekkeet, t	25	25	25	25	25	2
Ovet ja ikkunat, t	4	4	4	4	4	4
Muut **, t	15	5	5	5	5	1
Yhteensä, t	204	373	240	236	459	60
Yhteensä, kg / br-m ²	106	194	125	123	239	31

* YP =yläpohjan lisäksi ristikot, vesikate, räystäs

** Muut = Kevytrakenteiset hormit, portaat, betoninen hissikuilu, A rakennuksen pilarit ja palkit.

Taulukko 12. Puumateriaalien osuus rakennetyypeittäin ja koko kerrostalon materiaaltarpeesta (Puukerrostalot A – E rakennejärjestelmillä ja F betonikerrostalo).

Rakennus	A	B	C	D	E	F
US	60 %	76 %	64 %	64 %	76 %	0 %
Kevyt VS	27 %	27 %	27 %	27 %	27 %	27 %
Kantava HVS	19 %	81 %	64 %	63 %	81 %	0 %
VP	15 %	27 %	26 %	15 %	50 %	3 %
AP	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
YP*	48 %	63 %	48 %	48 %	63 %	9 %
Perustus	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Parvekkeet	80 %	80 %	80 %	80 %	80 %	1 %
Ovet ja ikkunat	18 %	18 %	18 %	18 %	18 %	18 %
Muut **	24 %	10 %	10 %	10 %	10 %	2 %
Puumat. osuus materiaaleista	15 %	26 %	20 %	17 %	32 %	2 %

* YP =yläpohjan lisäksi ristikot, vesikate, räystäs

** Muut = Kevytrakenteiset hormit, portaat, betoninen hissikuilu, A rakennuksen pilarit ja palkit.

Taulukko 13. Kerrostaloissa käytettyjen materiaalien hiilijalanjälki (tCO₂e/rakennustyyppi, rakennus ja bruttoalaa sekä säästetyt materiaali pohjaiset päästöt absoluuttisina arvoina ja % (hiilijalanjäljen abs säästö laskettu: betonikerrostalo-puu) (Puukerrostalot A – E rakennejärjestelmillä ja F betonikerrostalo).

Rakennus	A	B	C	D	E	F
Hiilijalanjälki						
US, tCO ₂ e	35	34	37	37	34	131
Kevyt VS, tCO ₂ e	8	8	8	8	8	8
Kantava HVS, tCO ₂ e	29	28	33	32	28	64
VP, tCO ₂ e	104	110	79	104	99	140
AP, tCO ₂ e	43	43	43	43	43	42
YP*, tCO ₂ e	29	26	29	29	26	60
Perustus, tCO ₂ e	32	32	32	32	32	36
Parvekkeet, tCO ₂ e	11	11	11	11	11	31
Ovet ja ikkunat, tCO ₂ e	17	17	17	17	17	17
Muut **, tCO ₂ e	15	11	11	11	11	13
Yhteensä, t CO ₂ e	325	321	301	326	310	542
kg CO ₂ e / br-m ²	169	167	156	170	161	282
abs. säästö, t	217	220	241	216	231	0
säästö, %	40 %	41 %	44 %	40 %	43 %	0 %

* YP =yläpohjan lisäksi ristikot, vesikate, räystäs

** Muut = Kevytrakenteiset hormit, portaat, betoninen hissikuilu, A rakennuksen pilarit ja palkit.

Taulukko 14. Puukerrostalomateriaalien (A – E) hiilisisältö, laskettuna C -> CO₂:ksi (tCO₂ / rakennustyyppi ja rakennus), hiilivaraston kasvu absoluuttisena arvona ja %:na betonielementtikerrostalon (F) nähden.

Rakennus/ rakennus-osa	A	B	C	D	E	F
Hiilisisältö						
US, tCO ₂	73	127	85	85	28	0
Kevyt VS, tCO ₂	5	5	5	5	5	3
Kantava HVS, tCO ₂	16	133	72	70	133	0
VP, tCO ₂	83	156	87	83	286	17
AP, tCO ₂	4	4	4	4	4	4
YP*, tCO ₂	37	64	37	37	64	31
Perustus, tCO ₂	0	0	0	0	0	0
Parvekkeet, tCO ₂	33	33	33	33	33	6
Ovet ja ikkunat, tCO ₂	13	13	13	13	13	13
Muut **, tCO ₂	23	7	7	7	7	2
Yhteensä, t CO ₂	287	543	345	338	574	77
kg CO ₂ / br-m ²	149	283	179	176	298	40
Hiilivaraston kasvu, t CO ₂	210	466	268	262	497	0
Hiilivaraston kasvu, %	174 %	508 %	249 %	241 %	547 %	0 %

