



# **Pukinmäen energiatehokkaat puukerrostalot**

**Eskolantie 4**

**Elinkaarikustannusten laskenta**

**Hiilijalanjäljen laskenta**

14.6.2013

Sakari Pulakka, Tarja Häkkinen, Jaakko Ketomäki

## Kohdekuvaus

Pukinmäen keskustaan, Eskolantie 4:een varteen toteutetaan 4 kappaletta 5 - 7 -kerroksisia puukerrostaloja (2 ARA -vuokrakohdetta ja 2 asumisoikeus-/hitas-kohdetta) . Rakennusoikeutta on yhteensä 7 700 kerrosalaneliömetriä. Kerrostalot ovat hahmoltaan noppamaisia ja sijoitetaan kulmittain katuun nähden, jolloin asuntoja saadaan avattua parempiin ilmansuuntiin.

ATT:n laskemat puitteet koko hankkeelle:

- Kokonaistavoitehintaa 23,4 milj. euroa + alv
- Kokonaislaajuus 6 625 as-m<sup>2</sup>, 7 700 k-m<sup>2</sup>, 9 908 brm<sup>2</sup>



## Kuvaukset tarjotuista energiatehokkuuteen vaikuttavista ratkaisuista

### Reponen Oy:n antama tarjous (Puu ERA)

- alapohja (U-arvo 0,10) ontelolaattarakenteinen
- ulkoseinät (U-arvo 0,12) puurakenteisia verhottuna sisäpuolelta kipsilevyllä; paitsi 1. kerroksen osalta betonisia sw -elementtejä
- yläpohja (U-arvo 0,08) puurakenteinen mineraalivillalla
- Ikkunat (U-arvo 0,59) nelinkertaisia sisään aukeavia puualumiini-ikkunoita (MSE)
- ilmanvuotoluku = 1,05
- LTO:n vuosihyötysuhde 68 %
- huoneistokohtainen ilmanvaihto?
- SFP –luku = 1,0

Aurinkolämmön laskennallinen hyödyntämisosuus 84 MWh.

### Skanskan antama tarjous (Skanska-MetsäWood)

- alapohja (U-arvo 0,11)
- ulkoseinät (U-arvo 0,17) puurunkoisia, tuulettuvia ja kiviainespohjaisella julkisivulevyllä varustettuja
- yläpohja (U-arvo 0,09/0,17) puurakenteinen
- puurakenteiset yläpohjaelementit (U-arvo 0,17)
- ikkunat kolminkertaisia MSE -ikkunoita (U-arvo 0,80)
- ilmanvuotoluku = 1,50
- LTO:n vuosihyötysuhde 76 %
- keskitetty ilmanvaihto
- SFP –luku = 1,7

### SRV:n antama tarjous (Nelikko)

- alapohja (U-arvo 0,15) puurakenteinen
- ulkoseinät puurunkoisia (U-arvo 0,10) ja ulkoverhousmateriaalina sementtikuitulevy/puuverhous
- yläpohja puurakenteisena (U-arvo 0,07/0,09) lämmöneristeenä puhallusvilla
- ikkunat kolminkertaisia (U-arvo 0,80) MSE –ikkunoita
- ilmanvuotoluku = 1,00
- LTO:n vuosihyötysuhde 68 %
- keskitetty ilmanvaihto
- SFP –luku = 1,7

## Elinkaarikustannusten laskenta

Kuhunkin tarjoukseen perustuvat elinkaarikustannukset on laskettu suuruusluokkaisina vuosikustannuksina 50 vuoden laskentajaksolla kustannustasossa 4/2013 kattaen seuraavat kustannuserät:

