

## KEKO-laskennan kuvaus, 2016-04.

### Energia, kasviuonekaasupäästöt ja luonnonvarojen käyttö:

- Rakennuskanta
- Uudisrakennukset ja energiakorjaukset
- Energiantuotanto
- Liikenneverkko.

Kysymykset ja kommentit: keko@ymparisto.fi

### Sisältö

1	KEKO-työkalun kasviuonekaasupäästölaskenta .....	1
1.1	Mallinnuksen rajaukset tuotannon ja kulutuksen suhteen.....	2
1.2	Laskentaperiaatteet.....	2
1.2.1	Rakennukset.....	3
1.2.2	Liikenneverkko ja viheralueet.....	7
1.2.3	Muut tekniset verkot, pysäköinti ja louhitut tilat.....	11
1.2.4	Rakennusten käytönaikainen energiankulutus .....	12
1.2.5	Energiantuotanto.....	13
2	Luonnonvarojen käyttö.....	15
2.1	Rakennukset.....	15
2.2	Tiet ja kadut.....	16
3	Lähteet.....	19

## 1 KEKO-työkalun kasviuonekaasupäästölaskenta

KEKO-työkalu laskee rakennetun ympäristön kehittämisestä, ylläpitämisestä ja käytöstä aiheutuvan kasviuonekaasupäästökertymän tietyllä alueella tietyinä ajanjaksona tietyin rajauksin. Tarkasteltavaksi soveltuvat sellaiset asema- ja yleiskaava-alueet, joiden keskeisimpiä päästömallinnuskohteita ovat asuin-, toimisto- ja palvelurakennusten rakentaminen ja käyttö, henkilöliikenne sekä asumiseen ja liikkumiseen liittyvän infrastruktuurin rakentaminen ja ylläpito. Kasviuonekaasupäästölaskenta koostuu neljästä mallinnuksesta, jotka ovat:

1. Rakennusten uudis- ja korjausrakentaminen ja ylläpito
2. Infrastruktuurin rakentaminen ja ylläpito
3. Rakennetun ympäristön käytönaikainen energiankulutus
4. Henkilöliikenne

Kasvihuonekaasupäästölaskenta tuottaa 50 vuoden ajanjaksolle kumulatiivisen absoluuttisen päästökertymän, jonka KEKO-työkalu suhteuttaa tarkasteltavan alueen asukaslukuun. Koska tarkasteltavan alueen asukasluku voi muuttua merkittävästi 50 vuoden tarkasteluajanjaksolla, päästöt suhteutetaan aikavälin keskimääräiseen asukaslukuun. Kasvihuonekaasupäästölaskennan suurena on hiilidioksidiekvivalentti (CO<sub>2</sub>e).

### 1.1 Mallinnuksen rajaukset tuotannon ja kulutuksen suhteen

Kasvihuonekaasupäästömallinnuksessa huomioidaan tuotannon näkökulmasta tarkasteltavalla alueella tapahtuva rakennetun ympäristön kehittäminen ja ylläpito, rakennetun ympäristön käytönaikaista energiankulutusta vastaava energiantuotanto sekä tarkasteltavan alueen asukkaiden arkiliikkumiseensa käyttämien liikennepolttoaineiden tuotanto. Mallinnuksen ulkopuolelle jää siis tarkasteltavalla alueella tapahtuva (teollinen) tuotteiden ja palveluiden tuotanto sekä se osa paikallisesta energiantuotannosta, jota ei kuluteta tarkasteltavan alueen rakennusten ja infrastruktuurin käyttöön ja ylläpitoon.

Kulutuksen näkökulmasta päästömallinnus huomioi asumisen ja arkiliikkumisen rajattuna siten, että asumisen osalta irtaimiston hankinta ja arkiliikkumisen osalta kulkuneuvon hankinta ja huolto on jätetty tarkastelun ulkopuolelle. Alueen asukkaan hiilijalanjäljen näkökulmasta KEKO-työkalu ei mallinna muun kulutuksen kuin asumisen (ilman irtaimistoa) ja liikennepolttoaineiden päästöjä. KEKO-työkalun mallintamien päästöjen osuus suomalaisen kulutusperusteisesti lasketusta kokonaishiilijalanjäljestä on noin 50-75% (Säynäjoki et al. 2014).

Mallinnuksen rajaukset tuotannon ja kulutuksen suhteen perustuvat siihen, että KEKO-työkalua halutaan käyttää ensisijaisesti sellaisten ympäristövaikutusten arviointiin, joihin maankäytön suunnittelulla nähdään voitavan suoraan vaikuttaa. Maankäytön suunnittelulla voi kuitenkin olla epäsuoria vaikutuksia myös muuhun kulutukseen kuin asumiseen ja arkiliikkumiseen.

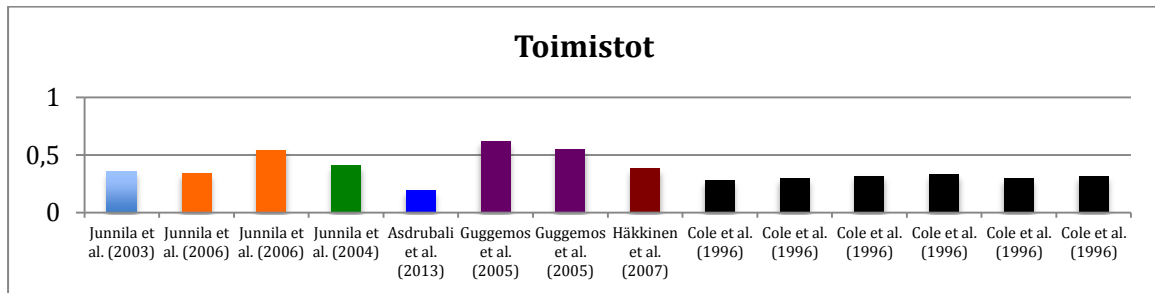
(KEKO-työkalu ei näytä johdannaisvaikutuksia esimerkiksi sellaisesta tilanteesta, että kuluttaja luopuu hyvien joukkoliikenneyhteyksien vuoksi yksityisautoilusta tai muuttaa lämmityskuluiltaan edullisempaan asuntoon ja investoi sen sijaan ulkomaan-matkailuun tai muuhun hiili-intensiiviseen kulutukseen, jolloin arkiliikkumisen tai asumisen päästöt vähenevät, mutta kokonaishiilijalanjälki kasvaa.)