* YP =yläpohjan lisäksi ristikot, vesikate, räystäs

** Muut = Kevytrakenteiset hormit, portaat, betoninen hissikuilu, A rakennuksen pilarit ja palkit.

2.3.2 Kerrostalojen 50 vuoden käyttö

Kerrostalojen 50 vuoden käyttö laskettiin elinkaaren tuotevaiheille, rakentamisen vaiheelle ja käyttövaiheelle (vaiheet A1 – A4, A5, B2 ja B4 sekä B6). Käytönaikainen energiankulutus laskettiin tapauksille jossa energiantuotanto ja päästöt vastaavat Suomessa 2016 valmistettua sähkön- ja lämmöntuotantoa (Taulukko 15). Vertailuna esitetään tapaukset, joissa lämmöntuotannon päästöt ovat puolet nykyisestä ja tapaus jossa kaikki lämpö ja sähkö ovat tuotettua uusiutuvilla energialähteillä (Taulukko 16, Taulukko 17). Lisäksi laskettiin kerrostalojen tuotteisiin sitoutunut hiili hiilivarastona 50 vuoden käyttöiän ajaksi (Taulukko 18).

Taulukko 15. 4-kerroksisen puukerrostalon (A-E) rakentamisen hiilijalanjälki ja säästöt betonirakennuksen (F) nähden. Laskenta sisältää tuotevaiheen (A1-A3), kuljetuksen (A4), rakentamisen (A5), rakennuksen käyttövaiheen aikaisen kunnossapidon (B2), materiaalien vaihdon (B4) ja rakennuksen energiankulutuksen 50 vuoden aikana (B6). Energiankulutuksen päästöt vastaavat keskimääräisiä päästöjä Suomessa vuonna 2016.

	A1-A4, t CO ₂ e	A5, t CO ₂ e	B2+B4, t CO ₂ e	B6, t CO ₂ e	Elinkaari- vaiheet yhteensä, t CO ₂ e	Säästö, (Betoni – puu) t CO ₂ e	Säästö, %
A	325	12	20	1 387	1 743	206	11 %
B	321	12	20	1 387	1 740	209	11 %
C	301	12	20	1 387	1 719	230	12 %
D	326	12	20	1 387	1 744	205	11 %
E	310	12	20	1 387	1 729	220	11 %
F	542	12	8,7	1 387	1 949	0	0 %

Taulukko 16. 4-kerroksisen puukerrostalon (A-E) rakentamisen kasvihuonekaasupäästöt ja säästöt betonirakennuksen (F) nähden. Energiankulutuksen päästöt ovat puolittuneet vuoden 2016 tuotannon nähden. Laskenta sisältää tuotevaiheen (A1-A3 ja kuljetuksen A4), rakentamisen (A5), rakennuksen käyttövaiheen aikaisen kunnossapidon (B2), materiaalien vaihdon (B4) ja rakennuksen energiankulutuksen 50 vuoden aikana (B6).

	A1-A4, t CO ₂ e	A5, t CO ₂ e	B2+B4, t CO ₂ e	B6, t CO ₂ e	Elinkaari- vaiheet yhteensä, t CO ₂ e	Säästö, (Betoni – puu) t CO ₂ e	Säästö, %
A	325	12	20	693	1 050	206	16 %
B	321	12	20	693	1 046	209	17 %
C	301	12	20	693	1 026	230	18 %
D	326	12	20	693	1 051	205	16 %
E	310	12	20	693	1 035	220	18 %
F	542	12	8,7	693	1 255	0	0 %

Taulukko 17. 4-kerroksisen puukerrostalon (A-E) rakentamisen kasvihuonekaasupäästöt ja säästöt betonirakennuksen (F) nähden. Rakennuksen 50 v. käyttövaiheen energia on tuotettu kaikki uusiutuvilla lähteillä. Laskenta sisältää tuotevaiheen (A1-A3 ja kuljetuksen A4), rakentamisen (A5), rakennuksen käyttövaiheen aikaisen kunnossapidon (B2), materiaalien vaihdon (B4) ja rakennuksen energiankulutuksen 50 vuoden aikana (B6).

	A1-A4, t CO ₂ e	A5, t CO ₂ e	B2+B4, t CO ₂ e	B6, t CO ₂ e	Elinkaari- vaiheet yhteensä, t CO ₂ e	Säästö, (Betoni – puu) t CO ₂ e	Säästö, %
A	325	12	20	0	356	206	37 %
B	321	12	20	0	353	209	37 %
C	301	12	20	0	332	230	41 %
D	326	12	20	0	357	205	36 %
E	310	12	20	0	342	220	39 %
F	542	12	8,7	0	562	0	0 %

Taulukko 18. 4-kerroksisen puukerrostalon (A-E) rakentamisen hiilisisältö ja hiilivaraston kasvu betonirakennuksen (F) nähden. Laskenta sisältää tuotevaiheen (A1-A3 ja kuljetuksen A4), rakentamisen (A5), rakennuksen käyttövaiheen aikaisen kunnossapidon (B2), materiaalien vaihdon (B4) ja rakennuksen energiankulutuksen 50 vuoden aikana (B6).