- Pääomakustannus jakamalla tarjoushinta 50:lla
- Kiinteistöhallintokustannus laskettuna Helsingin kaupungin omistaman asuinkannan keskimääräisen kustannustiedon perusteella sisältäen ATT:n hallinnointikulut, vakuutusmaksut, kiinteistöverot, rahoituskustannukset ymv.
- Huoltokustannus laskettuna energiatehokkaista asuinkerrostaloista kerätyn keskimääräisen kustannustiedon (Helsingin kaupungin asunnot oy) perusteella ottaen huomioon tarjouksissa esitetyt tiedot ja vuotuisten huoltokustannusten kasvu rakennuksen iän karttuessa
- Kunnossapito- ja uusimiskustannus energiatehokkaista asuinkerrostaloista kerätyn (Helsingin kaupungin asunnot oy) keskimääräisen kustannustiedon perusteella ottaen huomioon tarjouksissa esitetyt tiedot ja vuotuisten kustannusten kasvu rakennuksen iän karttuessa
- Lämpöenergiakustannus aiheutuen tilojen ja käyttöveden lämmityksestä (Lamit) käyttäen Helsingin Energian tariffeja (perusmaksut perustuen tilausvesivirtaan ja painotettu kulutusmaksu 4,5 c/kWh). Lisäksi on otettu huomioon energian reaali-hinnan 2 %:n vuotuinen kasvu.
- Sähköenergiakustannus aiheutuen kiinteistö- ja käyttäjä-sähkön kulutuksesta (Lamit) käyttäen Helsingin Energian tariffeja (perusmaksu 7,44 c/kk ja kulutusmaksu 12,58 c/kWh). Lisäksi on otettu huomioon energian reaali-hinnan 2 %:n vuotuinen kasvu.
- Vesikustannus laskettuna Helsingin kaupungin omistaman asuinkannan keskimääräisen asuinkiinteistökannan perusteella
- Puhtaanapitokustannus aiheutuen siivouksesta ja pihan puhtaanapidosta ja laskettuna Helsingin kaupungin omistaman asuinkannan keskimääräisen asuinkiinteistökannan perusteella

Lisäksi on arvioitu vastike huoneistoneliometriä ja kuukautta kohti laskentajaksolla keskimäärin.

Laskennallisia kustannuseroja tarjousten välillä syntyi pääomakustannusten sekä energiakustannusten kesken. Lisäksi otettiin kunnossapito- ja uusimiskustannusten osalta huomioon seuraavat kustannuserot

- puujulkisivu + 25 euroa/huon-m<sup>2</sup>/ 50 v verrattuna rapattuun julkisivuun
- huoneistokohtainen ilmanvaihto + 90 euroa/huon-m<sup>2</sup>/50 v
- pelkkä ilmanvaihdon huoneistokohtainen säätö + 20 euroa/huon-m<sup>2</sup>/50 v

## Laskentatulokset

Taulukkoon 1 on koottu tarjousten mukaiset laajuus- ja kulutustiedot siten, että energiankulutukset E-lukulaskennan netto-ostoenergiaa.

*Taulukko 1. Energialaskelmissa esitetyt laajuus- ja kulutustiedot.*

	Reponen Puu ERA	Skanska- MetsäWood	SRV Nelikko
LAAJUUS			
Bruttoala brm2	9 600	9 410	8 830
Lämmitetty nettoala netto-m2	8 880	8 720	8 040
Huoneistoala huon-m2	6 385	6 534	5 694
KULUTUKSET			
Ostolämpöenergia MWh/v	362	480	455
Ostosähköenergia MWh/v	395	314	298
Uusiutuva omavaraisenergia (aurinkolämpö)	84		
Ostolämpöenergia kWh/netto-m2/v	41	55	57
Ostosähköenergia kWh/netto-m2/v	44	36	37
E-luku kWh/netto-m2/v	91	100	101

Kunkin tarjouksen perusteella lasketut elinkaarikustannukset on esitetty taulukossa 2.

E-luvun laskennassa sovelletut energiamuodon kertoimet ovat primäärienergiaan pohjautuvia kertoimia, jotka kuvaavat kunkin energiamuodon valtakunnan keskimääräistä primäärienergiana käytettävien luonnonvarojen kulutusta.

Taulukko 2. Elinkaarikustannukset 50 vuoden laskentajaksolla ja energiahintojen 2 %:n vuotuisella reaalihintanousulla. Kaikki kustannukset sisältävät arvonlisäveron.

## Vuotuiset elinkaarikustannukset

Laskentajakso 50 v, Kustannustaso 4/2013, energianhinta + 2 %/v

### ATT Eskolantie 4

#### ELINKAARIKUSTANNUS

	Reponen Puu ERA €/huon- m2/v	Skanska MetsäWood €/huon- m2/v	SRV Nelikko €/huon- m2/v
Pääomakustannus	66,8	66,9	64,2
Kiinteistöhallintokustannus	12,0	12,0	12,0
Huoltokustannus	13,0	13,0	13,0
Kunnossapito- ja uusimiskustannus	31,1	30,2	30,3
Lämpöenergiakustannus	6,0	8,0	8,1
Sähköenergiakustannus	15,8	13,4	13,6
Vesikustannus	4,0	4,0	4,0
Puhtaanapitokustannus	6,0	6,0	6,0
<b>Yhteensä</b>	<b>154,7</b>	<b>153,5</b>	<b>151,2</b>
Vastike jaksolla keskimäärin €/huon-m2/kk	12,89	12,79	12,60

## Johtopäätökset

SRV:n Nelikko –ehdotus on elinkaarikustannusten osalta niukasti edullisin.