### 1.2 Laskentaperiaatteet

Koska KEKO-työkalun kehitystyö perustuu olemassa olevan tiedon ja aiemmin julkaistujen tutkimusten hyödyntämiseen uuden tiedon tuottamisen ja uusien mallinnusmenetelmien kehittämisen sijaan, laskentaperiaatteet eivät noudata kaikilla kasvihuonekaasupäästömallinnuksen osa-alueilla täsmälleen samaa logiikkaa tai ilmennä täsmälleen samoja rajauksia. Siksi työkalun käyttämät laskentaperiaatteet eritellään seuraavassa mallinnuskohteittain. Työkalua kehitettäessä on kuitenkin pyritty noudattamaan mahdollisimman hyvin, saatavilla olevan aineiston rajoissa, elinkaariajattelun perusperiaatteita ja sovittamaan eri laskentaosiot yhteen loogiseksi kokonaisuudeksi. Rakennusten ja infrastruktuurin purkamisesta aiheutuvat päästöt on rajattu mallinnusten ulkopuolelle.



Kuva 1c



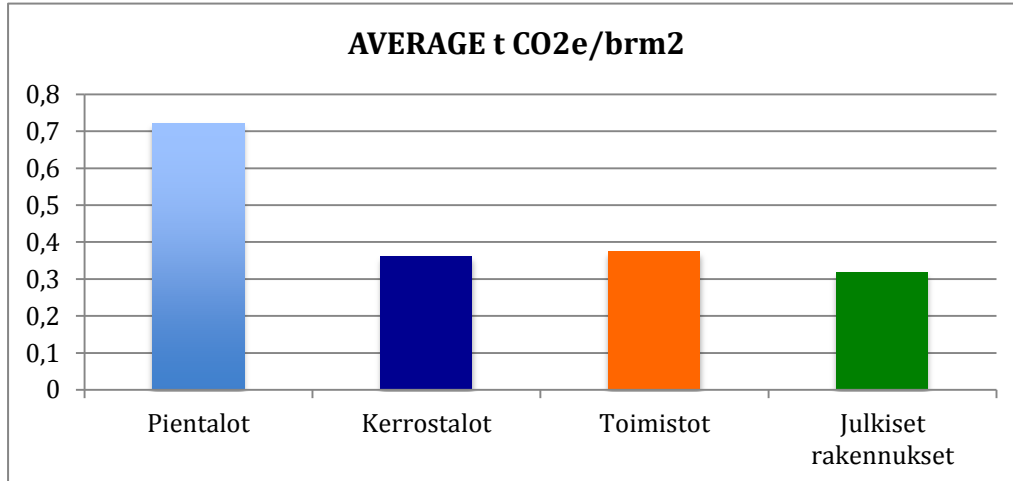
Kuva 1d



Kirjallisuuskatsauksen perusteella valittiin eri rakennustyypeille tCO<sub>2</sub>e/kem<sup>2</sup> arvot, jotka kuvaavat mahdollisimman hyvin keskivertorakentamista Suomessa. Kirjallisuuskatsauksen tapaukset voitiin jakaa mallinnusmenetelmän mukaan karkeasti kolmeen luokkaan, jotka olivat prosessi-LCA, panos-tuotos-LCA ja hybridi-LCA. Koska KEKO-laskennan kasvihuonekaasupäästömallinnuksen muilla osa-alueilla sovelletaan pääosin prosessi-LCA-laskennan tyyppisiä peruseriaatteita ja koska laskennan eri osa-alueiden on tarkoituksenmukaista tuottaa vertailukelpoisia tuloksia, valinnassa korostettiin prosessi- ja hybridi-LCA-menetelmillä tehtyjä tapaustutkimuksia panos-tuotos-LCA:n sijaan. Valintaan ei liittynyt arvoista siitä, että prosessi-LCA olisi panos-tuotos-LCA:ta luotettavampi mallinnusmenetelmä; molemmilla on tunnetut vahvuutensa ja heikkoutensa.

Kirjallisuuskatsauksen todelliset eri talotyypeille lasketut keskiarvot esitetään seuraavassa diagrammissa (kuva 2) ja KEKO-laskentaa varten valitut uudisrakentamisen tCO<sub>2</sub>e/kem<sup>2</sup> -päästöt seuraavassa taulukossa (taulukko 1).

Kuva 2



Taulukko 1

RAKENNUSTYYPPI	UUDISRAKENTAMISEN CO <sub>2</sub> e-PÄÄSTÖT (t/brm <sup>2</sup> )				
	Puutalo 1	Puutalo 2	Kivitalo 1	Kivitalo 2	Lasi-terästalo
Omakotitalot	0,49	0,70	0,7	0,81	0,81
Rivitalot	0,49	0,70	0,7	0,81	0,81
Kerrostalot	0,28	0,40	0,4	0,46	0,40
Liikerakennukset	0,21	0,30	0,3	0,35	0,35
Toimistorakennukset					0,4
Palvelurakennukset					0,3
muut rakennukset	0,28	0,40	0,4	0,46	
<b>Kerroin</b>	0,70	1,00	1,00	1,15	1,00

Taulukossa 1 on kirjallisuuskatsauksen perusteella valitut rakentamisen päästöt eri rakennus- ja runkorakennetyypeille. Rakennusten CO<sub>2</sub>e/kem<sup>2</sup>-luvut vastaavat yhden rakennustyyppin perustapausta ja runkorakenne- ja julkisivutyypin muuttamisen aiheuttamat vaikutukset lasketaan erillisten kertoimien perusteella. Taulukon 1 vihreät solut ovat niin sanottuja alkulukuja, jotka perustuvat suoraan kirjallisuuskatsauksen soveltuviin keskiarvoihin. Siniset luvut ovat kertoimia, joilla alkuluvuista saadaan laskettua muiden runkorakennetyypin aiheuttamat päästöt alkulukujen perusteella. Kertoimet perustuvat Aalto-yliopiston kiinteistöliiketoiminnan tutkimusryhmän arvioihin.

Joissain tapauksissa rakentamisen kasvihuonekaasupäästöjen kertoimia yhdenmukaistettiin KEKO-laskennan muiden osa-alueiden kanssa, jotta eri osa-alueet olisivat laskentaperiaatteiltaan mahdollisimman lähellä toisiaan.

Perustamisolosuhteiden vaikutusta rakentamisen päästöihin vastaa laskennassa kerroin 1,03 vaativille perustamisolosuhteille verrattuna normaaleihin perustamisolosuhteisiin. Kerroin perustuu Aalto-yliopiston insinööritieteiden korkeakoulun rakentamistalouden yksiköstä saatuun asiantuntija-arvioon.