	A1-A4, hiili- sisältö, t CO ₂ e	A5, hiili- sisältö, t CO ₂ e	B2+B4, hiili- sisältö, t /CO ₂ e	B6, hiili- sisältö, t CO ₂ e	Elinkaari- vaiheet yhteensä, hiilisisältö, t CO ₂ e	C- varaston kasvu, (Betoni – puu) t CO ₂ e	C- varaston kasvu, %
A	287	0	0	0	287	210	174 %
B	543	0	0	0	543	466	508 %
C	345	0	0	0	345	268	249 %
D	338	0	0	0	338	262	241 %
E	574	0	0	0	574	497	547 %
F	77	0	0	0	77	0	0 %

2.3.3 Kerrostalojen elinkaaren päätösvaihe (C3)

EN 15978 mukaan puutuotteiden hiilisisältö ilmoitetaan elinkaarivaiheessa A1-A3, kun puutavara on hankittu kestävästä metsistä. Tämä hiilisisältö on puutuotteissa varastona koko sen elinkaaren aikana. Elinkaaren päätösvaiheessa rakennukset puretaan. Puutavaran käsittely ja mahdollinen polttoprosessi vapauttavat hiilisisällön takaisin päästönä ilmastoon.

Jos puutuotemateriaali voidaan kierrättää, hiilisisältö siirtyy varastona seuraavaan tuotejärjestelmään (EN 16485:2014).

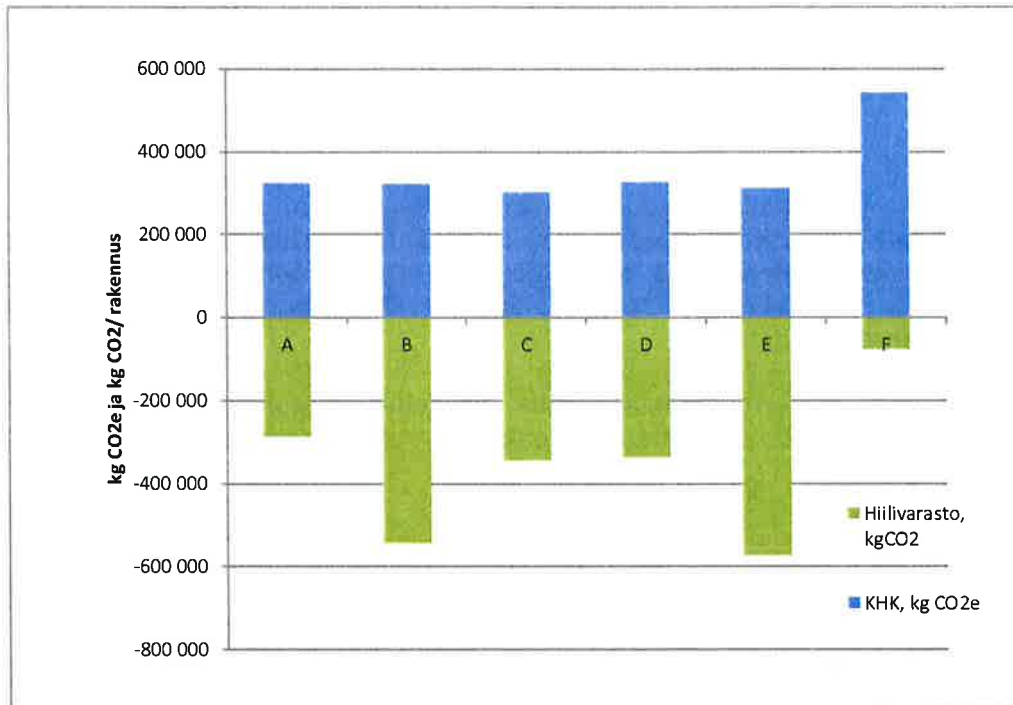
2.4 Johtopäätökset

Puukerrostalon kasvihuonekaasupäästöt arvioitiin viiden puukerrostalon rakennejärjestelmän osalta: pilari-palkki runko (A), CLT -rakenteinen suurelementti (B), rankarakenteinen tilaelementti (C), rankarakenteinen suurelementti (D) ja CLT-rakenteinen tilaelementti (E).

Ulkoseinärakenteiden hiilijalanjälki ero eri puurakennejärjestelmän osalta on noin 3 tonnia (Taulukko 13). Ratkaisujen välinen ero selittyy käytettyjen materiaalien jakaumalla. Esimerkiksi rankarakenteisen ratkaisun (A) ulkoseinämateriaalien käyttömäärä (kokonaispaino) on pienempi mutta hiilijalanjälki suurempi kuin CLT suurelementin (B) tapauksessa. Ratkaisussa A (rankarakenteinen ulkoseinä) muiden kuin puumateriaalien paino-osuus oli 40 %. Nämä aiheuttivat yli 80 % kasvihuonekaasupäästöistä. Rakenteessa käytettiin tuulensuojakipsilevyä ja palosuojakipsilevyä, kun CLT-rakenteisessa ulkoseinässä tarvittiin vain yhtä kipsilevykerrosta palosuojaukseen. Näin ollen ratkaisussa B muiden kuin puumateriaalien paino-osuus oli vain 23 %, jotka aiheuttivat 59 % päästöistä.