## Hiilijalanjäljen laskenta

Kuhunkin tarjoukseen perustuva hiilijalanjäljen laskenta on tehty ottaen huomioon seuraavat asiat:

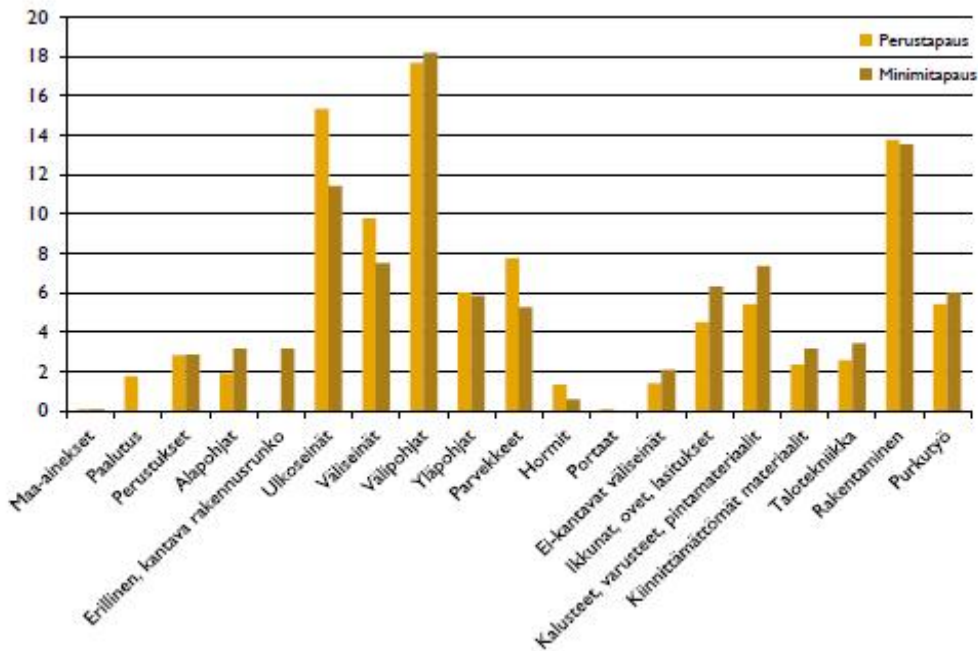
- rakennuksen lämmön käyttö (ostolämpöenergia)
- rakennuksen arvioitu sähkön käyttö (ostosähköenergia)
- päärakenteet
- rakennustyömaa.

Rakennusten päärakenteiden ja energiankäytön lähtötiedot ovat suunnitelmien mukaisia.

Rakennuksen työmaan vaikutusarvioinnissa oletettiin kaikille sama lähtöarvo.

### Päärakenteiden arvio

Rakennuksen päärakenteisiin luettiin kuuluvaksi pohjat, seinät, pilari, palkit, paalut, ikkunat ja ovet. Laskennassa ei ole otettu huomioon portaita, hormeja, pintamateriaaleja, talotekniikkaa, kalusteita tai varusteita. Laskelmassa ei myöskään otettu huomioon mahdollisia aurinkokeräimiä tai – paneeleja. Pois jätettyjen osien merkitystä voi arvioida kuvassa 1 ja taulukossa 4 esitettyjen vertailutulosten pohjalta.



Kuva 1 Eri osien prosentuaaliset osuudet kokonaisuudesta 6-kerroksisen asuinkerrostalon tapaustutkimuksessa (YM Raportteja 8/2013)<sup>1</sup>. Huomioon ei ole otettu aurinkoenergiaan tai jäähdytykseen liittyviä materiaaleja eikä piharakentamista. Minimitapaus edustaa samantyyppistä rakennusta kuin Eskolantien kohde.

Päärakenteiden hiilijalanjälkiarviot tehtiin päärakenteiden määrälaskelmien pohjalta käyttäen hiilijalanjälkitietona ILMARI-työkalun tietokantaa ja muita VTT:n antamia täydentäviä tietoja.