Energiatehokkuusluokan vaikutus rakentamisen kasvihuonekaasupäästöihin on laskettu panos-tuotos-LCA-menetelmällä käyttämällä lähtötietoina RIL 249-2009 Matalaenergiarakentaminen -teoksen kustannustietoja. Energiatehokkuudet kolmessa eri energiatehokkuustyyppissä on esitetty seuraavassa taulukossa (taulukko 2).

**Taulukko 2**

<b>ENERGIATEHOKKUUS</b>	Normitaso	Matalaenergiataso	Passiivitaso
<b>Kerroin</b>	1	1,015	1,05

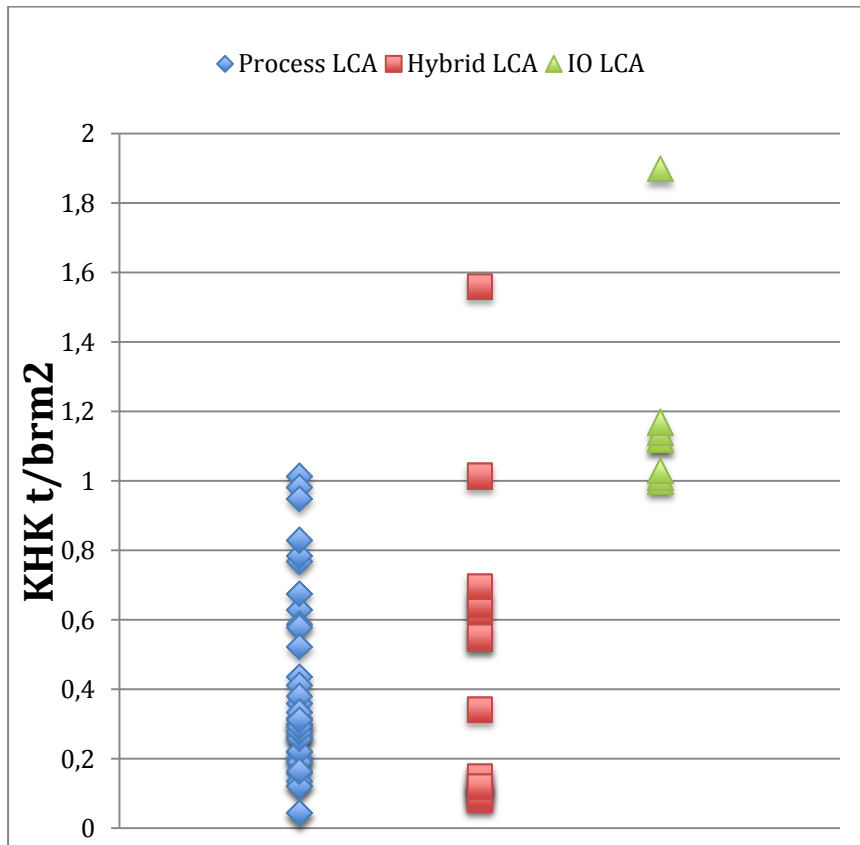
Energiakorjauksen tai käyttötarkoituksen muutoksen päästöt ovat asiantuntija-arvioiden mukaan noin puolet uudisrakentamisen päästöistä. KEKO-laskennassa käytetään kerrointa 0,5.

Rakennusten kunnossapidon kasvihuonekaasupäästöt mallinnettiin LCA-menetelmällä hyödyntämällä kirjallisuutta lähtötietona. (Kiiras et al. 1993). Lähtötietojen ajankohtaisuuden säilyttämiseksi laskennassa on käytetty rakennuskustannusindeksejä. Laskennassa eri rakennustypeilla on noin 20 erilaista kunnossapitotoimenpidettä, joista jokaisella on yksilöllinen elinkaaren pituus.

Rakennusten rakentamisen kasvihuonekaasupäästölaskennan kehittämisen yhteydessä tutkittiin paitsi talotyyppien ja energiatehokkuusluokkien myös valitun tutkimusmenetelmän vaikutuksia kirjallisuudessa raportoituihin tuloksiin. Kuten jo edellä lyhyesti mainittiin, rakennusten rakentamisen kasvihuonekaasupäästöjä koskevan kirjallisuuskatsauksen tärkeimpänä havaintona oli, että käytetty tutkimusmenetelmä ja tutkimuksen rajaukset vaikuttavat rakentamisen laskennallisiin päästöihin niin merkittävästi, että rakennustyyppien, runkoratkaisujen ja rakentamissijaintien vaikutukset mallinnuksen tuloksiin jäävät selkeästi menetelmävalintojen ja laskennan rajausten vaikutusten varjoon. Koska yhtä tapaustutkimusta ei voida kuitenkaan väittää toista paremmaksi, laskenta perustuu pikemmin kirjallisuuskatsauksen keskiarvoihin kuin yksittäisen tapaustutkimuksen tuloksiin.

Kuva 3 havainnollistaa menetelmävalinnoista johtuvaa eroa mallinnustuloksissa. Prosessi-LCA-menetelmällä mallinnetut päästöt ovat selkeästi panos-tuotos(IO)-LCA-menetelmällä mallinnettuja päästöjä pienemmät hybridi-LCA-mallinnusten tulosten asettuessa kahden edellä mainitun välimaastoon.

Kuva 3



### 1.2.2 Liikenneverkko ja viheralueet

Liikenneverkon rakentamisen ja ylläpidon kasvihuonekaasupäästömallinnus perustuu keskeisesti kahteen aiemmin julkaistuun suomalaiseen selvitykseen, jotka ovat Liikenneviraston (Hagström et al. 2011) *Tien- ja radanpidon hiilijalanjälki* sekä Helsingin kaupungin rakennusviraston (2009) toimeksiannosta Rapal Oy:n ja VTT:n yhteistyönä laadittu *Kaupunki-infran ympäristölaskenta*. Koska viheralueiden rakentamisen ja hoidon päästömallinnus perustuu samaan aineistoon ja samoihin laskentaperiaatteisiin, se on kuvattu tässä liikenneverkon yhteydessä.