Puukerrostalojen osalta eniten materiaaliressursseja käytettiin CLT rakenteisissa rakennuksissa (B ja E), jossa oli puupohjaisia materiaaleja vastaavasti 26 % ja 32 %.

Tuloksen mukaan tuotevaiheen kasvihuonekaasupäästöt puukerrostalomateriaalien osalta olivat 156...170 kgCO₂e/br-m². Betonikerrostalon kasvihuonekaasujen määrä oli 282 kg CO₂e/br-m². Puukerrostalojen hiilisisältö laskettuna CO₂:sena oli 149...298 kg CO₂/brm². Hiilipäästöjen ja hiilisisällön tasetta esittää Kuva 4. Siinä puukerrostalojen (A – E) ja betonikerrostalon (F) hiilijalanjälki on esitetty CO₂e päästöinä ja hiilivarasto esitetty myös CO₂ päästönä, mutta miinusmerkkisenä (laskettuna, kg CO₂). Kuvasta nähdään, että eri puurakennejärjestelmien KHK-päästöt ovat samaa suurusluokkaa, mutta hiilivarastossa näkyy isoja eroja. Puutuotteiden hiilivarastojen iso ero johtuu puutuotteiden käyttömääristä rakennuksissa. Silloin kun puurakennejärjestelmänä on käytössä CLT rakenteiset suurelementit (massiivipuurakenne rakennuksessa B) ja CLT-rakenteiset tilaelementit (massiivipuurakenne rakennuksessa E), puun käyttömäärät ovat korkeammat kuin muissa ratkaisuisissa ja tämä näkyy myös isompana hiilivarasto-arvona, sen sijaan hiilijalanjälkeen tällä on vähäisempi merkitys (CLT valmistajan hiilipäästöt ovat suhteellisen pieniä esimerkiksi liimapuun valmistuksen nähden).



Kuva 4. Puukerrostalojen (A-E) ja betonielementtikerrostalon (F) materiaalien hiilijalanjälki (KHK, kg CO₂e) ja hiilisisältö (hiilivarastona, kg CO₂) (hiili on varastoitunut tuotteisiin koko käyttöiän ajaksi. Elinkaaren päätösvaiheessa tuotteiden hyödyntäminen lämmöntuotannossa vapauttaa yhtä paljon päästöjä ympäristöön, kun oli elinkaaren aikana varastoitunut ja näin ollen hiilivarasto nollautuu).

Rakentamalla puurakenteinen 4-kerroksinen asuinkerrostalo voidaan säästää materiaali-pohjaisia kasvihuonekaasupäästöjä 40 – 44 % verrattuna betonirakenteisen kerrostaloon (betonielementti) ja samalla kasvattaa hiilivarastoa noin 174 – 547 % (perusratkaisu).

Laskenta tehtiin rakennuksien tuotevaiheen (A1-A4) lisäksi myös rakennusvaiheelle (A5) sekä rakennuksen käyttövaiheelle (B2, B4, B6). Arviossa käyttövaiheena käytettiin 50 vuotta.

Silloin kuin rakennuksen käyttövaihe otetaan laskentaan mukaan, dominoivaksi hiilijalanjäljen suhteen muodostuu energian kulutus rakennuksessa ja energian tuotannon päästöt. Puurakentamisen aiheuttama kasvihuonekaasujen säästö (erotus) 50 vuoden elinkaarelle laskettuna on 11 – 12 % (Taulukko 15), jos energiateollisuus ei paranna keskimääräisiä energian tuotannon päästöjä. Tämä ei kuitenkaan ole todennäköistä, koska energiateollisuus on sitoutunut vähentämään päästöjä ennestään. Sitä varten laskenta tehtiin tapauksille, joissa energiantuotannon päästöt ovat puolittuneet vuoden 2016 tasosta tai fossiilista alkuperä olevia päästöjä ei ole uusiutuvien lähteiden ansiosta. Energiapäästöjen puolittumisen tapauksessa puukerrostalojen kasvihuonekaasujen säästö (erotus) betonielementtirakennukseen nähden on noin 16 - 18 % (Taulukko 16) ja kokonaan uusiutuvan energiamuodon tapauksessa 37 – 41 % (Taulukko 17).