Ehdotuksen A arvion laati kilpailija manuaalisesti VTT:n toimittamien taustatietojen avulla. Laskelma tehtiin manuaalisesti, koska ILMARI-työkalussa ei ole tällä hetkellä CLT-rakenteita.

Ehdotuksen B laati kilpailija B itse ILMARI-työkalun avulla.

Ehdotuksen C suhteen VTT sai määrälaskennan tuloksen rakenteiden määrinä sekä kuvauksen päärakenteiden koostumuksesta. Varsinainen laskelman laativat VTT:n tutkijat ILMARI-työkalulla.

Päärakenteiden laskentatulokset esitetään taulukossa 3.

<sup>1</sup> Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset. Selvitys rakennusmateriaalien vaikutuksesta rakentamisen kasvihuonekaasupäästöihin, tiivistelmäraportti. Antti Ruuska, Tarja Häkkinen, Sirje Vares, Marja-Riitta Korhonen ja Tuuli Myllymaa. Ympäristöministeriön raportteja 8/2013



Taulukko 3 Kilpailuehdotusten päärakenteiden yhteenlasketut tulokset

	A (SRV Nelikko)	B (Skanska MetsäWood)	C (Reponen)
Bruttoala	8830	9410	9600
Päärakenteiden yhteenlaskettu hiilijalanjälki	1713	1786	2014

Laskelmien tulosta verrataan seuraavassa VTT:n aikaisemmin tekemään parametriseen tapaus-tutkimukseen<sup>2</sup>. Taulukossa 4 esitetään laskentatulokset rakennuksesta, jonka bruttoala on 3056 m<sup>2</sup>. Tulos on laskettu vaihtoehtoisille toteutustavoille. Taulukon 4 minimi on lähellä Eskolantien rakennusten toteutustapaa. Kohteen laajuus on noin kolmannes Eskolantien rakennusten laajuudesta (bruttoalat 8830, 9410 ja 9600 m<sup>2</sup>). Eskolantien arvioissa huomioon otettujen rakenteiden osuus on taulukon mukaan noin 60 % rakenteiden aiheuttamasta kokonaisvaikutuksesta (jos huomioon otettaisiin myös korjaukset, talotekniset järjestelmät, kalusteet, varusteet, pintamateriaalit, hormit ja portaat).

---

<sup>2</sup> Antti Ruuska ym. Ympäristöministeriön raportteja 8 2013. <http://www.ym.fi/download/noname/%7B1FAF46B2-2649-41ED-B3AA-5EA789C9512F%7D/37571>

Taulukko 4 Vertailutietoja 6-kerroksisen asuinkerrostalon tapaustutkimuksessa (sama kuin kuvassa 1)

	Massa Perustapaus (tn)	Vaihteluväli, min... max, (tn)	CO <sub>2</sub> -ekv Perustapaus (tn)	Vaihteluväli min... max (tn)
Maa-ainekset	252	0... 1508	1	0... 7
Paalutus	146	0... 518	21	0... 75
Perustukset	292	164... 460	34	19... 54
Alapohjat	286	232... 407	23	21... 45
Erillinen, kantava rakennusrunko	0	60... 0	0	21... 0
Ulkoseinät	664	302... 1028	185	83... 267
Väliseinät	624	213... 624	126	59... 126
Valipohjat	1143	529... 1611	212	121... 256
Yläpohjat	204	51... 358	58	24... 82
Parvekkeet	461	130... 461	93	35... 93
Hormit	78	9... 78	16	4... 16
Portaat	6	1... 6	1	0... 1
Ei-kantavat väliseinät	48	39... 77	17	14... 30
Ikkunat, ovet, lasitukset	30	23... 38	54	42... 69
Kalusteet, varusteet, pintamateriaalit	99	75... 125	65	49... 82
Rakenteisiin kiinnittämättömät materiaalmäärät	35	26... 44	18	13... 22
Talotekniset järjestelmät	22	14... 29	31	23... 38
Korjaukset, 50 vuoden elinkaari	322	238... 408	281	211... 354
Korjaukset, 100 vuoden elinkaari	886	604... 1291	713	489... 918
Yhteensä, 50 vuoden elinkaari	4712	2106... 7780	1235	741... 1617
Yhteensä, 100 vuoden elinkaari	5276	2472... 8663	1667	1020... 2181

Vertailutietoina laskentatuloksia tapaustutkimuksesta viitteen Ruuska, Antti ym. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset. YM raportteja 8/2012

Eskolantien arvioissa huomioon otettujen rakenteiden osuus on taulukon mukaan noin 60% rakenteiden aiheuttamasta kokonaisvaikutuksesta (jos huomioon otettaisiin myös korjaukset, talotekniset järjestelmät, kalusteet, varusteet, pintamateriaalit, hormit ja portaat).