KEKO-laskenta perustuu edellä mainituissa selvityksissä yksityiskohtaisesti raportoituihin tapaustutkimusmallinnusten tuloksiin, joista on johdettu tarvittavat liikenneverkon eri elementtien ominaispäästöt. Laskennassa huomioidaan kasvihuonekaasupäästöistä vain hiilidioksidi, mikä ei kuitenkaan vaikuta merkittävästi mallinnuksen tulokseen, koska muiden kasvihuonekaasupäästöjen osuus tällä mallinnuksen osa-alueella on vähäinen. Lähdeaineistossa raportoidut tapaustutkimusmallinnusten taustaoletukset vaikuttavat merkittävästi myös KEKO-laskennan tuloksiin. Niistä merkittävimpiä ovat oletukset keskiarvoisista kuljetusmatkoista sekä rajaukset välivarastoinnin ja uusiomateriaalien käytön huomioidinnissa.

Lähdeaineiston käyttöä ja mallinnuksen tarkkuustasoa mallinnuskohteittain eritellään seuraavassa taulukossa (taulukko 3).

Taulukko 3

MALLINNUSKOHDE	LÄHDEAINEISTO	MALLINNUKSEN TARKKUUSTASO
JUNARADAT	Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 38/2011: Tien- ja radanpidon hiilijalanjälki	Kaksi ratatyyppiä (yksiraiteinen sähköistetty ja kaksiraiteinen sähköistetty). Lisäksi ratapihat. Sillat huomioitu. Erikseen rakentaminen ja kunnossapito.
TIET	Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 38/2011: Tien- ja radanpidon hiilijalanjälki	Neljä tiettyyppiä (moottoritie, valtatie, seututie ja yhdystie). Laskennan perustana tietyyppi ja perustamisolosuhteet. Sillat huomioitu. Erikseen rakentaminen ja kunnossapito.
KADUT	HKR, Rapal Oy & VTT: (2009) Kaupunki-infran ympäristölaskenta, Case Böstaksentie	Neljä katutyyppiä (asuntokatu, kokoojakatu, pääkatu ja raskaasti liikennöity pääkatu). Laskennan perustana katutyyppi ja perustamisolosuhteet. Sillat huomioitu. Erikseen rakentaminen ja hoito.
VIHERALUEET	HKR, Rapal Oy & VTT: (2009) Kaupunki-infran ympäristölaskenta, Case Pihlajamäen nuorisopuisto	Yksi viheraluetyyppi (puisto). Erikseen rakentaminen ja hoito.

Mallinnuksen tarkkuustaso oltaisiin voitu lähdeaineiston yksityiskohtaisuuden ansiosta asettaa huomattavasti toteutettua tarkemmaksi sekä lähtötietojen syöttämisen että tulosten esittämisen osalta. KEKO-työkalun laskennan lähtötietojen ja tulosten esittämisen yleinen tarkkuustaso huomioon ottaen ei kuitenkaan nähty tarkoituksenmukaiseksi eritellä lähtötietoja tai tuloksia taulukossa 3 esitettyä tyyppijakoa tai rakentamis- ja käyttövaiheen erottelua tarkemmin. Liikenneverkkojen ja viheralueiden päästömallinnuksen rajauksia ja päästökertymän tarkempaa jakoa on kuitenkin eritelty seuraavissa taulukoissa (taulukot 4a-4f), joiden sisältö koostuu lähdeaineistona käytettyjen alkuperäis-selvitysten tuloksista, jotka on esitetty taulukoituina myös lähdeaineistossa.

Taulukko 4a

JUNARADAT	1-raiteinen	2-raiteinen
<b>Rakentaminen (tCO<sub>2</sub>/km)</b>	<b>722</b>	<b>1932</b>
Maanrakennus	19	1092
Alusrakenteet	342	84
Päällysrakenteet	266	420
Sähköistys ja turvalaitteet	57	84
Sillat, tunnelit ja rummut	38	294



<b>Käyttö</b> (tCO <sub>2</sub> /km/v)	<b>3,23</b>	<b>11,18</b>
Vaihteenlämmitys, liikenteenohjaus ja muu energiankulutus	3,23	11,18
<b>Kunnossapito</b> (tCO <sub>2</sub> /km/v)	<b>8,55</b>	<b>12,04</b>
Hoito	0,95	0,43
Korvausinvestoinnit	7,41	11,18
Ylläpitoinvestoinnit, hoidon erillistyöt	0,19	0,43

#### Taulukko 4b

<b>RATAPIHAT</b> (raide-km)	<b>Pieni</b> (5)	<b>Keskikokoinen</b> (16)	<b>Suuri</b> (70)
<b>Rakentaminen</b> (tCO <sub>2</sub> /raide-km)	<b>432</b>	<b>532</b>	<b>616</b>
Maanrakennus	16	26,6	28
Alusrakenteet	96	106,4	112
Päällysrakenteet	176	266	252
Sähköistys ja turvalaitteet	0	26,6	28
Sillat, tunnelit ja rummut	112	79,8	196
Liikennepaikat	16	26,6	0
<b>Käyttö</b> (tCO <sub>2</sub> /raide-km/v)	<b>8,36</b>	<b>17,1</b>	<b>15,9</b>
Käytännössä sähkönkulutus	8,36	17,1	15,9
<b>Kunnossapito</b> (tCO <sub>2</sub> /raide-km/v)	<b>5,51</b>	<b>7,2</b>	<b>7,5</b>
Hoito	0,19	0,3	0,3
Korjaukset	0	0	1,8
Korvausinvestoinnit	3,99	6,6	5,4
Hoidon erillistyöt	1,14	0,3	0

#### Taulukko 4c

<b>TIET</b>	<b>Moottoritie</b>	<b>Valtatie</b>	<b>Seututie</b>	<b>Yhdystie</b>
<b>Rakentaminen</b> (tCO <sub>2</sub> /km)	<b>2622</b>	<b>936</b>	<b>361,8</b>	<b>266,5</b>
Maanrakennuspaikalta lähtevät massat	552	53	13,4	16,4
Maanrakennuspaikalle tuotavat massat	276	424	207,7	213,2
Pohjanvahvistus	1334	318	100,5	28,7
Päällysteet	46	35	20,1	8,2
Sillat	368	88	20,1	0
Varusteet ja laitteet	46	18	2,01	0
<b>Käyttö</b> (tCO <sub>2</sub> /km/v)	<b>5,52</b>	<b>3,78</b>	<b>0,98</b>	<b>0</b>
Valaistus	5,52	3,78	0,98	0
<b>Kunnossapito</b> (tCO <sub>2</sub> /km/v)	<b>14,26</b>	<b>4,86</b>	<b>2,24</b>	<b>1,4</b>
Teiden korjaukset ja parannukset	7,82	2,7	1,33	0,84
Tiimerkinnät	0,138	0,054	0,07	0,04
Talvihoito	0,46	0,072	0,14	0,08
Muu kunnossapito	5,98	1,98	0,7	0,44