Rakennuksien hiilivarasto riippuu rakenneratkaisuissa käytettyjen puumateriaalien määristä. Rakentamalla puukerrostaloja voidaan kasvattaa rakentamisen hiilivarastoa 174 - 547 %. Eniten hiilivarasto kasvaa (noin 547 %), kun rakennusmateriaalina on käytetty massiivirakenteisia ristiin liimattuja puulevyjä (CLT) ja järjestelmänä on käytössä rakentaminen tilaelementeistä. Hiilivarasto pysyy puutuotteissa koko käyttöiän aikana. Elinkaaren päätösvaiheessa puutuotteisiin varastoitunut hiili vapautuu ympäristöön takaisin, jos käytöstä poistetut puutuotteet hyödynnetään lämmöntuotannossa. Tapauksessa, jossa käytöstä poistetut puutuotteet siirtyvät seuraavaan käyttökohteeseen, hiilisisältö pysyy hiilivarastona (EN 16485:2014).

3 Substituutiopotentiaali rakennustasolla korjausrakentamisessa

3.1 Johdanto

Puurakentamisen substituutiovaikutusta arvioitiin tyypillisen betonielementtirakenteisen asuinrakennuksen peruskorjauksessa sekä täydennysrakentamisen tapauksessa. Korjausrakentamisen menetelmänä tässä käytettiin lisälämmöneristystä puurakenteisella TES- elementillä (Tes Energy facade, 2009)¹⁷. Tulosta verrattiin betonielementin lämpörappausmenetelmällä.

Substituutiovaikutus lisäkerrosrakentamisessa selvitettiin tapauksille, jossa 4-kerroksisen betonielementtitalon katolle rakennetaan lisäkerros rankarakenteisena tilaelementtinä tai betonielementeistä.

3.2 Lähtötiedot

Korjaus TES menetelmällä

TES menetelmässä julkisivujen betonielementin uloin kerros poistetaan ja tilalle asennetaan puurakenteinen esivalmistettu elementti. Tässä on kuitenkin oletettu, että kyseessä on säästävä korjausrakentaminen ja näin ollen elementti asennetaan suoraan alla olevan betonielementin päälle.

Kantava puurakenteena elementin reunoilla ja ikkunoiden ympärillä on oletettu käytettävän 39 x 300 mm kertopuuta. Kertopuurungon sisäpuolelle on kiinnitetty 9 mm kuusivaneri. Elementin ulkopinnassa on kuitusementtilevy (tuulensuoja), johon on liimattu mineraali-pohjainen rappausaluslamelli.

TES-korjausmenetelmää verrataan lämpörappaus menetelmään. Lämpörappausmenetelmässä oletettiin, että vanhan betonielementin päälle tehdään lisäeristys ja rappaus. Molemmissa korjausrakentamisen menetelmässä myös ikkunat uusitaan. Rakennuksena käytetään mallikerrostaloa, jonka ulkoseinän ala on 1354 m² (ilman aukotuksia).

Lisäkerrosrakentaminen

Puun substituutiovaikutus lisäkerrosrakentamisessa arvioitiin edellä esitettyjen betonikerrostalon sekä rankarakenteisen tilaelementtisen puukerrostalon laskennan pohjalta.

¹⁷ Anon. Tes Energy fasade. 2009. Loppuraportti.
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/tiedotteet/schweighofer-preis-2011-innovaatiopalkinto-puurakentamisen-tutkimushankkeelle/tkk-tes-energy-facade-loppuraportti.pdf>

3.3 Tulokset

Taulukko 19 ja Taulukko 20 esittävät korjausrakentamisen hiilijalanjäljen sekä hiilisisällön betonisen elementtikerrostalon korjauksessa TES-elementillä ja lämpörappausena. Taulukko 21 esittää tulokset lisäkerrosrakentamisen osalta.

Taulukko 19. Korjausrakentamisen hiilijalanjälki ja kasvihuonekaasujen säästö vertailuna TES elementti ja lämpörappaus (esimerkkinä on 4 kerroksisen mallikerrostalon ulkoseinän korjaus, jossa myös ikkunat vaihdetaan).

Korjaus- rakentamisen ratkaisu	rakenne t CO ₂ e	ikkunat, t CO ₂ e	Yhteensä t CO ₂ e	KHK säästö t, (lämpörappaus - TES)	KHK- päästöjen säästö, %
TES elementti	38	9	47	-19	-67 %
Lämpörappaus	19	9	28	0	0 %

Taulukko 20. Korjausrakentaminen hiilivaraston kasvu. TES elementti ja lämpörappaus. Esimerkkinä 4 kerroksisen mallikerrostalon ulkoseinä, jossa myös ikkunat vaihdetaan.

Korjaus- rakentamisen ratkaisu	Rakenne, hiilisisältö, t CO ₂	ikkunat, hiilisisältö, t CO ₂	Yhteensä	Hiilivaraston kasvu t, (TES - lämpö- rappaus)	Hiilivaraston kasvu, %
TES elementti	50	5,5	55,5	50	817 %
Lämpörappaus	0	5,5	5,5	0	

Taulukko 21. Lisäkerrosrakentamisen hiilijalanjälki suurelementtirakenteisena ja betonielementtirakenteisena. Lisäkerros rakennetaan 4-kerroksisen mallikerrostalon katolle.