Rakennustyyppi	Asuinkerrostalo
Kerrosten lukumäärä	6 asuinkerrosta +kellari
Kerrosala	2454,5 m <sup>2</sup>
Bruttoalä	3056 brm <sup>2</sup>
Asuntojen lukumäärä	28 kpl
Huoneistoala	2082 hum <sup>2</sup>

### Rakennuksen lämmön ja sähkön käytön hiilijalanjälkiarvio

Rakennuksen sähkön ja lämmön kulutuksen aiheuttama hiilijalanjälki arvioitiin käyttämällä TEM:in tekemää arviota sähkön- ja lämmöntuotannon kasvihuonekaasupäästöistä vuosina 2010, 2020 ja 2030<sup>3</sup>. Elinkaaren (50 vuotta) loppujakso laskettiin vuoden 2030 päästöprofiililla.

<sup>3</sup> Lähde: Ruuska, Antti ja Häkkinen, Tarja: Rakennusmateriaalien merkitys rakentamisen ympäristövaikutusten kentässä. Taustaraportti.

[http://www.vtt.fi/vtt\\_show\\_record.jsp?target=julk&form=sdefe&search=69836](http://www.vtt.fi/vtt_show_record.jsp?target=julk&form=sdefe&search=69836)

Arvio tehtiin lisäksi muuttumattomilla profiileilla olettaen, että tuotannossa ja CO<sub>2</sub>-päästöissä ei tapahtuisi muutoksia seuraava 50 vuoden aikana.

Arviossa käytetyt sähkön ja lämmön kasvihuonekaasupäästöt esitetään seuraavassa taulukossa.

*Taulukko 5 Sähkön ja lämmön kasvihuonekaasupäästöt vuosille 2010, 2020 ja 2030, energiamenetelmään perustuen (TEM / Ympäristöministeriön raportteja 8 2013)*

Kasvihuonekaasupäästöt g CO <sub>2</sub> /kWh	2010	2020	2030
Sähkö	230	179	36
Kaukolämpö	243	216	191

Vertailun vuoksi alla olevassa taulukossa 6 esitetään VTT:n LCA-menetelmällä lasketut kasvihuonekaasupäästöjen arvot sähkölle ja kaukolämmölle. Tulokset on laskettu viiden vuoden keskiarvona (2004 – 2008) ottaen huomioon nettotuonti<sup>4</sup>. Koska arvio on tehty elinkaarimenetelmällä, niin tuloksessa on mukana myös polttoaineiden hankinnan päästöt.

*Taulukko 6 LCA-menetelmällä lasketut hiilijalanjäljet suomalaiselle sähkölle ja kaukolämmölle viiden vuoden keskiarvona energiamenetelmällä ja hyödynjakomenetelmällä.*

**Table 9.** LCA based environmental profiles for average Finnish electricity (considering net imports).

	Benefit		Energy	
	Electricity	District heat	Electricity	District heat
CO <sub>2</sub> fossil, kg/MWh	309	236	222	273
CO <sub>2</sub> biogenic, kg/MWh	121	134	67.5	160
CH <sub>4</sub> , kg/MWh	0.821	0,364	0.709	0,424
N <sub>2</sub> O, kg/MWh	0.000654	0.000397	0.000523	0.000448
GHG, kg/MWh	330	245	240	283
Materials, mainly fossil, kg/MWh	113	69.3	90.8	79,7
Materials, wood, kg/MWh	25.5	52.7	25.8	63.4

<sup>4</sup> Methods and concepts for sustainable renovation [Kestävän korjausrakentamisen menetelmät]. Tarja Häkkinen, Antti Ruuska, Sirje Vares, Sakari Pulakka, Ilpo Kouhia, Riikka Holopainen. Espoo 2012. VTT Technology 26. 266 p. + app. 51 p.