Taulukko 4d

<b>KADUT (perustapaus, kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>52,0</b>	<b>JAETTUNA RAKENNUSOSIIN:</b>	
		<b>Rakentaminen (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>51,9</b>
<b>JAETTUNA HANKEOSIIN:</b>		Jakava kerros (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	11,7
<b>Rakentaminen (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>51,9</b>	Maaleikkaus (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	1,3
Ajorata	58,3	Sitomaton kantava kerros (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	12,3
Jalkakäytävä	55,2	Sidottu kantava kerros (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	23,1
Istutusalue	6,7	Hulevesikaivo (kgCO <sub>2</sub> /kpl)	523,9
Nurmialue	3,7	Kasvualusta (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	3,7
<b>Hoito (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>0,1</b>	Asfalttibetonipäällyste (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	19,3
Ajorata	0,1	Betonikivipäällyste (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	25,3
Jalkakäytävä	0,1	Luonnonkivipäällyste (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	15,8
Istutusalue	0,4	Reunakivi, luonnonkivi (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	26,4
Nurmialue	0,2	Nurmikko (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	0,1
		Pensas (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	3,2
		Katupuu (kgCO <sub>2</sub> /kpl)	43,6
		<b>Hoito (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>0,1</b>

Taulukko 4e

<b>SILLAT</b>	(tCO <sub>2</sub> )
kevyen liikenteen silta	60
seututien silta	141
valtatie silta	457

Taulukko 4f

<b>PUISTOT (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>5,3</b>	<b>JAETTUNA RAKENNUSOSIIN:</b>	
		<b>Rakentaminen (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>5,2</b>
<b>JAETTUNA HANKEOSIIN:</b>		Salaojaputki (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	35,1
<b>Rakentaminen (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>5,2</b>	Päällysteen purku (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	0,8
Toiminta-alue	20,9	Hyötypuun hakkuu (kgCO <sub>2</sub> /kpl)	8,8
Puistokäytävä	3,7	Jakava kerros (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	10,1
Istutusalue	16,0	Kasvillisuuden poisto (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	1,2
Nurmialue	0,4	Kasvualusta (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,8
<b>Hoito (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>0,06</b>	Kate (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	2,8
Toiminta-alue	0,001	Maaleikkaus (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	7,8
Puistokäytävä	0,1	Rumpu (kgCO <sub>2</sub> /m)	54,9
Istutusalue	0,02	Salaojan tarkastuskaivo (kgCO <sub>2</sub> /kpl)	143,8
Nurmialue	0,1	Sitomaton kantava kerros (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	17,1
		Sivu- ja niskaoja (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	4,4
		Suodatinkangas (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	0,4
		Asfalttibetonipäällyste kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	18,2

	Betonikivipäälyste kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	25,3
	Nurmikivipäälyste kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	19,0
	Hiekkatekonurmi kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	4,2
	Metsätaimi (kgCO <sub>2</sub> /kpl)	1,3
	Kivituhkapäälyste kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	1,4
	Sorapäälyste kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	2,2
	Turva-alusta kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,8
	Nurmikko kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	0,03
	Pensas (kgCO <sub>2</sub> /kpl)	1,9
	Perenna (kgCO <sub>2</sub> /kpl)	1,9
	Puistopuu (kgCO <sub>2</sub> /kpl)	21,4
	Siirtonurmi kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	0,2
	Penkki (kgCO <sub>2</sub> /kpl)	60,9
	Pollari (kgCO <sub>2</sub> /kpl)	31,4
	Pöytä (kgCO <sub>2</sub> /kpl)	56,2
	Teräsaita (kgCO <sub>2</sub> /m)	12,2
	<b>Hoito (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>0,06</b>

Liikenneverkon ja viheralueiden kasvihuonekaasupäästömallinnus perustuu kattavan kirjallisuuskatsauksen sijaan yksittäisiin tapaustutkimuksiin. Vastaavia selvityksiä on tehty muissakin maissa, mutta suomalaisten tapaustutkimusten tulosten arvioitiin tässä yhteydessä vastaavan todellisuutta Suomessa paremmin kuin kansainvälisten keskiarvojen. Lähdeaineistona käytetyt suomalaiset tapaustutkimukset arvioitiin tehdyksi hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti ja raportoiduksi selkeästi, systemaattisesti ja yksityiskohtaisesti.

### 1.2.3 Muut tekniset verkot, pysäköinti ja louhitut tilat

Louhitun tilan määrä syötetään KEKO-työkaluun ennen ja jälkeen alueen rakentamisen. Tästä johdetaan sekä siirretyn materiaalin määrä että elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöt. Kasvihuonekaasupäästöjen arvio perustuu Norjassa saatuihin kokemuksiin (Huang et al. 2013), joiden perusteella päästöjä aiheutuu n. 0,11 tCO<sub>2eq</sub>/m<sup>3</sup> louhittua kiveä. Louhituksi tilaksi lasketaan tässä yhteydessä ainoastaan suuret louhintatyöt, joita tehdään tavanomaisen rakennusten ja infrastruktuurin perustamistöiden lisäksi. Tavanomaisen maanpäällisen kalliolle rakentamisen edellyttämä louhinta sisältyy rakennusten perustamistöiden päästöihin.

Pysäköintialueet huomioidaan laskennassa pysäköintinormilla, joka sallii käyttäjän määrittää kuinka paljon alueella on kerrosneliömetrejä kutakin autopaikkaa kohden. Näin määritetyt pysäköintialueet vaikuttavat päällystetyn alueen määrään ja sitä kautta päästölaskentaan.