Lisäkerrosrakentamisen ratkaisu	Hiilijalanjälki, t CO ₂ e	Hiilisisältö, t CO ₂	KHK-päästöjen säästö, %	Hiilivaraston kasvu, %
Rankarakenteinen suurelementti	76	97	36 %	348%
Betoni-elementti	119	18	0 %	0 %

3.4 Johtopäätökset

TES-elementin valmistus ja käyttö korjausrakentamisessa aiheuttaa enemmän valmistuksen aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä kuin lämpörappaus. Molemmissa korjausmenetelmissä oletuksena oli myös ikkunoiden uusiminen. TES-korjausmenetelmässä kasvihuonekaasupäästöjä ei säästetty, mutta korjausrakentaminen käyttämällä TES-elementtiä kasvattaa hiilivarastoa yli 800 % lämpörappausten nähden (lämpörappaus ja ikkunoiden uusiminen).

Lisäkerrosrakentamisessa kasvihuonekaasujen päästöjen säästö (erotus) betonielementtirakentamisen nähden on 36 % ja hiilivaraston kasvu 348 %.

4 Hiilivarasto rakennuskannan tasolla

4.1 Johdanto

Puiset rakennukset ja rakenteet sitovat itseensä hiiltä. Rakenteisiin varastoitunut hiilidioksidi vapautuu takaisin ilmakehään rakennuksen purkamisen yhteydessä. Yksittäisen rakenteen uusimisen yhteydessä hiilisisältö pysyy ennallaan, mikäli vanha puurakenne korvataan uudella puurakenteella.

Tämän projektin yhtenä tehtävänä oli laskea nykyisen rakennetun ympäristön sitoman hiilen määrä. Tutkimusmenetelmä ja tietolähteet ovat samat, kuin aiemmissa hiilivaraston arvioinneissa (Pingoud & Perälä, 2000; Pingoud, Perälä, Soimakallio & Pussinen, 2003). Arviointi on kolmevaiheinen: 1) talonrakennuskannan laajuus ja puisten rakennusosien määrä tarkasteluajankohtana; 2) muut puurakenteet tarkasteluajankohtana; ja 3) puisten rakennusosien hiilijalanjälki ja hiilisisältö. Tarkasteluajankohta on joulukuu 2016.

4.1.1 Talonrakennuskannan laajuus ja puisten rakennusosien määrä

Talonrakennuskannan laajuuden määrittämisessä lähtökohtana oli Tilastokeskuksen rakennuskantatilasto 'Rakennukset ja kesämökit'. Rakennuskantatilasto on kuitenkin alipeittoinen eräiden puuintensiivisten rakennusten osalta. Tilastosta kokonaan puuttuva maatalousrakentaminen ja alipeittoiset talotyypit (varastorakennukset, muut rakennukset) on täydennetty 'Rakennus- ja asuntotuotanto' -tilaston perusteella. Nämä molemmat tilastot laaditaan Väestörekisterikeskuksen kokoamien rakennushankeilmoitusten perusteella. Rakennustuotannosta tilastosta julkaistaan lyhyt aikasarja Tilastokeskuksen tietokantapalvelussa. Tämän tutkimuksen käytössä on ollut Tilastokeskukselta hankitut pidemmät aikasarjat ja Väestörekisterikeskuksesta hankittu kohdekohtainen rakennusrekisteri.

Tilastojen rakennusluokitus (Tilastokeskus, Rakennusluokitus)

A Asuinrakennukset

Erilliset pientalot - yhden ja kahden asunnon erillistalot,

Rivi- ja ketjutalot - vähintään kahden ja kolmen asunnon rivi- ja ketjutalot,

03 Asuinkerrostalot - kerrostalot, luhtitalot,

B Kesämökit

C Liikerakennukset - myymälärakennukset, myymälähallit, hotellit, ravintolat

D Toimistorakennukset

E Liikenteen rakennukset - pysäköintitalot, kulkuneuvojen suoja- ja huoltorakennukset, tietoliikenne rakennukset

F Hoitoalan rakennukset - sairaalat, terveyskeskukset,

G Kokoontumisrakennukset - teatteri ja konserttirakennukset, kirjastot museot, näyttelyrakennukset, urheilu- ja kuntoilurakennukset

H Opetusrakennukset - oppilaitokset, korkeakoulut,

L Palo- ja pelastustoimenrakennukset

J Teollisuusrakennukset - teollisuushallit, voimalaitosrakennukset, teollisuus- ja

pienteollisuustalot

K Varastorakennukset - teollisuus ja kauppavarastot, öljy- ja kaasusäiliöt,

M Maatalousrakennukset - navetat, sikalat, kanalat, eläinsuojat, maneesit, viljakuivaamot, kasvihuoneet, turkistarhat,

N Muut rakennukset - saunarakennukset, talousrakennukset, asuinrakennusten autotallit..