## Rakennuksen työmaan energiankulutuksen hiilijalanjälkiarvio

Rakennustyömaan energiankulutuksen oletettiin viitteen Ruuska ja Häkkinen (2013)<sup>1</sup> olevan suuruusluokaltaan noin 100 kWh/brm<sup>2</sup>, vaihteluvälin ollessa energiatehokkaasta energiatehottomaan työmaahan 50...150 kWh/brm<sup>2</sup>.

Tämän tutkimuksen osalta rakennustyömaan energiankulutukselle oletetaan seuraava jakauma:

- maanrakennustöiden dieselin kulutus 15...50kWh/brm<sup>2</sup>
- muiden dieselkoneiden dieselin kulutus 15...35kWh/brm<sup>2</sup>
- sähköenergian kulutus 20...65kWh/brm<sup>2</sup>.

Energiankulutustietojen perusteella voidaan määrittää työmaatoimintojen hiilidioksidipäästöt. Maanrakennustöiden ja muiden diesel-koneiden CO<sub>2</sub>-ekv päästöiksi arvioidaan 0,8kg/kWh<sup>5</sup>, sähköenergian 0,23kg/kWh. Näillä laskentaoletuksilla rakennustyömaan energiankulutuksen päästöille saadaan arvioksi 30...80kg CO<sub>2</sub>-ekv/brm<sup>2</sup>.

## **Hiilijalanjäljen laskentatulokset**

Laskentatulokset esitetään taulukossa 7.

---

<sup>5</sup> VTT LIPASTO-tietokanta, Työkoneiden keskimääräinen päästö ja energiankulutus tehonkäyttöä kohden Suomessa vuonna 2011, kaivukoneet, tela-alustaiset.

Taulukko 7 Hiilijalanjäljen laskentatulokset

	A	B	C
	SRV Nelikko	Skanska- MetsäWood	Reponen Puu ERA
LAAJUUS			
Bruttoala brm2	8 830	9 410	9 600
Lämmitetty nettoala netto-m2	8 040	8 720	8 880
Huoneistoala m2	5 694	6 534	6 385
Lämpöenergia MWh/v	455	480	362
Sähköenergia MWh/v	298	314	395
Lämpöenergia kWh/netto-m2/v	57	55	41
Sähköenergia kWh/netto-m2/v	37	36	44
Hiilijalanjälki tn CO2 ekv 50 v (muuttuva profiili)	6236	6577	5778
Hiilijalanjälki tn CO2 ekv ensimmäinen vuosi	179	189	179
Hiilijalanjälki tn CO2 ekv 50 v (nykyprofiili muuttumaton)	8955	9443	8941
Hiilijalanjälki rakennuksesta tn CO2 ekv	1713	1786	2104
Työmaa, tn CO2 ekv	530	565	576
Yhteensä (keltainen, sininen, vihreä) tn CO2 ekv 50 v	8479	8928	8458
Yhteensä (oranssi, sininen, vihreä) tn CO2 ekv 50 v	11198	11794	11621
Yhteensä (keltainen, sininen, vihreä) tn CO2 ekv per huon-m2 ja 50 v	1,49	1,39	1,32
Yhteensä (oranssi, sininen, vihreä) tn CO2 ekv per huon-m2 ja 50 v	1,97	1,80	1,82

Tämä rivi laskettu olettaen, että sähkön ja lämmön tuotanto muuttuu 50 v. aikana asteittain vähäpäästöisemmäksi.

Tämä rivi laskettu olettaen, että sähkön ja lämmön tuotanto pysyy muuttumattomana seuraavat 50 v.

Jos tulos lasketaan taulukon 6 hyödynjakomenetelmään perustuvalla laskentatuloksella, niin ehdotuksille A, B ja C saadaan seuraavat kokonaistulokset laskettuna huoneistoalaa kohden:

- ehdotus A: 2,24 tn CO2 ekv per huon-m2
- ehdotus B: 2,05 tn CO2 ekv per huon-m2
- ehdotus C: 2,14 tn CO2 ekv per huon-m2.

## Yhteenveto tuloksista

Huoneistoalaa kohden laskettujen tulosten mukaan vaihtoehto C on paras muuttuvalla energiantuotantoprofiililla laskettuna ja vaihtoehto B on niukasti paras muuttumattomalla energiantuotantoprofiililla laskettuna.

Jos laskennassa käytetään hyödynjakomenetelmään pohjautuvaa muuttumatonta energiantuotantoprofiilia, niin vaihtoehto B on paras.

Erot ovat niin pieniä, että ehdotuksena on jakaa paras sija ehdotusten B ja C välillä.