Muun infrastruktuurin osalta tehty kirjallisuusselvitys osoitti päästöjen olevan varsin pienet aluerakentamisen kokonaisuuteen verrattuna. Esimerkiksi Nichols ja Kockelman (2014) ovat laskeneet ”muun infrastruktuurin” (pois lukien liikenteen infrastruktuuri ja rakennukset, sisältäen mm. sähkö-, tele- ja vesihuoltoverkot) osuuden yhdyskunnan elinkaaren energiankulutuksesta



rakennukset										
Sähkö	Kerrostalot (AK)	45	46	46	47	48	52	52	52	52
	Rivitalot (AR)	41	42	42,5	43,5	44,5	47	48,5	48,5	49
	Omakoti- ja paritalot (AO, AP)	37	38	39	40	41	42	45	45	46
	Toimisto- rakennukset	67	68	69	72	74	76	90	96	103
	Liikerakennukset	67	68	69	72	74	76	90	96	103
	Palvelurakennukset	67	68	69	72	74	76	90	96	103
	Teollisuus- ja muut tuotanto- rakennukset	67	68	69	72	74	76	90	96	103
		67	68	69	72	74	76	90	96	103
Jäähdytys	Kerrostalot (AK)	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	Rivitalot (AR)	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	Omakoti- ja paritalot (AO, AP)	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	Toimisto- rakennukset	2	4	6	8	10	12	12	10	8
	Liikerakennukset	2	5	7	10	12	14	14	12	10
	Palvelurakennukset	2	4	6	8	10	12	12	10	8
	Teollisuus- ja muut tuotanto- rakennukset	1	1	2	2	3	4	4	3	2
		1	1	2	2	3	4	4	3	2

### 1.2.5 Energiantuotanto

KEKO-laskennassa rakennetun ympäristön käytönaikainen energiantarve (sähkö, lämpö ja jäähdytys) katetaan ensisijaisesti paikallisella energiantuotannolla (mukaan lukien erilliset lämpökattilat ja yhteistuontantolaitokset). Kauko- ja aluelämpö voidaan tuottaa tarkasteltavan alueen ulkopuolella, mutta alueelle osoitettavan hajautetun tuotannon, kuten aurinko- ja tuulisähkön, on oltava alueen sisällä tai muutoin selkeästi allokoitavissa tarkasteltavalle alueelle. KEKO-työkalu osoittaa tarkasteltavalle alueelle oman erillisen sähköntuotannon lisäksi mahdollisessa yhteistuotannossa tuotettavan sähkön.

Mikäli alueella tuotetaan sähköä vuositasolla enemmän kuin kulutetaan, ylimääräinen energia ajautuu alueen ulkopuoliseen sähköntarpeeseen, eikä sen tuotannosta aiheutuvia päästöjä alokoida tarkasteltavalle alueelle. Mahdolliselle ylimääräiselle sähköntuotannolle ei lasketa järjestelmävaikutuksia. Jos paikallinen sähköntuotanto ei riitä kattamaan tarkasteltavan alueen sähkönkulutusta, vaje katetaan verkkosähköllä.

Energiankulutus ja -tuotanto ovat keskeisessä roolissa arvioitaessa alueellisia kasvihuonekaasupäästöjä. KEKO-työkalu laskee annetuilla lähtöarvoilla tarkasteltavan alueen kulutukseen käytettyjen polttoaineiden suorat päästöt hiilidioksidiekvivalentteina. Päästöjen jakamiseen sähkölle ja lämmölle käytetään hyödynjakomenetelmää.

Energiahuollon todellisia elinkaarisia päästöjä ei voida arvioida luotettavasti KEKO-työkalun tyyppisellä yksinkertaistetulla laskennalla, koska energiantuotannon päästöt muodostuvat useista tekijöistä sisältäen erinäisiä epävarmuuksia ja tapauskohtaisia järjestelmävaikutuksia.

KEKO-työkalun energiantuotannon kasvihuonekaasupäästölaskentaa työstettäessä tehtiin diplomityönä kirjallisuuskatsaus eri energiantuotantomuotojen ja polttoaineiden elinkaarisista päästökertoimista (Pluuman 2014). Kirjallisuudessa esitetyissä tuloksissa todettiin olevan valtavaa vaihtelua. KEKO-työkalun energiantuotannon kasvihuonekaasupäästölaskennan ensimmäinen versio perustui Pluumanin kirjallisuuskatsauksen tuloksiin. Elinkaarisista päästökertoimista päätettiin kuitenkin myöhemmin luopua KEKO-laskennassa niihin liittyvien epävarmuuksien vuoksi. Pluumanin diplomityö on: Laskentamenetelmissä tehtävien valintojen merkitys alueellisen lämmön- ja sähköntuotannon kasvihuonekaasupäästöjen kannalta (2014).

#### **1.2.5.1 Keskiarvolliset ja marginaaliset päästökertoimet**

KEKO-työkalu laskee energiankulutusta vastaavan tuotannon päästökertymälle kaksi vaihtoehtoista lukuarvoa, jotka viittaavat keskiarvolliseen ja marginaaliseen tuotantoon. Molemmat arvot tarvitaan tulosten oikeelliseen tulkintaan ja päätöksenteon tueksi. Keskiarvolliset ja marginaaliset päästökertoimet tarvitaan laskennan lähtötiedoiksi sekä verkkosähkön että paikallisen kaukolämmön osalta. Kaukolämmön osalta tuotantomuotoon ja polttoainejakaumaan ja siten päästökertoimiin voi vaikuttaa myös se, liittyykö mahdollinen uusi tuotanto runkoverkkoon vai rakennetaanko alueelle esimerkiksi erillinen kattila tai lämpöpumppukeskus.

#### **1.2.5.2 Järjestelmävaikutukset**

Energiajärjestelmävalinnoilla on aina myös järjestelmävaikutuksia jotka voivat olla joko positiivisia tai negatiivisia kasvihuonekaasupäästöjen suhteen. Esimerkiksi kaukolämpöjärjestelmä edellyttää markkinaehtoisuutta toimiakseen kannattavasti ja tehdäkseen investointeja. Samoin sähkönkulutuksella ja energiatehokkuudella on vaikutuksia muun muassa sähkötuotannon marginaalituotantorakenteeseen. Aluekehityksen energiajärjestelmävalinnoilla voidaan parhaassa tapauksessa synnyttää positiivisia vaikutuksia myös alueen ulkopuolelle, mutta pahimmassa tapauksessa järjestelmävaikutukset voivat synnyttää täysin toisenlaisen lopputuleman kuin mitä oltiin lähtökohtaisesti tavoiteltu.

#### **1.2.5.3 Tulevaisuusskenaariot**

KEKO-työkalu huomioi käyttäjän laskennan lähtötiedoiksi syöttämät tarkasteltavalla aikavälillä ennakoitavissa olevat muutokset energiantuotannon päästökertoimissa. Energiantuotannon päästöintensiivisyyden tulevaisuusskenaariot ovat yksimielisiä siitä, että energiantuotannon päästöt suhteessa tuotettuun energiaan laskevat ilmastonmuutoksen torjuntapyrkimykseen liittyvien useilla rintamilla lähitulevaisuudessa toteutettavien toimenpiteiden vuoksi. Eri arviot eriävät siinä, kuinka paljon ja kuinka nopeasti päästöintensiivisyys laskee. KEKO-työkalulla tehtävien päästötarkastelujen kannalta energiantuotannon päästöintensiivisyyden laskeminen tarkasteluaikavälillä tarkoittaa käytännössä sitä, että tarkastelun alkuvaiheessa tapahtuva energiankulutus aiheuttaa enemmän päästöjä kuin tarkastelun loppuvaiheessa tapahtuva energiankulutus. Tällöin rakennusvaiheen

energiankulutuksen päästövaikutukset korostuvat suhteessa käyttövaiheen energiankulutukseen.