Tilastoista ja rakennusrekisteristä saadaan tieto rakennuskannan kerrosalasta. Tämä tieto muutetaan rakennusosien määräksi ominaislukumenetelmällä (rakenteen pinta-ala/rakennuksen kerrosala tai rakennuksen pinta-ala). Ominaisluvut vaihtelevat rakennustyyppiin ja rakennuksen koon funktiona. Esimerkiksi kerrosalalla mitattuna pienissä rakennuksissa ulkoseinää on enemmän kuin isoissa rakennuksissa. Ominaisluvut määritetään otannoilla toteutuvasta rakentamisesta (Tienhaara, 1987).

Puumateriaalin tilavuutta johdettuna talonrakennuskannan laajuudesta tarkasteltiin jaolla:

- hirsirakenteiset ulko- ja väliseinät,
- rakennuksien runko (ulko- ja väliseinät, ala-, väli- ja yläpohjat),
- ulkovaipan laudoitukset (julkisivut ja katealusta),
- sisätilojen paneloinnit (seinä-, katto-, ja lattia pinnat) (vaneri, lastulevy, kuitulevy)
- puuikkunat ja ovet.

Puu pääasiallisena kantavana rakennusmateriaalina ja julkisivumateriaalina on rakennushankeilmoituksessa kysytyjä tietoja ja saatavissa rakennusrekisteristä. Puun käytöstä muissa rakennusosissa on tehty määrävälein otantatutkimuksia ja näitä tietoja hyödynnettiin muiden rakennusosien puun käytön arvioinnissa.

Rakennushankeilmoituksista ja markkinatutkimuksista saadaan tieto puurakenteiden markkinaosuuksista. Puun määrä (tilavuus) rakenteessa on laskettu rakenteiden kuvausten perusteella. Rakennekuvauksia julkaisevat tuotetoimittajat sekä kootusti Rakennustietosäätiö mm. RATU -kortistossa. Puumateriaalin tilavuuteen laskettiin vain rakennuksiin kiinnitetyt puutuotteet. Hiilivarantoon ei lasketa jalostusketjun sivutuotteita (kuoret, purut, lastut) eikä rakennustuotteiden, rakenteiden ja rakennusten valmistuksen yhteydessä syntyvää hukkaa.

Oma puutuotteiden ryhmä rakennuksissa on kalusteet. Rakennuksien kalusteiden määrä on arvioitu asunkerrostalossa käytettyjen kiintokalusteiden osalta. Niiden pääasiallinen materiaali on lastulevy. Erään tutkimuksen mukaan (Ruuska, Häkkinen, Vares et al. 2013)¹⁸ kiintokalusteissa olevan lastulevyn määrä voi olla minimitapauksessa noin 7 kg/kerros-m² ja maksimitapauksessa noin 12 kg/kerros-m². Tässä, karkeassa arvioissa, on käytetty esimerkkirakennuksen kiintokalusteiden määrää (9,8 kg/kerros-m²) asuinrakennuksille ja sen lisäksi myös liike-, toimisto, hoitoala- ja opetusrakennuksille. Muitten rakennustyyppien osuus kannasta on pieni ja oletuksena on, että myös puupohjaisia kiintokalusteita käytetään niissä hyvin vähän.

¹⁸ Ruuska, A., Häkkinen, T., Vares, S., et al. 2013. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset. selvitys rakennusmateriaalien vaikutuksesta rakentamisen kasvihuonekaasupäästöihin, tiivistelmäraportti. Ympäristöministeriön raportteja 8/ 2013. Helsinki 2013, Ympäristöministeriö. rakennetun ympäristön osasto. ISBN 978-952-11-4154-6 (pdf), ISSN 1796-1637 (verkkoy.)

4.1.2 Muut puurakenteet

Rakennusrekisterin talonrakennuskannan lisäksi on olemassa vähäisiä rakennuksia, jotka eivät tarvitse lainkaan rakennuslupaa tai niille riittää toimenpidelupa. Käytäntö on kunta-kohtainen. Esimerkiksi Espoossa on sallittua rakentaa ilman rakennuslupaa:

- asemakaava-alueella pientalotontilla erillinen, korkeintaan 12 m² suuruinen piharakennelma,
- asemakaava-alueen ulkopuolella 20 m² suuruinen piharakennelma,
- enintään 5 m² suuruinen jätesuoja tai katos,
- tavanomainen leikkimökki tai pieni kasvihuone.

Puutuotteita käytetään myös talonrakennusten piharakentamisessa (aidat, erilliset terassit, pergolat). Vähäisten puurakennusten ja muiden puutuotteiden määrät rakennetussa ympäristössä on arvioitu teollisuuden (Tilastokeskus, Teollisuustuotanto) ja puutavarakaupan toimitustietojen pohjalta. Teollisuuden ja kaupan toimituksista osan on oletettu korvaavan vanhoja rakenteita.