Todellisuudessa aiemmin ilmakehään vapautuvat kasvihuonekaasut ehtivät myös lämmittää ilmastoa tarkasteluajavälillä enemmän kuin myöhemmin vapautuvat. PAS2050-standardin mukaisesti kaikki tarkasteluajavälillä ilmakehään vapautuvat kasvihuonekaasupäästöt summataan kuitenkin KEKO-laskennassa sellaisinaan.

## 2 Luonnonvarojen käyttö

### 2.1 Rakennukset

Rakentamiseen kuluvat materiaalit esitetään rakenneosittain, sekä kokonaismääränä (tonnia). Materiaalit on myös eroteltu uusiutuviin (puu) ja uusiutumattomiin materiaaleihin. Laskennassa huomioidaan materiaalien suora ja epäsuora kulutus. Tuloksissa ilmoitetaan molemmat.

Materiaalien kulutus lasketaan rakennettavan bruttoneliömäärän perusteella. Esimerkkitapauksista on otettu eri rakenneosiin kuluvat materiaalit ja ne on jaettu esimerkkitapauksen bruttoneliömäärällä jolloin saadaan arvio siitä kuinka paljon materiaaleja kuluu eri rakenneosiin per bruttoneliö. Tuota suhdelukua käytetään kertomalla sitä rakennettavalla bruttoneliömäärällä, jolloin saadaan kokonaismateriaalin kulutus.

Materiaalimääriä koskien pääasiallisena lähteenä on ollut MIPS-tutkimus (Ritthoff et al. 2002), jossa materiaalin kulutus ilmaistaan sekä suorana kulutuksena että suoran ja epäsuoran kulutuksen summana. Epäsuora kulutus sisältää materiaalin valmistuksessa kuluneet muut luonnonvarat. Epäsuora kulutus lasketaan Wuppertal-instituutin kehittämän MIPS-menetelmän mukaisilla MI-kertoimilla. MI-kertoimet kuvaavat raaka-aineiden materiaali-intensiteettiä eli ilmoittavat kuinka paljon luonnonvaroja kuluu esimerkiksi tonneina yhden raaka-ainetonnin tuottamiseen.

Lukuja on korjattu siten että MIPS-tutkimuksen lukuja on kerrottu ylöspäin kertoimella, joka on saatu suhteuttamalla VTT:n tutkimuksen peruskerrostalo ja MIPS-tutkimuksen 5 kerroksinen betonikerrostalo yhtä suuriksi. Tällä kertoimella on kerrottu kaikkia MIPS-tutkimuksen rakennusten materiaalimääriä ylöspäin. Kertoimet on laskettu jokaiselle rakennusosalle erikseen, ei siis ole käytetty yhtä kerrointa koko rakennukselle.

Omakotitalojen kohdalla maakaivujen, täyttöjen ja perustusten materiaalmääriin ei käytetä kerrointa, kuten rakennusosissa, vaan ne lasketaan suoraan esimerkkitapausten perusteella. Tämä siksi että kaivujen määrä ei kasva vaikka rakennusosiin käytettävien materiaalien määrä kasvaisikin. (Tamminen 2009)

Muiden, kuin omakotitalojen ja rivitalojen kohdalla perustukset lasketaan erikseen. Perustusten materiaalmäärää laskettaessa määritetään keskimääräinen kerrosmäärä, paalutussyvyys ja rakennuspaikan pohjaolosuhteet. Pohjaolosuhteet vaikuttavat paalutussyvyyteen sekä anturan kokoon, mitä huonommat perustusolosuhteet sitä enemmän materiaaleja joudutaan käyttämään. (Ruuska & Häkkinen 2013, Sinivuori 2005)

Rakennettaessa joudutaan myös tekemään louhintaa ja maankaivuja, sekä täyttöjä. Nämä huomioidaan KEKO-laskennassa. Perustusolosuhteet jaetaan kolmeen eri luokkaan helpot, tavanomaiset ja vaikeat. Käyttäjän tarvitsee määrittellä vain perustusolosuhteet sekä paalutussyvyys.

Rakentamisen materiaalin kulutus lasketaan erikseen myös siten että käyttäjä voi syöttää haluttaessaan prosenttiosuudet rakennusten eri rakennetyypeistä (esimerkiksi puu tai betoni). Näin laskettaessa käytettävien materiaalien laskennan tarkkuus paranee.

## 2.2 Tiet ja kadut

Tiet ja kadut on luokiteltu kuuteen eri luokkaan (tieluokka), oletettujen liikennemäärien perusteella, kuten Taulukko 6 esittää. Tieluokat vaikuttavat materiaalien kulutukseen siten että mitä enemmän liikennettä tiellä on sitä raskaammat rakenteet joudutan tekemään, mikä lisää materiaalien kulutusta.

### Taulukko 6. Tieluokkien määritelmät

Kuvaus	Liikennemäärä	kantavuus (MN/m <sup>2</sup> )
Pientaloalueen asuntokatu	10-500	200
Asuntokatu tai pientaloalueen kokoojakatu	500-2500	250
Pääkatu, kokooja- tai vilkasliikenteinen kerrostaloalueen katu (ajokaistoja 1 + 1)	2500 - 10 000	350
Raskaasti liikennöity moottori- tai pääkatu (ajokaistoja 2 + 2)	10 000 - 30 000	420
Erittäin raskaasti liikennöity pääkatu (ajokaistoja 2+ 2)	> 30 000	500
jalkakäytävä, pyöräti, puistotiet ym		175

Perustamisolosuhteet on jaettu seitsemään eri luokkaan. Tällä hetkellä laskennassa käytetään vain kolmea eri luokkaa, hyvät, tavanomaiset ja huonot perustamisolosuhteet. Perustamisolosuhteet vaikuttavat materiaalimenekkiin siten että mitä huonommat olosuhteet sitä enemmän materiaaleja joudutaan käyttämään.

Teiden rakenne osat on jaettu viiteen kerrokseen Päällyste, kantavakerros, jakavakerros, suodatinkerros ja niiden materiaaleina on oletettu olevan asfalttibetoni, murske, sora ja hiekka. tässä järjestyksessä.



Eri tieluokille on laskettu rakennekerrospaksuudet eri perustamisolosuhteissa, siten että päällysteen pinnalla saavutetaan tieluokalta vaadittava kantavuus (MN/m<sup>2</sup>). Laskenta on tehty Odemarkin-yhtälöllä ja rakennekerrosten paksuudet voivat vaihdella suurestikin todellisissa tapauksissa. Laskennassa ei myöskään ole otettu huomiin esimerkiksi routanousuja, jotka vaikuttavat materiaalien kulutukseen. Perustamisolosuhteet määritellään prosenttiosuuksina rakennettavasta kokonaistiemäärästä, siten että käyttäjä määrittää kuinka monta prosenttia tiestä rakennetaan kullekin perustamisolosuhte luokalle. Taulukko 7 esittää materiaalikulutukset tieluokittain ja perustusolosuhteittain. (Suomen kuntatekniikan yhdistys 2003)

**Taulukko 7. Perustamisolosuhteiden vaikutukset materiaalimääriin**

		Hyvät t/m <sup>2</sup>	Tavalliset t/m <sup>2</sup>	Huonot t/m <sup>2</sup>
Kadut	Päällyste, asfalttibetoni	0.27	0.27	0.27
	Kantavakerros, murske	0.31	0.50	0.67
	Jakavakerros, sora	0.26	0.55	0.76
	Suodatinkerros, hiekka	0.25	0.45	0.86
Yhdystie	Päällyste, asfalttibetoni	0.18	0.18	0.18
	Kantavakerros, murske	0.17	0.40	0.57
	Jakavakerros, sora	0.21	0.37	0.49
	Suodatinkerros, hiekka	0.20	0.13	0.40
Seututie	Päällyste, asfalttibetoni	0.24	0.24	0.24
	Kantavakerros, murske	0.23	0.54	0.77
	Jakavakerros, sora	0.29	0.50	0.67
	Suodatinkerros, hiekka	0.27	0.18	0.54
Valtatie	Päällyste, asfalttibetoni	0.29	0.29	0.29
	Kantavakerros, murske	0.39	0.54	0.77
	Jakavakerros, sora	0.34	0.67	0.84
	Suodatinkerros, hiekka	0.18	0.54	0.90
Moottoritie	Päällyste, asfalttibetoni	0.36	0.36	0.36
	Kantavakerros, murske	0.46	0.62	0.77
	Jakavakerros, sora	0.25	0.67	0.84
	Suodatinkerros, hiekka	0.18	0.54	1.26

	Päällyste, asfalttibetoni	0.12	0.12	0.12
Erillinen pyörätie,	Kantavakerros, murske	0.15	0.20	0.39
jalkakäytävä	Jakavakerros, sora	0.08	0.34	0.50
	Suodatinkerros, hiekka	0.45	0.45	0.54

### 3 Lähteet

#### **Energiaan ja kasvihuonekaasupäästöihin ja rakennuksiin liittyen:**

Cherubini F, Bird ND, Cowie A, Jungmeier G, Schlamadinger B ja Woess-Gallasch S (2009) Energy-and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations. *Resources, Conservation and Recycling* 53(8): 434-447.

Hagström M, Illman J, Pesola A, Vanhanen J ja Gilbert Y (2011) Tien- ja radanpidon hiilijalanjälki. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 38/2011. Liikennevirasto, Helsinki.

Helsingin kaupungin rakennusvirasto (2009) Kaupunki-infran ympäristölaskenta, Panosten käyttöön perustuvan hiilidioksidilaskennan (CO<sub>2</sub>) pilotointi, Loppuraportti 31.12.2009.

Heinonen J, Laine J, Pluuman K, Säynäjoki E, Soukka R ja Junnila S (2015) Planning for low carbon future? Comparing heat pumps and cogeneration as the energy system options of a new residential area. *Energies*, in press.

Kiiras J, Hyartt J, Saari A ja Kammonen J (1993) Kiinteistöjen ylläpidon kustannustieto 1992 Hoito- ja kunnossapitokustannukset sekä elinkaaren kustannuslaskelmat. Teknillinen korkeakoulu, Rakennetekniikan laitos, Rakentamistalous.

Säynäjoki E, Heinonen J ja Junnila S (2014) Role of Urban Planning in Encouraging More Sustainable Lifestyles. *Journal of Urban Planning and Development*, 04014011. DOI: 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000196.

#### **Luonnonvaroihin ja liikenneverkkoon liittyen:**

Huang, L., Bohne, R., Bruland, A., Jakobsen, P. 2013. Life cycle assessment of Norwegian Standard road tunnel. The 6th international conference on Life cycle management.

Nichols, B., Kockelman, K. 2014. Transportation Systems and the Built Environment: Life-Cycle Energy Case Study and Analysis. 93rd Annual Meeting of the TRB.

Ritthoff, M., Rohn, H. & Liedtke, C. 2002. MIPS-laskenta. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy at the Science Centre North Rhine-Westphalia.

Ruuska, A. & Häkkinen, T. 2013. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset - Taustaraportti. Taustaraportti liittyen julkaisuun: Antti Ruuska, Tarja Häkkinen, Sirje Vares, Marja-Riitta Korhonen ja Tuuli Myllymaa: "Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset: -Selvitys rakennusmateriaalien vaikutuksesta rakentamisen kasvihuonekaasupäästöihin, tiivistelmäraportti", Ympäristöministeriön raportteja 8 | 2013.

Sinivuori, P. 2004. Kahden Helsingin yliopiston rakennuksen luonnonvarojen kulutuksen selvittäminen MIPS-laskennan avulla. Helsingin yliopisto, Helsinki, 91 s.

Suomen kuntatekniikan yhdistys. 2003. Katu 2002. Katusuunnittelun ja -rakentamisen ohjeet.

Tamminen, P. 2009. Asuinrakennusten luonnonvarakulutuksen arviointi MIPS-menetelmällä. Pro gradu tutkielma. Helsingin yliopisto, Agroteknologian laitos, Helsinki.

Tuominen, P., Holopainen, R., Eskola, L., Jokisalo, J., Airaksinen, M.: Calculation method and tool for assessing energy consumption in the building stock. Building and Environment, Volume 75, May 2014, Pages 153–160.