Puuta käytetään myös infrarakenteissa (sillat, laiturit, pylväät, paalut, liikuntapaikkojen rakenteet). Infrarakenteiden puun osuus on laskettu teollisuuden tuotantotiedoista (Tilastokeskus, Teollisuustuotanto) ja inventoimalla lopputuotteita rekistereiden avulla (mm. Jyväskylän Yliopisto, Liikuntapaikkarekisteri).

4.1.3 Puisten rakennusosien hiilisisältö

Puumateriaalin tilavuus muutettiin ensin puumateriaalin painoksi, sitten CO₂-pitoisuudeksi ja edelleen hiilimääräksi. Esimerkiksi sahatavaralle kertoimet ovat:

- sahatavaran tiheys toimituskosteudessa 450 kg/m³,
- yhden sahatavarakilon hiilidioksidisisältö (CO₂) 1,55 kg (Taulukko 1),
- hiilen osuus hiilidioksidista $12/44 = 0,27$ laskettuna hiilidioksidin (CO₂) moolipainosta 44 g/mol ($12+2*16= 44$ g).

4.2 Tulokset

Seuraavilla sivuilla on esitetty rakennetun ympäristön hiilivaranto lähtien puutuotteiden määrästä, muutettuna kasvihuonekaasupitoisuudeksi (CO₂) ja edelleen hiilitonneiksi (C):

- Taulukko 22. Talonrakennuskannan puurakenteet, 1000 tonnia (toimituskosteudessa) vuoden 2016 joulukuussa.
- Taulukko 23. Talonrakennuskannan kasvihuonekaasusisältö (CO₂) vuoden 2016 joulukuussa.
- Taulukko 24. Talonrakennuskannan hiilivaranto (C) vuoden 2016 joulukuussa.
- Taulukko 25. Muun rakennetun ympäristön puurakenteet, sitomat kasvihuonekaasut ja hiilivaranto vuoden 2016 joulukuussa.

Talonrakentamisessa puutuotteita käytetään pienissä rakennuksissa (A01 Erilliset pientalot, B Kesämökkit) sekä niiden pihapiiriin rakennettavissa talousrakennuksissa (N Muut rakennukset). Yhteensä nämä kattavat 2/3 talonrakennuskannan puurakenteista (Taulukko 1).

Kun mukaan luetaan muut asuinrakennukset (A02; A03) ja pääasiassa asuinrakennusten yhteyteen rakennettavat vähäiset piharakennukset ja rakennelmat muun rakennutun

ympäristön puutuotteista (Taulukko 4), nousee "asuminen toimialan" osuus koko puurakennekannasta lähes 32 miljoonaan tonniin. Se on 70 % rakennettuun ympäristöön varastoituneesta puutavaramäärästä eli huomattavasti suurempi osuus kuin asuinrakennusten osuus kerrosalasta (53 %) tai asuinrakennusten osuus rakennetun ympäristön arvosta (42 %).

Taulukko 22. Talonrakennuskannan puurakenteet, 1000 tonnia (toimituskosteudessa) vuoden 2016 joulukuussa (Rakennuksien luokat (Rakennusluokitus 1994)¹⁹ ovat A01 - Asuinrakennukset, erilliset pientalot, A02 - Asuinrakennukset, erilliset pientalot, A03 - Asuinrakennukset, kerrostalot, B - Vapaa-ajan asuinrakennukset, C - Liikerakennukset, D - Liikenteen rakennukset, E - Liikenteen rakennukset, F - Hoitoalan rakennukset, G - Kokoontumisrakennukset, H - Opetusrakennukset, L - Palo- ja pelastustoimenrakennukset, J - Teollisuusrakennukset, K - Varastorakennukset, M - Maataloustrakennukset, N - Muut rakennukset). Erikseen arvioidu kiintokalusteiden lastulevyn määrä.

Rakennusluokat	A 01	A 02	A 03	B	C, D, E	F, G, H, L	J, K	M	N	Yhteensä
	1000 t	1000 t	1000 t	1000 t	1000 t	1000 t	1000 t	1000 t	1000 t	1000 t
Hirsirakenteiset ulko- ja väliseinät	459	0	0	2 719	27	103	0	1 055	271	4 635
Rakennuksien runko (ulko- ja väliseinät, ala-, väli- ja yläpohjat)	5 717	761	185	732	433	170	1 485	881	836	11 200
Ulkovaipan laudoitukset (julkisivut ja katealusta)	1 939	221	73	224	168	105	545	578	370	4 224
Sisätilojen paneeloinnit (seinä-, katto-, ja lattia pinnat)	1 488	67	60	495	82	18	114	76	257	2 658
Rakennuslevyt	2 898	239	563	114	183	71	81	63	6	4 217
Ikkunat ja ovet	1 444	287	692	155	114	49	727	116	106	3 689
yhteensä	13 946	1 575	1 573	4 440	1 008	516	2 952	2 768	1 846	30 624
Rakennuksien kiintokalusteet (karkea arvio) (lastulevy)										4 026

¹⁹ <http://tilastokeskus.fi/meta/luokitukset/rakennus/001-1994/index.html>